การหายใจของดินในป่าแสมทะเล *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh. จังหวัดเพชรบุรี

นางสาวจีรนันท์ เพชรแก้ว

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาพฤกษศาสตร์ ภาควิชาพฤกษศาสตร์
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2557
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

SOIL RESPIRATION IN GRAY MANGROVE *Avicennia marina* (Forsk.)
Vierh. FOREST, PHETCHABURI PROVINCE

Miss Jeeranan Petkaew

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Botany
Department of Botany
Faculty of Science
Chulalongkorn University
Academic Year 2014
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การหายใจของดินในป่าแสมทะเล *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh. จังหวัดเพชรบุรี
โดย	นางสาวจีรนันท์ เพชรแก้ว
สาขาวิชา	พฤกษศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	อาจารย์ ดร.ชนิตา ปาลิยะวุฒิ

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

....คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ หารหนองบัว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

....ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ต่อศักดิ์ สีลานันท์)

....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(อาจารย์ ดร.ชนิตา ปาลิยะวุฒิ)

....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ปรีดา บุญ-หลง)

....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ดร.ทนุวงศ์ แสงเทียน)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

จีรนันท์ เพชรแก้ว : การหายใจของดินในป่าแสมทะเล *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh. จังหวัดเพชรบุรี (SOIL RESPIRATION IN GRAY MANGROVE *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh. FOREST, PHETCHABURI PROVINCE) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: อ. ดร.ชนิตา ปาลิยะวุฒิ, 147 หน้า.

การหายใจของดิน (Rs) ประกอบด้วย การหายใจจากกิจกรรมของสิ่งมีชีวิตในดินที่สร้างอาหารเองไม่ได้ (Rh) กับการหายใจของราก (Rr) ซึ่งการประมาณผลผลิตสุทธิของระบบนิเวศ (NEP) ประมาณจากผลต่างระหว่างผลผลิตสุทธิขั้นปฐมภูมิ (NPP) กับ Rh จึงจำเป็นต้องแยกค่า Rh ออกจาก Rs เพื่อใช้ในการประมาณ NEP สำหรับป่าชายเลนมักเจริญเติบโตบนดินเลนและมีการท่วมถึงของน้ำทะเลสม่ำเสมอ และเพื่อความอยู่รอดในสภาพแวดล้อมดังกล่าวพืชป่าชายเลนจึงมีการพัฒนาระบบรากเหนือดินเพื่อใช้ในการแลกเปลี่ยนแก๊สผ่านทางช่องอากาศที่ผิวราก ด้วยลักษณะดังกล่าวจึงมีการเสนอแนะว่าการหายใจที่เกิดจากรากใต้ดินอาจมีการปลดปล่อยผ่านทางช่องอากาศของรากเหนือดิน ดังนั้นเมื่อวัด Rs โดยไม่ครอบรากเหนือดินด้วย soil chamber ค่าที่วัดได้จึงอาจเป็นค่าที่เกิดจาก Rh เท่านั้น อย่างไรก็ตามยังไม่มีการศึกษาข้อเสนอแนะข้างต้น การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา Rs ในป่าแสมทะเล (*Avicennia marina* (Forsk.) Vierh.) จังหวัดเพชรบุรี ในพื้นที่ศึกษาขนาด 50 × 50 ตารางเมตร ผลการศึกษาพบว่า Rs เมื่อไม่ครอบรากเหนือดินมีค่าอยู่ในช่วง 0.761 - 1.488 μmol $CO_2\ m^{-2}s^{-1}$ และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.007 ± 0.428 μmol $CO_2\ m^{-2}s^{-1}$ โดยไม่พบความแตกต่างระหว่างฤดูแล้งและฤดูฝนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) นอกจากนี้ยังพบความสัมพันธ์ในเชิงบวกระหว่างค่า Rs กับอุณหภูมิดิน (r=0.426, P=0.002) และระหว่างค่า Rs กับความชื้นของดิน (r=0.903, P=0.036) รวมทั้งพบว่าค่า Rs มีแนวโน้มลดลงเมื่อระดับน้ำใต้ดินสูงขึ้น สำหรับค่า Rh สามารถประมาณได้จากสมการถดถอยเชิงเส้นตรงระหว่าง Rs เมื่อวัดโดยครอบรากเหนือดินกับมวลชีวภาพรากเหนือดินและระหว่าง Rs เมื่อวัดโดยครอบรากเหนือดินกับพื้นที่ผิวรากเหนือดิน ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 0.643 - 1.455 และ 0.794 - 1.232 μmol $CO_2\ m^{-2}s^{-1}$ และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.104 ± 0.298 และ 1.047 ± 0.162 μmol $CO_2\ m^{-2}s^{-1}$ ตามลำดับ แต่ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างค่า Rs เมื่อไม่ครอบรากเหนือดินกับค่า Rh ที่ได้จากการประมาณ ดังนั้นค่าดังกล่าวจึงอาจจะไม่สามารถใช้ทดแทนกันได้ อย่างไรก็ตามค่า Rh ที่ได้จากการประมาณมีค่าอยู่ในช่วงที่ใกล้เคียงกับค่า Rs ที่วัดโดยไม่ครอบรากเหนือดิน และเมื่อพิจารณาค่า Rs ประกอบกับค่า NPP จากการศึกษาอื่น พบว่า Rs มีค่าน้อยกว่า NPP จึงอาจกล่าวได้ว่าป่าชายเลนในพื้นที่ศึกษานี้ยังคงมีศักยภาพในการเป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอน

ภาควิชา	พฤกษศาสตร์	ลายมือชื่อนิสิต	....
สาขาวิชา	พฤกษศาสตร์	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก	....
ปีการศึกษา	2557		

5471933023 : MAJOR BOTANY
KEYWORDS: NET ECOSYSTEM PRODUCTION / ABOVE GROUND ROOT / HETEROTROPHIC RESPIRATION / ROOT SURFACE AREA

JEERANAN PETKAEW: SOIL RESPIRATION IN GRAY MANGROVE *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh. FOREST, PHETCHABURI PROVINCE. ADVISOR: CHANITA PALIYAVUTH, Ph.D., 147 pp.

Soil respiration (Rs) consists of heterotrophic respiration (Rh) and root respiration (Rr). Net ecosystem production (NEP) is defined as the difference between net primary production (NPP) and Rh. It is necessary to separate Rh from Rs for estimating NEP. Mangrove forests grow on soft muddy soil and are often flooded by sea water. For their survival, mangrove trees develop aboveground root systems to allow gases exchange through lenticels. Therefore, there is the suggestion that belowground root respiration may be released through lenticels. When we measure Rs via soil chamber by avoiding aboveground roots, the value of Rs should be same the value of Rh. However, this suggestion has not been studied. The objective of this study was to investigate Rs in gray mangrove (*Avicennia marina* (Forsk.) Vierh.) forest, Phetchaburi province in a study site of 50 × 50 m^2. The results showed that Rs with avoiding aboveground roots ranged from 0.761 - 1.488 μmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$ and the average was 1.007 ± 0.428 μmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$. The Rs average was not difference between the dry and wet season. Moreover, the positive relationship were found between Rs and soil temperature (r=0.426, P=0.002), Rs and soil moisture (r=0.903, P=0.036) and also Rs tended to decrease with increasing ground water level. Rh could be estimated by the relationship between Rs with including aboveground roots and root biomass, Rs with including aboveground roots and aboveground root surface area using linear regression. Rh from estimation of biomass and surface area ranged from 0.643 - 1.455 and 0.794 - 1.232 μmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$ and the average were 1.104 ± 0.298 and 1.047 ± 0.162 μmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$, respectively. No relationship between Rs with avoiding aboveground roots and Rh from relationship estimation. Therefore, there two cannot be substituted. However, the range of Rh were close to the range of Rs with avoiding aboveground roots. In addition, we considered Rs from this study and NPP from other studied in mangrove forest, we found that this gray mangrove forest has the effective potential to act as the atmospheric carbon sink due to Rs was lower than NPP.

Department:	Botany	Student's Signature	....
Field of Study:	Botany	Advisor's Signature	....
Academic Year:	2014		

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องจากความกรุณาของผู้เกี่ยวข้องทุกฝ่าย ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ ดร.ชนิตา ปาลิยะวุฒิ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำต่างๆในการแก้ไขปัญหาอันเป็นประโยชน์ยิ่งตลอดการทำวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ต่อศักดิ์ สีลานันท์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.ปรีดา บุญ-หลง และ ดร.ทนุวงศ์ แสงเทียน ที่กรุณาเสียสละเวลาเพื่อเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ พร้อมทั้งให้คำแนะนำและตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณคณาจารย์ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทุกท่านที่แนะนำสั่งสอนและให้วิชาความรู้ในด้านต่างๆแก่ข้าพเจ้าตลอดระยะเวลาการศึกษา

ขอขอบคุณ คุณจักรพันธ์ ม่วงยิ้ม หัวหน้าสถานีพัฒนาทรัพยากรป่าชายเลนที่ 6 (เพชรบุรี) และเจ้าหน้าที่สถานีทุกท่าน สำหรับข้อมูลเกี่ยวกับพื้นที่ศึกษา การเอื้อเฟื้ออุปกรณ์และสถานที่ รวมทั้งการให้ความช่วยเหลือสำหรับการเก็บข้อมูลภาคสนามของงานวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณ ทุนสนับสนุนการวิจัย “ทุน 90 ปี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย” จากกองทุนรัชดาภิเษกสมโภช จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่สนับสนุนเงินทุนในการทำวิจัย และสำนักอนุรักษ์ทรัพยากรป่าชายเลน กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง ที่อนุเคราะห์เครื่องมือและค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติงานในภาคสนาม รวมทั้งโครงการพัฒนาและส่งเสริมผู้มีความสามารถพิเศษทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (พสวท.) สำหรับโอกาสทางการศึกษาและเงินทุนสนับสนุนในการศึกษามาโดยตลอด

ขอขอบคุณ หน่วยปฏิบัติการวิจัยพฤกษนิเวศวิทยา ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่เอื้อเฟื้อเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ สำหรับการทำวิจัยในห้องปฏิบัติการ และขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ ทุกคนที่กรุณาเสียสละเวลาและช่วยเหลือในการเก็บข้อมูลภาคสนาม รวมทั้งให้คำปรึกษาในการทำวิทยานิพนธ์

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่สนับสนุนในทุกๆด้านทั้งการเรียนและเงินทุนขณะกำลังศึกษา ตลอดจนเป็นกำลังใจให้ตลอดจนวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....จ

กิตติกรรมประกาศ.....ฉ

สารบัญ.....ช

สารบัญตาราง.....10

บทที่ 1 บทนำ.....14

1.1 วัตถุประสงค์.....16

1.2 สมมติฐาน.....16

1.3 ขอบเขตการศึกษา.....17

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ.....17

บทที่ 2 การตรวจสอบเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....18

2.1 ผลผลิตสุทธิของระบบนิเวศ (Net ecosystem production; NEP).....18

2.2 การหายใจของดิน (Soil respiration; Rs).....20

2.2.1 ปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่มีอิทธิพลต่อการหายใจของดิน.....22

2.3 วิธีการประมาณการหายใจของสิ่งมีชีวิตในดินที่สร้างอาหารเองไม่ได้.....25

2.4 ป่าชายเลนและความสำคัญ.....28

2.4.1 สภาพแวดล้อมของป่าชายเลน.....28

2.4.2 ระบบรากพืชป่าชายเลน.....30

บทที่ 3 วิธีดำเนินการศึกษา.....35

3.1 พื้นที่ศึกษา.....35

3.2 การศึกษาโครงสร้างป่า.....43

3.3 การวัดการหายใจของดิน.....43

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

หน้า

3.4 การศึกษามวลชีวภาพราก (root biomass)....44
3.5 การประมาณค่า Rh ด้วยวิธี Regression technique 47
3.6 การเปรียบเทียบค่า Rs เมื่อวัดโดยใช้ soil chamber ครอบดินแบบหลีกเลี่ยงรากเหนือดินกับค่า Rh จากการประมาณด้วยวิธี Regression technique....47
3.7 การศึกษาปัจจัยสิ่งแวดล้อม....47
3.7.1 ศึกษาความลาดชันของพื้นที่ศึกษา....47
3.7.2 ศึกษาลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของดิน 48
3.7.3 ศึกษาอุณหภูมิดิน 49
3.7.4 ศึกษาระดับน้ำใต้ดิน 49
3.7.5 ศึกษาระยะเวลาการท่วมถึงของน้ำทะเล....49
3.8 ศึกษามวลชีวภาพของจุลินทรีย์ในดิน 52
3.9 การวิเคราะห์ข้อมูล 52
3.10 สรุปและเขียนเล่มวิทยานิพนธ์ 52
บทที่ 4 ผลการศึกษา....53
4.1 โครงสร้างป่า 53
4.2 การหายใจของดิน 55
4.3 มวลชีวภาพราก....56
4.3.1 มวลชีวภาพรากเหนือดินและใต้ดิน 56
4.3.2 สัดส่วนมวลชีวภาพรากใต้ดินขนาดต่างๆ 56
4.4 การประมาณ Rh ด้วยวิธี Regression technique....58
4.5 การเปรียบเทียบค่า Rs เมื่อวัดโดยใช้ soil chamber ครอบดินแบบหลีกเลี่ยงรากเหนือดินกับค่า Rh ที่ประมาณด้วยวิธี Regression technique....64
4.6 ปัจจัยสิ่งแวดล้อม 67
4.6.1 ความลาดชันของพื้นที่ศึกษา 67

หน้า

4.6.2 ลักษณะทางกายภาพและเคมีของดิน 68
4.6.3 อุณหภูมิดิน 70
4.6.4 ระดับน้ำใต้ดิน 71
4.6.5 ระยะเวลาการท่วมถึงของน้ำทะเล 71
4.7 มวลชีวภาพจุลินทรีย์ในดิน 71
4.8 ความสัมพันธ์ระหว่าง Rs กับปัจจัยที่เกี่ยวข้อง 72
บทที่ 5 อภิปรายผลการศึกษา 75
5.1 โครงสร้างป่า 75
5.2 การหายใจของดิน 76
5.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง Rs กับปัจจัยสิ่งแวดล้อม 77
5.4 มวลชีวภาพราก 80
5.4.1 มวลชีวภาพรากเหนือดินและรากใต้ดิน 80
5.4.2 สัดส่วนมวลชีวภาพราก 80
5.5 การประมาณค่า Rh ด้วยวิธี Regression technique 83
5.6 การเปรียบเทียบค่า Rs เมื่อวัดโดยใช้ soil chamber ครอบดินแบบหลีกเลี่ยงรากเหนือดินกับค่า Rh จากการประมาณด้วยวิธี Regression technique 84
5.7 ปัจจัยสิ่งแวดล้อม 85
บทที่ 6 สรุปผลการศึกษา 88
รายการอ้างอิง 91
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 147

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1 ค่า Rs ในระบบนิเวศป่าต่างๆ....21

ตารางที่ 4.1 ลักษณะโครงสร้างป่าในพื้นที่ศึกษาขนาด 50 × 50 ตารางเมตร....53

ตารางที่ 4.2 สมการถดถอยเชิงเส้นตรงระหว่าง Rs เมื่อครอบรากเหนือดินกับมวลชีวภาพราก เหนือดิน....63

ตารางที่ 4.3 สมการถดถอยเชิงเส้นตรงระหว่าง Rs เมื่อครอบรากเหนือดินกับพื้นที่ผิวรากเหนือ ดิน....63

ตารางที่ 4.4 ค่า Rs เมื่อวัดโดยใช้ soil chamber หลีกเลี่ยงรากเหนือดินและค่า Rh จากการ ประมาณในแต่ละเดือน....66

ตารางที่ 4.5 องค์ประกอบของเนื้อดินแยกตามขนาดอนุภาคดินในฤดูฝนและฤดูแล้ง....69

ตารางที่ 4.6 ปริมาณอินทรียวัตถุ ความหนาแน่นรวมของดิน ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าศักย์การนำไฟฟ้าของดิน ค่าความชื้นของดิน ปริมาณคาร์บอน และปริมาณไนโตรเจน ในฤดูฝนและฤดูแล้ง....69

ตารางที่ 5.1 ความหนาแน่นของต้นไม้ (ต้นต่อเฮกแตร์) DBH เฉลี่ย (เซนติเมตร) และ พื้นที่หน้าตัดรวมของลำต้น (ตารางเมตรต่อเฮกแตร์)....76

ตารางที่ 5.2 ค่า Rs ในป่าชายเลนและป่าบก....78

ตารางที่ 5.3 มวลชีวภาพราก....82

ตารางที่ 5.4 สัดส่วนมวลชีวภาพรากขนาดต่างๆ....82

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญรูปภาพ

ภาพที่ 2.1 ลักษณะช่องอากาศที่พบกระจายบนพื้นผิวรากเหนือดินของแสมทะเล....................33

ภาพที่ 2.2 ระบบรากพืชป่าชายเลน ประกอบด้วย รากหายใจ (ก), รากค้ำยัน (ข), รากพูพอน (ค) และรากหัวเข่า (ง)...34

ภาพที่ 2.3 ระบบรากของพืชสกุลลำพูและแสม ซึ่งประกอบด้วยราก 4 ชนิด ได้แก่ cable roots, pneumatophores, feeding roots และ anchor roots 34

ภาพที่ 3.1 พื้นที่ศึกษาตั้งอยู่ที่สถานีพัฒนาทรัพยากรป่าชายเลนที่ 6 จังหวัดเพชรบุรี...............36

ภาพที่ 3.2 ลักษณะพื้นที่ศึกษา พบการกระจายของแสมทะเลทั่วพื้นที่ศึกษา............................37

ภาพที่ 3.3 ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือนตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ.2525 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ.2555 ของสถานีตรวจอากาศเพชรบุรี (กรมอุตุนิยมวิทยา, ประเทศไทย)...........................40

ภาพที่ 3.4 ปริมาณน้ำฝนรายเดือนตั้งแต่เดือนมีนาคม พ.ศ.2556 ถึงเดือนมิถุนายน พ.ศ.2557 ของสถานีตรวจอากาศเพชรบุรี (กรมอุตุนิยมวิทยา, ประเทศไทย)..40

ภาพที่ 3.5 ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายเดือนในช่วง พ.ศ.2525-2555 ของสถานีตรวจอากาศ เพชรบุรี...41

ภาพที่ 3.6 ความชื้นสัมพัทธ์รายเดือนตั้งแต่เดือนมีนาคม พ.ศ.2556 ถึงเดือนมิถุนายน 2557 ของสถานีตรวจอากาศเพชรบุรี (กรมอุตุนิยมวิทยา, ประเทศไทย)..41

ภาพที่ 3.7 อุณหภูมิเฉลี่ย สูงสุด และต่ำสุดเฉลี่ยรายเดือนในช่วง พ.ศ.2525-2555 ของสถานีตรวจอากาศเพชรบุรี (กรมอุตุนิยมวิทยา, ประเทศไทย)...42

ภาพที่ 3.8 อุณหภูมิเฉลี่ย สูงสุด และต่ำสุดรายเดือนตั้งแต่เดือนมีนาคม พ.ศ.2556 ถึงเดือนมิถุนายน...42

ภาพที่ 3.9 วาง collar ครอบดินแบบรวมรากเหนือดินและหลีกเลี่ยงรากเหนือดิน...................44

ภาพที่ 3.10 วัด Rs โดยใช้เครื่อง portable photosynthesis system (LI-6400, LI-COR, Lincoln, Nebraska, USA) ที่ต่ออยู่กับ soil chamber (6400-09, LI-COR, NB, USA)..........45

ภาพที่ 3.11 ฉีดล้างดินเพื่อแยกรากใต้ดินออกมา...45

ภาพที่ 3.12 รากหายใจ (pneumatophore) (ก) และรากใต้ดิน (ข-จ) ซึ่งสามารถจำแนกได้ดังนี้ รากมีชีวิตที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0 ถึง 2 มิลลิเมตร (ข) รากมีชีวิตที่มีขนาดเส้นผ่าน

ศูนย์กลางมากกว่า 2 ถึง 5 มิลลิเมตร (ค) รากมีชีวิตที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 5 ถึง 10 มิลลิเมตร (ง) และรากตาย (จ)....................46
ภาพที่ 3.13 วิเคราะห์ลักษณะเนื้อดินด้วยวิธี Hydrometer....................50
ภาพที่ 3.14 แผนภาพสามเหลี่ยมจำแนกชนิดดิน....................50
ภาพที่ 3.15 วิเคราะห์ความเป็นกรด-ด่าง ของดิน ด้วย pH meter....................51
ภาพที่ 3.16 วัดอุณหภูมิดินโดยใช้ soil temperature probe (6000-09TC) ที่ต่อกับเครื่อง LI-6400....................51
ภาพที่ 4.1 ตำแหน่งและการปกคลุมเรือนยอดของต้นไม้ในพื้นที่ศึกษาขนาด 50 × 50 ตารางเมตร....................54
ภาพที่ 4.2 ค่า Rs เฉลี่ยเมื่อวัดโดยใช้ soil chamber ครอบดินแบบหลีกเลี่ยงรากเหนือดินในแต่ละเดือน....................55
ภาพที่ 4.3 ค่า Rs เฉลี่ยเมื่อวัดโดยใช้ soil chamber ครอบดินแบบหลีกเลี่ยงรากเหนือดินในฤดูแล้งและฤดูฝน....................56
ภาพที่ 4.4 สัดส่วนมวลชีวภาพรากใต้ดินขนาดต่างๆ 4 ขนาด....................57
ภาพที่ 4.5 สมการถดถอยเชิงเส้นตรงระหว่างมวลชีวภาพรากเหนือดินและรากใต้ดิน....................57
ภาพที่ 4.6 สมการถดถอยเชิงเส้นตรงระหว่าง Rs เมื่อครอบรากเหนือดินกับมวลชีวภาพรากเหนือดิน....................59
ภาพที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่าง Rs เมื่อครอบรากเหนือดินกับมวลชีวภาพรากใต้ดิน....................60
ภาพที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่าง Rs เมื่อครอบรากเหนือดินกับมวลชีวภาพรากทั้งหมด (เหนือดินและใต้ดิน)....................61
ภาพที่ 4.9 สมการถดถอยเชิงเส้นระหว่าง Rs เมื่อครอบรากเหนือดินกับพื้นที่ผิวรากเหนือดิน...62
ภาพที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Rs เมื่อวัดโดยใช้ soil chamber ครอบดินแบบหลีกเลี่ยงรากเหนือดินกับค่า Rh จากสมการถดถอยเชิงเส้นระหว่าง Rs กับมวลชีวภาพรากเหนือดิน.......65
ภาพที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Rs เมื่อวัดโดยใช้ soil chamber ครอบดินแบบหลีกเลี่ยงรากเหนือดินกับค่า Rh จากสมการถดถอยเชิงเส้นระหว่าง Rs กับพื้นที่ผิวรากเหนือดิน.............65
ภาพที่ 4.12 แผนที่แสดงความสูงของพื้นที่ศึกษาขนาด 50 × 50 ตารางเมตร....................67

ภาพที่ 4.13 อุณหภูมิดินที่ระดับความลึก 5 เซนติเมตร ในช่วงเวลาเดียวกับการวัด Rs 70
ภาพที่ 4.14 มวลชีวภาพจุลินทรีย์ในดินระหว่างฤดูแล้งและฤดูฝน..71
ภาพที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Rs กับอุณหภูมิดิน (r=0.426, P=0.002) 73
ภาพที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Rs และความชื้นของดินในฤดูแล้ง (r=0.903, P=0.036).73
ภาพที่ 5.1 ค่า Rs และอุณหภูมิดินในแต่ละเดือน 79
ภาพที่ 5.2 แนวโน้มค่า Rs ที่ลดลงเมื่อระดับน้ำใต้ดินเพิ่มขึ้น..79
ภาพที่ 5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิดิน (r=0.857, P<0.007)...........85
ภาพที่ 5.4 แนวโน้มมวลชีวภาพจุลินทรีย์ในดินที่เพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิดินเพิ่มขึ้น.......................87

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1
บทนำ

ป่าไม้มีบทบาทสำคัญในการดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จากบรรยากาศโดยผ่านกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงและนำมาเก็บสะสมไว้ในรูปมวลชีวภาพทั้งส่วนเหนือดินและส่วนใต้ดิน ระบบนิเวศป่าไม้สามารถเป็นได้ทั้งแหล่งกักเก็บคาร์บอน (carbon sink) และแหล่งปลดปล่อยคาร์บอน (carbon source) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับผลผลิตสุทธิของระบบนิเวศ (net ecosystem production; NEP) วิธีหนึ่งที่นิยมใช้ในการประมาณ NEP คือ summation method ซึ่งประมาณจากความแตกต่างระหว่างผลผลิตสุทธิขั้นปฐมภูมิ (net primary production; NPP) และการหายใจจากกิจกรรมของสิ่งมีชีวิตในดินที่สร้างอาหารเองไม่ได้ (heterotrophic respiration; Rh) ดังสมการ NEP = NPP – Rh (Komiyama et al., 2008; Kuzyakov and Larionova, 2005) โดย NPP สามารถประมาณได้จากผลรวมระหว่างมวลชีวภาพของพืชที่เพิ่มขึ้น (Growth increment; ΔY) ผลผลิตซากพืช (Litter production; L) และส่วนที่สูญเสียไปเนื่องจากการกัดกินของสัตว์ (Grazing by herbivores; G) อย่างไรก็ตาม G มีค่าน้อยและติดตามได้ยาก ดังนั้น NPP จึงประมาณจากผลรวมของ ΔY และ L เท่านั้น

การหายใจของดิน (soil respiration; Rs) เป็นองค์ประกอบที่สำคัญในวัฏจักรคาร์บอนของระบบนิเวศป่า ซึ่งคิดเป็น 30-80% ของการหายใจทั้งระบบนิเวศ (Davidson et al., 2006) โดยทั่วไปการหายใจของดินเป็นกระบวนการที่เกิดจาก Rh และจากการหายใจของราก (root respiration; Rr) ซึ่งมีรายงานว่า Rh และ Rr ในระบบนิเวศป่าเขตร้อนคิดเป็น 49.5 และ 50.5% ของ Rs ทั้งหมดตามลำดับ (Behera et al., 1990) Rs มีความแตกต่างกันในแต่ละระบบนิเวศป่า เนื่องจากได้รับอิทธิพลจากปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่แตกต่างกัน (Adachi et al., 2006) ปัจจัยที่ส่งผลต่อ Rs ประกอบด้วยปัจจัยทางกายภาพและปัจจัยทางชีวภาพ ปัจจัยทางกายภาพ ได้แก่ อุณหภูมิดิน และความชื้นของดินเป็นปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อ Rs (Cook and Orchard, 2008; Hashimoto et al., 2004) นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่นๆ ได้แก่ ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าของดิน ความหนาแน่นรวมของดิน และค่าความเป็นกรด-ด่าง เป็นต้น ส่วนปัจจัยทางชีวภาพ ได้แก่ อินทรียวัตถุในดิน ผลผลิตซากพืช มวลชีวภาพรากและมวลชีวภาพของจุลินทรีย์ในดิน เป็นต้น (Chimner, 2004; Lee and Jose, 2003a)

ในระบบนิเวศป่าบกมีการศึกษา Rs ในหลายระบบนิเวศ เช่น ทุ่งหญ้า (grassland) ป่าผลัดใบเขตอบอุ่น (temperate deciduous forest) และป่าเขตร้อน (tropical forest) เป็นต้น (Gupta and Singh, 1981; Meir et al., 2004; Vincent et al., 2006) ซึ่ง Rs เป็นผลรวมของ Rr และ Rr ดังที่กล่าวไปแล้วข้างต้น ดังนั้นในการประมาณ NEP จึงจำเป็นต้องแยกค่า Rh ออกจาก Rs สำหรับวิธี

ที่ใช้ในการประมาณค่า Rh มีหลายวิธี ได้แก่ Trenching method, Component integration, Isotopic methods และ Regression technique เป็นต้น (Hanson et al., 2000; Kuzyakov and Larionova, 2005) โดยแต่ละวิธีมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกัน วิธี trenching method เป็นเทคนิคที่มีการขุดดินเป็นหลุมสี่เหลี่ยม นำดินออกมาแล้วบุหลุมที่ขุดด้วยตาข่ายหรือแผ่นไวท์นิล ใส่ดินเดิมที่ขุดขึ้นมากลับลงไปในหลุมและทิ้งไว้ระยะเวลาหนึ่งเพื่อลดอิทธิพลของการย่อยสลายที่เกิดจากรากตายภายในหลุมและถือว่าบริเวณดังกล่าวไม่มีอิทธิพลจากการหายใจของราก ดังนั้นค่าที่วัดได้เกิดจากการหายใจจากกิจกรรมของสิ่งมีชีวิตในดินที่สร้างอาหารเองไม่ได้เท่านั้น แต่วิธีนี้มีข้อเสียคือ การขุดอาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความชื้นภายในดิน และอาจมีการปลดปล่อยคาร์บอนจากการย่อยสลายรากที่หลงเหลือจากการขุดมากขึ้น (Yi et al., 2007) วิธี Component integration จะทำการแยกองค์ประกอบแต่ละส่วนของดินออกจากกัน ได้แก่ ราก ดิน และซากใบไม้ จากนั้นวัดคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปลดปล่อยออกมาจากแต่ละส่วน แต่วิธีนี้มีข้อเสียคือ เกิดการรบกวนจากขั้นตอนการแยกส่วนต่างๆออกจากกันและอาจมีการเสียหายของรากเกิดขึ้น สำหรับวิธี Isotopic methods เป็นวิธีที่มีการนำไอโซโทปคาร์บอนมาประยุกต์ใช้ในการติดตามคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นการประมาณค่าที่ดีกว่าวิธีอื่นๆ เพราะไม่มีการรบกวนเกิดขึ้น แต่วิธีนี้มีความซับซ้อนและใช้ต้นทุนสูง จึงได้รับความนิยมน้อย (Hanson et al., 2000) และวิธี Regression technique เป็นวิธีการสร้างสมการถดถอยเชิงเส้นตรง (linear regression) ระหว่างค่า Rs กับมวลชีวภาพราก (root biomass) ซึ่งค่า *y*-intercept จากสมการ เมื่อมวลชีวภาพรากเป็นศูนย์ เป็นค่า Rh วิธีนี้มีข้อดีคือไม่มีความซับซ้อน และสามารถทำได้ในหลายระบบนิเวศป่า (Behera et al., 1990; Jia et al., 2006; Wang and Guo, 2006)

ป่าชายเลนเป็นระบบนิเวศที่เชื่อมต่อระหว่างระบบนิเวศบกกับทะเล โดยมีการกระจายในเขตร้อนและกึ่งร้อนทั่วโลก (Tomlinson, 1986) เป็นป่าที่มี NPP สูง และมี Rs ต่ำ (Komiyama et al., 2008; Poungparn et al., 2012) โดย Rs มีค่าอยู่ในช่วง 0.048 – 0.876 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$ อย่างไรก็ตามการศึกษาการหายใจของดินในป่าชายเลนที่ผ่านมายังมีการศึกษาน้อย (Alongi et al., 2001; Lovelock, 2008; Poungparn et al., 2009) อาจเนื่องมาจากสภาพแวดล้อมของป่าชายเลนที่มักจะถูกน้ำท่วมเป็นประจำ และมีลักษณะพื้นดินที่มีความอ่อนนุ่ม จึงทำให้เป็นอุปสรรคในการศึกษา ประกอบกับป่าชายเลนได้รับอิทธิพลจากปัจจัยสิ่งแวดล้อมหลายปัจจัย เช่น การขึ้นลงของน้ำทะเล ความเค็ม ซึ่งส่งผลต่อปริมาณออกซิเจนที่ละลายในดินและธาตุอาหารในดิน (อักษรแก้ว, 2541) จึงทำให้พืชป่าชายเลนแต่ละชนิดต้องมีการปรับตัวเพื่อให้อยู่รอดในสภาวะแวดล้อมดังกล่าว โดยการปรับตัวและการเจริญเติบโตของพืชป่าชายเลนจะแตกต่างจากพืชป่าบกอย่างชัดเจน โดยเฉพาะการพัฒนาระบบรากเหนือดิน ซึ่งพืชป่าชายเลนแต่ละชนิดมีการพัฒนาระบบรากเหนือดินที่แตกต่างกัน เช่น กลุ่มไม้โกงกาง (*Rhizophora*) มีการพัฒนาระบบรากค้ำยัน (stilt root) กลุ่มไม้ถั่ว

(*Bruguiera*) มีการพัฒนาระบบรากหัวเข่า (knee root) และกลุ่มไม้แสม (*Avicennia*) มีการพัฒนาระบบรากหายใจ (pneumatophore) เป็นต้น (Tomlinson, 1986; อักษรแก้ว, 2541)

ระบบรากเหนือดินของพืชป่าชายเลนนอกจากจะช่วยในการพยุงลำต้นแล้ว ยังทำหน้าที่ในการแลกเปลี่ยนแก๊สอีกด้วย โดยการแลกเปลี่ยนแก๊สจะเกิดผ่านช่องอากาศ (lenticels) ที่กระจายปกคลุมโดยรอบพื้นผิวรากเหนือดิน (Scholander et al., 1955) จากการศึกษาของ Evans และคณะ ปี 2005 และ 2008 เกี่ยวกับลักษณะทางสัณฐานวิทยาและกายวิภาคศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับการไหลของอากาศภายใน *Rhizophora stylosa* และ *Rhizophora mangle* พบว่าภายใต้การท่วมของน้ำทะเล อากาศจากภายนอกจะไหลเข้าสู่ใบและเคลื่อนที่ผ่านส่วนต่างๆ ของพืชจนถึงส่วนราก เมื่ออากาศไปถึงรากเหนือดินจะเคลื่อนที่ผ่านแอเรงคิมาของรากเหนือดินส่งไปยังรากใต้ดินอื่นๆ หลังจากนั้นอากาศจะเคลื่อนผ่านแอเรงคิมาของระบบรากอีกครั้ง และปลดปล่อยออกสู่ภายนอกทางช่องอากาศที่กระจายอยู่บนรากเหนือดินต่อไป อีกทั้งมีรายงานว่ารากใต้ดินของพืชป่าชายเลนมีการสร้างเนื้อเยื่อแอเรงคิมาเชื่อมต่อกับช่องอากาศของรากเหนือดิน (Tomlinson, 1986) ด้วยลักษณะดังกล่าวของพืชป่าชายเลนประกอบกับการศึกษาของ Poungparn และคณะ (2009) ที่ศึกษาการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ของดินในป่าชายเลนและได้เสนอแนะว่าการหายใจของรากใต้ดินอาจมีการปลดปล่อยผ่านทางช่องอากาศของรากเหนือดิน ดังนั้นเมื่อวัดค่า Rs โดยใช้ soil chamber ครอบดินโดยหลีกเลี่ยงรากเหนือดิน ค่า Rs ที่ได้คือค่า Rh อย่างไรก็ตามยังไม่มีการพิสูจน์ข้อเสนอแนะข้างต้น

การศึกษาครั้งนี้จึงมีเป้าหมายเพื่อศึกษาการหายใจของดินในป่าแสมทะเล ซึ่งมีระบบรากเหนือดินแบบรากหายใจ โดยวัดการหายใจของดิน 2 แบบ คือ ใช้ soil chamber ครอบดินโดยรวมรากเหนือดินและหลีกเลี่ยงรากเหนือดิน ผลจากการศึกษาครั้งนี้อาจนำไปสู่ทางเลือกในการประมาณค่า Rh ในระบบนิเวศป่าชายเลน ที่สะดวกมากยิ่งขึ้น สำหรับใช้ในการประมาณ NEP ต่อไป

1.1 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาการหายใจของดินในป่าแสมทะเล (*Avicennia marina* (Forsk.) Vierh.) จังหวัดเพชรบุรี

1.2 สมมติฐาน

การหายใจจากกิจกรรมของสิ่งมีชีวิตในดินที่สร้างอาหารเองไม่ได้จากการประมาณโดยวิธีการ Regression technique เท่ากับการหายใจของดินเมื่อวัดโดยใช้ soil chamber ครอบดินโดยหลีกเลี่ยงรากเหนือดิน

1.3 ขอบเขตการศึกษา

ศึกษาการหายใจของดินโดยใช้ soil chamber ครอบดินแบบรวมรากเหนือดินและแบบหลีกเลี่ยงรากเหนือดิน ศึกษาในป่าแสมทะเล (*A. marina* (Forsk.) Vierh.) ซึ่งอยู่ภายใต้การดูแลของสถานีพัฒนาทรัพยากรป่าชายเลนที่ 6 ต.บางขุนไทร อ.บ้านแหลม จ.เพชรบุรี

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

1. ทราบความสัมพันธ์ระหว่างการหายใจของดินและมวลชีวภาพราก
2. สามารถประมาณค่าการหายใจของดินสิ่งมีชีวิตในดินที่สร้างอาหารเองไม่ได้ในระบบนิเวศป่าชายเลนได้สะดวกและง่ายมากขึ้น เพื่อใช้ในการประมาณผลผลิตสุทธิของระบบนิเวศต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 2
การตรวจสอบเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ผลผลิตสุทธิของระบบนิเวศ (Net ecosystem production; NEP)

ผลผลิตสุทธิของระบบนิเวศ หรือ NEP สามารถประมาณได้จากความแตกต่างระหว่างมวลชีวภาพทั้งหมดที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของระบบนิเวศกับการหายใจทั้งหมดของระบบนิเวศทั้งการหายใจจากสิ่งมีชีวิตที่สังเคราะห์ด้วยแสงได้และการหายใจจากสิ่งมีชีวิตที่สังเคราะห์ด้วยแสงไม่ได้ ซึ่งค่าดังกล่าวสามารถบอกได้ว่าระบบนิเวศป่าเป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอนซึ่งเรียกว่า Carbon sinks หรือเป็นแหล่งปลดปล่อยคาร์บอนที่เรียกว่า Carbon sources (Malhi et al., 1999; Valentini et al., 2000) ทั้งนี้ NEP จะแปรผันตามช่วงอายุของป่าและผลจากการถูกรบกวนของป่านั้นๆ (Campbell et al., 2004) ในการประมาณ NEP สามารถประมาณได้ 2 วิธี ได้แก่ Eddy covariance technique และ Summation method โดยวิธี Eddy covariance technique เป็นการวัดการไหลเวียนของอากาศโดยตรง ดูจากค่าความหนาแน่นฟลักซ์ของอากาศที่ไหลเวียนในชั้นบรรยากาศที่แสดงถึงปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิที่แลกเปลี่ยนระหว่างชั้นบรรยากาศและเรือนยอด ซึ่งจะได้ออกมาเป็นค่าการแลกเปลี่ยนคาร์บอนสุทธิของระบบนิเวศ (net ecosystem exchange; NEE) โดยค่า NEE = -NEP ถ้าค่า NEE เป็นลบ แสดงว่าระบบนิเวศป่าเป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอน แต่ถ้าค่า NEE เป็นบวก แสดงว่าระบบนิเวศป่าเป็นแหล่งปลดปล่อยคาร์บอน วิธีนี้มีความแม่นยำสูง แต่มีข้อจำกัด คือเครื่องมือมีราคาแพง (Baldocchi, 2003; Kominami et al., 2008; Komiyama et al., 2008) สำหรับวิธี Summation method เป็นวิธีที่ได้รับความนิยม เนื่องจากไม่ต้องใช้เครื่องมือที่มีราคาแพง และสามารถทราบปริมาณคาร์บอนในแต่ละองค์ประกอบของระบบนิเวศได้ Summation method เป็นการประมาณ NEP จากผลต่างระหว่างผลผลิตสุทธิขั้นปฐมภูมิ (Net primary productivity; NPP) กับการหายใจจากกิจกรรมของสิ่งมีชีวิตในดินที่สร้างอาหารเองไม่ได้ (Heterotrophic respiration; Rh) ดังสมการคือ NEP = NPP – Rh (Komiyama et al., 2008; Kuzyakov and Larionova, 2005) NPP คำนวณได้จากผลรวมของมวลชีวภาพของพืชที่เพิ่มขึ้น (Growth increment; ΔY) ผลผลิตซากพืช (Litter production; L) และส่วนที่สูญเสียไปเนื่องจากการกัดกินของสัตว์ (Grazing by herbivores; G) อย่างไรก็ตาม G มีค่าน้อยและติดตามได้ยาก การประมาณ NPP จึงเป็นผลรวมระหว่าง ΔY และ L เท่านั้น ดังนั้น NEP จึงประมาณได้จากผลรวมของ ΔY กับ L หักลบด้วย Rh (NEP = ΔY + L - Rh)

จากการตรวจสอบเอกสารพบว่ามีการศึกษา NEP ในหลายระบบนิเวศ เช่น ระบบนิเวศป่าในเขตขั้วโลกจากการศึกษาของ Bond-lamberty และคณะ ปี 2004 โดยใช้วิธี summation method ศึกษา NEP ของป่าที่เคยเกิดไฟป่า 7 พื้นที่ที่มีอายุต่างกัน พบว่า NEP มีความผันแปรไปตามช่วงอายุป่า โดยป่าที่มีอายุน้อยและป่าที่มีอายุมากเป็นป่าที่ไม่สามารถกักเก็บคาร์บอนได้ มีค่าเท่ากับ -1.36 และ -0.19 ton C ha-1y-1 ตามลำดับ ขณะที่ป่าที่มีอายุอยู่ในช่วงกลางๆ เป็นป่าที่สามารถกักเก็บคาร์บอนได้ดีมีผลผลิตสุทธิของระบบนิเวศอยู่ในช่วง 1 - 3 ton C ha-1yr-1 ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากป่าที่มีอายุน้อยหลังเกิดไฟป่าจะมีการย่อยสลายสูงกว่าป่าที่มีอายุอยู่ในช่วงกลางๆ และป่าที่มีอายุมาก Rh จึงมีค่าสูง ขณะที่ป่าที่มีอายุมากๆ แม้จะมี Rh น้อย แต่ NPP ก็น้อยเช่นกัน จึงทำให้ป่าทั้งสองช่วงอายุนี้เป็นแหล่งปลดปล่อยคาร์บอน ส่วนป่าที่มีอายุอยู่ในช่วงกลางๆ NPP สูง จึงยังคงเป็นป่าที่มีความสามารถในการกักเก็บคาร์บอน สำหรับระบบนิเวศป่าสนเขตอบอุ่นซึ่งเป็นป่าปลูกจากการศึกษาของ Arain และ Restrepo-Coupe ปี 2005 โดยใช้วิธี eddy covariance พบว่า NEP มีค่า 1.96 ton C ha-1yr-1 ซึ่งถือว่ามีค่าต่ำเมื่อเทียบกับป่าปลูกชนิดอื่นๆ ในเขตอบอุ่น โดย NEP จะมีค่าลดลงตามการเพิ่มขึ้นของอายุป่า แต่ในระบบนิเวศป่าตามธรรมชาติ NEP จะเพิ่มขึ้นเมื่อป่ามีอายุมากขึ้น ทั้งนี้จะเห็นว่าแนวโน้มผลผลิตสุทธิของระบบนิเวศในป่าปลูกและป่าธรรมชาติในเขตอบอุ่นแตกต่างกันเนื่องจากมีความแตกต่างในเรื่ององค์ประกอบต่างๆ ของป่า เช่น อายุป่า ความหนาแน่นต้นไม้ ค่าดัชนีพื้นที่ใบ เป็นต้น สำหรับระบบนิเวศทุ่งหญ้าและพื้นที่เพาะปลูกจากการศึกษาของ Pereira และคณะ ปี 2007 ด้วยวิธี eddy covariance พบว่า NEP ในพื้นที่เพาะปลูกที่ประกอบด้วยต้นยูคาลิปตัส พื้นที่เพาะปลูกที่ประกอบด้วยโอ๊ค และระบบนิเวศทุ่งหญ้า มีค่าอยู่ในช่วง 3.99 - 8.61 0.28 - 1.40 และ -0.49 - 1.90 ton C ha-1yr-1 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าระบบนิเวศในพื้นที่เพาะปลูกที่ประกอบด้วยต้นยูคาลิปตัสมี NEP สูงกว่าอีกสองระบบนิเวศ จะเห็นว่าพื้นที่เพาะปลูกที่ประกอบด้วยต้นยูคาลิปตัสมีความสามารถในการกักเก็บคาร์บอนได้ดีกว่าส่วนอีกสองระบบนิเวศ เนื่องจากพื้นที่เพาะปลูกที่ประกอบด้วยโอ๊คและระบบนิเวศทุ่งหญ้ามี NPP สูง และมี Rh สูงด้วย ซึ่งแตกต่างจากพื้นที่เพาะปลูกที่ประกอบด้วยยูคาลิปตัสที่มีค่า Rh ต่ำกว่า ส่วนในระบบนิเวศทุ่งหญ้าเขตอบอุ่นทางตอนเหนือของประเทศจีน จากการศึกษาของ Zhang และคณะ ปี 2014 ที่ศึกษาโดยการรวบรวมข้อมูล NEP ตั้งแต่ปี 2000 ถึง 2010 เพื่อพัฒนาโมเดลสำหรับใช้ประมาณ NEP ซึ่งจากการศึกษาพบว่า NEP มีค่าอยู่ในช่วง 1.29 - 2.17 ton C ha-1yr-1 โดยทุ่งหญ้าทางตอนเหนือซึ่งมีตำแหน่งละติจูดสูงกว่ามี NEP สูงกว่าทางภาคตะวันตกซึ่งมีตำแหน่งละติจูดที่ต่ำกว่า เนื่องจากทั้งสองพื้นที่มีชนิดพืชและปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่แตกต่างกัน แสดงให้เห็นว่าทุ่งหญ้าทางตอนเหนือมีความสามารถในการกักเก็บคาร์บอน

ได้ดีกว่าทางภาคตะวันตก และสำหรับระบบนิเวศป่าชายเลนจากการศึกษาของ Barr และคณะ ปี 2006 และ 2010 ที่ศึกษาด้วยวิธี eddy covariance ในป่าชายเลนที่รัฐฟลอริดา ประเทศสหรัฐอเมริกา พบว่า NEP มีค่าอยู่ในช่วง 7 - 11 ton C ha-1yr-1 และจากการศึกษาของ Poungparn และคณะ ปี 2012 ที่ศึกษา NEP ของป่าชายเลนที่จังหวัดตราด โดยใช้วิธี summation method พบว่า NEP ของป่าชายเลนจากการศึกษาครั้งนี้มีค่าอยู่ในช่วง 7.75 – 10.50 ton C ha-1yr-1

จากการตรวจสอบเอกสารดังกล่าวจะเห็นว่า NEP มีค่าแตกต่างกันในแต่ละระบบนิเวศ และเมื่อเปรียบเทียบ NEP ระหว่างระบบนิเวศป่าบกกับป่าชายเลน จะเห็นว่าป่าชายเลนมี NEP สูงกว่าป่าบก ซึ่งแสดงให้เห็นถึงศักยภาพของป่าชายเลนในการเป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอน

2.2 การหายใจของดิน (Soil respiration; Rs)

การหายใจของดิน (Soil respiration; Rs) เป็นองค์ประกอบหลักของวัฏจักรคาร์บอน (Raich and Schlesinger, 1992) คิดเป็น 30 – 80% ของการหายใจทั้งหมดของระบบนิเวศ (Davidson et al., 2006) หากการหายใจของดินเกิดการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของ NEP การหายใจของดินประกอบด้วยการหายใจของราก (Root respiration; Rr) และการหายใจจากกิจกรรมของสิ่งมีชีวิตในดินที่สร้างอาหารเองไม่ได้ (Heterotrophic respiration; Rh) โดยในระบบนิเวศป่าเขตร้อนพบว่า Rh คิดเป็น 49.5% สำหรับ Rr คิดเป็น 50.5% ของ Rs ทั้งหมด (Behera et al., 1990) ทั้งนี้องค์ประกอบทั้งสองส่วนของการหายใจของดินจะมีอิทธิพลต่อการหายใจของดินมากหรือน้อยเพียงใดขึ้นกับชนิดของป่าและปัจจัยสิ่งแวดล้อมต่างๆ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากการตรวจสอบเอกสารพบว่ามีการศึกษาเกี่ยวกับ Rs ในหลายระบบนิเวศ (ตารางที่ 2.1) เช่น ในป่าฝนเขตร้อนจากการศึกษาของ Maggs และ Hewett ในปี 1990 ซึ่งศึกษา Rs โดยใช้ alkali trap method พบว่า Rs มีค่าเท่ากับ 7.16 μmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$ โดยมีอัตราการหายใจของดินในฤดูฝนสูงที่สุด ขณะที่ป่าเขตร้อนในอะเมซอนจากการศึกษาของ Meir และคณะ ปี 2004 พบว่า Rs มีค่าอยู่ในช่วง 4.35 - 9.76 μmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$ โดย Rs จะแปรผันตามอุณหภูมิดิน กล่าวคือเมื่ออุณหภูมิดินสูงขึ้น Rs ก็มีค่าสูงขึ้นเช่นกัน สำหรับป่าเขตขั้วโลกจากการศึกษาของ Khomik และคณะ ปี 2006 พบว่า Rs มีค่าอยู่ในช่วง 0.4 - 6.9 μmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$ โดยมีอุณหภูมิดินเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อ Rs ระบบนิเวศทุ่งหญ้าจากการศึกษาของ Ferre และคณะ ปี 2011 พบว่า Rs มีค่าอยู่ในช่วง 1.5 - 7.4 μmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$ ซึ่งอุณหภูมิดินเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อ Rs เช่นเดียวกัน และสำหรับระบบนิเวศป่าชายเลนจากการศึกษาของ Lovelock ปี 2008 ในหลายๆ พื้นที่ของป่าชายเลนของประเทศออสเตรเลียและนิวซีแลนด์ พบว่ามีค่า Rs อยู่ในช่วง 0.371 - 0.511 μmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$ ซึ่งในทุกๆ

พื้นที่ที่ทำการศึกษาพบความสัมพันธ์ระหว่างค่า Rs กับผลผลิตซากพืชและค่าดัชนีพื้นที่ใบ (Leaf area index; LAI) และ Rs มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิดิน การศึกษาของ Poungparn และคณะ ปี 2009 ที่ศึกษาเกี่ยวกับการปลดปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จากดินใน 3 เขตพันธุ์ไม้ของพืชป่าชายเลน ได้แก่ เขตไม้แสม เขตไม้โกงกาง และเขตไม้ตะบูน พบว่า Rs มีค่าอยู่ในช่วง 0.456 - 0.876 μmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$ โดย Rs ไม่มีความแตกต่างกันระหว่างเขตพันธุ์ไม้ แต่พบความสัมพันธ์ระหว่าง Rs และอุณหภูมิดิน

จากการตรวจสอบเอกสารเหล่านี้ทำให้เห็นว่าการหายใจของดินมีความแตกต่างกันไปในแต่ละระบบนิเวศ ทั้งนี้ขึ้นกับชนิดป่าและปัจจัยสิ่งแวดล้อมต่างๆ และจะเห็นว่าในระบบนิเวศป่าชายเลนมีการหายใจต่ำเมื่อเทียบกับระบบนิเวศป่าบกอื่นๆ ทั้งนี้อาจเนื่องจากการที่ป่าชายเลนได้รับอิทธิพลจากน้ำขึ้นน้ำลงอย่างสม่ำเสมอ ทำให้ดินอยู่ในสภาวะขาดออกซิเจน (McKee et al., 1988) จึงอาจส่งผลให้การหายใจของดินในป่าชายเลนต่ำกว่าระบบนิเวศป่าบกอื่นๆ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 2.1 ค่า Rs ในระบบนิเวศป่าต่างๆ

ระบบนิเวศป่า	สถานที่	การหายใจของดิน ($\mu mol\ CO_2 m^{-2} s^{-1}$)	เอกสารอ้างอิง
ป่าฝนเขตร้อน	ประเทศออสเตรเลีย	7.16	Maggs and Hewett 1990
ป่าเขตร้อน	ป่าอะเมซอน ประเทศบราซิล	4.35 - 9.76	Meir et al., 2004
ป่าเขตขั้วโลก	ประเทศแคนาดา	0.40 - 6.90	Khomik, et al., 2006
ทุ่งหญ้า	ประเทศอิตาลี	1.50 - 7.40	Ferre et al., 2011
ป่าชายเลน	ประเทศออสเตรเลียและนิวซีแลนด์	0.37 - 0.51	Lovelock 2008
	จังหวัดตราด ประเทศไทย	0.46 – 0.88	Poungparn et al., 2009

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.2.1 ปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่มีอิทธิพลต่อการหายใจของดิน

ปัจจัยทางกายภาพ

1. อุณหภูมิดิน

อุณหภูมิดินเป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อ Rs เมื่ออุณหภูมิดินสูงขึ้นกิจกรรมต่างๆของจุลินทรีย์ในดินก็เพิ่มขึ้นด้วย ส่งผลให้มีการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์จากดินเพิ่มขึ้น ดังนั้น Rs จึงมีค่าสูงขึ้น (Michelsen-Correa and Scull, 2005; Witkamp, 1966) ดังเช่นการศึกษาของ Li และคณะ ปี 2010 ในพื้นที่เพาะปลูกทางตอนเหนือของประเทศจีน พบว่า Rs มีค่าอยู่ในช่วง 0.515 – 1.426 $\mu mol\ CO_2\ m^{-2} s^{-1}$ และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิดิน โดยพบความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่าง Rs กับอุณหภูมิดิน (linear regression) ขณะที่การศึกษาของ Liang และคณะ ปี 2013 ในป่าชายเลนเขตกึ่งร้อน พบว่า

Rs มีค่าอยู่ในช่วง 0.30 – 6.18 μmol CO_2 m^{-2} s^{-1} โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.72 μmol CO_2 m^{-2} s^{-1} และพบว่าเมื่ออุณหภูมิดินเพิ่มขึ้น Rs จะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย โดยมีรูปแบบความสัมพันธ์เป็นแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล (exponential regression)

2. ความชื้นของดิน

ความชื้นของดินส่งผลต่อการแพร่ของแก๊สและกิจกรรมต่างๆของสิ่งมีชีวิตในดิน โดยเมื่อความชื้นของดินสูงขึ้น ความเข้มข้นของออกซิเจนในดินจะต่ำลง ดังนั้นการแพร่ของแก๊สในดินจึงลดลง กิจกรรมต่างๆของสิ่งมีชีวิตในดินจึงถูกยับยั้ง (Linn and Doran, 1984) ดังเช่น การศึกษาของ Adachi และคณะ ปี 2006 ศึกษา Rs ใน 3 ระบบนิเวศป่า ได้แก่ ป่ารุ่นหนึ่ง ป่ารุ่นสอง และสวนปาล์ม พบว่า Rs มีค่าเท่ากับ 5.246 5.290 และ 6.098 μmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$ ตามลำดับ และมีความชื้นของดิน 17.5 ± 7.6 15.2 ± 2.7 และ 15.6 ± 4.5% ตามลำดับ โดยพบความสัมพันธ์เชิงลบระหว่าง Rs และความชื้นของดินในป่ารุ่นหนึ่งและป่ารุ่นสอง ในขณะที่บางการศึกษารายงานว่าเมื่อความชื้นของดินสูงขึ้น Rs จะเพิ่มขึ้นด้วย เช่น การศึกษาของ Hashimoto และคณะ ปี 2004 ที่ศึกษา Rs ในป่าเขตร้อน ทางภาคเหนือของประเทศไทย พบว่า Rs มีค่าอยู่ในช่วง 2.14 – 14.09 μmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$ ซึ่ง Rs มีค่าสูงในฤดูฝนและมีค่าต่ำในฤดูแล้ง และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของความชื้นของดิน หรือการศึกษาของ Yan และคณะ ปี 2009 ศึกษา Rs ของระบบนิเวศป่าในเขตกึ่งร้อน 3 ชนิด ทางภาคใต้ของประเทศจีน ได้แก่ ป่าดิบใบกว้าง ป่าสนใบกว้าง และป่าสนเขา พบว่า Rs มีค่าเท่ากับ 135.221 68.843 และ 119.025 μmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$ ตามลำดับ โดยพบความสัมพันธ์เชิงบวกระหว่าง Rs กับความชื้นของดิน แต่เมื่อความชื้นของดินสูงมากๆถึงประมาณ 40% Rs จะมีแนวโน้มลดลง

3. ความเป็นกรด-ด่าง

ความเป็นกรด-ด่าง เป็นปัจจัยที่ควบคุมองค์ประกอบของจุลินทรีย์ในดินที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายอินทรียสารหรือกระบวนการอื่นๆที่มีผลต่อการหายใจของดิน โดยเมื่อดินมีค่าความเป็นกรด-ด่างมากขึ้น ส่งผลให้การทำงานของจุลินทรีย์ในดินลดลง Rs จึงลดลง (Fierer and Jackson, 2006) Lai และคณะ ปี 2012 ศึกษา Rs ในพื้นที่การเกษตรและป่าธรรมชาติ รวมทั้งศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง Rs และปัจจัยสิ่งแวดล้อมต่างๆ พบว่านอกจาก

อุณหภูมิดินและความชื้นของดินแล้ว ความเป็นกรด-ด่างเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่ส่งผลต่อ Rs โดยเมื่อดินมีค่าความเป็นกรด-ด่างมากกว่า 7.0 หรือดินมีฤทธิ์เป็นด่างจะส่งผลให้ Rs ลดลง

4. ความหนาแน่นรวมของดิน

Rs จะลดลงตามการเพิ่มขึ้นของความหนาแน่นรวมของดิน (Liebig et al., 1995) เนื่องจากดินที่มีความหนาแน่นรวมต่ำเป็นดินที่มีช่องอากาศสูงกว่าดินที่มีความหนาแน่นรวมของดินสูง ทำให้การทำงานหรือการดำเนินกิจกรรมต่างๆของจุลินทรีย์ในดินเพิ่มขึ้น (Torbert and Wood, 1992) Rs จึงเพิ่มขึ้นด้วย

<u>ปัจจัยทางชีวภาพ</u>

1. มวลชีวภาพราก

Rr เป็นองค์ประกอบหนึ่งของ Rs ดังนั้นเมื่อมวลชีวภาพรากเพิ่มขึ้น Rr จึงมีค่าเพิ่มขึ้น และทำให้ Rs มีค่าสูงขึ้นด้วย เช่น การศึกษาของ Adachi และคณะ ปี 2006 พบว่าในป่ารุ่นหนึ่งที่ประกอบด้วยพืชในวงศ์ยางนา (Dipterocarpaceae) Rs มีค่าเท่ากับ 5.246 µmolCO_2 $m^{-2}s^{-1}$ โดยพบความสัมพันธ์เชิงบวกระหว่าง Rs และมวลชีวภาพราก หรือการศึกษาของ Han และคณะ ปี 2007 ศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยทางกายภาพและชีวภาพที่ส่งผลต่อ Rs ในพื้นที่การเกษตร และพบว่ามวลชีวภาพรากเป็นปัจจัยทางชีวภาพที่ส่งผลต่อ Rs โดย Rs จะเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของมวลชีวภาพราก นอกจากนี้ยังมีการศึกษา Rs และพบความสัมพันธ์ดังกล่าวในอีกหลายๆระบบนิเวศ เช่น ป่าเขตร้อน ทุ่งหญ้า (Behera et al., 1990; Jia et al., 2006; Wanga et al., 2005)

2. มวลชีวภาพจุลินทรีย์ในดิน

จุลินทรีย์ในดินมีบทบาทสำคัญต่อกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่างๆในดิน ทำให้เกิดการผลิตแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จากกิจกรรมดังกล่าว เมื่อจุลินทรีย์ในดินมีกิจกรรมการย่อยสลายมากขึ้น ทำให้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในดินเพิ่มขึ้น Rs ก็เพิ่มขึ้นด้วย เช่น Lee และคณะ ปี 2003 ที่ศึกษา Rs กับมวลชีวภาพจุลินทรีย์ในดินในระบบวนเกษตรที่ประกอบด้วยถั่วและฝ้าย พบว่า Rs และมวลชีวภาพจุลินทรีย์ในดินมีค่าอยู่ในช่วง 1.117 – 4.899 µmol $CO_2m^{-2}s^{-1}$ และ 88 - 376 mg C kg^{-1} ตามลำดับ โดย Rs มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของมวลชีวภาพจุลินทรีย์ในดิน การศึกษาของ Wang และคณะ ปี 2003 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง Rs กับมวลชีวภาพจุลินทรีย์ในดิน และสารอาหารต่างๆ พบว่า

Rs มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับมวลชีวภาพจุลินทรีย์ในดินเช่นเดียวกัน ในขณะที่ไม่พบความสัมพันธ์ดังกล่าวในบางการศึกษา เช่น การศึกษาของ Sato และ Seto ปี 1999 ที่ศึกษาในระบบนิเวศป่าและดินที่ใช้ในการเพาะปลูก พบว่าไม่พบความสัมพันธ์ระหว่าง Rs และมวลชีวภาพจุลินทรีย์ในดิน แต่พบความสัมพันธ์ระหว่าง Rs กับสารอินทรีย์ละลายน้ำ

2.3 วิธีการประมาณการหายใจของสิ่งมีชีวิตในดินที่สร้างอาหารเองไม่ได้

จากการตรวจสอบเอกสารดังกล่าวจะเห็นได้ว่าปัจจุบันมีการศึกษาเกี่ยวกับ Rs อย่างกว้างขวางในหลายระบบนิเวศ โดยเฉพาะในระบบนิเวศป่าบก อย่างไรก็ตามในการประมาณ NEP ด้วยวิธี summation method จำเป็นต้องประมาณ Rh ซึ่งสามารถหาได้จากการแยกองค์ประกอบของ Rs ทั้งนี้สามารถทำได้หลายวิธี (Hanson et al., 2000; Kuzyakov and Larionova, 2005) ได้แก่ Component integration, Root exclusion, Isotopic methods และ Regression technique เป็นต้น

1. Component integration เป็นการวัดการปลดปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จากแต่ละองค์ประกอบของดิน เช่น ราก ดิน และซากพืช (litter) เป็นต้น โดยคำนวณค่าอัตราการปลดปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ของแต่ละองค์ประกอบเปรียบเทียบกับมวลขององค์ประกอบนั้นๆ วิธีนี้มีข้อเสียคือ การแยกองค์ประกอบจากแต่ละส่วนทำให้ลักษณะทางกายภาพขององค์ประกอบนั้นๆ เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม เช่น การล้างรากเพื่อแยกออกจากดินทำให้ความชื้นของรากเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม ซึ่งส่งผลต่อการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นต้น (Hanson et al., 2000; Sapronov and Kuzyakov, 2007)

2. Root exclusion เป็นการวัด Rs โดยเปรียบเทียบกันระหว่างบริเวณที่มีและไม่มีราก ซึ่งสามารถทำได้ 3 วิธี คือ root removal, trenching และ gap analysis (Hanson et al., 2000)

1. Root removal เป็นการขุดดินขึ้นมา แยกรากออก และวางแผ่นกั้นรอบหลุมเพื่อป้องกันไม่ให้รากเจริญเข้ามา จากนั้นนำดินใส่กลับลงไปในหลุมเดิม วิธีนี้มีข้อดีคือ ไม่มีอิทธิพลจากการย่อยสลายของรากตายที่ถูกรบกวนจากการขุดในตอนแรกมาเกี่ยวข้อง แต่การที่ไม่มีรากจะส่งผลให้การระเหยลดลงเล็กน้อย ทำให้ชุดการศึกษาที่มีการเอารากออกมีความชื้นมากกว่าชุดควบคุมซึ่งไม่มีการเอารากออก (Wiant, 1967)

CHULALONGKORN UNIVERSITY

2. Trenching เป็นวิธีที่ได้รับความนิยมมาก โดยทำการขุดดินเป็นหลุมสี่เหลี่ยม นำดินออกมาแล้วบุผนังที่ขุดด้วยตาข่ายหรือแผ่นไวท์นิล ใส่ดินเดิมที่ไม่มีการแยกรากออกกลับลงไปในหลุม ทิ้งไว้ระยะเวลาหนึ่งแล้วจึงวัด Rs เพื่อลดอิทธิพลของการย่อยสลายที่เกิดจากรากตายภายในหลุม บริเวณดังกล่าวจึงถือว่าไม่มีอิทธิพลจาก Rr ดังนั้นค่า Rs ที่ได้จึงเป็นค่าที่มาจาก Rh เท่านั้น วิธีนี้มีการใช้กันแพร่หลายในหลายๆระบบนิเวศ อย่างไรก็ตามยังมีข้อเสียคือ การขุดส่งผลให้ปัจจัยสิ่งแวดล้อมโดยเฉพาะอุณหภูมิดินและความชื้นดินมีการเปลี่ยนแปลง ทำให้ปัจจัยสิ่งแวดล้อมมีความแตกต่างกันในชุดที่มีการขุดและไม่มีการขุดหลุม อีกทั้งอาจเกิดการย่อยสลายรากที่หลงเหลืออยู่ในดินโดยการขุดในตอนแรก ซึ่งจะมีผลในการเพิ่ม Rs ดังนั้นหลายการศึกษาจึงปล่อยหลุมที่ขุดทิ้งไว้หลายๆเดือนแล้วจึงวัด Rs หรือบางการศึกษาทำการศึกษาการย่อยสลายรากเพื่อหักลบกับ Rs

Yi และคณะ ปี 2007 ประมาณ Rr และ Rh ในป่าเขตกึ่งร้อน (subtropical forest) ทางตอนใต้ของประเทศจีน โดยแบ่งการศึกษาตามลักษณะของป่า คือป่าดิบใบกว้างเขตมรสุม (monsoon evergreen broad-leaf forest; BF) ป่าสน (pine forest; PF) และป่าผสมระหว่างป่าสนและป่าใบกว้าง (pine forest and broad-leaf mixed forest; MF) โดยใช้วิธี trenching ในการแยกองค์ประกอบของ Rs พบว่า Rs มีค่า 3.017 2.711 และ 2.749 μmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$ ในป่า BF, PF และ MF ตามลำดับ Rr มีค่าอยู่ในช่วง 0.307 – 1.048 μmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$ และ Rh มีค่าอยู่ในช่วง 0.618 – 1.016 μmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$ อย่างไรก็ตามการรบกวนโดยการขุด ส่งผลให้อุณหภูมิดินและความชื้นดินเกิดการเปลี่ยนแปลง อีกทั้งการย่อยสลายรากตายในหลุมที่ขุดส่งผลให้ Rs เพิ่มขึ้น จากการศึกษานี้ทำให้พบว่าต้องทิ้งช่วงประมาณ 4 เดือนหลังจากการขุดหลุมจึงจะสามารถลดอิทธิพลที่เกิดจากการย่อยสลายรากในหลุมได้และ Rs จะมีความเสถียร

Lee และคณะ ปี 2003 ศึกษาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลกับ Rr และ Rh ในป่าผลัดใบเขตอบอุ่น ประเทศญี่ปุ่น ซึ่งใช้วิธี trenching ในการศึกษา ตั้งแต่เดือนพฤษภาคม ปี 2000 ถึงเดือนกันยายน ปี 2001 พบว่า Rs ทั้งในแปลงที่มีการขุด (trenched plot) และไม่มีการขุด (control plot) มีแนวโน้มลดลงในช่วงฤดูใบไม้ร่วง (เดือนเมษายนถึงเดือนพฤษภาคม) และมีค่าเพิ่มขึ้นจากเดือนพฤษภาคมถึงเดือนสิงหาคม โดยค่า Rs ในแปลงที่มีการขุดมีอัตราต่ำกว่าแปลงที่ไม่มีการขุด 16 - 37% ยกเว้นในช่วง 2 เดือนแรกหลังจากการขุด นอกจากนี้ยังศึกษาการย่อยสลายควบคู่ไปด้วยเพื่อหักลบคาร์บอนไดออกไซด์ที่

เพิ่มขึ้นจากการย่อยสลายรากตายที่เกิดจากการขุดหลุม ซึ่งพบว่าการย่อยสลายที่เกิดขึ้นดังกล่าวมีอิทธิพลต่อ Rs 16% ในช่วงปีแรกหลังจากการขุด และ 7 - 8% ในปีที่สอง ดังนั้นจึงควรพิจารณาอิทธิพลที่เกิดจากการย่อยสลายรากที่เหลืออยู่ในแปลงที่มีการขุดหลุม เพื่อการประมาณค่าที่แม่นยำมากขึ้น

3. Gap analysis เป็นการนำพืชออกไป จากบริเวณพื้นที่ศึกษา เพื่อเป็นการลดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่จะถูกปลดปล่อยออกมาจากดิน เช่น การตัดไม้ เป็นต้น จากนั้นวัด Rs จากบริเวณที่นำพืชออกไปกับบริเวณพื้นที่ป่าเพื่อเปรียบเทียบกัน

3. Isotopic methods เป็นวิธีการประยุกต์ใช้คาร์บอนไอโซโทปมาติดตาม วิธีนี้มีข้อดีมากกว่าวิธีอื่นๆ เพราะสามารถแยกวัดองค์ประกอบต่างๆได้ ไม่มีการรบกวนที่จะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของแก๊สคาร์บอนได้ออกไซด์ แต่ก็มีข้อเสียคือ มีความซับซ้อน และใช้ต้นทุนสูงในการศึกษา

4. Regression technique เป็นวิธีการสร้างสมการถดถอยระหว่างค่า Rs และมวลชีวภาพราก โดยค่า *y*-intercept คือจุดที่รากมีค่าเป็นศูนย์ ดังนั้นจึงประมาณได้ว่าค่าดังกล่าว คือค่า Rh วิธีนี้เป็นวิธีที่ไม่ซับซ้อนและง่ายกว่าวิธี Component integration และ Root exclusion อีกทั้งไม่จำเป็นต้องมีการศึกษาทดลองก่อนที่จะมีการศึกษาจริงๆและสามารถใช้ศึกษาได้ในหลายระบบนิเวศป่า (Davidson et al., 2000) เช่น การศึกษา Rr และ Rh ในป่าเขตร้อนประเทศอินเดีย พบสมการถดถอยเชิงเส้นตรงระหว่าง Rs และมวลชีวภาพราก โดยพบว่า Rh และ Rr มีค่า 49.5 และ 50.5% ของ Rs ทั้งหมด ตามลำดับ (Behera et al., 1990) หรือการศึกษาของ Wang และ Guo ปี 2006 เกี่ยวกับ Rs และการแยกองคีประกอบของ Rs ในทุ่งหญ้าสเตปป์ที่มี *Puccinellia tenuiflora* เป็นพืชชนิดเด่น โดยใช้วิธีสร้างสมการถดถอยเชิงเส้นตรงระหว่าง Rs และมวลชีวภาพราก พบว่า Rs มีค่าอยู่ในช่วง 0.39 - 2.45 $\mu molCO_2\ m^{-2}s^{-1}$ สำหรับ Rh และ Rr มีค่าอยู่ในช่วง 0.6 - 1.2 $\mu molCO_2\ m^{-2}s^{-1}$ และ 0.19 - 1.39 $\mu molCO_2\ m^{-2}s^{-1}$ ตามลำดับ รวมทั้งพบความสัมพันธ์แบบเอ็กซ์โปเนนเชียลระหว่าง Rh กับอุณหภูมิดิน

นอกจากนี้ยังมีการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบ Rs ที่วัดโดยวิธีการที่แตกต่างกัน เช่น การศึกษาของ Wang และคณะ ปี 2008 ศึกษาเกี่ยวกับการแยกองค์ประกอบของ Rs ในระบบนิเวศป่าเขตกึ่งร้อน โดยเปรียบเทียบค่าที่ประมาณได้จากวิธี Regression technique กับ Trenching method พบว่าค่าที่ได้จากทั้งสองวิธีไม่แตกต่างกัน ดังนั้นทั้งสองวิธีจึงมีความเหมาะสมในการใช้ประมาณ Rh

และ Rr หรือการศึกษาของ Koerber และคณะ ปี 2010 ที่ศึกษาเกี่ยวกับการแยกองค์ประกอบของ Rs โดยการเปรียบเทียบค่า Rh ที่ได้จากการประมาณด้วยวิธี Regression technique กับค่า Rh ที่ได้จากการวัดในบริเวณที่ไม่มีราก โดยการนำค่า Rh ที่ได้จากทั้ง 2 วิธีมาทดสอบความสัมพันธ์ด้วย Pearson correlation พบว่าค่าที่ได้มีความสัมพันธ์กันสูง แสดงว่าการใช้ Regression technique ให้ค่าการประมาณที่ดีและมีความเหมาะสมในการใช้ประมาณค่า Rh และ Rr

2.4 ป่าชายเลนและความสำคัญ

ป่าชายเลนเป็นระบบนิเวศที่ประกอบไปด้วยพันธุ์พืช พันธุ์สัตว์หลายชนิด อยู่ในบริเวณน้ำขึ้น-น้ำลง โดยจะปรากฏอยู่ทั่วไปตามบริเวณที่เป็นชายฝั่งทะเล ปากแม่น้ำ หรือทะเลสาบในเขตร้อน (tropical) และกึ่งร้อน (sub-tropical) ทั่วโลก (Komiyama et al., 2008; Ong et al., 2004) ป่าชายเลนมีศักยภาพในการเป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอน เนื่องจากมี NPP สูงและมี Rs ต่ำ ทั้งนี้การที่ป่าชายเลนมี NPP สูง อาจเนื่องจากป่าชายเลนมีมวลชีวภาพและผลผลิตซากพืชสูง ซึ่งมีค่าสูงกว่าป่าบกทั่วไปในเขตร้อนถึง 16% (Komiyama et al., 2008; Poungparn et al., 2012) NPP มีการศึกษากันอย่างกว้างขวางในระบบนิเวศป่าชายเลน (Briggs, 1977; Christensen, 1978; Ong et al., 2004; Ross et al., 2001) แต่การศึกษา Rs ในระบบนิเวศป่าชายเลนยังมีน้อย ซึ่งจากรายการการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า Rs ในป่าชายเลนมีค่าอยู่ในช่วง 0.048 – 0.876 μmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$ (Lovelock, 2008; Poungparn et al., 2009) นอกจากนี้ป่าชายเลนยังมีประโยชน์อีกหลายด้าน เช่น เป็นแหล่งพลังงาน แหล่งอาหารสำคัญของสัตว์น้ำ แหล่งอนุบาลตัวอ่อน หรือเป็นแนวป้องกันการพังทลายของชายฝั่ง เป็นต้น (อักษรแก้ว, 2541) นอกจากนี้การที่ป่าชายเลนมักขึ้นอยู่ตามแนวชายฝั่ง จึงส่งผลให้ป่าชายเลนได้รับปัจจัยสิ่งแวดล้อมต่างๆหลายด้าน ดังนี้

2.4.1 สภาพแวดล้อมของป่าชายเลน

ภูมิประเทศชายฝั่ง ลักษณะภูมิประเทศเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อลักษณะโครงสร้างของพันธุ์ไม้ และเป็นตัวกำหนดสภาพพื้นที่ของป่าชายเลน ซึ่งขนาดพื้นที่จะส่งผลต่อการกระจายและชนิดของพันธุ์ไม้และสัตว์น้ำ

ภูมิอากาศ ได้แก่ แสง อุณหภูมิ ฝน ลม แสงเป็นปัจจัยที่มีบทบาทสำคัญต่อกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชในป่าชายเลน อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่สำคัญทั้งกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงและการหายใจ โดยทั่วไปอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเจริญของพันธุ์ไม้ในป่าชายเลนจะอยู่ระหว่าง 25-30 องศาเซลเซียส ปริมาณฝน ระยะเวลาที่

ฝนตกและการกระจายของฝนเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการกระจายและการเจริญเติบโตของพันธุ์ไม้ โดยปกติป่าชายเลนสามารถขึ้นอยู่และเจริญเติบโตได้ดีในพื้นที่ที่มีฝนตกประมาณ 1,500-3,000 มิลลิเมตรต่อปี และลมเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตกและการกระจายของฝน อีกทั้งยังมีอิทธิพลต่อความเร็วของกระแสน้ำและคลื่นที่มีผลต่อการพังทลายของดิน ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของป่าชายเลน

น้ำขึ้นน้ำลง เป็นตัวกำหนดการแบ่งเขตพันธุ์ไม้ของป่าชายเลน โดยในขณะน้ำลงน้ำจะไหลออกจากพื้นที่ป่าชายเลน แต่ยังคงมีน้ำบางส่วนที่ไหลออกมาไม่ได้ และตกค้างอยู่ในพื้นที่ น้ำที่ตกค้างอยู่นี้จะค่อยๆ ระเหยอย่างช้าๆ เหลือผลึกเกลือไว้แทนที่น้ำ ผลึกเกลือเหล่านี้ทำให้ความเค็มของน้ำในระบบนิเวศป่าชายเลนสูงกว่าความเค็มของน้ำทะเลบริเวณด้านนอกพื้นที่ป่าชายเลนสามเท่า และเมื่อน้ำไหลเข้ามาในป่าชายเลนอีกครั้งในช่วงที่น้ำขึ้น ผลึกเกลือที่ตกค้างอยู่ก็จะละลายน้ำอีกครั้ง แม้ว่าน้ำที่เข้ามาในป่าชายเลนในช่วงเวลาที่น้ำขึ้นในแต่ละวันจะช่วยปรับสภาพความเค็มในพื้นที่ป่าชายเลน แต่ก็ทำให้เกิดน้ำท่วมขังในดินป่าชายเลน โดยน้ำจะซึมอยู่ในช่องว่างระหว่างอนุภาคดินจนเต็ม ทำให้ปริมาณก๊าซออกซิเจนในดินมีน้อย ส่งผลให้ดินในป่าชายเลนเกิดสภาพขาดออกซิเจน และมีกลิ่นเหม็น ส่วนในเวลาฝนตก น้ำจืดจะเจือจางความเค็มของน้ำในป่าชายเลนให้ลดลง การที่สิ่งมีชีวิตจะมีชีวิตอยู่รอดได้นั้นจึงต้องมีลักษณะพิเศษหรือมีการปรับตัวหลายๆอย่าง

คลื่นและกระแสน้ำ คลื่นบริเวณชายฝั่งมีความสำคัญในแง่การกัดเซาะดินชายฝั่งทำให้เกิดการพังทลายและการตกตะกอน อีกทั้งกระแสน้ำจะมีส่วนช่วยในการขยายพันธุ์ไม้ป่าชายเลน โดยผลหรือฝักของพันธุ์ไม้ป่าชายเลนจะลอยไปกับกระแสน้ำ และเมื่อถึงพื้นที่ที่เหมาะสมผลหรือฝักเหล่านี้จะเจริญเติบโตขึ้น ทำให้เกิดการกระจายพันธุ์ในพื้นที่ใหม่

ความเค็มของน้ำ ความเค็มของน้ำในดินเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโต การรอดตาย และการแบ่งเขตพันธุ์ไม้ในป่าชายเลน โดยป่าชายเลนสามารถเจริญเติบโตได้ดีบริเวณที่มีความเค็มของน้ำในดินระหว่าง 10-30 ppt

ออกซิเจนละลายน้ำ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำจะมีผลต่อการดำรงชีวิตของพืชและสัตว์ในป่าชายเลน นอกจากนี้ยังมีผลต่อการย่อยสลายของเศษใบไม้หรืออินทรีย์สารในระบบนิเวศป่าชายเลน แต่อย่างไรก็ตามปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำสามารถเปลี่ยนแปลงไปตามระยะเวลาตลอด 24 ชั่วโมง

ดิน ดินในป่าชายเลนมีลักษณะเป็นดินเลน เกิดจากการทับถมของตะกอนที่ไหลมากับน้ำจากแหล่งต่างๆ โดยดินจะเป็นปัจจัยจำกัดการเจริญเติบโตและการกระจายของพันธุ์ไม้ในป่าชายเลน รวมถึงชนิด การเจริญเติบโต การกระจายและการดำรงชีวิตของสัตว์ในป่าชายเลนอีกด้วย

ธาตุอาหาร ธาตุอาหารในป่าชายเลนมี 2 ประเภทใหญ่ คือ ธาตุอาหารประเภทอนินทรียสาร ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โปเตสเซียม โซเดียม แคลเซียม และแมกนีเซียม และประเภทอินทรีย์สาร ได้แก่ แพลงก์ตอนพืช ไดอะตอม สาหร่าย รากไม้ ซากสัตว์ เป็นต้น

ด้วยลักษณะสภาพแวดล้อมดังกล่าว พืชป่าชายเลนจึงจำเป็นต้องมีการปรับตัวเพื่อความอยู่รอด การปรับตัวของพืชป่าชายเลนมีหลายรูปแบบ เช่น การสร้างผลแบบ vivipary, การสร้างต่อมขับเกลือที่ใบ และการพัฒนาระบบรากเหนือดิน สำหรับการพัฒนาของระบบรากเหนือดินเป็นการปรับตัวที่สำคัญและมีความแตกต่างจากพืชในป่าบกอย่างชัดเจน

2.4.2 ระบบรากพืชป่าชายเลน

พืชป่าชายเลนมีการพัฒนาระบบรากที่มีโครงสร้างพิเศษ โดยระบบรากที่มีโครงสร้างพิเศษนี้จะทำหน้าที่ในการค้ำยันและช่วยในกระบวนการแลกเปลี่ยนแก๊ส (Scholander et al., 1955) ซึ่งจะเกิดผ่านจุดเล็กๆที่พบกระจายบนพื้นผิวรากเหนือดินหรือที่เรียกว่าช่องอากาศ (lenticels) (ภาพที่ 2.1) อีกทั้งในส่วนคอร์เทกซ์ของระบบรากทุกชนิดของพืชป่าชายเลนเป็นเซลล์ที่มีการสร้างเนื้อเยื่อแอเรงคิมาขึ้น โดยเนื้อเยื่อแอเรงคิมาภายในระบบรากใต้ดินจะมีการเชื่อมต่อกับช่องอากาศของรากเหนือดิน (Tomlinson, 1986) นอกจากนี้ยังพบว่าเนื้อเยื่อแอเรงคิมาในรากใต้ดินจะมีขนาดใหญ่กว่าในรากเหนือดิน โดยรากใต้ดินมีปริมาณ 50% ส่วนรากเหนือดินมีปริมาณ 5% อีกทั้งส่วนเอพิเดอร์มิสจะมีลักษณะเป็นเซลล์หลายชั้น เรียกว่า มัลติเปิล เอพิเดอร์มิส ซึ่งช่วยดูดน้ำและแร่ธาตุแทนขนราก และเป็นตัวกรองสารละลายจากน้ำทะเล (คมกฤส, 2536) ลักษณะดังกล่าวเหล่านี้ถือเป็นการปรับตัวที่สำคัญของพืชป่าชายเลนในสภาวะที่มีน้ำท่วมขัง ดินนิ่ม และปริมาณออกซิเจนน้อย ดังนั้นรากเหนือดินจึงจัดเป็นอวัยวะสำคัญสำหรับกลไกการระบายอากาศ โดยสามารถแบ่งได้ 4 ชนิด ดังนี้

1. รากหายใจ (pneumatophores) เป็นรากที่เจริญจาก cable root ชูตั้งขึ้นเหนือผิวดินในแนวตั้งฉากกับลำต้น ลักษณะกลม ปลายเรียว คล้ายดินสอ (ภาพที่ 2.2 ก) ราก

หายใจประกอบด้วย 2 ส่วน คือส่วนที่ขรุขระ เป็นส่วนที่มีช่องอากาศกระจายอยู่เป็นจำนวนมาก และส่วนที่เรียบ เป็นส่วนที่ไม่มีช่องอากาศหรือมีช่องอากาศกระจายอยู่น้อย (Purnobasuki and Suzuki, 2005) มักพบรากชนิดนี้ในพืชสกุลแสม (*Avicennia*) สกุลลำพู (*Sonneratia*) เป็นต้น

2. รากค้ำยัน (stilt root) เป็นรากที่มีการงอกออกมาจากด้านข้างของลำต้นส่วนล่าง แล้วโค้งปักลงดิน (ภาพที่ 2.2 ข) เพื่อช่วยค้ำยันลำต้นในดินเลน มักพบรากชนิดนี้ในพืชสกุลโกงกาง (*Rhizophora*) เป็นต้น

3. รากพูพอน (buttress) รากชนิดนี้เจริญมาจาก horizontal root ขึ้นไปในแนวตั้ง มักจะเจริญคดเคี้ยวไปทางด้านข้างเรื่อยๆ คล้ายแผ่นกระดานตั้ง หรือคล้ายลักษณะของปีกต้นไม้ (ภาพที่ 2.2 ค) รากชนิดนี้นอกจากจะช่วยพยุงลำต้นแล้วยังทำหน้าที่ในการแลกเปลี่ยนแก๊สด้วย พืชที่มีรากชนิดนี้เด่นชัดคือ ตะบูนขาว (*Xylocarpus granatum*)

4. รากหัวเข่า (knee root) เป็นรากหายใจที่มีการโผล่พ้นขึ้นมาเหนือดินและหักโค้งกลับลงไปในดิน ตรงส่วนโค้งมีลักษณะเป็นปุ่มคล้ายหัวเข่า (ภาพที่ 2.2 ง) อย่างไรก็ตาม รูปร่าง ขนาด และช่วงห่างของการเกิดรากขึ้นอยู่กับชนิดของพืช และสภาพพื้นที่ด้วย พืชจะสามารถปรับให้โครงสร้างของรากหัวเข่าสูงกว่าระดับน้ำทะเลได้เพื่อไม่ให้รากในส่วนนี้จมอยู่ใต้น้ำ มักพบรากชนิดนี้ในพืชสกุลถั่ว (*Bruguiera*) สกุลโปรง (*Ceriops*) เป็นต้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

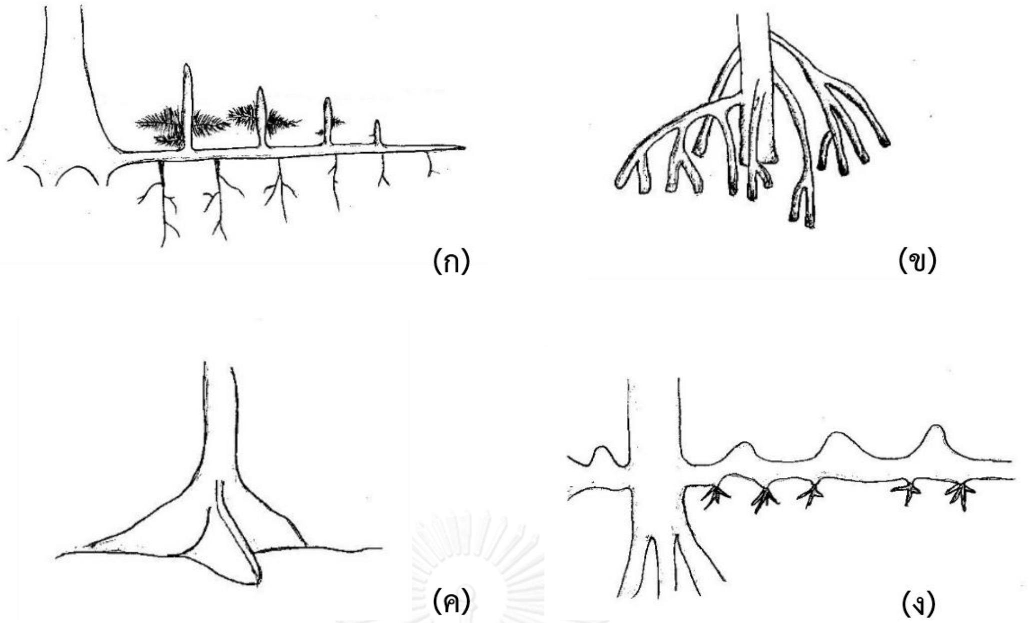
การศึกษาเกี่ยวกับระบบรากพืชป่าชายเลนมีหลายการศึกษาทั้งลักษณะทางสัณฐานวิทยาและระบบรากที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการแลกเปลี่ยนแก๊ส เช่น การศึกษาการสร้างแอเรงคิมาในรากลำพูทะเล (*Sonneratia alba*) ของ Purnobasuki และ Suzuki ปี 2004 พบว่าแอเรงคิมา ถูกสร้างขึ้นแบบ schizogenous ซึ่งพบในรากทั้ง 4 ประเภท คือ cable root, pneumatophore, feeding root และ anchor root (ภาพที่ 2.3) โดยเซลล์จะเกิดการเปลี่ยนแปลงด้านรูปร่างและขนาดในระหว่างการพัฒนา และเกิดการแยกตัวจนกลายเป็นช่องอากาศ ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงเป็น 2 รูปร่าง คือ ลักษณะกลม (rounded cells) และลักษณะเหมือนแขน (armed cells) สิ่งที่เกิดขึ้นดังกล่าวพบเฉพาะในส่วนคอร์เทกซ์ด้านในเท่านั้น โดยใน pneumatophore, cable root, anchor roots และ feeding roots มีแอเรงคิมา 60.7 50.1 41.1 และ 38.9% ตามลำดับ ซึ่งเกิดจากการปรับตัวของพืชต่อการเจริญเติบโตในสภาวะที่ปราศจากออกซิเจนนั่นเอง

การศึกษาโครงสร้างของช่องอากาศบน pneumatophore ในแสมทะเล ของ Purnobasuki ปี 2011 พบว่าช่องอากาศประกอบด้วยเนื้อเยื่อ complementary ที่เต็มไปด้วยผนังเซลล์บางๆ ล้อมรอบช่องอากาศ ซึ่งเนื้อเยื่อ complementary ช่วยให้กระบวนการระบายอากาศมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยช่องอากาศจะปรากฏบน pneumatophore ตั้งแต่ระดับ 0.5 เซนติเมตร นับลงมาจากปลายราก สำหรับการเจริญของช่องอากาศเริ่มจากการที่เนื้อเยื่อ complementary เกิดการแตกเป็น periderm จากนั้นมีการสร้าง suberized layer ขึ้นจากส่วนล่างของเนื้อเยื่อ complementary แล้วจึงมีการสร้างเนื้อเยื่อ complementary ขึ้นใน suberized layer ทำให้เกิดการแตกออกและถูกดันออกมาพร้อมกับเนื้อเยื่อ complementary เดิม การที่มีเนื้อเยื่อ complementary ที่ไม่มีของเหลวในเนื้อเยื่อจะช่วยทำให้มีการแพร่ของแก๊สอย่างอิสระระหว่างเซลล์ ทั้งนี้เนื้อเยื่อ complementary อาจจะมีคุณสมบัติเป็นไฮโดรโฟบิก (hydrophobic) ซึ่งน้ำจะผ่านไม่ได้ มีเฉพาะแก๊สเท่านั้นที่สามารถผ่านได้ นอกจากนี้ยังพบว่าการพัฒนาของ lenticels มีความแตกต่างกันไปในแต่ละระยะ ได้แก่ ระยะ partially-opened one คือช่องอากาศที่ยังอ่อนถูกปิด มีเซลล์ complementary น้อย แต่ต่อมาเมื่อมีการสร้างเซลล์ complementary มากขึ้นจะเกิดแรงกดดันภายในช่องอากาศและเมื่อแรงกดดันมากเพียงพอคอร์กจะเปิดและนำไปสู่ระยะต่อไปที่เรียกว่าระยะ partially-mature lenticels คือเมื่อคอร์กเปิด เซลล์ complementary จะถูกสร้างอย่างต่อเนื่อง และเกิดความกดดันเพิ่มขึ้นจนช่องเปิดขยายมากขึ้น จนเข้าสู่ระยะที่ 3 คือระยะ fully-opened one คือการที่ช่องอากาศเปิดเต็มที่แล้ว อย่างไรก็ตามไม่ใช่ทุกช่องอากาศจะสามารถทำหน้าที่ได้ โดยเฉพาะช่องอากาศใน pneumatophore ที่มีอายุมากและมีการเจริญเติบโตของสาหร่าย ช่องอากาศจะไม่สามารถทำหน้าที่ได้

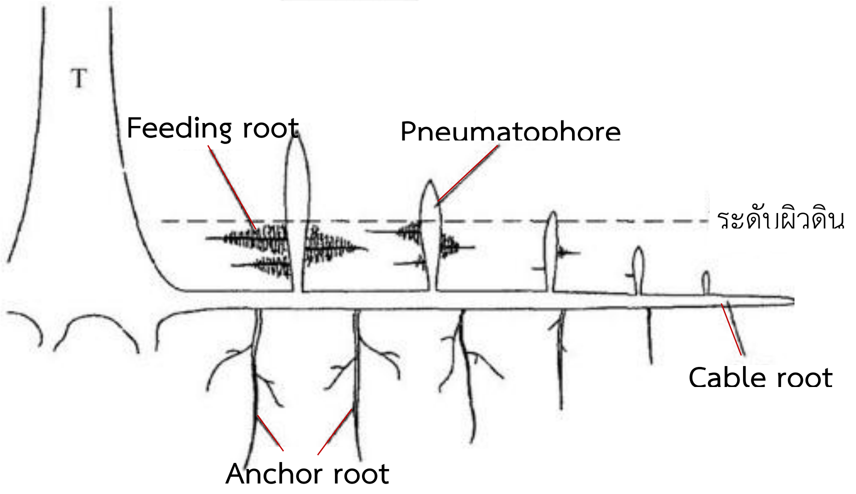
การศึกษาของ Evans และคณะ ปี 2005 และปี 2008 ศึกษาเกี่ยวกับกายวิภาคศาสตร์และลักษณะทางสัณฐานวิทยา รวมทั้งความสัมพันธ์ต่อการไหลของอากาศภายในโครงสร้าง ของ *Rhizophora stylosa* และ *Rhizophora mangle* การศึกษาพบว่าอากาศจะไหลเข้า cork warts ของใบ เพื่อส่งต่อไปยังเนื้อเยื่อแอเรงคิมาของใบ ก้านใบ และลำต้น ตามลำดับ จากนั้นอากาศจะเคลื่อนผ่านแอเรงคิมาของรากเหนือดิน สุดท้ายจะถูกส่งไปยังรากจนถึงรากขนาดเล็กที่สุดเพื่อส่งอากาศให้รากเกิดการเจริญเติบโตได้ หลังจากนั้นอากาศจะเคลื่อนผ่านแอเรงคิมาของรากอีกครั้ง และปลดปล่อยผ่านทางช่องอากาศของรากเหนือดิน นอกจากนี้ยังพบว่าความหนาแน่นของช่องอากาศในรากเหนือดินจะมีค่าต่ำกว่าความหนาแน่นของช่องอากาศของรากที่อยู่ใต้ดิน การศึกษานี้ชี้ให้เห็นถึงกระบวนการทำงานที่สัมพันธ์กันของแอเรงคิมาในใบ ลำต้น และราก

จากการตรวจสอบเอกสารจะเห็นได้ว่าลักษณะดังกล่าวของระบบรากพืชป่าชายเลนเหล่านี้มีความพิเศษและแตกต่างจากระบบรากพืชของป่าบกอย่างชัดเจน อีกทั้งยังเป็นที่น่าสนใจว่าแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากรากใต้ดินของพืชป่าชายเลนจะมีการปลดปล่อยออกมาช่องทางใด เพราะโดยทั่วไปแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จากรากพืชของป่าบกจะมีการปลดปล่อยออกมาทางผิวดิน ประกอบกับการศึกษาของ Poungparn และคณะ (2009) ที่ศึกษาการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ในป่าชายเลนรุ่นสอง จังหวัดตราด ได้เสนอแนะว่าการหายใจที่เกิดจากรากใต้ดินอาจมีการปลดปล่อยผ่านทาง lenticels ของรากเหนือดิน ดังนั้นค่า Rs ในป่าชายเลนจึงอาจมีค่าใกล้เคียงกับค่า Rh ในกรณีที่วัด Rs เมื่อใช้ soil chamber ครอบดินโดยหลีกเลี่ยงรากเหนือดิน อย่างไรก็ตามยังไม่มีการพิสูจน์ข้อเสนอแนะข้างต้น

ภาพที่ 2.1 ลักษณะช่องอากาศที่พบกระจายบนพื้นผิวรากเหนือดินของแสมทะเล



ภาพที่ 2.2 ระบบรากพืชป่าชายเลน ประกอบด้วย รากหายใจ (ก), รากค้ำยัน (ข), รากพูพอน (ค) และรากหัวเข่า (ง)



ภาพที่ 2.3 ระบบรากของพืชสกุลลำพูและแสม ซึ่งประกอบด้วยราก 4 ชนิด ได้แก่ cable roots, pneumatophores, feeding roots และ anchor roots

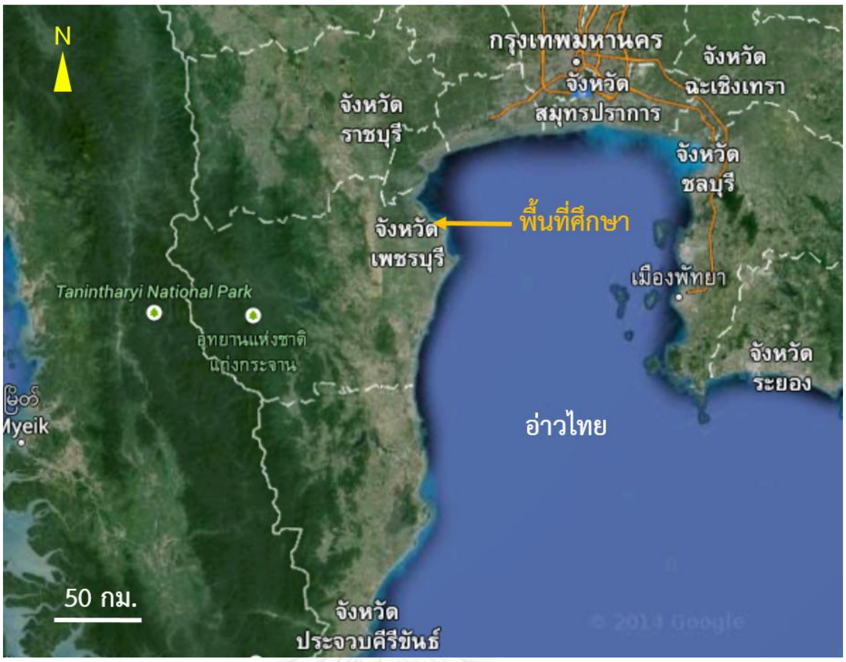
บทที่ 3
วิธีดำเนินการศึกษา

3.1 พื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษาเป็นป่าชายเลนรุ่นสอง อยู่ภายใต้การดูแลของสถานีพัฒนาทรัพยากรป่าชายเลนที่ 6 (เพชรบุรี) ต.บางขุนไทร อ.บ้านแหลม จ.เพชรบุรี (13° 18’N, 100° 02’E) (ภาพที่ 3.1) บริเวณดังกล่าวเป็นป่าที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ และพบการกระจายของพืชสกุลแสม (*Avicennia* sp.) โดยทั่วไป จัดได้ว่าเป็นพืชกลุ่มเด่นของพื้นที่บริเวณนั้น สำหรับในบริเวณที่ทำการศึกษาพบเฉพาะแสมทะเล (*A. marina* (Forsk.) Vierh.) เท่านั้น (ภาพที่ 3.2)

ป่าชายเลนของจังหวัดเพชรบุรีมีการกระจายอยู่ตามแนวชายฝั่งทะเลเป็นระยะทางประมาณ 44 กิโลเมตร และขึ้นอยู่ตามปากแม่น้ำเพชรบุรี แม่น้ำบางตะบูน และคลองต่างๆ โดยพื้นที่ป่าชายเลนร้อยละ 80 อยู่ในเขตอำเภอบ้านแหลม ซึ่งยังคงความสมบูรณ์อยู่ประมาณ 15,000 ไร่ ที่เหลือถูกใช้ในการทำนากุ้ง นาเกลือ พันธุ์ไม้ป่าชายเลนที่พบมาก เช่น แสมทะเล แสมขาว (*Avicennia alba* Blume.) แสมดำ (*Avicennia offialis* L.) โกงกางใบเล็ก (*Rhizophora apiculata* Blume.) โกงกางใบใหญ่ (*Rhizophora mucronata* Lam.) และพังกาหัวสุมดอกแดง (*Bruguiera gymnorhiza* (L.) Lam.) เป็นต้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 3.1 พื้นที่ศึกษาตั้งอยู่ที่สถานีพัฒนาทรัพยากรป่าชายเลนที่ 6 จังหวัดเพชรบุรี (จาก maps.google.com)

ภาพที่ 3.2 ลักษณะพื้นที่ศึกษา พบการกระจายของแสมทะเลทั่วพื้นที่ศึกษา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ลักษณะภูมิอากาศของพื้นที่ศึกษา

จากข้อมูลของกรมอุตุนิยมวิทยาของสถานีตรวจอากาศเพชรบุรีในช่วง 30 ปีที่ผ่านมา ตั้งแต่ปี พ.ศ.2525 – 2555 และในระหว่างทำการศึกษาตั้งแต่เดือนมีนาคม พ.ศ.2556 ถึงเดือนมิถุนายน พ.ศ.2557 มีลักษณะภูมิอากาศ ดังนี้

<u>ปริมาณน้ำฝน</u>

ระหว่างปี พ.ศ. 2525 – 2555 สถานีตรวจอากาศเพชรบุรีมีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยประมาณ 983.66 มิลลิเมตรต่อปี โดยเดือนตุลาคม มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยมากที่สุด มีค่าเท่ากับ 282.5 มิลลิเมตร เดือนกุมภาพันธ์ มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยน้อยที่สุด มีค่าเท่ากับ 3.9 มิลลิเมตร ดังนั้นจึงสามารถแบ่งฤดูกาลของพื้นที่ศึกษาโดยใช้ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือนได้ 2 ฤดูกาล คือฤดูแล้งตั้งแต่เดือนพฤศจิกายนถึงเดือนเมษายน และฤดูฝนตั้งแต่เดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม (ภาพที่ 3.3) ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือนในช่วงฤดูแล้งมีค่าเท่ากับ 30.5 มิลลิเมตร คิดเป็น 18.6% และฤดูฝนมีค่าเท่ากับ 133.4 มิลลิเมตร คิดเป็น 81.4%

ปริมาณน้ำฝนที่สถานีตรวจอากาศเพชรบุรีตั้งแต่เดือนมีนาคม พ.ศ.2556 ถึงเดือนมิถุนายน พ.ศ.2557 ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ทำการศึกษา มีค่า 1,259 มิลลิเมตร โดยในเดือนตุลาคม พ.ศ.2556 มีปริมาณน้ำฝนมากที่สุดเท่ากับ 402.7 มิลลิเมตร และในเดือนมกราคม พ.ศ.2557 มีปริมาณน้ำฝนน้อยที่สุดเท่ากับ 0 มิลลิเมตร (ภาพที่ 3.4) ปริมาณน้ำฝนในช่วงฤดูแล้งมีค่าเท่ากับ 305.8 มิลลิเมตร คิดเป็น 24.3% และฤดูฝนมีค่าเท่ากับ 952.7 มิลลิเมตร คิดเป็น 75.7%

<u>ความชื้นสัมพัทธ์</u>

ระหว่างปี พ.ศ.2525-2555 สถานีตรวจอากาศเพชรบุรีมีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยต่อปีเท่ากับ 76.3% โดยเดือนตุลาคม มีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 82.0% และเดือนธันวาคม มีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 71.0% (ภาพที่ 3.5)

ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยที่สถานีตรวจอากาศเพชรบุรีตั้งแต่เดือนมีนาคม พ.ศ.2556 ถึงเดือนมิถุนายน พ.ศ.2557 มีค่า 76.2% โดยเดือนตุลาคม พ.ศ.2556 มีความชื้นสัมพัทธ์สูงสุดเท่ากับ 83.0% และเดือนมกราคม พ.ศ.2557 มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุดเท่ากับ 68.0% (ภาพที่ 3.6)

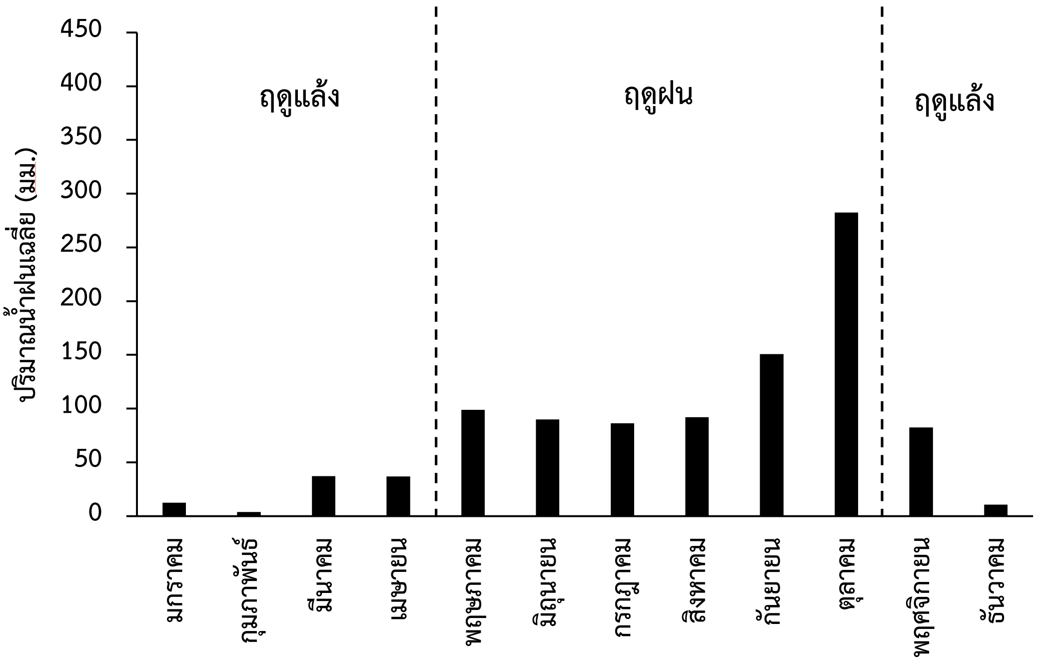
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

<u>อุณหภูมิ</u>

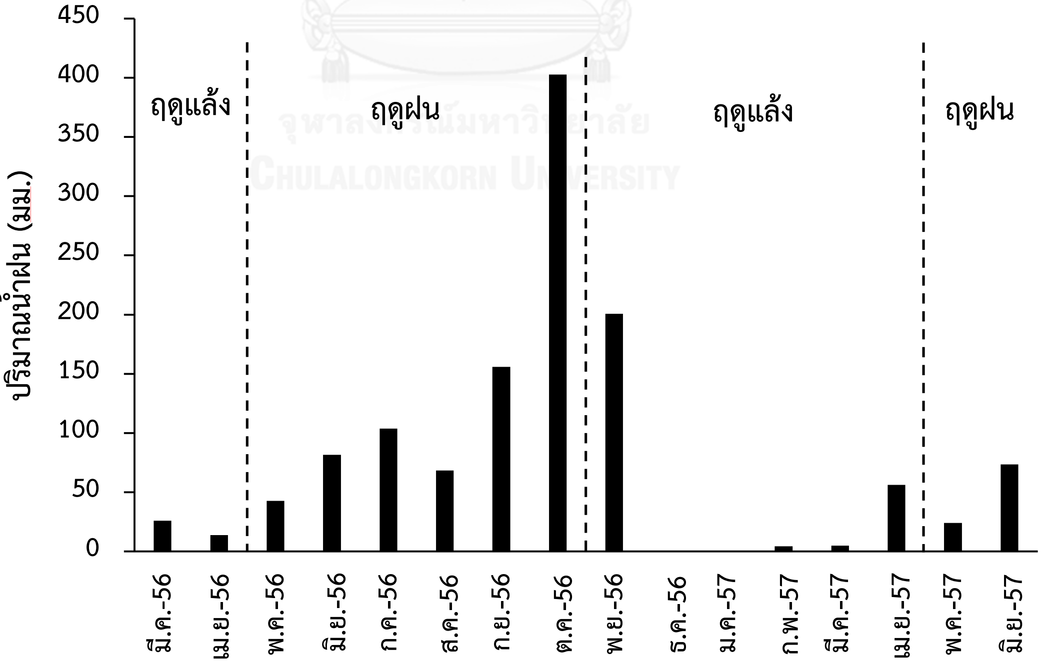
ระหว่างปี พ.ศ. 2525 – 2555 สถานีตรวจอากาศเพชรบุรีมีอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดปี 28.2 องศาเซลเซียส โดยมีอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดเฉลี่ยเท่ากับ 32.0 และ 24.4 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือน ในระหว่างปี พ.ศ. 2525 – 2555 พบว่าเดือนพฤษภาคม มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 29.2 องศาเซลเซียส และเดือนมกราคมกับเดือนธันวาคม มีอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 25.9 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 3.7)

อุณหภูมิเฉลี่ยจากสถานีตรวจอากาศเพชรบุรีตั้งแต่เดือนมีนาคม พ.ศ.2556 ถึงเดือนมิถุนายน พ.ศ.2557 มีค่าเท่ากับ 28.8 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดเฉลี่ยเท่ากับ 32.8 และ 24.9 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยในเดือนพฤษภาคม พ.ศ.2556 มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงที่สุดเท่ากับ 30.8 องศาเซลเซียส และเดือนมกราคม พ.ศ.2557 มีอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 23.9 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 3.8)

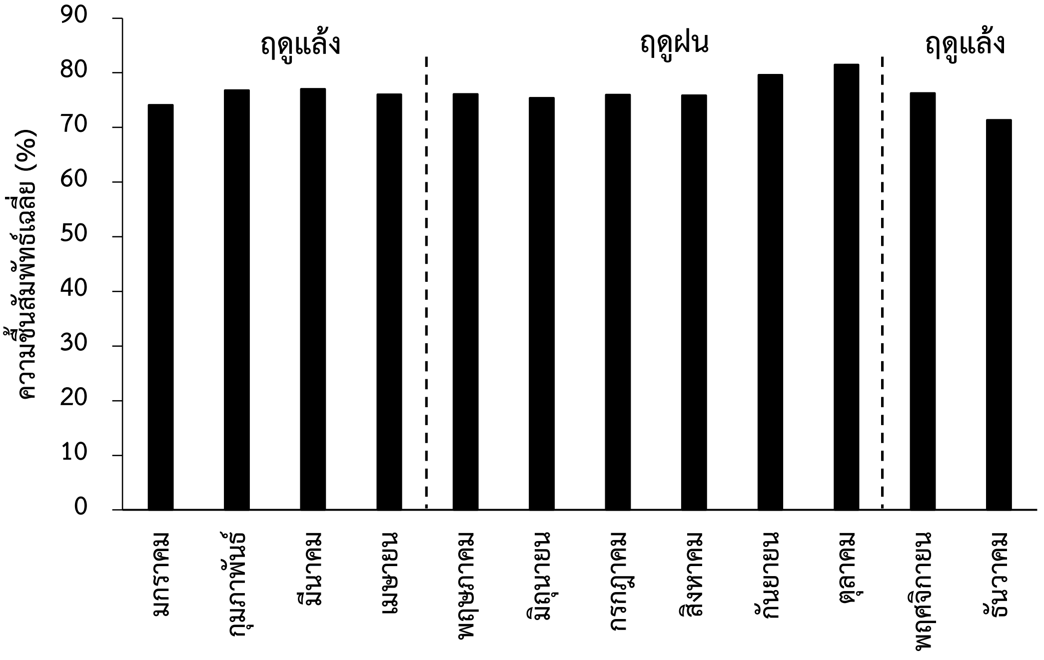
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



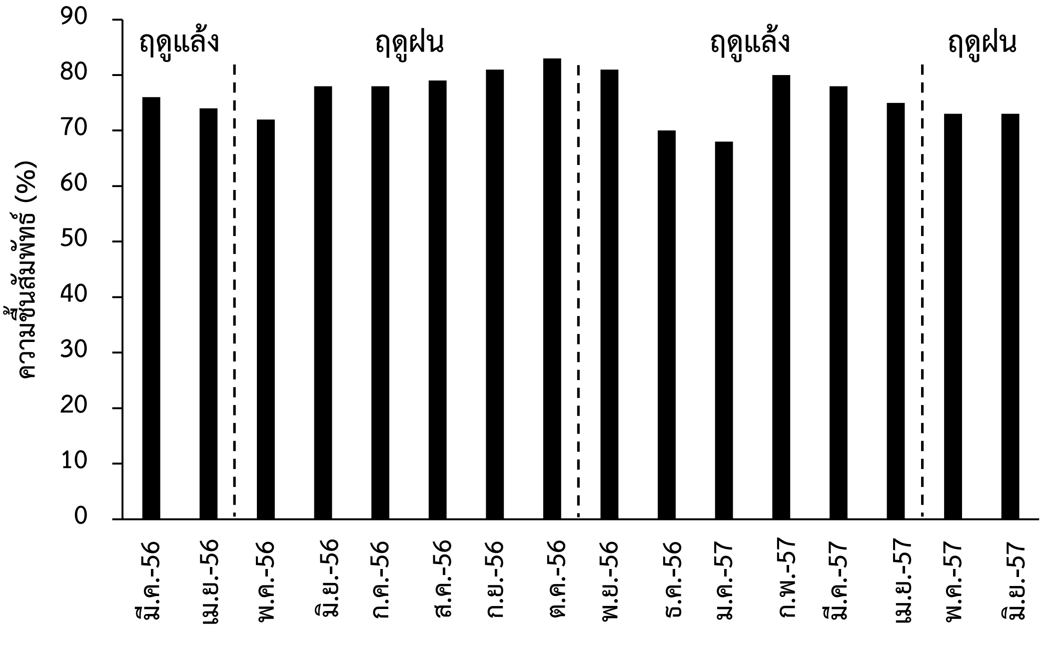
ภาพที่ 3.3 ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือนตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ.2525 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ.2555 ของสถานีตรวจอากาศเพชรบุรี (กรมอุตุนิยมวิทยา, ประเทศไทย)



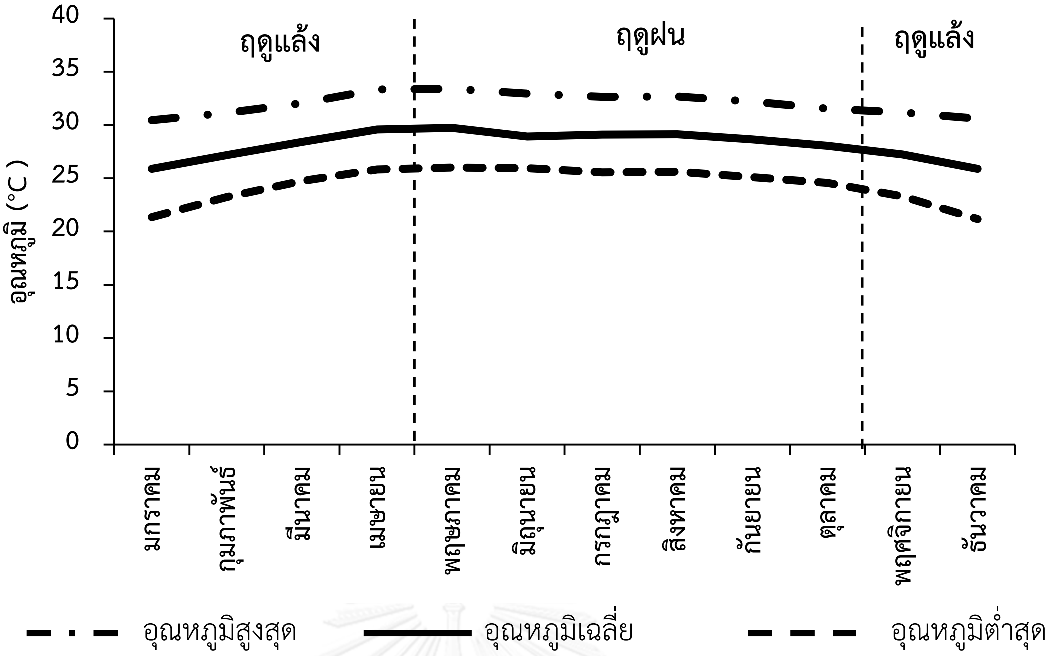
ภาพที่ 3.4 ปริมาณน้ำฝนรายเดือนตั้งแต่เดือนมีนาคม พ.ศ.2556 ถึงเดือนมิถุนายน พ.ศ.2557 ของสถานีตรวจอากาศเพชรบุรี (กรมอุตุนิยมวิทยา, ประเทศไทย)



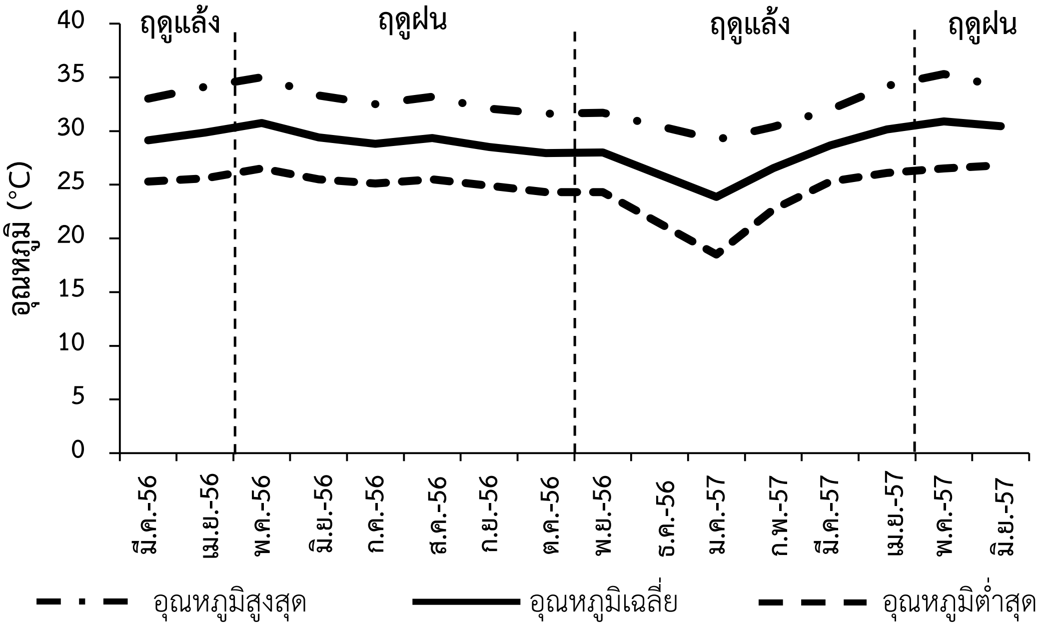
ภาพที่ 3.5 ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายเดือนในช่วง พ.ศ.2525-2555 ของสถานีตรวจอากาศเพชรบุรี (กรมอุตุนิยมวิทยา, ประเทศไทย)



ภาพที่ 3.6 ความชื้นสัมพัทธ์รายเดือนตั้งแต่เดือนมีนาคม พ.ศ.2556 ถึงเดือนมิถุนายน 2557 ของสถานีตรวจอากาศเพชรบุรี (กรมอุตุนิยมวิทยา, ประเทศไทย)



ภาพที่ 3.7 อุณหภูมิเฉลี่ย สูงสุด และต่ำสุดเฉลี่ยรายเดือนในช่วง พ.ศ.2525-2555 ของสถานีตรวจอากาศเพชรบุรี (กรมอุตุนิยมวิทยา, ประเทศไทย)



ภาพที่ 3.8 อุณหภูมิเฉลี่ย สูงสุด และต่ำสุดรายเดือนตั้งแต่เดือนมีนาคม พ.ศ.2556 ถึงเดือนมิถุนายน พ.ศ.2557 ของสถานีตรวจอากาศเพชรบุรี (กรมอุตุนิยมวิทยา, ประเทศไทย)

3.2 การศึกษาโครงสร้างป่า

วางแปลงศึกษาขนาด 50 × 50 ตารางเมตร และแบ่งเป็นแปลงศึกษาย่อยขนาด 10 × 10 ตารางเมตร รวมทั้งหมด 25 แปลงย่อย จากนั้นทำการศึกษาโครงสร้างสังคมพืชในแปลงศึกษา โดยติดหมายเลขต้นไม้ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระดับอก (Diameter at breast height; DBH) ตั้งแต่ 4.5 เซนติเมตร ขึ้นไป วัด DBH ที่ระดับความสูง 1.3 เมตร วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับพื้นดิน (D_0) วัดความสูงและวัดการปกคลุมเรือนยอดของต้นไม้ โดยวิธี the crown cover method พร้อมทั้งนับจำนวน ระบุตำแหน่งและจัดทำแผนที่ต้นไม้ พร้อมทั้งคำนวณหาความหนาแน่นของต้นไม้ต่อพื้นที่ (**McGowan et al.,** 2010) ดังสมการ

$$\text{ความหนาแน่นของต้นไม้} = \frac{\text{จำนวนต้นไม้ทั้งหมด}}{\text{พื้นที่แปลงศึกษา (2500 ตารางเมตร)}}$$

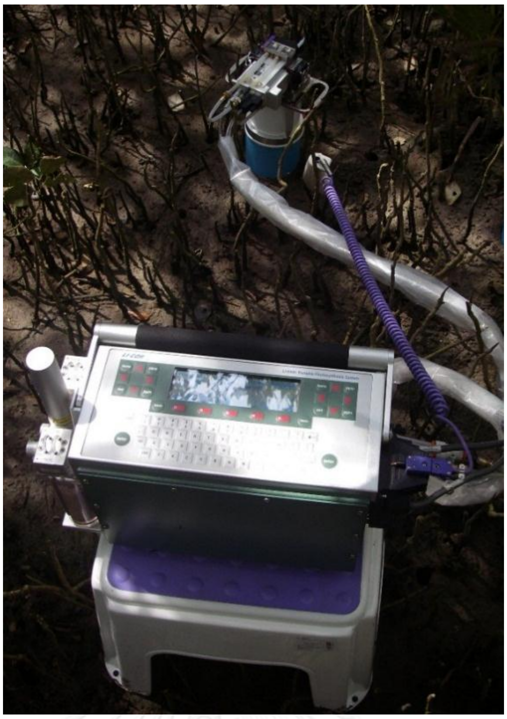
3.3 การวัดการหายใจของดิน

เลือกตำแหน่งเพื่อวาง collar ที่ทำจากท่อ PVC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10.7 เซนติเมตร สูง 10 เซนติเมตร (พื้นที่หน้าตัด 90 ตารางเซนติเมตร) โดยวาง collar ครอบดินแบบรวมรากเหนือดินและหลีกเลี่ยงรากเหนือดิน ให้ทั้งสองจุดมีตำแหน่งใกล้เคียงกันมากที่สุด (ภาพที่ 3.9) สำหรับตำแหน่งที่มีการครอบราก จะเลือกครอบรากที่มีความสูงของรากเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งได้ทำการสุ่มวัดความหนาแน่นและความสูงรากก่อนมีการศึกษา จากนั้นนำ collar แทรกลงไปในดินลึก 1 เซนติเมตร ทิ้งไว้ประมาณ 1 ชั่วโมง เพื่อลดอิทธิพลของ collar ซึ่งอาจส่งผลต่อค่าการหายใจของดิน และวัดการหายใจของดินโดยใช้เครื่อง portable photosynthesis system (LI-6400, LI-COR, Lincoln, Nebraska, USA) ที่ต่ออยู่กับ soil chamber (6400-09, LI-COR, NB, USA) โดยวาง soil chamber ลงบน collar ที่ครอบอยู่บนดิน (ภาพที่ 3.10) วัดการหายใจของดินขณะน้ำลง ทำการศึกษาทั้งหมด 50 จุด ในแปลงศึกษาขนาด 50 × 50 ตารางเมตร โดยศึกษาในแปลงศึกษาย่อยแปลงละ 2 จุด คือ มีการครอบดินแบบรวมรากเหนือดิน 25 จุด และหลีกเลี่ยงรากเหนือดิน 25 จุด แบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ฤดูกาล คือ ฤดูฝนและฤดูแล้ง ศึกษาฤดูกาลละ 4 ครั้ง

3.4 การศึกษามวลชีวภาพราก (root biomass)

หลังจากวัดการหายใจของดินโดยใช้ soil chamber ครอบดินแบบรวมรากเหนือดินแล้วทำการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับผิวดินและที่ปลายรากเหนือดิน จากนั้นตัดรากเหนือดินที่ระดับผิวดิน และขุดรากใต้ดินโดยใช้ท่อ PVC เจาะดินลึกลงไปจากระดับผิวดิน 30 เซนติเมตร ล้างดินและแยกส่วนอื่นที่ไม่ใช่รากออก (ภาพที่ 3.11) สำหรับรากจะแยกเอาเฉพาะส่วนที่เชื่อมกับรากเหนือดิน จำแนกรากมีชีวิตและรากไม่มีชีวิตออกจากกันโดยดูจากลักษณะสี ความยืดหยุ่น และการลอยน้ำ รากมีชีวิตจะถูกแยกออกเป็นขนาดต่างๆ ดังนี้ น้อยกว่า 2 มิลลิเมตร 2-5 มิลลิเมตร 5-10 มิลลิเมตร และมากกว่า 10 มิลลิเมตร จากนั้นนำตัวอย่างรากทั้งหมด (ภาพที่ 3.12 ก – ง) ไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ ชั่งน้ำหนักแห้ง และคำนวณหามวลชีวภาพราก (Wei et al., 2009)

ภาพที่ 3.9 วาง collar ครอบดินแบบรวมรากเหนือดินและหลีกเลี่ยงรากเหนือดิน



ภาพที่ 3.10 วัด Rs โดยใช้เครื่อง portable photosynthesis system (LI-6400, LI-COR, Lincoln, Nebraska, USA) ที่ต่ออยู่กับ soil chamber (6400-09, LI-COR, NB, USA)

ภาพที่ 3.11 ฉีดล้างดินเพื่อแยกรากใต้ดินออกมา

ภาพที่ 3.12 รากหายใจ (pneumatophore) (ก) และรากใต้ดิน (ข-จ) ซึ่งสามารถจำแนกได้ดังนี้ รากมีชีวิตที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0 ถึง 2 มิลลิเมตร (ข) รากมีชีวิตที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 2 ถึง 5 มิลลิเมตร (ค) รากมีชีวิตที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 5 ถึง 10 มิลลิเมตร (ง) และรากตาย (จ)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

3.5 การประมาณค่า Rh ด้วยวิธี Regression technique

นำค่า Rs ได้จากการวัดโดยใช้ soil chamber ครอบดินแบบรวมรากเหนือดินมาประมาณค่า Rh ด้วยวิธี regression technique (Behera et al., 1990; Jia et al., 2006) ซึ่งเป็นการสร้างสมการถดถอยเชิงเส้นตรง (linear regression) ระหว่าง Rs และมวลชีวภาพราก โดยจะแยกการสร้างสมการระหว่าง Rs กับมวลชีวภาพรากในแต่ละส่วน คือ (ก) Rs กับมวลชีวภาพรากเหนือดิน (aboveground root biomass) (ข) Rs กับมวลชีวภาพรากใต้ดิน (underground root biomass) (ค) Rs กับมวลชีวภาพรากทั้งหมด (total root biomass) และ (ง) Rs กับพื้นที่ผิวรากเหนือดิน เพื่อหาสมการที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการประมาณค่า Rh โดยพื้นที่ผิวรากเหนือดินสามารถหาได้จากการวัดความสูงเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับผิวดิน (D_1) และเส้นผ่านศูนย์กลางที่ปลายรากเหนือดิน (D_2) ซึ่งรากในที่นี้เป็นรากที่รวมอยู่ใน soil chamber เมื่อวัดการหายใจของดิน จากนั้นคำนวณหาพื้นที่ผิวรากเหนือดินดังสมการ

พื้นที่ผิวราก = 2¶ (r_1 + r_2) h/2 (Evans et al., 2005)

r_1 = รัศมีรากเหนือดินที่ระดับผิวดิน

r_2 = รัศมีที่ปลายรากเหนือดิน

h = ความสูงของราก

3.6 การเปรียบเทียบค่า Rs เมื่อวัดโดยใช้ soil chamber ครอบดินแบบหลีกเลี่ยงรากเหนือดินกับค่า Rh จากการประมาณด้วยวิธี Regression technique

เปรียบเทียบค่า Rs จากการวัดโดยใช้ soil chamber ครอบดินแบบหลีกเลี่ยงรากเหนือดินกับค่า Rh ที่ประมาณจากการสร้างสมการถดถอยเชิงเส้นตรงในข้อ 3.5 และวิเคราะห์ความสัมพันธ์กันโดยใช้ Pearson correlation analysis

3.7 การศึกษาปัจจัยสิ่งแวดล้อม

3.7.1 ศึกษาความลาดชันของพื้นที่ศึกษา

ศึกษาความลาดชันของพื้นที่โดยใช้เครื่องมือ Instrument siteline builders level วัดความสูงของพื้นที่ที่จุดอ้างอิงและที่ทุกๆ 10 เมตร จนสิ้นสุดแนวแปลง คำนวณความสูงสัมพัทธ์ของพื้นที่โดยเปรียบเทียบกับความสูงของจุดอ้างอิงและทำแผนภูมิศาสตร์ (Topography profile) ทำการศึกษา 1 ครั้ง

3.7.2 ศึกษาลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของดิน

วิเคราะห์ลักษณะเนื้อดิน ปริมาณอินทรียสาร ปริมาณคาร์บอน ไนโตรเจน ความหนาแน่นรวมของดิน (bulk density) ความเป็นกรด-ด่างของดิน และค่าศักย์การนำไฟฟ้าของดิน (Redox potential; Eh)

ลักษณะเนื้อดิน

เก็บตัวอย่างดินที่ระดับความลึก 30 เซนติเมตร ด้วยท่อ PVC จำนวน 6 จุดในแปลงศึกษาขนาด 50 × 50 ตารางเมตร ทำการศึกษาฤดูกาลละ 2 ครั้ง นำตัวอย่างดินมาผึ่งจนแห้งบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 ตารางมิลลิเมตร (Endecotts Ltd. Longon, England) จากนั้นวิเคราะห์ลักษณะเนื้อดินด้วยวิธี Hydrometer (Bouyouscos, 1926) (ภาพที่ 3.13) และนำสัดส่วนเนื้อดินที่ได้จากการวิเคราะห์มาเปรียบเทียบกับแผนภาพสามเหลี่ยมจำแนกชนิดดิน (ภาพที่ 3.14) เพื่อจำแนกลักษณะเนื้อดิน

ความหนาแน่นรวมของดิน

เก็บตัวอย่างดินโดยใช้อุปกรณ์เก็บตัวอย่างดินทรงกระบอกที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 4.86 เซนติเมตร สูง 3 เซนติเมตร อบตัวอย่างดินที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ ชั่งน้ำหนัก และคำนวณหาความหนาแน่นรวมของดินจากสัดส่วนระหว่างน้ำหนักแห้งและปริมาตรของดิน (Kim, 2005) ทำการศึกษาฤดูกาลละ 2 ครั้ง ครั้งละ 6 ตัวอย่าง

ความเป็นกรด-ด่างและค่าศักย์การนำไฟฟ้าของดิน (Redox potential; Eh)

วิเคราะห์ความเป็นกรดด่างของดิน โดยใช้อัตราส่วนดินต่อน้ำเท่ากับ 1:1 วัดค่าความเป็นกรดด่างด้วย pH meter (ภาพที่ 3.15) และวัดค่าศักย์การนำไฟฟ้าของดิน (Redox potential; Eh) โดยใช้ ORP meter ทำการศึกษาปัจจัยเหล่านี้ทุกครั้งที่มีการศึกษาการหายใจของดิน

CHULALONGKORN UNIVERSITY

<u>ความชื้นของดิน</u>

เก็บตัวอย่างดินที่ระดับความลึก 5 เซนติเมตร ฤดูกาลละ 2 ครั้ง ครั้งละ 6 ตัวอย่าง จากนั้นนำมาชั่งน้ำหนักสดโดยทันที อบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ชั่งน้ำหนักแห้ง และนำมาคำนวณความชื้นดินตามสมการ

$$\text{ความชื้นดิน} = \frac{(\text{น้ำหนักสดของดิน} - \text{น้ำหนักแห้งของดิน})}{\text{น้ำหนักแห้งของดิน}} \times 100$$

<u>ปริมาณอินทรียสาร คาร์บอน และไนโตรเจน</u>

ใช้ตัวอย่างดินเดียวกับที่ใช้ในการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อดิน แต่บดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 0.5 ตารางมิลลิเมตร จากนั้นวิเคราะห์ปริมาณอินทรียสาร ด้วยวิธี walkey and black รวมทั้งวิเคราะห์คาร์บอน และไนโตรเจน ทำการศึกษาฤดูกาลละ 2 ครั้ง ครั้งละ 6 ตัวอย่าง

3.7.3 ศึกษาอุณหภูมิดิน

ทำการวัดอุณหภูมิดินที่ระดับความลึก 5 เซนติเมตร โดยการใช้ soil temperature probe (6000-09TC) ที่ติดอยู่กับเครื่อง LI-6400 โดยวัดไปพร้อมกับการวัด Rs ในตำแหน่งที่ใกล้เคียงกับที่มีการ Rs (ภาพที่ 3.16)

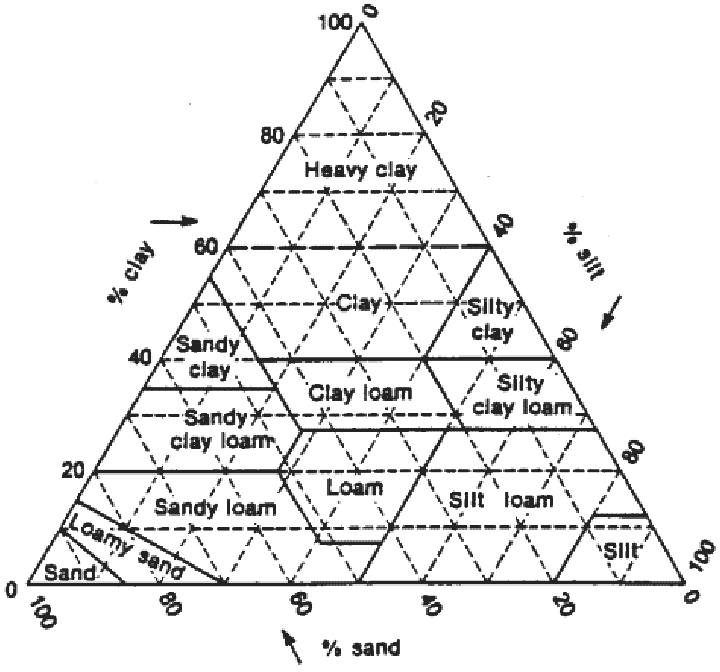
3.7.4 ศึกษาระดับน้ำใต้ดิน

สุ่มขุดหลุมลึก 30 เซนติเมตร จำนวน 6 จุด ในพื้นที่ขนาด 50 × 50 ตารางเมตร ระหว่างที่น้ำลงต่ำสุด และใช้ไม้บรรทัดวัดระยะห่างระหว่างผิวดินกับขอบของน้ำในดิน ค่าระดับน้ำใต้ดินคือผลต่างระหว่างความลึกของหลุม (30 เซนติเมตร) กับระยะห่างระหว่างผิวดินกับขอบของน้ำในดิน ทำการศึกษาทั้ง 2 ฤดูกาล

3.7.5 ศึกษาระยะเวลาการท่วมถึงของน้ำทะเล

โดยจดบันทึกระยะเวลาที่มีน้ำทะเลท่วมถึงแปลงศึกษา และช่วงระยะเวลาที่น้ำลด ทำการศึกษาให้ครอบคลุมข้างขึ้นและข้างแรม

ภาพที่ 3.13 วิเคราะห์ลักษณะเนื้อดินด้วยวิธี Hydrometer



ภาพที่ 3.14 แผนภาพสามเหลี่ยมจำแนกชนิดดิน

ภาพที่ 3.15 วิเคราะห์ความเป็นกรด-ด่าง ของดิน ด้วย pH meter

ภาพที่ 3.16 วัดอุณหภูมิดินโดยใช้ soil temperature probe (6000-09TC) ที่ต่อกับเครื่อง LI-6400

3.8 ศึกษามวลชีวภาพของจุลินทรีย์ในดิน

ศึกษามวลชีวภาพของจุลินทรีย์ในดินด้วยวิธี Chloroform-fumigation extraction method (Nunan et al., 1998; Vance et al., 1987) คือโดยชั่งตัวอย่างดินที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ปริมาณ 50 กรัม แบ่งตัวอย่างดินเป็น 2 ชุด คือ ชุดที่ 1 รมคลอโรฟอร์ม ชุดที่ 2 ไม่รมคลอโรฟอร์ม นำตัวอย่างดินชุดที่ 1 ใส่ในโถดูดความชื้นเพื่อรมคลอโรฟอร์ม เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยวางไว้ในที่มืด อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จากนั้นนำตัวอย่างดินทั้ง 2 ชุด มาสกัดด้วย K_2SO_4 0.5 M ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เขย่าด้วยเครื่องเขย่าเป็นเวลาครึ่งชั่วโมง แล้วกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 จากนั้นนำสารละลายที่กรองได้มาวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 280 นาโนเมตร และนำค่าที่อ่านได้ไปคำนวณหาปริมาณชีวมวลคาร์บอน ดังสมการ

Biomass C = 21,747 (E280) หน่วย $\mu g\ C\ g^{-1}soil$

E280 คือค่าการดูดกลืนแสงต่อกรัมดิน

ทำการศึกษาจำนวน 25 จุด ในแปลงศึกษาขนาด 50 × 50 ตารางเมตร ฤดูกาลละ 2 ครั้ง โดยฤดูแล้งศึกษาในเดือนเมษายน 2556 และเดือนมีนาคม 2557 ส่วนฤดูฝนศึกษาในเดือนสิงหาคม 2556 และเดือนพฤษภาคม 2557

3.9 การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ความแตกต่างของการหายใจของดินและปัจจัยสิ่งแวดล้อมต่างๆระหว่างฤดูแล้งและฤดูฝน โดยใช้ Independent-sample t-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ด้วยโปรแกรม SPSS 19 สำหรับระบบปฏิบัติการ Windows

3.10 สรุปและเขียนเล่มวิทยานิพนธ์

บทที่ 4
ผลการศึกษา

4.1 โครงสร้างป่า

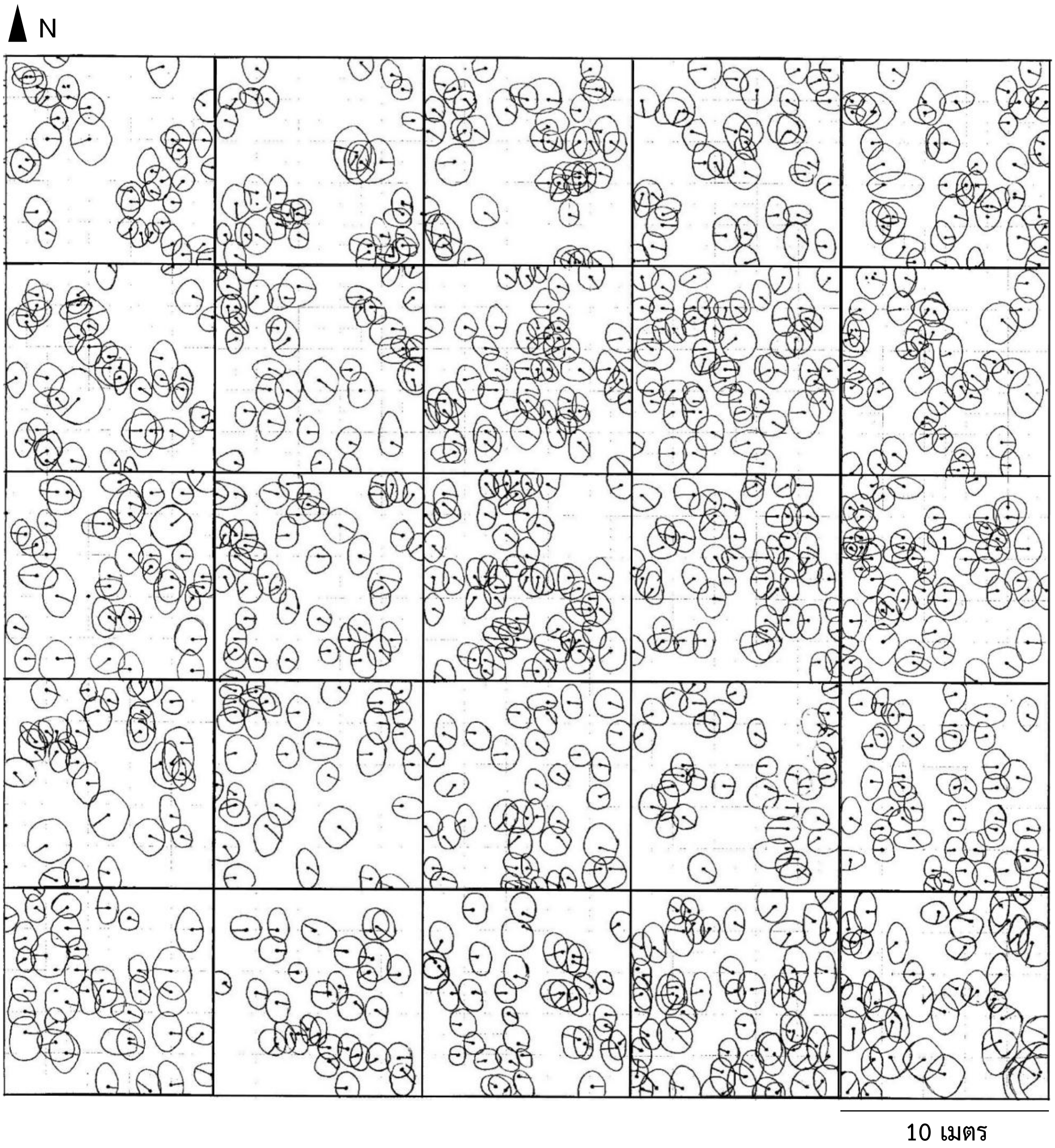
ลักษณะโครงสร้างป่าในพื้นที่ศึกษาขนาด 50 × 50 ตารางเมตร ที่อยู่ภายใต้การดูแลของสถานีพัฒนาทรัพยากรป่าชายเลนที่ 6 บางขุนไทร จังหวัดเพชรบุรี พบว่าพันธุ์ไม้ที่พบในพื้นที่ศึกษามีเพียงชนิดเดียวคือแสมทะเล ซึ่งมีการกระจายค่อนข้างสม่ำเสมอและมีการปกคลุมเรือนยอดทั่วพื้นที่ศึกษา (ภาพที่ 4.1) โดยมีความหนาแน่นเท่ากับ 4,644 ต้นต่อเฮกแตร์ ค่าเฉลี่ยของ DBH และ D_0 เท่ากับ 6.6 และ 8.6 เซนติเมตร ตามลำดับ ความสูงเฉลี่ยเท่ากับ 5.2 เมตร พื้นที่หน้าตัดรวมของลำต้นเท่ากับ 16.64 ตารางเมตรต่อเฮกแตร์ (ตารางที่ 4.1)

นอกจากนี้ได้ทำการวัดความหนาแน่นของรากเหนือดินของแสมทะเลในพื้นที่ศึกษา จากพื้นที่สุ่มย่อยขนาด 25 × 25 ตารางเซนติเมตร จำนวน 100 จุด และพบว่ามีความหนาแน่นรากเหนือดินเฉลี่ยเท่ากับ 182.72 รากต่อตารางเมตร และมีความสูงเฉลี่ยเท่ากับ 18.52 ตารางเซนติเมตร

ตารางที่ 4.1 ลักษณะโครงสร้างป่าในพื้นที่ศึกษาขนาด 50 × 50 ตารางเมตร

ความหนาแน่นของแสมทะเล	4,644 ต้นต่อเฮกแตร์
เส้นผ่านศูนย์กลางระดับอกเฉลี่ยของลำต้น	6.6 เซนติเมตร
เส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับผิวดินเฉลี่ย	8.6 เซนติเมตร
ความสูงเฉลี่ย	5.2 เมตร
Basal area	16.64 ตารางเมตรต่อเฮกแตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

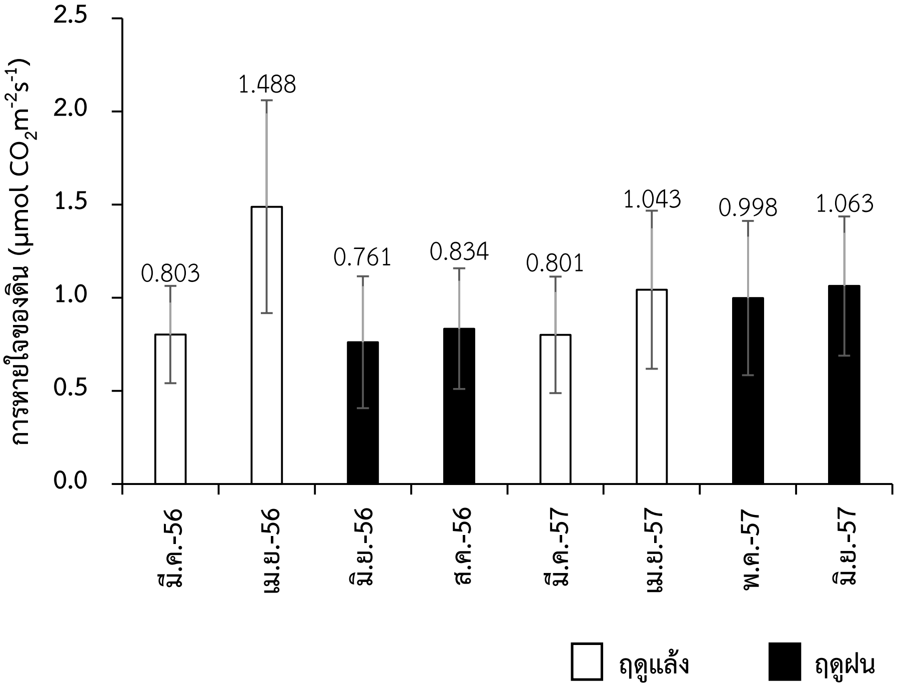


ภาพที่ 4.1 ตำแหน่งและการปกคลุมเรือนยอดของต้นไม้ในพื้นที่ศึกษาขนาด 50 × 50 ตารางเมตร

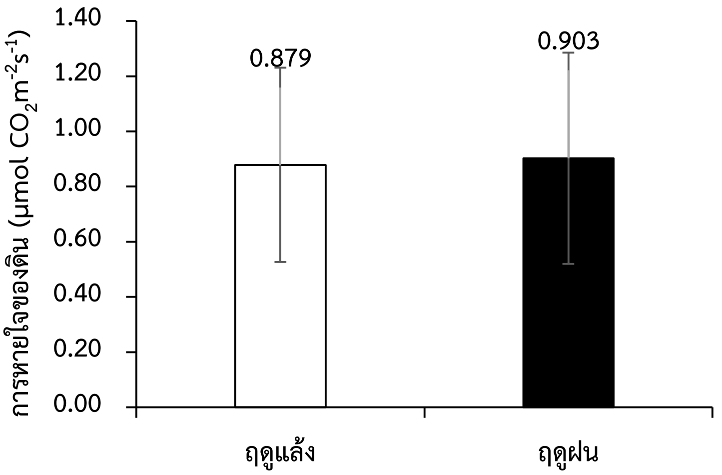
4.2 การหายใจของดิน

ค่า Rs เมื่อวัดโดยใช้ soil chamber ครอบดินแบบหลีกเลี่ยงรากเหนือดิน มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.761 - 1.488 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$ และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.007 ± 0.428 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$ โดยในเดือนเมษายน 2556 มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุดเท่ากับ 1.488 ± 0.571 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$ และในเดือนมิถุนายน 2556 มีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุดเท่ากับ 0.761 ± 0.354 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$ (ภาพที่ 4.2)

นอกจากนี้เมื่อพิจารณาค่า Rs ในแต่ละเดือนพบว่า Rs ในเดือนเมษายน 2556 มีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (One-Way Anova, $P<0.05$) กับ Rs ในเดือนอื่นๆ ดังนั้นเมื่อทดสอบความแตกต่างระหว่างฤดูกาลโดยไม่รวมค่า Rs ในเดือนเมษายน 2556 พบว่า Rs ไม่มีความแตกต่างกันระหว่างฤดูกาลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) แต่มีแนวโน้มว่าในฤดูฝนมีค่า Rs สูงกว่าในฤดูแล้ง โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.903 ± 0.383 และ 0.879 ± 0.352 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$ ในฤดูฝนและฤดูแล้งตามลำดับ (ภาพที่ 4.3)



ภาพที่ 4.2 ค่า Rs เฉลี่ยเมื่อวัดโดยใช้ soil chamber ครอบดินแบบหลีกเลี่ยงรากเหนือดินในแต่ละเดือน



ภาพที่ 4.3 ค่า Rs เฉลี่ยเมื่อวัดโดยใช้ soil chamber ครอบดินแบบหลีกเลี่ยงรากเหนือดินในฤดูแล้งและฤดูฝน

4.3 มวลชีวภาพราก

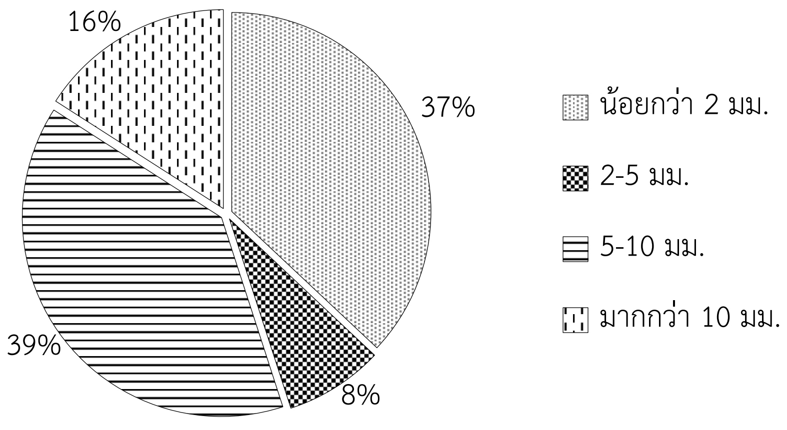
4.3.1 มวลชีวภาพรากเหนือดินและใต้ดิน

มวลชีวภาพรากเหนือดินและใต้ดินที่ระดับความลึกจากผิวดิน 30 เซนติเมตร มีค่าอยู่ในช่วง 11.48 - 68.38 ตันต่อเฮกแตร์ และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 31.03 ± 1.04 ตันต่อเฮกแตร์

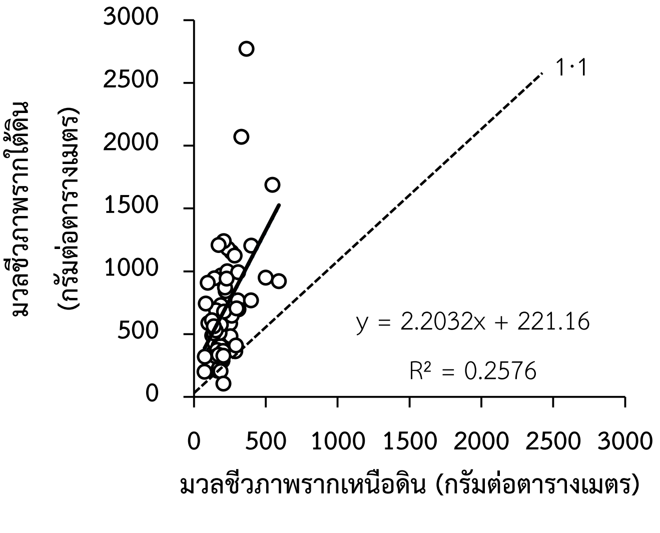
4.3.2 สัดส่วนมวลชีวภาพรากใต้ดินขนาดต่างๆ

สัดส่วนมวลชีวภาพรากใต้ดินขนาดต่างๆของแสมทะเล พบว่ารากที่มีขนาดน้อยกว่า 2 มิลลิเมตร กับรากที่มีขนาด 5 - 10 มิลลิเมตร มีสัดส่วนใกล้เคียงกัน คือ 37% และ 39% ตามลำดับ รองลงมาคือรากขนาดมากกว่า 10 มิลลิเมตร มีสัดส่วน 16% และขนาด 2 - 5 มิลลิเมตร มีสัดส่วน 8% (ภาพที่ 4.4)

นอกจากนี้ยังพบสมการถดถอยเชิงเส้นตรงระหว่างมวลชีวภาพรากเหนือดินและใต้ดิน (R^2 = 0.2576, P<0.01) โดยเมื่อพิจารณาจากกราฟพบว่าสัดส่วนมวลชีวภาพรากใต้ดินมีค่าสูงกว่าสัดส่วนมวลชีวภาพรากเหนือดิน (ภาพที่ 4.5)



ภาพที่ 4.4 สัดส่วนมวลชีวภาพรากใต้ดินขนาดต่างๆ 4 ขนาด



ภาพที่ 4.5 สมการถดถอยเชิงเส้นตรงระหว่างมวลชีวภาพรากเหนือดินและรากใต้ดิน

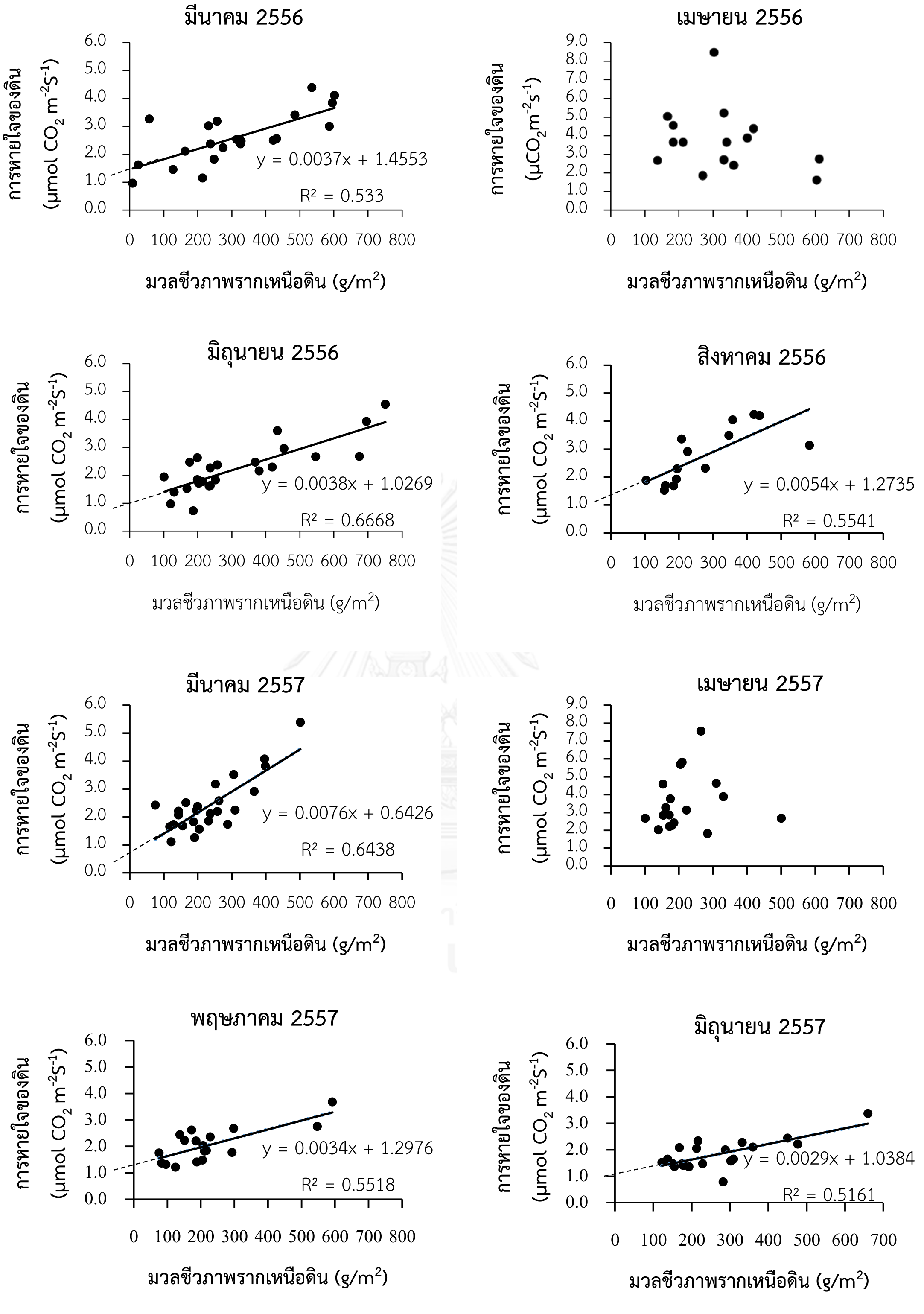
4.4 การประมาณ Rh ด้วยวิธี Regression technique

เมื่อวัด Rs โดยใช้ soil chamber ครอบดินแบบรวมรากเหนือดิน และนำค่าดังกล่าวมาประมาณค่า Rh ด้วยวิธี regression technique โดยทำการสร้างสมการระหว่าง Rs กับมวลชีวภาพรากในแต่ละส่วน ได้แก่ Rs กับมวลชีวภาพรากเหนือดิน Rs กับมวลชีวภาพรากใต้ดิน และ Rs กับมวลชีวภาพรากทั้งหมด ผลการศึกษาพบว่าสามารถประมาณค่า Rh จากการสร้างสมการถดถอยเชิงเส้นตรงระหว่าง Rs กับมวลชีวภาพรากเหนือดิน ($P<0.01$) (ภาพที่ 4.6) อย่างไรก็ตามในเดือนเมษายน 2556 และ 2557 ไม่พบสมการถดถอยเชิงเส้นตรงระหว่างค่าดังกล่าว รวมทั้งไม่พบสมการถดถอยเชิงเส้นตรงระหว่าง Rs กับมวลชีวภาพรากใต้ดิน และระหว่าง Rs กับมวลชีวภาพรากทั้งหมดได้ ดังนั้น Rh จึงประมาณได้จากสมการถดถอยเชิงเส้นตรงระหว่าง Rs กับมวลชีวภาพรากเหนือดินเท่านั้น (ภาพที่ 4.7 และ 4.8)

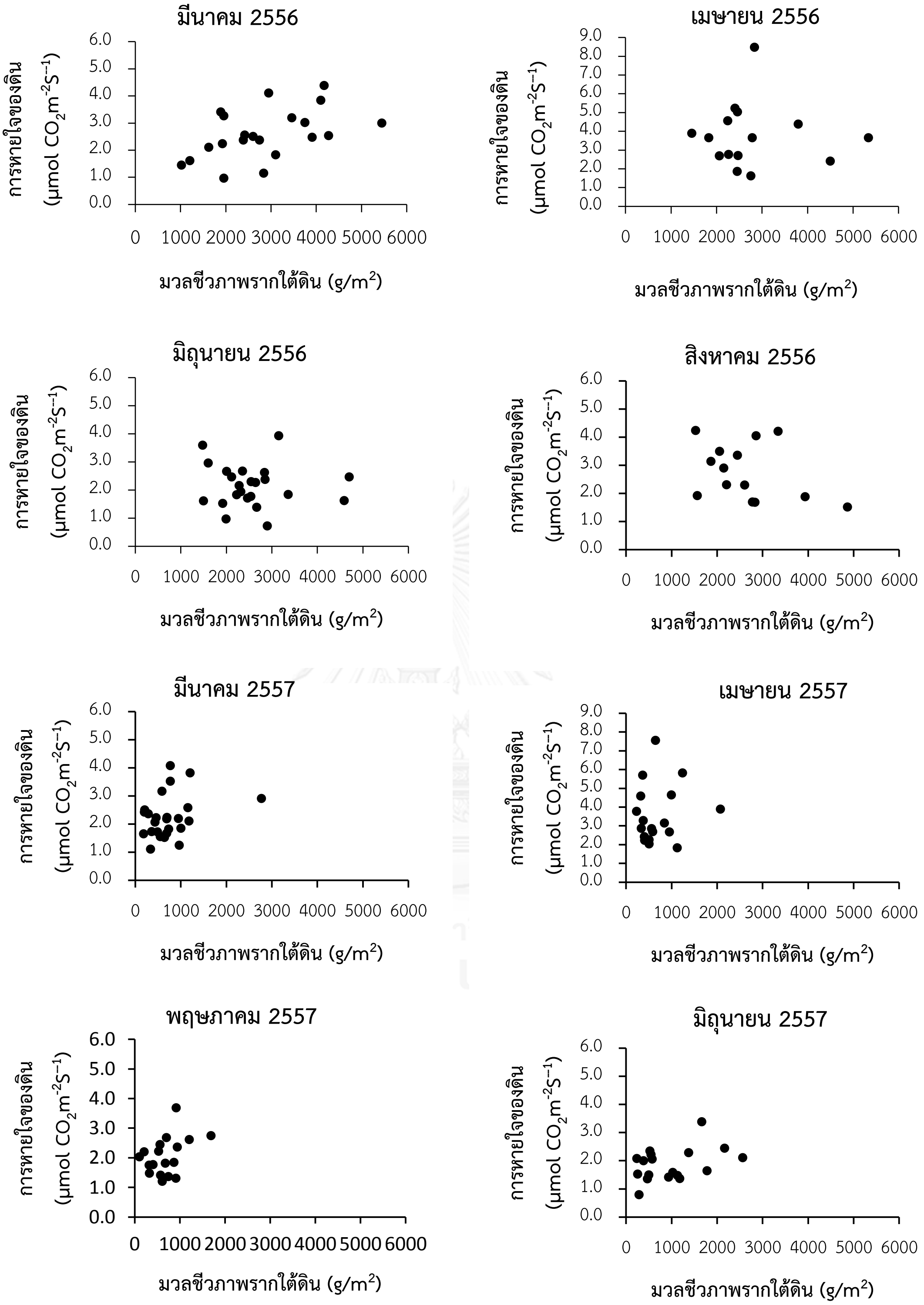
นอกจากนี้ยังพบว่าสามารถสร้างสมการถดถอยเชิงเส้นตรงระหว่าง Rs กับพื้นที่ผิวรากเหนือดินเพื่อประมาณค่า Rh ได้ ($P<0.01$) ยกเว้นในเดือนเมษายน 2556 และ 2557 ที่ไม่สามารถสร้างสมการถดถดถอยเชิงเส้นตรงระหว่างค่าดังกล่าวได้ (ภาพที่ 4.9)

ค่า Rh ที่ประมาณจากสมการถดถอยเชิงเส้นตรงระหว่าง Rs กับมวลชีวภาพรากเหนือดิน มีค่าอยู่ในช่วง 0.643 - 1.455 μmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$ (ตารางที่ 4.2) โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.104 ± 0.298 μmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$ และค่า Rh ที่ประมาณจากสมการถดถอยเชิงเส้นตรงระหว่าง Rs กับพื้นที่ผิวรากเหนือดิน มีค่าอยู่ในช่วง 0.794 - 1.232 μmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$ (ตารางที่ 4.3) และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.047 ± 0.162 μmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$

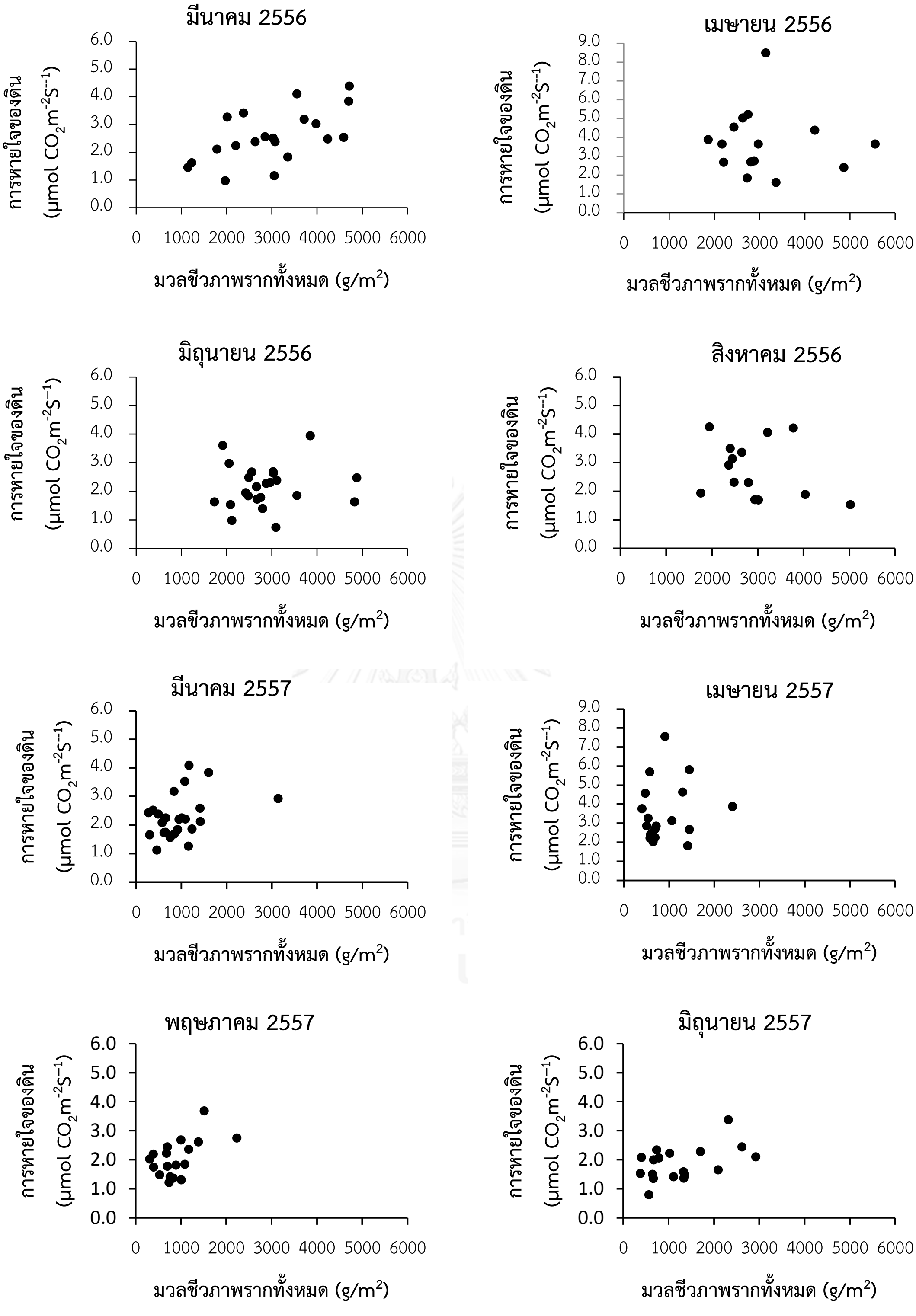
Chulalongkorn University



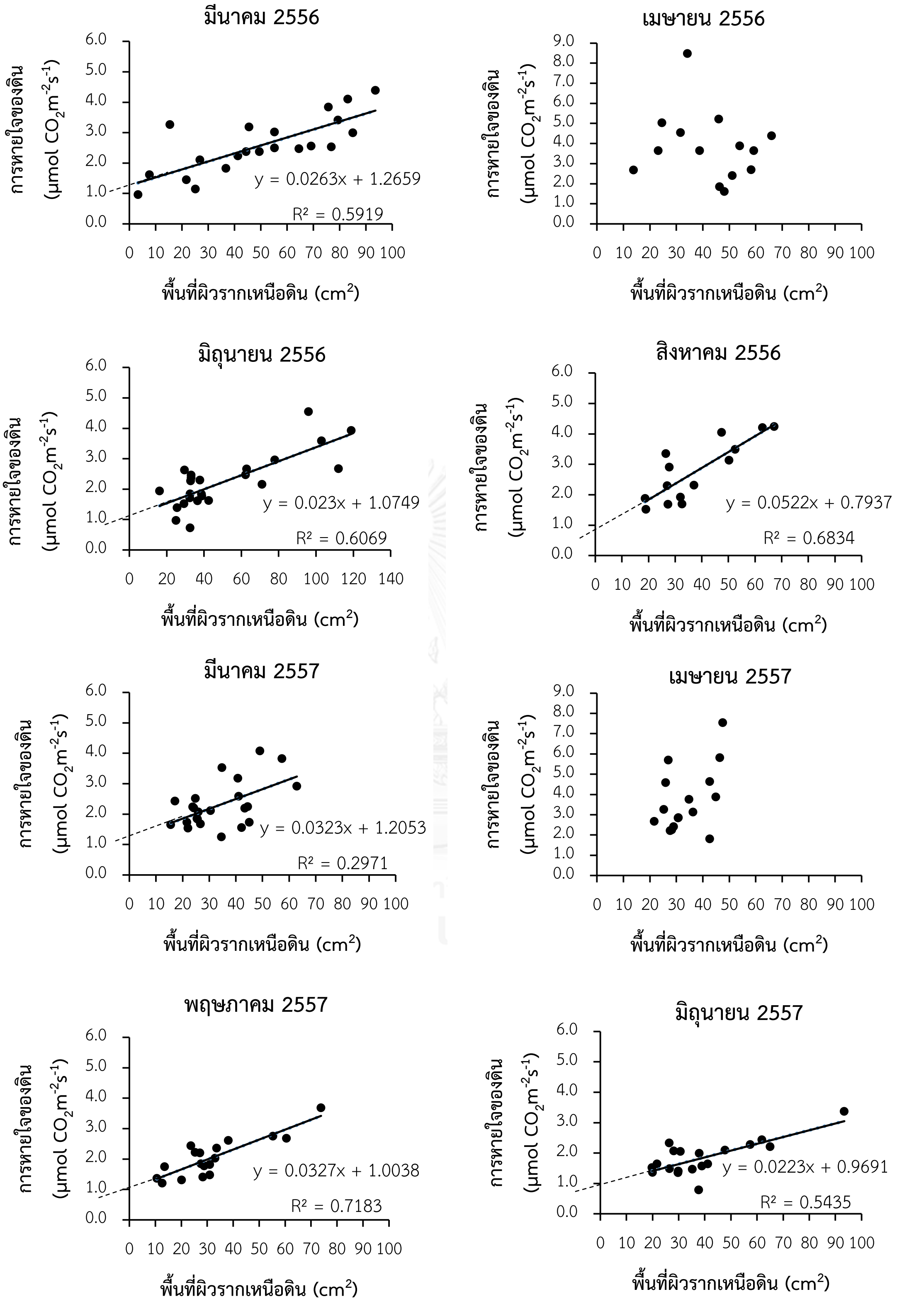
ภาพที่ 4.6 สมการถดถอยเชิงเส้นตรงระหว่าง Rs เมื่อครอบรากเหนือดินกับมวลชีวภาพรากเหนือดิน



ภาพที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่าง Rs เมื่อครอบรากเหนือดินกับมวลชีวภาพรากใต้ดิน



ภาพที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่าง Rs เมื่อครอบรากเหนือดินกับมวลชีวภาพรากทั้งหมด (เหนือดินและใต้ดิน)



ภาพที่ 4.9 สมการถดถอยเชิงเส้นระหว่าง Rs เมื่อครอบรากเหนือดินกับพื้นที่ผิวรากเหนือดิน

ตารางที่ 4.2 สมการถดถอยเชิงเส้นตรงระหว่าง Rs เมื่อครอบรากเหนือดินกับมวลชีวภาพรากเหนือดิน

เดือน	n	สมการถดถอยเชิงเส้นตรง	Rh	R^2	ค่า P
มีนาคม 2556	21	0.0037x + 1.4553	1.455	0.533	<0.01
เมษายน 2556	15	-0.0032x + 4.811	-	0.0756	>0.05
มิถุนายน 2556	24	0.0038x + 1.0269	1.027	0.6668	<0.01
สิงหาคม 2556	14	0.0054x + 1.2735	1.274	0.5541	<0.01
มีนาคม 2557	25	0.0076x + 0.6426	0.643	0.6438	<0.01
เมษายน 2557	19	0.0033x + 3.1254	-	0.0233	>0.05
พฤษภาคม 2557	18	0.0034x + 1.2976	1.298	0.5518	<0.01
มิถุนายน 2557	19	0.0029x + 1.0384	1.038	0.5161	<0.01

ตารางที่ 4.3 สมการถดถอยเชิงเส้นตรงระหว่าง Rs เมื่อครอบรากเหนือดินกับพื้นที่ผิวรากเหนือดิน

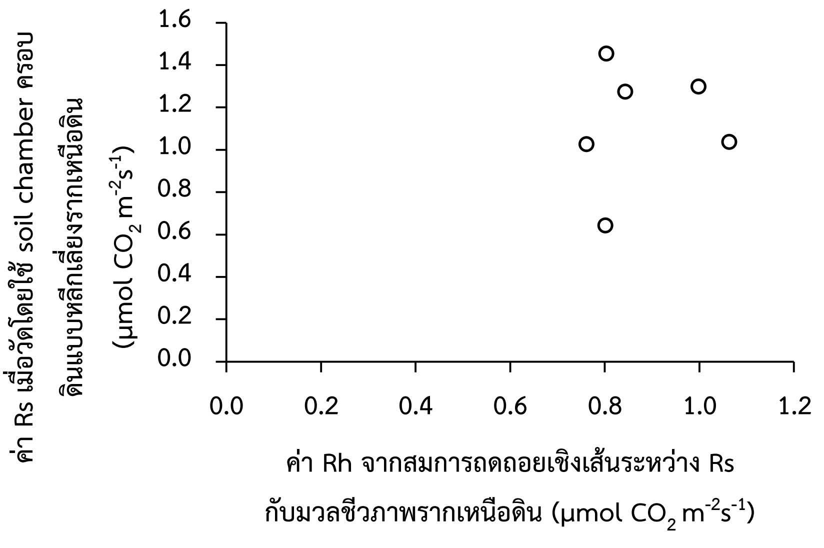
เดือน	n	สมการถดถอยเชิงเส้นตรง	Rh	R^2	ค่า P
มีนาคม 2556	21	0.0263x + 1.2659	1.266	0.5919	<0.01
เมษายน 2556	14	-0.0215x + 4.7501	-	0.0359	>0.05
มิถุนายน 2556	24	0.023x + 1.0749	1.075	0.6069	<0.01
สิงหาคม 2556	14	0.0522x + 0.7937	0.794	0.6834	<0.01
มีนาคม 2557	23	0.0323x + 1.2053	1.205	0.2971	<0.01
เมษายน 2557	17	0.0939x + 0.8502	-	0.1449	>0.05
พฤษภาคม 2557	18	0.0033x + 1.0038	1.004	0.7183	<0.01
มิถุนายน 2557	19	0.0223x + 0.9691	0.969	0.5435	<0.01

4.5 การเปรียบเทียบค่า Rs เมื่อวัดโดยใช้ soil chamber ครอบดินแบบหลีกเลี่ยงรากเหนือดินกับค่า Rh ที่ประมาณด้วยวิธี Regression technique

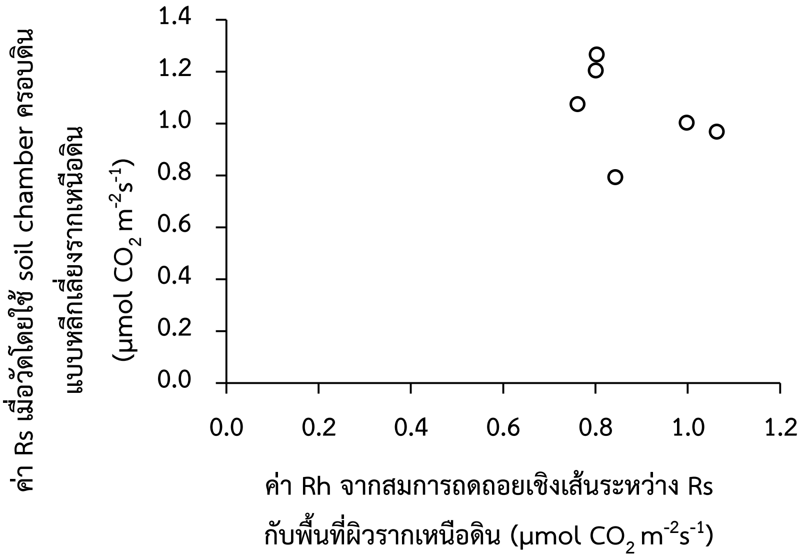
ทดสอบความความสัมพันธ์ระหว่างค่า Rs เมื่อวัดโดยใช้ soil chamber ครอบดินแบบหลีกเลี่ยงรากเหนือดินกับค่า Rh จากสมการระหว่างค่า Rs กับมวลชีวภาพรากเหนือดิน และระหว่าง Rs กับพื้นที่ผิวรากเหนือดิน โดยใช้ Pearson correlation analysis ผลการศึกษาไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างค่าดังกล่าว (ภาพที่ 4.10 และ 4.11) แต่อย่างไรก็ตามค่า Rs เมื่อวัดโดยใช้ soil chamber ครอบดินแบบหลีกเลี่ยงรากเหนือดินกับค่า Rh ที่ได้จากการประมาณทั้ง 2 สมการ มีค่าอยู่ในช่วงใกล้เคียงกัน

นอกจากนี้ยังพบว่าค่า Rh จากการประมาณด้วยสมการทั้งสองในแต่ละเดือน มีแนวโน้มสูงกว่าค่า Rs เมื่อวัดโดยใช้ soil chamber ครอบดินแบบหลีกเลี่ยงรากเหนือดิน (ตารางที่ 4.4)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Rs เมื่อวัดโดยใช้ soil chamber ครอบดินแบบหลีกเลี่ยงรากเหนือดินกับค่า Rh จากสมการถดถอยเชิงเส้นระหว่าง Rs กับมวลชีวภาพรากเหนือดิน



ภาพที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Rs เมื่อวัดโดยใช้ soil chamber ครอบดินแบบหลีกเลี่ยงรากเหนือดินกับค่า Rh จากสมการถดถอยเชิงเส้นระหว่าง Rs กับพื้นที่ผิวรากเหนือดิน

ตารางที่ 4.4 ค่า Rs เมื่อวัดโดยใช้ soil chamber หลีกเลี่ยงรากเหนือดินและค่า Rh จากการประมาณในแต่ละเดือน

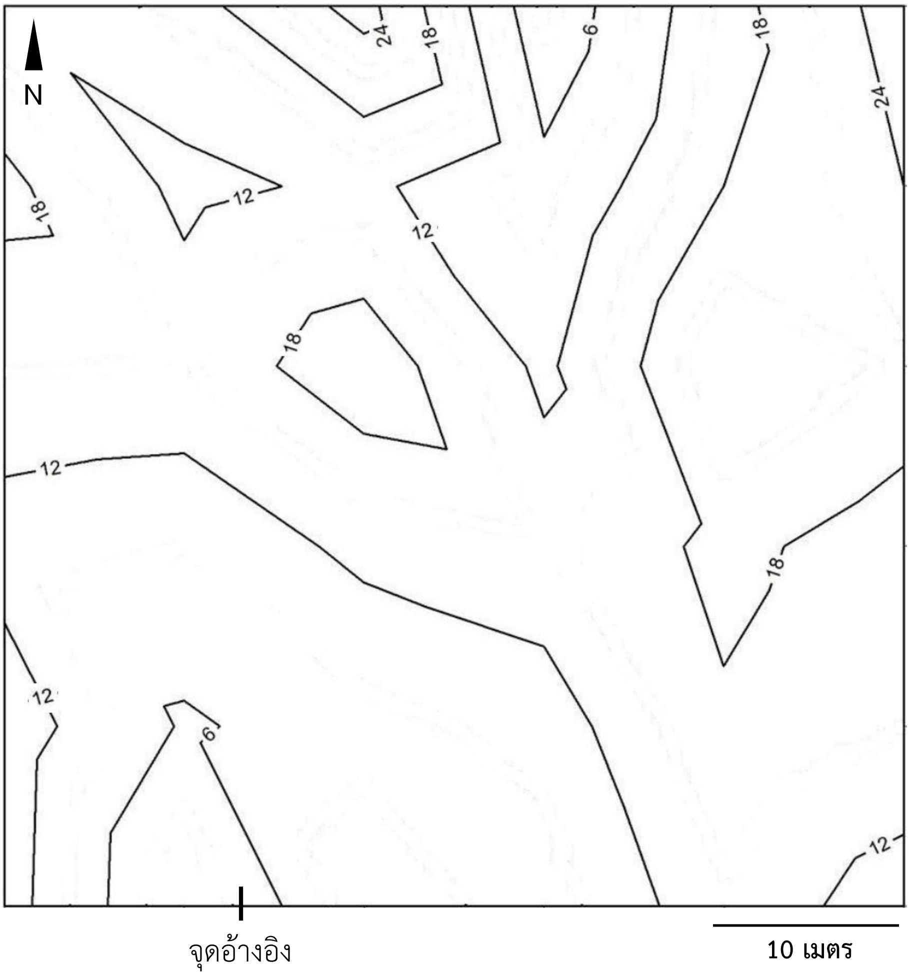
เดือน	Rs จากการวัดในตำแหน่งที่ไม่มีรากเหนือดิน (μmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$)	Rh จากการประมาณด้วยสมการถดถอยเชิงเส้นระหว่างการหายใจของดินกับมวลชีวภาพรากเหนือดิน (μmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$)	Rh จากการประมาณด้วยสมการถดถอยเชิงเส้นระหว่างการหายใจของดินกับพื้นที่ผิวรากเหนือดิน (μmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$)
มีนาคม 2556	0.803	1.455	1.266
มิถุนายน 2556	0.761	1.027	1.075
สิงหาคม 2556	0.834	1.274	0.794
มีนาคม 2557	0.801	0.643	1.205
พฤษภาคม 2557	0.998	1.298	1.004
มิถุนายน 2557	1.063	1.038	0.969

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.6 ปัจจัยสิ่งแวดล้อม

4.6.1 ความลาดชันของพื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษามีความสูงสัมพัทธ์ 0 - 24 เซนติเมตร จากจุดอ้างอิง แสดงให้เห็นว่าพื้นที่ศึกษามีความลาดชันน้อย โดยความสูงสัมพัทธ์ของพื้นที่ศึกษาทางด้านทิศเหนือซึ่งเป็นฝั่งที่อยู่ทางด้านทะเลมีแนวโน้มสูงกว่าบริเวณอื่นๆ (ภาพที่ 4.12) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะเมื่อพื้นที่ได้รับอิทธิพลจากน้ำทะเล ทำให้มีการพัดพาของตะกอนเข้ามา และบริเวณดังกล่าวนี้อยู่ใกล้ทะเลมากกว่าบริเวณอื่นจึงอาจมีการตกตะกอนมากกว่าบริเวณอื่นๆ



ภาพที่ 4.12 แผนที่แสดงความสูงของพื้นที่ศึกษาขนาด 50 × 50 ตารางเมตร

4.6.2 ลักษณะทางกายภาพและเคมีของดิน

ลักษณะเนื้อดินของพื้นที่ศึกษามีลักษณะเป็นดินเหนียว (clay) ทั้งในฤดูแล้งและฤดูฝน โดยมีเปอร์เซ็นต์อนุภาคดินเหนียวในฤดูแล้งต่ำฤดูฝน แต่มีเปอร์เซ็นต์อนุภาคดินทรายแป้งในฤดูแล้งสูงกว่าฤดูฝนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ส่วนเปอร์เซ็นต์อนุภาคดินทราย (sand) ไม่มีความแตกต่างกันในฤดูแล้งและฤดูฝน (ตารางที่ 4.5)

ความหนาแน่นรวมของดินมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.60 ± 0.07 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และเมื่อทดสอบความแตกต่างระหว่างฤดูกาลพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) โดยในฤดูแล้งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.57 ± 0.04 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และในฤดูฝนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.62 ± 0.06 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (ตารางที่ 4.6)

ค่าความเป็นกรด-ด่างของดินมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.01 ± 0.14 และเมื่อทดสอบความแตกต่างระหว่างฤดูกาลพบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างของดินมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) โดยในฤดูแล้งมีค่าต่ำกว่าในฤดูฝน ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.88 ± 0.14 และ 7.14 ± 0.28 ในฤดูแล้งและฤดูฝน ตามลำดับ (ตารางที่ 4.6) สำหรับความเค็มของน้ำในดิน พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 30 – 39 ppt โดยในช่วงฤดูแล้งมีค่าเท่ากับ 34.6 ± 2.87 ppt

ค่าศักย์การนำไฟฟ้าของดินมีค่าอยู่ในช่วง -264.00 ถึง 115.67 มิลลิโวลต์ โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ -71.46 มิลลิโวลต์ และเมื่อทดสอบความแตกต่างระหว่างฤดูกาลพบว่าค่าศักย์การนำไฟฟ้าของดินในฤดูแล้งมีค่าสูงกว่าในฤดูฝนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) โดยในฤดูแล้งมีค่าเท่ากับ -29.22 มิลลิโวลต์ ส่วนในฤดูฝนมีค่าเท่ากับ -101.44 มิลลิโวลต์ (ตารางที่ 4.6)

ความชื้นของดินที่ระดับความลึก 5 เซนติเมตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 54.56 ± 2.38% และเมื่อทดสอบความแตกต่างระหว่างฤดูกาลพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) โดยความชื้นดินเฉลี่ยในฤดูแล้งมีค่าเท่ากับ 54.56 ± 1.98% และในฤดูฝนมีค่าเท่ากับ 54.19 ± 2.71% (ตารางที่ 4.6)

ปริมาณอินทรียวัตถุ ปริมาณคาร์บอนและไนโตรเจนของดินในพื้นที่ศึกษา พบว่ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.88 ± 0.90 4.00 ± 0.52 และ 0.34 ± 0.03% ตามลำดับ และเมื่อทดสอบ

ความแตกต่างระหว่างฤดูกาลพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) โดยปริมาณอินทรียวัตถุ ปริมาณคาร์บอนและไนโตรเจนในฤดูแล้งมีค่าเฉลี่ย 7.34 ± 0.90 4.26 ± 0.90 และ 0.35 ± 0.04% ตามลำดับ ส่วนฤดูฝนมีค่าเฉลี่ย 6.67 ± 0.91 3.87 ± 0.53 และ 0.34 ± 0.03% ตามลำดับ (ตารางที่ 4.7)

ตารางที่ 4.5 องค์ประกอบของเนื้อดินแยกตามขนาดอนุภาคดินในฤดูฝนและฤดูแล้ง

ฤดูกาล	% ดินเหนียว	% ดินทรายแป้ง	% ดินทราย	ชนิดเนื้อดิน
ฤดูแล้ง	54.44 ± 3.20*	30.45 ± 3.12*	15.10 ± 4.50	ดินเหนียว
ฤดูฝน	51.37 ± 2.99	34.50 ± 4.02	14.13 ± 5.02	ดินเหนียว

หมายเหตุ ตัวเลขในตารางคือ ค่าเฉลี่ย ± SD

* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

ตารางที่ 4.6 ปริมาณอินทรียวัตถุ ความหนาแน่นรวมของดิน ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าศักย์การนำไฟฟ้าของดิน ค่าความชื้นของดิน ปริมาณคาร์บอน และปริมาณไนโตรเจน ในฤดูฝนและฤดูแล้ง

ปัจจัยสิ่งแวดล้อม	ฤดูแล้ง	ฤดูฝน	ค่าเฉลี่ย
ปริมาณอินทรียวัตถุ (%)	7.34 ± 0.90	6.67 ± 0.91	6.88 ± 0.90
ความหนาแน่นรวมของดิน (g/m^3)	0.57 ± 0.04	0.62 ± 0.06	0.60 ± 0.07
ความเป็นกรด-ด่างของดิน	6.88 ± 0.14*	7.14 ± 0.28	7.01 ± 0.14
ศักย์การนำไฟฟ้าของดิน (mV)	-29.22*	-101.44	-71.46
ความชื้นของดิน (%)	54.56 ± 1.98	54.19 ± 2.71	54.56 ± 2.38
ปริมาณคาร์บอน (%)	4.26 ± 0.90	3.87 ± 0.53	4.00 ± 0.52
ปริมาณไนโตรเจน (%)	0.35 ± 0.04	0.34 ± 0.03	0.34 ± 0.03

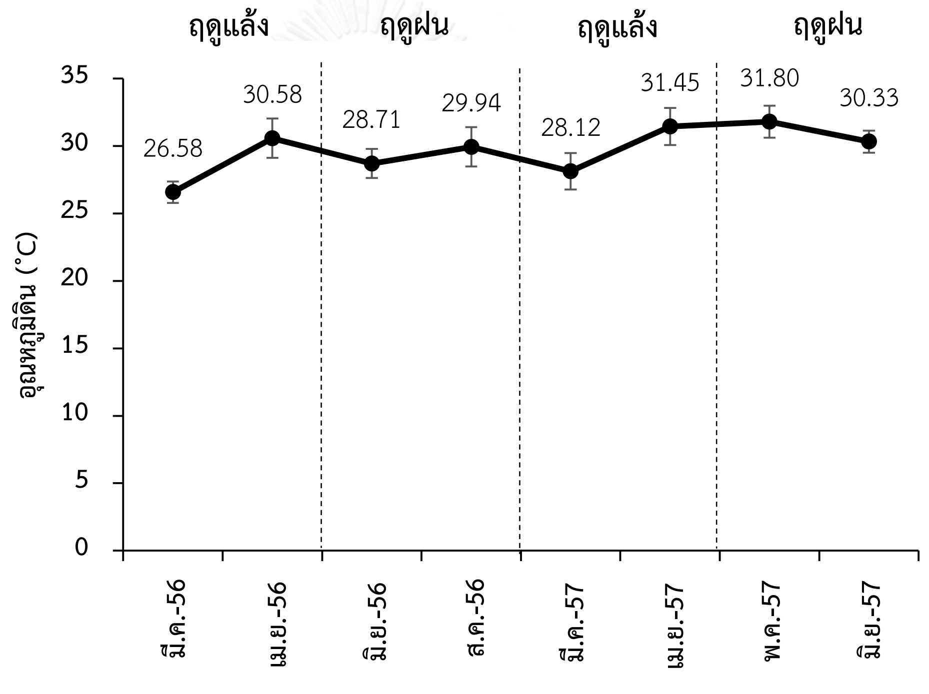
หมายเหตุ ตัวเลขในตารางคือ ค่าเฉลี่ย ± SD

* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

4.6.3 อุณหภูมิดิน

อุณหภูมิดินที่ระดับความลึก 5 เซนติเมตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 29.58 ± 2.08 องศาเซลเซียส โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 26.58 - 31.80 องศาเซลเซียส โดยเดือนพฤษภาคม 2557 อุณหภูมิดินเฉลี่ยมีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 31.80 ± 1.19 องศาเซลเซียส และในเดือนมีนาคม 2556 มีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุดเท่ากับ 26.58 ± 0.79 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 4.13) และเมื่อทดสอบความแตกต่างตามฤดูกาล พบว่าอุณหภูมิดินมีความแตกต่างกันระหว่างฤดูแล้งและฤดูฝน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) โดยมีอุณหภูมิดินเฉลี่ยเท่ากับ 28.97 ± 2.30 และ 30.14 ± 1.66 องศาเซลเซียส ในฤดูแล้งและฤดูฝน ตามลำดับ



ภาพที่ 4.13 อุณหภูมิดินที่ระดับความลึก 5 เซนติเมตร ในช่วงเวลาเดียวกับการวัด Rs

4.6.4 ระดับน้ำใต้ดิน

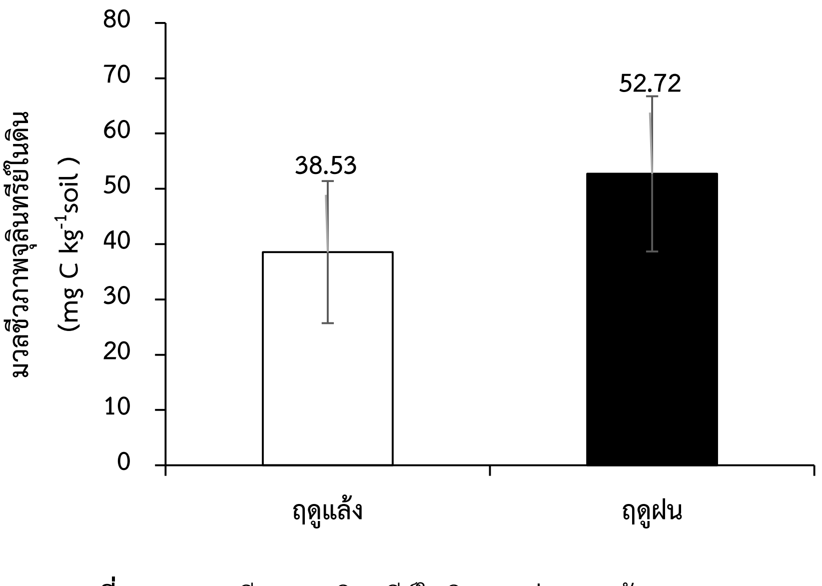
ระดับน้ำใต้ดินที่ระดับความลึก 30 เซนติเมตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.7 ± 4.7 เซนติเมตร โดยในฤดูแล้งมีระดับใต้ดินต่ำกว่าในฤดูฝน ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.5 ± 2.0 และ 8.2 ± 4.8 เซนติเมตร ในฤดูแล้งและฤดูฝน ตามลำดับ

4.6.5 ระยะเวลาการท่วมถึงของน้ำทะเล

พื้นที่ศึกษาได้รับอิทธิพลจากการท่วมถึงของน้ำทะเลเป็นบางวันเท่านั้น ทั้งนี้เนื่องจากพื้นที่ศึกษาอยู่ลึกเข้าไปด้านในแผ่นดินซึ่งไกลจากทะเลประมาณ 250 เมตร โดยมีระยะเวลาการท่วมนาน 6-8 ชั่วโมงในแต่ละครั้ง และมีการท่วมสูงประมาณ 15-30 เซนติเมตร ขึ้นกับความสูงของพื้นที่ในแต่ละบริเวณ

4.7 มวลชีวภาพจุลินทรีย์ในดิน

จากการศึกษามวลชีวภาพจุลินทรีย์ในดินด้วยวิธี Chloroform-fumigation extraction พบว่ามวลชีวภาพจุลินทรีย์มีค่าอยู่ในช่วง 17.06 - 73.52 mg C kg^{-1}soil และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 44.12 ± 14.96 mg C kg^{-1}soil และเมื่อทดสอบความแตกต่างระหว่างฤดูกาล พบว่ามวลชีวภาพจุลินทรีย์ในดินมีความแตกต่างกันในระหว่างฤดูแล้งและฤดูฝนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยในฤดูแล้งมีค่าเท่ากับ 38.53 ± 12.86 mg C kg^{-1}soil ส่วนในฤดูฝนมีค่าเท่ากับ 52.72 ± 14.03 mg C kg^{-1}soil (ภาพที่ 4.14)

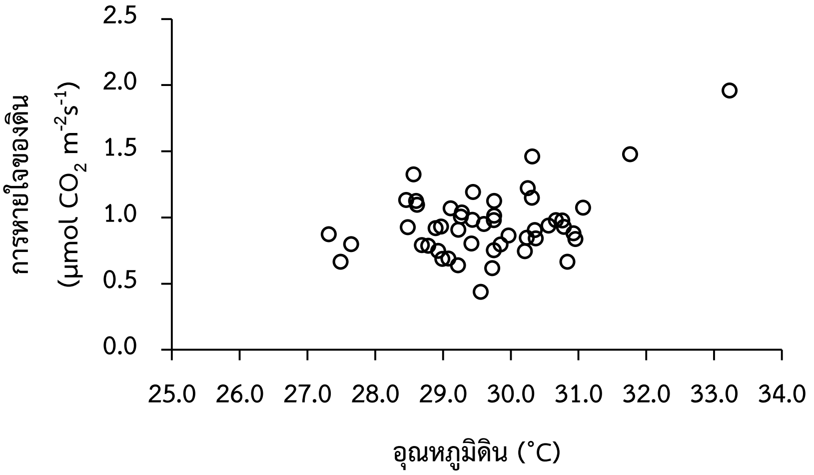


ภาพที่ 4.14 มวลชีวภาพจุลินทรีย์ในดินระหว่างฤดูแล้งและฤดูฝน

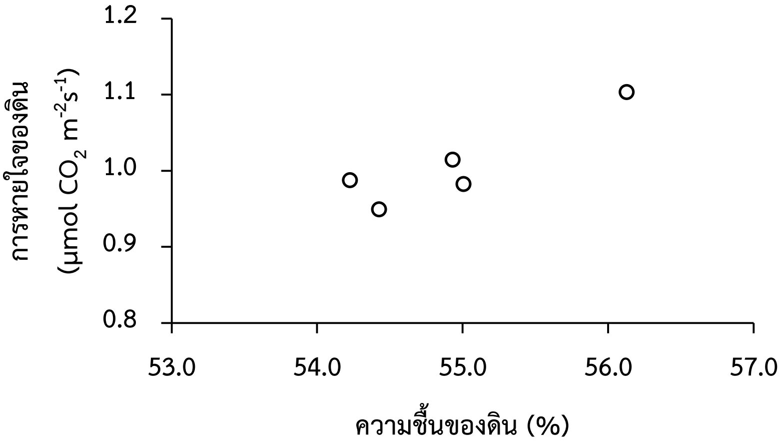
4.8 ความสัมพันธ์ระหว่าง Rs กับปัจจัยที่เกี่ยวข้อง

เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง Rs กับปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้อง โดยใช้ Pearson correlation analysis พบว่า Rs มีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับอุณหภูมิดิน (r = 0.426, P=0.002) (ภาพที่ 4.15) ทั้งในฤดูแล้งและฤดูฝน ในขณะที่พบความสัมพันธ์ระหว่าง Rs กับความชื้นของดินในฤดูแล้ง (r = 0.903, P=0.036) (ภาพที่ 4.16) แต่ไม่พบความสัมพันธ์ดังกล่าวในฤดูฝน นอกจากนี้ยังพบว่า Rs มีแนวโน้มลดลงเมื่อระดับน้ำใต้ดินสูงขึ้น อย่างไรก็ตามผลการศึกษาไม่พบความสัมพันธ์ระหว่าง Rs กับปัจจัยอื่นๆ ได้แก่ ความหนาแน่นรวมของดิน ความเป็นกรด-ด่างของดิน ศักย์การนำไฟฟ้าของดิน ปริมาณน้ำฝน ปริมาณอินทรียวัตถุ ปริมาณคาร์บอน และปริมาณไนโตรเจน (ตารางที่ 4.7)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Rs กับอุณหภูมิดิน (r=0.426, P=0.002)



ภาพที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Rs และความชื้นของดินในฤดูแล้ง (r=0.903, P=0.036)

ตารางที่ 4.7 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ระหว่าง Rs กับปัจจัยต่างๆที่เกี่ยวข้อง

ปัจจัยสิ่งแวดล้อม	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์	P
อุณหภูมิดิน	0.426**	0.002
ความหนาแน่นรวมของดิน	-0.220	0.675
ความเป็นกรด-ด่างของดิน	-0.041	0.810
ศักย์การนำไฟฟ้าของดิน	0.154	0.343
ความชื้นดิน	0.903*	0.036
ปริมาณน้ำฝน	-0.284	0.495
ปริมาณอินทรียวัตถุ	0.114	0.725
ปริมาณคาร์บอน	0.114	0.725
ปริมาณไนโตรเจน	0.132	0.683
ปริมาณน้ำฝน	-0.284	0.495
มวลชีวภาพจุลินทรีย์ในดิน	-0.251	0.197

หมายเหตุ ** หมายถึง มีความสัมพันธ์ทางสถิติ (P<0.01)

* หมายถึง มีความสัมพันธ์ทางสถิติ (P<0.05)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 5
อภิปรายผลการศึกษา

5.1 โครงสร้างป่า

ป่าชายเลนในพื้นที่ศึกษาขนาด 50 × 50 ตารางเมตร พบการกระจายของแสมทะเลเพียงชนิดเดียวและมีการกระจายสม่ำเสมอทั่วพื้นที่ศึกษา ซึ่งจัดเป็นป่าแสมทะเลรุ่นสองที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ พื้นที่ศึกษานี้อยู่ห่างจากชายฝั่งทะเลประมาณ 250 เมตร ได้รับอิทธิพลจากน้ำทะเลเป็นครั้งคราว และมีลักษณะเนื้อดินเป็นดินเหนียว แต่ก็ยังพบการกระจายของแสมทะเลทั่วพื้นที่ศึกษา เนื่องจากแสมทะเลเป็นพืชที่สามารถเจริญเติบโตได้ในสภาวะแวดล้อมที่ผันแปรในช่วงกว้าง เช่น อุณหภูมิดินและความเค็มสูง (Abohassan et al., 2012; อักษรแก้ว, 2541) แม้ว่าโดยทั่วไปแสมทะเลจะเป็นกลุ่มไม้เบิกนำที่ขึ้นกระจายอยู่บริเวณชายฝั่งที่ได้รับอิทธิพลจากน้ำทะเลอยู่สม่ำเสมอ และอยู่ในบริเวณที่เป็นดินปนทรายแป้งก็ตาม (อักษรแก้ว, 2541) นอกจากนี้พืชที่เป็นไม้เบิกนำมักมีอายุสั้น เมื่อตายไปและย่อยสลายจะช่วยเพิ่มธาตุอาหารให้กับดิน เป็นการเปิดโอกาสให้พืชชนิดอื่นๆเข้ามางอกและเจริญเติบโตได้ง่าย (Tomlinson, 1986)

ขนาดของ DBH ของการศึกษาครั้งนี้มีค่าน้อยกว่าการศึกษาของ Tamooh และคณะ ปี 2008 ในป่าชายเลนที่ประเทศเคนย่า และการศึกษาของ Yoshikawa และคณะ ปี 2011 ในป่าแสมทะเลที่ประเทศอียิปต์ (ตารางที่ 5.1) เนื่องจากมีความหนาแน่นของต้นไม้สูงกว่า นอกจากนี้ยังพบว่าพื้นที่หน้าตัดรวมของลำต้นมีค่าใกล้เคียงกับการศึกษาของ Tamooh และคณะ ปี 2008 แต่มีค่าน้อยกว่าการศึกษาของ Yoshikawa และคณะ ปี 2011 (ตารางที่ 5.1) เนื่องจากความแตกต่างของขนาด DBH และความหนาแน่นของต้นไม้ในแต่ละพื้นที่

ตารางที่ 5.1 ความหนาแน่นของต้นไม้ (ต้นต่อเฮกแตร์) DBH เฉลี่ย (เซนติเมตร) และพื้นที่หน้าตัดรวมของลำต้น (ตารางเมตรต่อเฮกแตร์)

ความหนาแน่นของต้นไม้ (ต้นต่อเฮกแตร์)	DBH เฉลี่ย (เซนติเมตร)	พื้นที่หน้าตัดรวมของลำต้น (ตารางเมตรต่อเฮกแตร์)	เอกสารอ้างอิง
4644	6.6	16.64	การศึกษาครั้งนี้
3133	7.9	16.20	Tamooh et al. 2008
2200	9.2	38.30	Yoshikawa et al. 2011

5.2 การหายใจของดิน

ค่า Rs เมื่อวัดโดยใช้ soil chamber ครอบดินแบบหลีกเลี่ยงรากเหนือดิน มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.761 - 1.488 μmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$ ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วงเดียวกับการศึกษาของ Alongi และคณะ ปี 2000 ในป่าชายเลน ประเทศออสเตรเลีย ที่มีค่าอยู่ในช่วง 0.048 - 1.470 μmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$ แต่การศึกษาครั้งนี้ให้ค่าสูงกว่าการศึกษาของ Lovelock ปี 2008 ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 0.371 - 0.511 μmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$ และการศึกษาของ Poungparn และคณะ ปี 2009 ที่มีค่าอยู่ในช่วง 0.456 - 0.876 μmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$ (ตารางที่ 5.2) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะลักษณะพื้นที่ที่แตกต่างกัน โดยพื้นที่ศึกษาครั้งนี้อยู่ห่างจากทะเลประมาณ 250 เมตร จึงได้รับอิทธิพลจากการท่วมของน้ำทะเลเป็นครั้งคราว ทำให้ดินมีลักษณะค่อนข้างแข็ง ประกอบกับมีระดับน้ำใต้ดินต่ำ ในขณะที่พื้นที่ศึกษาของ Lovelock ปี 2008 และ Poungparn และคณะ ปี 2009 เป็นพื้นที่ป่าชายเลนที่ได้รับอิทธิพลจากน้ำขึ้นน้ำลงตลอดเวลา ทำให้มีการท่วมของน้ำทะเลสม่ำเสมอและดินมีลักษณะค่อนข้างนิ่ม ดังนั้นอาจเป็นไปได้ว่าดินในพื้นที่ศึกษาครั้งนี้มีการถ่ายเทอากาศดีกว่า จึงส่งผลให้กิจกรรมของจุลินทรีย์ต่างๆในดินสูงกว่า Rs จึงสูงกว่า

อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบกับค่า Rs ในป่าบก พบว่า Rs จากการศึกษาครั้งนี้มีค่าน้อยกว่า Rs ในป่าบกอื่นๆ (Caquet et al., 2012; Hashimoto et al., 2004; Zhang et al., 2012) (ตารางที่ 5.2) ทั้งนี้เนื่องจากพื้นที่ศึกษานี้เป็นพื้นที่ป่าชายเลน ซึ่งได้รับอิทธิพลจากน้ำทะเล โดยเมื่อพิจารณาค่าศักย์การนำไฟฟ้าของดินพบว่ามีค่าเท่ากับ -29.22 มิลลิโวลต์ ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วงเดียวกับค่าศักย์การนำไฟฟ้าของดินในป่าชายเลนที่มีค่าอยู่ในช่วง -300 ถึง 300 มิลลิโวลต์ ซึ่งแสดงว่าเป็นดินที่อยู่ในสภาวะขาดออกซิเจน (McKee et al., 1988; McKee et al., 1993) แต่ในขณะที่ป่าบกไม่ได้รับอิทธิพลดังกล่าวและดินไม่อยู่ในสภาวะขาดออกซิเจนดังเช่นป่าชายเลน ดังนั้นกิจกรรมของจุลินทรีย์ต่างๆ ในดินจึงอาจมีค่าต่ำกว่าเมื่อเทียบกับป่าบก และส่งผลให้ Rs มีค่าต่ำกว่า

5.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง Rs กับปัจจัยสิ่งแวดล้อม

Rs ไม่มีความแตกต่างกันในระหว่างฤดูแล้งและฤดูฝน แต่ค่า Rs ในฤดูฝนมีแนวโน้มสูงกว่าในฤดูแล้ง (ภาพที่ 4.2) โดยพบว่า Rs จะแปรผันตามการแปรผันของอุณหภูมิดิน (ภาพที่ 5.1) นอกจากนี้ยังพบความสัมพันธ์ในเชิงบวกระหว่าง Rs กับอุณหภูมิดินอีกด้วย (r=0.426, P=0.002) (ภาพที่ 4.15) โดย Rs มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิดินเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Meir และคณะ ปี 2004 ที่ศึกษาเกี่ยวกับการปลดปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในป่าผลัดใบเขตอบอุ่นของป่าอะเมซอน ประเทศบราซิล พบว่า Rs มีค่าอยู่ในช่วง 4.35 – 9.76 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$ และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิดิน เช่นเดียวกับการศึกษาของ Adachi และคณะ ปี 2009 ที่ศึกษา Rs ในป่าดิบเขตร้อนในประเทศไทย และพบว่า Rs มีความแตกต่างกันในระหว่างฤดูแล้งและฤดูฝน โดย Rs จะแปรผันตามอุณหภูมิดิน และการศึกษาของ Fern และคณะ ปี 2010 ที่ศึกษาการปลดปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในป่าผลัดใบเขตอบอุ่น พบว่า Rs มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 46.67 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$ และมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิดินเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากอุณหภูมิดินเป็นปัจจัยสำคัญที่ควบคุมการทำงานต่างๆ ของจุลินทรีย์ในดิน เมื่ออุณหภูมิดินสูงขึ้นจะทำให้กิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินเพิ่มขึ้นด้วย จึงส่งผลให้เกิดการผลิตแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น (Witkamp, 1966) อีกทั้งอุณหภูมิดินที่สูงขึ้นจะส่งผลให้การแลกเปลี่ยนแก๊สระหว่างดินกับบรรยากาศเกิดเร็วขึ้น จึงทำให้ค่า Rs สูงขึ้น (Tang et al., 2003)

นอกจากนี้ยังพบความสัมพันธ์ในเชิงบวกระหว่าง Rs และความชื้นของดินในฤดูแล้ง (r=0.903, P=0.036) โดย Rs มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อความชื้นของดินสูงขึ้น อย่างไรก็ตามไม่พบความสัมพันธ์ดังกล่าวในฤดูฝน ทั้งนี้เนื่องจากความชื้นของดินในฤดูฝนเกิดจากอิทธิพลของน้ำทะเลและปริมาณน้ำฝน ความชื้นของดินจึงอาจจะเป็นปัจจัยจำกัดต่อ Rs ในฤดูฝน (ภาพที่ 4.16) การพบความสัมพันธ์เชิงบวกระหว่างค่าดังกล่าว ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อความชื้นของดินสูงขึ้นจะส่งผลให้กิจกรรมต่างๆของจุลินทรีย์ในดินเพิ่มขึ้น ทำให้มีการผลิตแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น (Davidson et al., 2000) Rs จึงมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Davidson และคณะ ปี 2000 ที่ศึกษาในป่าธรรมชาติและทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ ทางภาคตะวันออกในอะเมซอน ประเทศบราซิล และการศึกษาของ Hashimoto และคณะ ปี 2004 ที่ศึกษาในป่าเขตร้อน ทางภาคเหนือของประเทศไทย โดยพบว่า Rs จะแปรผันตามการเพิ่มขึ้นของความชื้นของดิน อย่างไรก็ตามการศึกษาครั้งนี้ให้ผลขัดแย้งกับบางการศึกษา เช่น การศึกษาของ Adachi และคณะ ปี 2006 ที่ศึกษาในป่ารุ่นหนึ่ง ป่ารุ่นสองและสวนปาล์ม ประเทศญี่ปุ่น ที่พบความสัมพันธ์ในเชิงลบระหว่าง Rs กับความชื้นของดินในป่ารุ่นหนึ่งและป่ารุ่นสอง ทั้งนี้ Rs อาจจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของความชื้นของดินได้ในระดับหนึ่ง แต่เมื่อถึงจุด

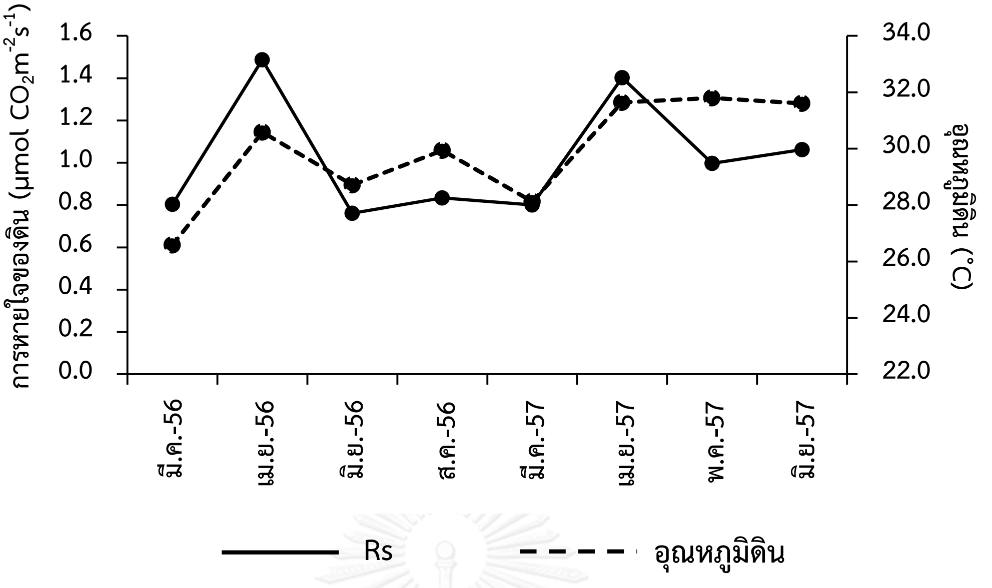
หนึ่งที่ความชื้นของดินสูงเกินไป ซึ่งอาจจะไม่พอเหมาะกับสิ่งมีชีวิตในดินขณะนั้น จึงทำให้ค่า Rs ลดลง

นอกจากนี้เมื่อพิจารณาระดับน้ำใต้ดินของการศึกษาครั้งนี้แม้จะไม่พบความสัมพันธ์ระหว่าง Rs กับระดับน้ำใต้ดิน แต่พบว่า Rs มีแนวโน้มลดลงเมื่อระดับน้ำใต้ดินสูงขึ้น (ภาพที่ 5.2) ดังการศึกษาของ Liang และคณะ ปี 2013 ที่กล่าวว่า Rs อาจจะลดลงเมื่อระดับน้ำใต้ดินสูงขึ้น ซึ่งการที่ระดับน้ำใต้ดินลดลง ทำให้ดินมีการถ่ายเทอากาศมากขึ้น การทำงานของจุลินทรีย์ต่างๆ จึงดีขึ้น และส่งผลให้ Rs เพิ่มขึ้นนั่นเอง

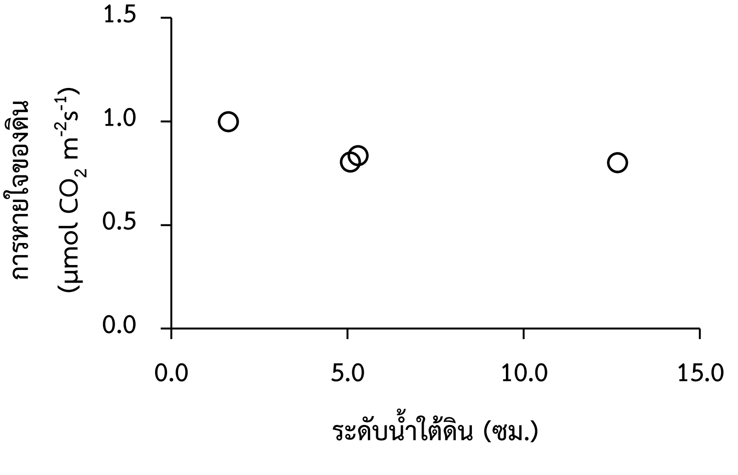
แม้จะพบความสัมพันธ์ในเชิงบวกระหว่าง Rs กับอุณหภูมิดินและความชื้นของดิน และไม่พบความสัมพันธ์ระหว่าง Rs กับปัจจัยอื่น แต่อย่างไรก็ตามค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จากความสัมพันธ์ระหว่าง Rs กับอุณหภูมิดินและความชื้นของดินยังมีค่าต่ำ นอกจากนี้ Rs อาจจะมีความสัมพันธ์กับปัจจัยอื่นนอกเหนือจากปัจจัยที่ทำการศึกษา เช่น ความเค็มของดิน เป็นต้น ซึ่งความเค็มเป็นปัจจัยสำคัญของป่าชายเลน โดยความเค็มของดินในพื้นที่ศึกษานี้มีค่าสูง (34.6 ppt) จึงอาจจะส่งผลต่อ Rs โดยเมื่อความเค็มสูงขึ้น ค่า osmotic potential จะต่ำลง ทำให้การทำงานของจุลินทรีย์ในดินลดลง ค่า Rs จึงลดลง

ตารางที่ 5.2 ค่า Rs ในป่าชายเลนและป่าบก

สถานที่	ค่า Rs (μmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$)	เอกสารอ้างอิง
ป่าชายเลน		
จังหวัดเพชรบุรี	0.749 - 1. 676	การศึกษาครั้งนี้
จังหวัดตราด	0.456 - 0.876	Poungparn et al., 2009
ออสเตรเลีย	0.048 - 1.470	Alongi et al., 2000
ออสเตรเลียและนิวซีแลนด์	0.371 – 0.511	Lovelock et al., 2008
ป่าบก		
ภาคเหนือของประเทศไทย	2.130 – 14.100	Hashimoto et al., 2004
ทุ่งหญ้าเขตร้อน	0.900 – 5.400	Caquet et al., 2012
ป่าเขตอบอุ่น ประเทศจีน	0.970 – 7.460	Zhang et al., 2012



ภาพที่ 5.1 ค่า Rs และอุณหภูมิดินในแต่ละเดือน



ภาพที่ 5.2 แนวโน้มค่า Rs ที่ลดลงเมื่อระดับน้ำใต้ดินเพิ่มขึ้น

5.4 มวลชีวภาพราก

5.4.1 มวลชีวภาพรากเหนือดินและรากใต้ดิน

มวลชีวภาพรากของแสมทะเลจากการศึกษาครั้งนี้มีค่าใกล้เคียงกับมวลชีวภาพของแสมทะเลในการศึกษาของ Saintilan และคณะ ปี 1997 ซึ่งศึกษาในพืชป่าชายเลน 5 พื้นที่ของประเทศออสเตรเลีย และการศึกษาของ Tamooh และคณะ ปี 2008 ในป่าชายเลนที่ประเทศเคนย่า (ตารางที่ 5.3) แต่มวลชีวภาพรากจากการศึกษาครั้งนี้มีค่าน้อยกว่าการศึกษาของ Briggs ปี 1977 และ Mackey ปี 1993 ในป่าชายเลน ประเทศออสเตรเลีย ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความหนาแน่นของต้นไม้ที่แตกต่างกัน

นอกจากนี้ยังพบว่ามวลชีวภาพรากของพืชสกุลลำพูหรือแสม มักมีมวลชีวภาพสูงกว่าพืชในสกุลโกงกาง (ตารางที่ 5.3) โดยการศึกษาของ Tamai และคณะ ปี 1986 ในป่าชายเลนรุ่นหนึ่ง จังหวัดระนอง พบว่ามวลชีวภาพรากของพืชสกุลโกงกางมีค่าเท่ากับ 11.76 ตันต่อเฮกแตร์ หรือการศึกษาของ Tamooh และคณะ ปี 2008 ในป่าชายเลนของประเทศเคนย่า พบว่ามวลชีวภาพรากของพืชสกุลโกงกางมีค่าอยู่ในช่วง 8 – 25 ตันต่อเฮกแตร์ ซึ่งจะเห็นได้ว่าพืชสกุลโกงกางมีมวลชีวภาพรากต่ำกว่ามวลชีวภาพรากของแสมทะเลที่กล่าวมา ทั้งนี้อาจเนื่องจากพืชสกุลลำพูและแสมเป็นกลุ่มไม้เบิกนำที่มีการเจริญเติบโตเร็ว และมักเจริญอยู่ตามชายฝั่งที่มีสภาพเป็นดินเลน มีสภาวะแวดล้อมที่แปรผันในช่วงกว้าง เช่น อุณหภูมิดิน และความเค็มสูง จึงมีการสร้างรากจำนวนมากเพื่อประโยชน์ในการเจริญเติบโตบนดินเลนและการดูดซับสารอาหาร (Abohassan et al., 2012; Tamooh et al., 2008)

5.4.2 สัดส่วนมวลชีวภาพราก

จากการศึกษาสัดส่วนมวลชีวภาพรากของแสมทะเล พบว่ารากฝอยหรือรากที่มีขนาดน้อยกว่า 2 มิลลิเมตร กับรากที่มีขนาด 5 - 10 มิลลิเมตร มีสัดส่วนใกล้เคียงกัน คือ 37 และ 39% ตามลำดับ รองลงมาคือรากขนาดมากกว่า 10 มิลลิเมตร และขนาด 2 - 5 มิลลิเมตร มีสัดส่วน 16 และ 8% ตามลำดับ (ภาพที่ 4.4) ซึ่งเป็นสัดส่วนที่ใกล้เคียงกับการศึกษาของ Tamooh และคณะ ปี 2008 ในป่าแสมทะเลตามธรรมชาติและป่าแสมทะเลที่เป็นป่าปลูกอายุ 12 ปี โดยพบว่ามวลชีวภาพรากที่มีขนาดเล็กมีสัดส่วนมากกว่ามวลชีวภาพรากที่มีขนาดใหญ่ มวลชีวภาพรากที่มีขนาดน้อยกว่า 5 มิลลิเมตร ในป่าแสมทะเลตามธรรมชาติและป่าแสมทะเลที่เป็นปลูกอายุ 12 ปี มีสัดส่วนเท่ากับ 37 และ 43% ตามลำดับ รากที่มีขนาด 5-10 มิลลิเมตร และมากกว่า 10 มิลลิเมตร มีสัดส่วนเท่ากับ 35 และ 28%

ตามลำดับ ในป่าแสมทะเลตามธรรมชาติ และมีสัดส่วนเท่ากับ 35 และ 23% ตามลำดับ ในป่าแสมทะเลที่เป็นปลูกอายุ 12 ปี (ตารางที่ 5.4)

จากการศึกษานี้จะเห็นว่ามวลชีวภาพรากฝอยมีสัดส่วนค่อนข้างสูง และมีค่าอยู่ในช่วงเดียวกับมวลชีวภาพรากฝอยของป่าชายเลนทั่วไปซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 24 - 45% ของมวลชีวภาพรากใต้ดินทั้งหมด โดยทั่วไปพืชป่าชายเลนมักมีผลผลิตรากฝอยสูงแต่มีอัตราการตายต่ำ ซึ่งผลผลิตรากที่สูงนี้อาจเนื่องจากมีการเคลื่อนย้ายคาร์บอนไปสะสมในส่วนรากใต้ดินสูง (Alongi et al., 2000; Tamooh et al., 2008) และเมื่อเปรียบเทียบสัดส่วนมวลชีวภาพรากฝอยของป่าบกอื่นๆ พบว่าสัดส่วนมวลชีวภาพรากฝอยจากการศึกษาครั้งนี้มีค่าสูงกว่าในป่าบก ซึ่งโดยทั่วไปป่าบกมีสัดส่วนมวลชีวภาพรากฝอยอยู่ในช่วง 0.2 - 17.9% (Komiyama et al., 2000) ทั้งนี้เนื่องจากพืชป่าชายเลนจำเป็นต้องมีการสร้างรากในปริมาณมากเพื่อช่วยในเรื่องการเจริญเติบโตบนดินเลนและการดูดซับสารอาหารและแร่ธาตุต่างๆ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 5.3 มวลชีวภาพราก

สถานที่ศึกษา	ชนิดพืช	มวลชีวภาพราก (ตันต่อเฮกตาร์)	เอกสารอ้างอิง
ป่าชายเลน จังหวัดเพชรบุรี	แสมทะเล	31.03	การศึกษาครั้งนี้
ป่าชายเลนเขตอบอุ่น ออสเตรเลีย	แสมทะเล	147 - 160	Briggs, 1977
ป่าชายเลน ประเทศออสเตรเลีย	แสมทะเล	15 - 60	Saintilan, 1997
ป่าชายเลนทางตะวันออกเฉียงใต้ ประเทศออสเตรเลีย	แสมทะเล	109 - 126	Mackey, 1993
ป่าชายเลน ประเทศเคนย่า	แสมทะเล โกงกางใบใหญ่	39.10 8 - 25	Tamooh et al., 2008
ป่าชายเลน จังหวัดระนอง	*Rhizophora* sp.	11.76	Tamai et al., 1986

ตารางที่ 5.4 สัดส่วนมวลชีวภาพรากขนาดต่างๆ

สถานที่	ชนิดป่า	< 5 mm (%)	5-10 mm (%)	> 10 mm (%)	เอกสารอ้างอิง
จังหวัดเพชรบุรี	ป่าแสมทะเล	45	39	16	การศึกษาครั้งนี้
ประเทศเคนย่า	ป่าแสมทะเลตามธรรมชาติ	37	35	28	Tamooh et al., 2008
	ป่าแสมทะเลปลูกอายุ 12 ปี	43	35	22	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

5.5 การประมาณค่า Rh ด้วยวิธี Regression technique

การสร้างสมการถดถอยเชิงเส้นตรงระหว่างค่า Rs กับมวลชีวภาพราก เป็นวิธีการหนึ่งที่เหมาะสมในการประมาณค่า Rh ซึ่งสามารถใช้ได้ในหลายระบบนิเวศ (Behera et al., 1990; Davidson et al., 2000) หลายงานวิจัยก่อนหน้าใช้วิธีนี้ในการประมาณค่า Rh โดยนำค่า Rh ที่ได้จากการประมาณด้วยวิธีนี้เปรียบเทียบกับค่า Rh ที่ได้จากวิธีอื่นๆ และพบว่าค่าที่ได้จากการประมาณด้วยวิธีนี้ไม่มีความแตกต่างกับค่าที่ได้จากการประมาณด้วยวิธีอื่น (Koerber et al., 2010; Wang et al., 2008) ดังนั้นวิธี Regression technique จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่เหมาะสมสำหรับการประมาณค่า Rh อย่างไรก็ตามการศึกษาที่ผ่านมาเป็นการศึกษาในระบบนิเวศป่าบก ซึ่งไม่มีระบบรากเหนือดินแบบป่าชายเลน แต่ในระบบนิเวศป่าชายเลนมีทั้งรากเหนือดินและรากใต้ดิน ดังนั้นการสร้างสมการดังกล่าวจึงจำเป็นต้องพิจารณาทั้งรากเหนือดินและรากใต้ดิน

การศึกษาครั้งนี้พบว่าสามารถสร้างสมการถดถอยเชิงเส้นตรงระหว่าง Rs เมื่อวัดโดยครอบรากเหนือดินกับมวลชีวภาพรากเหนือดินได้ แต่ไม่สามารถสร้างสมการถดถอยเชิงเส้นตรงระหว่าง Rs เมื่อวัดโดยครอบรากเหนือดินกับมวลชีวภาพรากใต้ดินและมวลชีวภาพรวมเหนือดินและใต้ดินได้ อีกทั้งได้มีการศึกษาโดยวัด Rs แบบไม่ครอบรากเหนือดินและสร้างสมการถดถอยเชิงเส้นตรงระหว่าง Rs เมื่อวัดโดยไม่ครอบรากเหนือดินกับมวลชีวภาพรากใต้ดิน พบว่าไม่สามารถสร้างสมการถดถอยเชิงเส้นตรงระหว่างค่าดังกล่าวได้เช่นกัน ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสำคัญของรากเหนือดินที่มีผลต่อการปลดปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ การประมาณค่า Rh จากสมการถดถอยเชิงเส้นตรงระหว่าง Rs เมื่อวัดโดยครอบรากเหนือดินกับมวลชีวภาพรากเหนือดินให้ค่าอยู่ในช่วง 0.643 – 1.455 μmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$ ซึ่งต่ำกว่าค่า Rh จากการประมาณด้วยวิธีเดียวกันนี้ในงานวิจัยอื่นของระบบนิเวศป่าบก เช่น การศึกษาของ Wang และคณะ ปี 2005 ในระบบนิเวศทุ่งหญ้า ประเทศจีน พบว่าค่า Rh มีค่าอยู่ในช่วง 2.59 – 5.80 μmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$ หรือการศึกษาของ Koerber และคณะ ปี 2010 ในพื้นที่การเกษตร พบว่า Rh มีค่าอยู่ในช่วง 1.40 – 15.70 μmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$ หรือการศึกษาของ Tomotsune และคณะ ปี 2013 ศึกษาในป่าผลัดใบในเขตอบอุ่น ประเทศญี่ปุ่น พบว่า Rh มีค่าอยู่ในช่วง 0.39 – 6.64 μmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$ ทั้งนี้เนื่องจากดินในป่าชายเลนอยู่ในสภาวะขาดออกซิเจนมากกว่าในระบบนิเวศป่าบก อาจทำให้กิจกรรมการย่อยสลายของสิ่งมีชีวิตในดินป่าชายเลนน้อยกว่าป่าบก ค่า Rh จึงต่ำกว่าระบบนิเวศป่าบก

นอกจากนี้จากการสร้างสมการถดถอยเชิงเส้นตรงระหว่าง Rs เมื่อวัดโดยครอบรากเหนือดินกับพื้นที่ผิวรากเหนือดิน พบว่าสามารถสร้างสมการถดถอยเชิงเส้นตรงเพื่อประมาณค่า Rh จากความสัมพันธ์ค่าดังกล่าวได้ โดยเมื่อพิจารณาพื้นผิวรากเหนือดินจะพบการกระจายของช่องอากาศทั่วพื้นที่ผิวรากซึ่งเป็นช่องทางการแลกเปลี่ยนแก๊ส (Scholander et al., 1955) สมการถดถอยเชิง

เส้นตรงระหว่าง Rs กับพื้นที่ผิวรากเหนือดินอาจเป็นอีกแนวทางหนึ่งสำหรับใช้ในการประมาณค่า Rh ซึ่งอาจจะสะดวกกว่าการประมาณด้วยมวลชีวภาพรากเหนือดิน เนื่องจากไม่ต้องตัดรากที่จะทำให้เกิดการรบกวนและเสียหายขึ้น อย่างไรก็ตามยังไม่มีงานวิจัยที่ประมาณค่า Rh จากความสัมพันธ์ดังกล่าว เนื่องจากเป็นลักษณะเฉพาะที่พบในป่าชายเลน

อย่างไรก็ตามในเดือนเมษายน พ.ศ. 2556 และเดือนเมษายน 2557 ไม่สามารถสร้างสมการถดถอยเชิงเส้นตรงระหว่าง Rs เมื่อวัดโดยครอบรากเหนือดินกับมวลชีวภาพรากเหนือดินและระหว่าง Rs เมื่อวัดโดยครอบรากเหนือดินกับพื้นที่ผิวรากเหนือดินได้ ทั้งนี้เนื่องจากสภาพพื้นดินในเดือนดังกล่าวแห้งและแตกระแหงเป็นแนวลึก ซึ่งอาจจะเป็นช่วงที่ไม่มีการท่วมของน้ำทะเลในพื้นที่ศึกษา และในการวาง collar ครอบดินไม่สามารถหลีกเลี่ยงรอยแตกนั้นได้ จึงอาจทำให้ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ภายใน soil chamber ไม่คงที่ ค่าที่วัดได้จึงมีความคาดเคลื่อนเกิดขึ้น ดังนั้นทำให้ไม่สามารถสร้างสมการถดถอยเชิงเส้นตรงในเดือนดังกล่าวได้

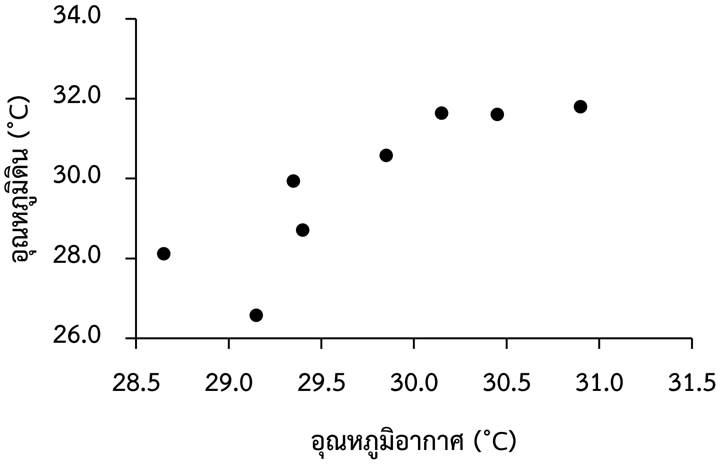
5.6 การเปรียบเทียบค่า Rs เมื่อวัดโดยใช้ soil chamber ครอบดินแบบหลีกเลี่ยงรากเหนือดินกับค่า Rh จากการประมาณด้วยวิธี Regression technique

เมื่อทดสอบความความสัมพันธ์ระหว่างค่า Rs เมื่อวัดโดยใช้ soil chamber ครอบดินแบบหลีกเลี่ยงรากเหนือดินกับค่า Rh ที่ได้จากการประมาณด้วยวิธี regression technique ผลการศึกษาไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างค่าดังกล่าว โดยเมื่อพิจารณาค่า R^2 ในแต่ละสมการพบว่าค่า R^2 มีค่าน้อย ทั้งนี้อาจเนื่องจากมีความผันแปรของข้อมูลสูง ดังนั้นเมื่อทดสอบความสัมพันธ์จึงทำให้ไม่เป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ อย่างไรก็ตามค่าดังกล่าวยังคงอยู่ในช่วงที่ใกล้เคียงกัน

นอกจากนี้ยังพบว่าค่า Rh ที่ได้จากการประมาณมีแนวโน้มสูงกว่าค่า Rs เมื่อวัดโดยหลีกเลี่ยงรากเหนือดิน (ตารางที่ 4.4) ด้วย ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Koerber และคณะ ปี 2010 ที่ศึกษา Rh โดยประมาณด้วยวิธี regression technique เปรียบเทียบกับค่า Rh ที่วัดจากบริเวณที่ไม่มีราก ผลการศึกษาแม้จะพบความสัมพันธ์ระหว่างค่าดังกล่าว แต่มีแนวโน้มว่าค่าที่ประมาณด้วยวิธี regression technique ให้ค่าที่สูงกว่าค่าที่วัดจากบริเวณที่ไม่มีราก ทั้งนี้อาจเนื่องจากการประมาณด้วยสมการดังกล่าวขึ้นกับรากเป็นหลัก ซึ่งรากที่มีอายุต่างกันจะมีการหายใจต่างกันโดยรากที่มีอายุมากกว่าจะมีการหายใจน้อยกว่ารากที่มีอายุน้อย (Behera et al., 1990) ซึ่งการศึกษาแต่ละจุดอาจจะมีทั้งรากที่อายุน้อยและอายุมาก หากรากนั้นอายุน้อย Rs ก็อาจจะสูง ค่าที่ประมาณได้จึงสูงกว่าค่าที่วัดจากบริเวณที่ไม่มีราก

5.7 ปัจจัยสิ่งแวดล้อม

อุณหภูมิดินในฤดูแล้งมีค่าต่ำกว่าในฤดูฝน อาจเนื่องจากในบางเดือนของฤดูฝนมีอุณหภูมิดินเฉลี่ยสูง เช่นในเดือนพฤษภาคม 2557 ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 31.80 องศาเซลเซียส เช่นเดียวกันในบางเดือนของฤดูแล้ง คือเดือนมีนาคม 2556 ที่มีอุณหภูมิดินเฉลี่ยต่ำ โดยพบว่ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 26.58 องศาเซลเซียส ดังนั้นเมื่อคำนวณค่าเฉลี่ยระหว่างฤดูกาลจะพบว่าค่าเฉลี่ยอุณหภูมิดินในฤดูฝนสูงกว่าฤดูแล้ง ทั้งนี้อุณหภูมิดินมีการแปรผันตามอุณหภูมิอากาศ เมื่ออุณหภูมิอากาศเพิ่มขึ้นอุณหภูมิดินก็เพิ่มขึ้นด้วย (ภาพที่ 5.3)



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาพที่ 5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิดิน (r=0.857, P<0.007)

ความชื้นของดินจากการศึกษาครั้งนี้มีค่าสูงกว่าความชื้นของดินในป่าบกอื่นๆ เช่น ความชื้นของดินในป่าดิบแล้ง ทางภาคเหนือของประเทศไทยมีค่า 3.5 และ 31.8% ในฤดูแล้งและฤดูฝนตามลำดับ (Hashimoto et al., 2004) หรือความชื้นของดินในป่ารุ่นหนึ่ง ป่ารุ่นสองที่ประกอบด้วยพืชวงศ์ Dipterocarpaceae และสวนปาล์ม ในประเทศญี่ปุ่น มีค่าเท่ากับ 17.5 15.2 และ 15.6% ตามลำดับ (Adachi et al., 2006) แต่อย่างไรก็ตามจากการศึกษาครั้งนี้ไม่พบความแตกต่างของความชื้นของดินระหว่างฤดูกาล เนื่องจากในการศึกษานี้เก็บดินที่ระดับความลึกเพียง 5 เซนติเมตร ประกอบบางเดือนมีฝนตกก่อนวัดค่า Rs และก่อนเก็บดินเพื่อศึกษาความชื้น ดังนั้นความชื้นของดินจึงมีค่าสูง นอกจากนี้จากลักษณะของป่าชายเลนที่มักได้รับอิทธิพลจากการขึ้นลงของน้ำทะเล จึงทำให้ดินมีความชื้นสูงตลอดทั้งในฤดูฝนและฤดูแล้ง

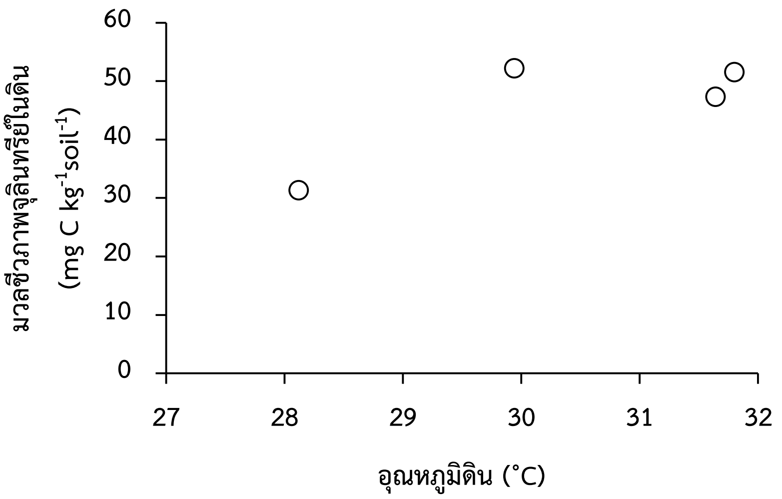
ความหนาแน่นรวมของดินจากการศึกษาครั้งนี้มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.60 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งมีค่าต่ำกว่าความหนาแน่นรวมของดินในพื้นที่ป่าชายเลนที่จังหวัดสมุทรปราการ ในแปลงตัวอย่างที่อยู่หลังแนวป้องกันการกัดเซาะชายฝั่ง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.5 – 1.0 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2554) เนื่องจากพื้นที่ในการศึกษาครั้งนี้ได้รับอิทธิพลจากการท่วมของน้ำทะเลน้อย ดินมีลักษณะแข็ง มีช่องอากาศในดินมาก ซึ่งโดยทั่วไปดินที่มีช่องอากาศในดินสูงมากจะเป็นดินที่มีความหนาแน่นรวมของดินต่ำ (Liebig et al., 1995) นอกจากนี้ก็ไม่พบความแตกต่างระหว่างฤดูแล้งและฤดูฝน ทั้งนี้อาจเป็นเพราะความชื้นของดิน ลักษณะเนื้อดิน ปริมาณอินทรียวัตถุ ปริมาณคาร์บอน และปริมาณไนโตรเจน ไม่มีความแตกต่างกันในระหว่างฤดูกาล

ค่าความเป็นกรด-ด่างของดินจากการศึกษาครั้งนี้มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.01 ซึ่งให้ค่าที่ใกล้เคียงกับการศึกษาในป่าแสมทะเลในประเทศญี่ปุ่น ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.69 ซึ่งโดยทั่วไปแสมทะเลมักเจริญเติบโตในสภาวะที่มีความเป็นกรด-ด่างของดินเป็นกลาง (Wakushima et al., 1994) สำหรับค่าความเค็มของน้ำในการศึกษานี้มีค่าอยู่ในช่วงที่สูง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 34.6 ppt โดยทั่วไปค่าความเค็มในป่าชายเลนจะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วงระหว่าง 0 – 33 ppt ทั้งนี้ขึ้นกับระดับน้ำขึ้นน้ำลง และฤดูกาล

ค่าศักย์การนำไฟฟ้าของดินจากการศึกษาครั้งนี้มีค่าอยู่ในช่วงเดียวกับค่าศักย์การนำไฟฟ้าของดินในป่าชายเลนดังที่กล่าวไปแล้วข้างต้น (McKee et al., 1993) ทั้งนี้ค่าศักย์การนำไฟฟ้าของดินสามารถบ่งบอกสภาวะของดินในพื้นที่ศึกษานั้นได้ และการที่พื้นที่ศึกษามีความลาดชันไม่สม่ำเสมอ ระยะเวลาการท่วมของน้ำทะเลไม่เท่ากัน จึงทำให้ค่าศักย์การนำไฟฟ้าของดินของการศึกษาครั้งนี้อยู่ในช่วงกว้าง

มวลชีวภาพจุลินทรีย์ในดินจากการศึกษาครั้งนี้ในฤดูฝนมีค่าสูงกว่าฤดูแล้ง สอดคล้องกับการศึกษาของ Cenciani และคณะ ปี 2009 ที่ศึกษาเกี่ยวกับมวลชีวภาพจุลินทรีย์ในป่า ในทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ และในที่ดินสำหรับเตรียมเพาะปลูก พบว่ามวลชีวภาพจุลินทรีย์ในดินในฤดูฝนมีค่าสูงกว่าในฤดูแล้ง เพราะในฤดูฝนมีปริมาณคาร์บอนและไนโตรเจนสูงกว่า แม้ว่าการศึกษาครั้งนี้ไม่พบความแตกต่างของปริมาณอินทรียวัตถุ ปริมาณคาร์บอนและไนโตรเจนระหว่างฤดูฝนและฤดูแล้ง แต่พบว่าอุณหภูมิดินในฤดูฝนมีค่าสูงกว่าในฤดูแล้ง และมวลชีวภาพจุลินทรีย์ในดินมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิดินเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 5.4) อาจเนื่องมาจากอุณหภูมิดินที่สูงขึ้น กระตุ้นให้มีจุลินทรีย์ในดินเพิ่มขึ้น มวลชีวภาพจุลินทรีย์จึงเพิ่มขึ้นด้วย (Joa et al., 2010)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 5.4 แนวโน้มมวลชีวภาพจุลินทรีย์ในดินที่เพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิดินเพิ่มขึ้น

ระบบนิเวศป่าชายเลนเป็นระบบนิเวศที่มี NPP สูง ซึ่งเป็นสิ่งหนึ่งที่บ่งบอกถึงศักยภาพในการดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จากบรรยากาศของระบบนิเวศ (Komiyama et al., 2008) โดยมีค่าอยู่ในช่วงตั้งแต่ 3.99 ton C ha^{-1} yr^{-1} ในป่าชายเลนที่มี *Avicennia germinans* (L.) L. เป็นพืชกลุ่มเด่นในประเทศเม็กซิโก (Day et al., 1996) จนถึง 26.70 ton C ha^{-1} yr^{-1} ในป่าชายเลนที่เป็นโกงกางใบเล็ก (*R. apiculata*) ทางภาคใต้ของประเทศไทย (Christensen, 1978) และเมื่อพิจารณาค่า Rs เมื่อวัดโดยไม่ครอบรากเหนือดินและค่า Rh ที่ได้จากการประมาณในการศึกษาครั้งนี้พบว่ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.087 และ 0.095 ton C ha^{-1} yr^{-1} ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่า Rh ที่ได้จากทั้งสองวิธีมีค่าต่ำ และแม้ว่าจะไม่ทราบค่า NPP ในพื้นที่ศึกษาครั้งนี้ แต่เมื่อพิจารณาค่า Rh ที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ประกอบค่า NPP จากพื้นที่ป่าชายเลนอื่นจะเห็นว่า NPP มีค่าสูงกว่าค่า Rh มาก ดังนั้นหากประมาณ NEP โดยใช้ค่า NPP จากการศึกษาอื่น พื้นที่ศึกษานี้ยังคงมีศักยภาพในการเป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอน อย่างไรก็ตามเพื่อการบ่งบอกศักยภาพของระบบนิเวศป่าในพื้นที่ศึกษาอย่างถูกต้องควรมีการประมาณ NPP ในพื้นที่ศึกษาด้วย นอกจากนี้การศึกษาของ Poungparn และคณะ ปี 2012 ที่ศึกษา NEP ของป่าชายเลนรุ่นสอง จังหวัดตราด พบว่า NEP มีค่าอยู่ในช่วง 7.34 – 11.3 ton C ha^{-1} yr^{-1} หรือการศึกษาของ Barr และคณะ ปี 2006 และ 2010 ในรัฐฟลอริดา ประเทศสหรัฐอเมริกา พบว่า NEP มีค่าอยู่ในช่วง 7.00 – 11.7 ton C ha^{-1} yr^{-1} จะเห็นได้ว่าระบบนิเวศป่าชายเลนเป็นระบบนิเวศที่มีศักยภาพในการเป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอนสูงเมื่อเทียบกับระบบนิเวศป่าบก ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 1.00 - 8.00 ton C ha^{-1} yr^{-1} (Araújo et al., 2002; Miller et al., 2004) ทั้งนี้ขึ้นกับระบบนิเวศป่าแต่ละประเภทด้วย

บทที่ 6
สรุปผลการศึกษา

การศึกษาการหายใจของดินในป่าแสมทะเลรุ่นที่สองในพื้นที่ศึกษาขนาด 50 × 50 ตารางเมตร ซึ่งทำการศึกษาในพื้นที่ที่อยู่ภายใต้การดูแลของสถานีพัฒนาทรัพยากรป่าชายเลนที่ 6 ตำบลบางขุนไทร จังหวัดเพชรบุรี สามารถสรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

1. โครงสร้างป่า

โครงสร้างป่าในแปลงศึกษาประกอบด้วยแสมทะเลเพียงชนิดเดียว โดยมีความหนาแน่นของต้นไม้ 4,644 ต้นต่อเฮกตาร์ มี DBH เท่ากับ 6.56 เซนติเมตร D_0 เฉลี่ยเท่ากับ 8.59 เซนติเมตร ความสูงเฉลี่ยเท่ากับ 5.22 เมตร และพื้นที่หน้าตัดรวมของลำต้นเท่ากับ 16.64 ตารางเมตรต่อเฮกตาร์

2. การหายใจของดิน

Rs เมื่อวัดโดยใช้ soil chamber ครอบดินแบบหลีกเลี่ยงรากเหนือดินมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.007 ± 0.428 μmol $CO_2 m^{-2} s^{-1}$ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันระหว่างฤดูแล้งและฤดูฝน แต่มีแนวโน้มว่าในฤดูฝนมีค่าสูงกว่าในฤดูแล้ง ทั้งนี้ค่า Rs แปรผันไปตามปัจจัยสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะอุณหภูมิดิน ซึ่งจากการศึกษาครั้งนี้พบความสัมพันธ์เชิงบวกระหว่างค่า Rs กับอุณหภูมิดินทั้ง 2 ฤดูกาล รวมทั้งพบความสัมพันธ์เชิงบวกกับความชื้นของดินในฤดูแล้ง และพบว่า Rs มีแนวโน้มลดลงเมื่อระดับน้ำใต้ดินเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามไม่พบความสัมพันธ์ระหว่าง Rs กับปัจจัยสิ่งแวดล้อมอื่นๆ ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้ชี้ให้เห็นว่าอุณหภูมิดินเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการหายใจของดิน

Rs เมื่อวัดโดยใช้ soil chamber ครอบดินแบบรวมรากเหนือดิน นำมาประมาณค่า Rh ด้วยสมการถดถอยเชิงเส้นตรงระหว่างการหายใจของดินและมวลชีวภาพราก พบว่าการสร้างสมการถดถอยเชิงเส้นตรงระหว่างค่า Rs กับมวลชีวภาพรากเหนือดิน และระหว่างค่า Rs กับพื้นที่ผิวรากเหนือดินสามารถประมาณค่า Rh ได้ ซึ่งค่าที่ได้จากการประมาณจากทั้ง 2 สมการ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.104 และ 1.047 μmol $CO_2 m^{-2} s^{-1}$ ตามลำดับ

เมื่อทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างค่า Rs เมื่อวัดโดยใช้ soil chamber ครอบดินแบบหลีกเลี่ยงรากเหนือดินกับค่า Rh ที่ประมาณจากทั้ง 2 สมการ ด้วย Pearson correlation analysis ผลการศึกษาไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างค่าดังกล่าวซึ่งไม่เป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ แต่ค่าที่ได้อยู่

ในช่วงที่ใกล้เคียงกัน ทั้งนี้อาจเนื่องจากข้อมูลที่ใช้สำหรับการประมาณค่า Rh มีความผันแปรสูง ค่า R^2 มีค่าต่ำ ค่าประมาณที่ได้จึงอาจจะไม่แม่นยำมากพอ ค่า Rh จึงอาจไม่สัมพันธ์กับค่า Rs เมื่อวัดโดยไม่ครอบรากเหนือดิน หรืออาจจะมีปัจจัยอื่นที่สำคัญ และอาจจะส่งผลกับการประมาณค่าดังกล่าว ซึ่งอาจจำเป็นต้องนำมาพิจารณาด้วย

3. มวลชีวภาพราก

มวลชีวภาพรากของแสมทะเลมีค่าเฉลี่ย 31.03 ตันต่อเฮกแตร์ สำหรับสัดส่วนมวลชีวภาพรากของแสมทะเล พบว่ารากที่มีขนาดน้อยกว่า 2 มิลลิเมตร และรากที่มีขนาด 5-10 มิลลิเมตร มีสัดส่วนที่ใกล้เคียงกัน รองลงมาคือรากขนาดมากกว่า 10 มิลลิเมตร และรากขนาด 2-5 มิลลิเมตร ตามลำดับ และสามารถสร้างสมการถดถอยเชิงเส้นตรงระหว่างมวลชีวภาพรากเหนือดินและมวลชีวภาพรากใต้ดิน (R^2 = 0.29, P<0.01) โดยมีสัดส่วนรากใต้ดินสูงกว่ารากเหนือดิน

4. ปัจจัยสิ่งแวดล้อม

พื้นที่ศึกษานี้มีความสูงสัมพัทธ์ 0-24 เซนติเมตร จากจุดอ้างอิง ระดับน้ำใต้ดินอยู่ในระดับต่ำเนื่องจากมีการท่วมถึงของน้ำทะเลเป็นบางครั้งคราว ลักษณะเนื้อดินเป็นดินเหนียว ความหนาแน่นรวมของดิน ความชื้นดิน ปริมาณอินทรียวัตถุ ปริมาณคาร์บอน ปริมาณไนโตรเจน และความหนาแน่นของรากไม่มีความแตกต่างกันระหว่างฤดูกาล แต่อุณหภูมิดิน ความเป็นกรด-ด่างของดิน ศักย์การนำไฟฟ้าของดิน และมวลชีวภาพจุลินทรีย์ในดิน มีความแตกต่างกันระหว่างฤดูกาล โดยอุณหภูมิดินและมวลชีวภาพจุลินทรีย์ในดินมีค่าในฤดูฝนสูงกว่าฤดูแล้ง ส่วนความเป็นกรด-ด่างของดินและค่าศักย์การนำไฟฟ้าของดินในฤดูแล้งมีค่าสูงกว่าฤดูฝน

ข้อเสนอแนะ

1. การประมาณค่า Rh ด้วยวิธี regression technique ในการศึกษาครั้งนี้ยังไม่สามารถบอกได้ว่าเป็นค่าเดียวกับ Rs เมื่อวัดโดยใช้ soil chamber ครอบดินแบบหลีกเลี่ยงรากเหนือดิน แม้ว่าวิธีการดังกล่าวจะเป็นวิธีหนึ่งที่เหมาะสมสำหรับการประมาณค่า Rh ในป่าบก อย่างไรก็ตาม อาจจะมองหาวิธีอื่นๆสำหรับการประมาณค่าที่เหมาะสมต่อไป

2. ค่า Rh มีความจำเป็นสำหรับการประมาณ NEP ดังนั้นหากต้องเลือกใช้ค่า Rh สำหรับการประมาณ NEP ในป่าชายเลน อาจเลือกใช้ค่าการหายใจของดินที่วัดเมื่อหลีกเลี่ยงรากเหนือดิน

เนื่องจากค่า Rs ที่วัดเมื่อไม่ครอบรากเหนือดินกับค่า Rh ที่ได้จากการประมาณมีค่าอยู่ในช่วงที่ใกล้เคียงกัน ประกอบกับค่าที่ได้จากการประมาณจะมีค่าความเคลื่อนหรือค่าความผิดพลาดอยู่ในตัว ดังนั้นค่าที่ได้จากการวัดโดยตรงอาจจะเป็นตัวเลือกที่ดีกว่า

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายการอ้างอิง

Abohassan, R. A. A., Okia, C. A., Agea, J. G., Kimondo, J. M., and Morag M, M. (2012). Perennial biomass production in arid mangrove systems on the Red Sea coast of Saudi Arabia.

Adachi, M., Bekku, Y. S., Rashidah, W., Okuda, T., and Koizumi, H. (2006). Differences in soil respiration between different tropical ecosystems. *Applied Soil Ecology* 34, 258-265.

Adachi, M., Ishida, A., Bunyavejchewin, S., Okuda, T., and Koizumi, H. (2009). Spatial and temporal variation in soil respiration in a seasonally dry tropical forest, Thailand. *Journal of Tropical Ecology* 25, 531-539.

Alongi, D., Tirendi, F., and Clough, B. (2000). Below-ground decomposition of organic matter in forests of the mangroves *Rhizophora stylosa* and *Avicennia marina* along the arid coast of Western Australia. *Aquatic botany* 68, 97-122.

Alongi, D., Wattayakorn, G., Pfitzner, J., Tirendi, F., Zagorskis, I., Brunskill, G., Davidson, A., and Clough, B. (2001). Organic carbon accumulation and metabolic pathways in sediments of mangrove forests in southern Thailand. *Marine Geology* 179, 85-103.

Alongi, D. M. T., F. Clough, B.F. (2000). <Below-ground decomposition of organic matter in forests of the mangroves Rhizophora stylosa and Avicennia marina along the arid coast of Western Australia.pdf>. *Aquatic Botany* 68, 97-112.

Arain, M. A., and Restrepo-Coupe, N. (2005). Net ecosystem production in a temperate pine plantation in southeastern Canada. *Agricultural and Forest Meteorology* 128, 223-241.

Araújo, A., Nobre, A., Kruijt, B., Elbers, J., Dallarosa, R., Stefani, P., Von Randow, C., Manzi, A., Culf, A., and Gash, J. (2002). Comparative measurements of carbon dioxide fluxes from two nearby towers in a central Amazonian rainforest: The Manaus LBA site. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres (*1984–2012) 107, LBA 58-1-LBA 58-20.

Baldocchi, D. D. (2003). Assessing the eddy covariance technique for evaluating carbon dioxide exchange rates of ecosystems: past, present and future. *Global Change Biology* 9, 479-492.

Barr, J. G., Engel, V., Fuentes, J. D., Zieman, J. C., O'Halloran, T. L., Smith, T. J., and Anderson, G. H. (2010). Controls on mangrove forest-atmosphere carbon dioxide exchanges in western Everglades National Park. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences (*2005–2012) 115.

Barr, J. G., Fuentes, J. D., Halloran, T. O., Barr, D., and Zieman, J. C. (2006). Carbon assimilation by mangrove forest in the Florida Everglades. *Amalgam* 1, 27-37.

Behera, N., Joshi, S., and Pati, D. (1990). Root contribution to total soil metabolism in a tropical forest soil from Orissa, India. *Forest Ecology and Management* 36, 125-134.

Bond-Lamberty, B., Wang, C., and Gower, S. T. (2004). Net primary production and net ecosystem production of a boreal black spruce wildfire chronosequence. *Global Change Biology* 10, 473-487.

Bouyouscos (1926). Estimation of the colloidal material in soils. *Science* 64, 362.

Briggs, S. (1977). Estimates of biomass in a temperate mangrove community. *Australian Journal of Ecology* 2, 369-373.

Campbell, J. L., Sun, O., and Law, B. (2004). Disturbance and net ecosystem production across three climatically distinct forest landscapes. *Global Biogeochemical Cycles* 18.

Caquet, B., De Grandcourt, A., M'bou, A. T., Epron, D., Kinana, A., Saint Andre, L., and Nouvellon, Y. (2012). Soil carbon balance in a tropical grassland: Estimation of soil respiration and its partitioning using a semi-empirical model. *Agricultural and forest meteorology* 158, 71-79.

Cenciani, K., Lambais, M. R., Cerri, C. C., Azevedo, L. C. B. d., and Feigl, B. J. (2009). Bacteria diversity and microbial biomass in forest, pasture and fallow soils in the southwestern Amazon basin. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 33, 907-916.

Chiara Ferre, Francesco Vaninetti, and Comolli, R. (2011). Heterotrophic and autotrophic soil respiration in an alpine grassland. *Geophysical Research Abstracts* 13.

Chimner, R. A. (2004). Soil respiration rates of tropical peatlands in Micronesia and Hawaii. *Wetlands* 24, 51-56.

Christensen, B. (1978). Biomass and productivity of *Rhizophora apiculata* Bl in a mangrove in southern Thailand. *Aquatic Botany* 4, 43-52.

Cook, F. J., and Orchard, V. A. (2008). Relationships between soil respiration and soil moisture. *Soil Biology and Biochemistry* 40, 1013-1018.

Davidson, E., Richardson, A., Savage, K., and Hollinger, D. (2006). A distinct seasonal pattern of the ratio of soil respiration to total ecosystem respiration in a spruce-dominated forest. *Global Change Biology* 12, 230-239.

Davidson, E. A., Verchot, L. V., Cattânio, J. H., Ackerman, I. L., and Carvalho, J. (2000). Effects of soil water content on soil respiration in forests and cattle pastures of eastern Amazonia. *Biogeochemistry* 48, 53-69.

Day, J. W., Coronado-molina, C., Vera-Herrera, F. R., Twilley, R., Rivera-Monroy, V. H., Alvarez-Guillen, H., Day, R., and Conner, W. (1996). A 7 year record of above-ground net primary production in a southeastern Mexican mangrove forest. *Aquatic Botany* 55, 39-60.

Edwards, N. T. (1975). Effects of temperature and moisture on carbon dioxide evolution in a mixed deciduous forest floor. *Soil Science Society of America Journal* 39, 361-365.

Evans, L. S., de Leon, M. F., and Sai, E. (2008). Anatomy and morphology of *Rhizophora stylosa* in relation to internal airflow and Attim's plant architecture. *The Journal of the Torrey Botanical Society* 135, 114-125.

Evans, L. S., Okawa, Y., and Searcy, D. G. (2005). Anatomy and morphology of red mangrove (*Rhizophora mangle*) plants in relation to internal airflow. *The Journal of the Torrey Botanical Society* 132, 537-550.

Fenn, K. M., Malhi, Y., and Morecroft, M. D. (2010). Soil CO_2 efflux in a temperate deciduous forest: environmental drivers and component contributions. *Soil Biology and Biochemistry* 42, 1685-1693.

Ferre, C., Vaninetti, F., and Comolli, R. (2011). Heterotrophic and autotrophic soil respiration in an alpine grassland. *Geophysical Research Abstracts* 13.

Fierer, N., and Jackson, R. B. (2006). The diversity and biogeography of soil bacterial communities. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 103, 626-631.

Gupta, S., and Singh, J. (1981). Soil respiration in a tropical grassland. *Soil Biology and Biochemistry* 13, 261-268.

Han, G., Zhou, G., Xu, Z., Yang, Y., Liu, J., and Shi, K. (2007). Biotic and abiotic factors controlling the spatial and temporal variation of soil respiration in an agricultural ecosystem. *Soil Biology and Biochemistry* 39, 418-425.

Hanson, P., Edwards, N., Garten, C., and Andrews, J. (2000). Separating root and soil microbial contributions to soil respiration: a review of methods and observations. *Biogeochemistry* 48, 115-146.

Hanson, P., Wullschleger, S., Bohlman, S., and Todd, D. (1993). Seasonal and topographic patterns of forest floor CO2 efflux from an upland oak forest. *Tree physiology* 13, 1-15.

Hashimoto, S., Tanaka, N., Suzuki, M., Inoue, A., Takizawa, H., Kosaka, I., Tanaka, K., Tantasirin, C., and Tangtham, N. (2004). Soil respiration and soil CO_2 concentration in a tropical forest, Thailand. *Journal of Forest Research* 9, 75-79.

Jia, B., Zhou, G., Wang, F., Wang, Y., Yuan, W., and Zhou, L. (2006). Partitioning root and microbial contributions to soil respiration in *Leymus chinensis* populations. *Soil Biology and Biochemistry* 38, 653-660.

Joa, J., Moon, K., Chun, S., Choi, K., and Hyun, H. (2010). Effect of temperature on soil microbial biomass, enzyme activities, and PLFA content during incubation period of soil treated with organic materials *In* "19 th World Congress of Soil Science: Soil solutions for a changing World, Brisbane, Australia".

Khomik, M., Arain, M. A., and McCaughey, J. (2006). Temporal and spatial variability of soil respiration in a boreal mixedwood forest. *Agricultural and Forest Meteorology* 140, 244-256.

Kim (2005). "Soil sampling, preparation and analysis," Taylor and Francis, CRC Press.

CHULALONGKORN UNIVERSITY

Koerber, G. R., Hill, P. W., Edwards-Jones, G., and Jones, D. L. (2010). Estimating the component of soil respiration not dependent on living plant roots: comparison of the indirect y-intercept regression approach and direct bare plot approach. *Soil Biology and Biochemistry* 42, 1835-1841.

Kominami, Y., Jomura, M., Dannoura, M., Goto, Y., Tamai, K., Miyama, T., Kanazawa, Y., Kaneko, S., Okumura, M., and Misawa, N. (2008). Biometric and eddy-covariance-based estimates of carbon balance for a warm-temperate mixed forest in Japan. *agricultural and forest meteorology* 148, 723-737.

Komiyama, A., Havanond, S., Srisawatt, W., Mochida, Y., Fujimoto, K., Ohnishi, T., Ishihara, S., and Miyagi, T. (2000). Top/root biomass ratio of a secondary mangrove (*Ceriops tagal* (Perr.) CB Rob.) forest. *Forest Ecology and Management* 139, 127-134.

Komiyama, A., Ong, J. E., and Poungparn, S. (2008). Allometry, biomass, and productivity of mangrove forests: A review. *Aquatic Botany* 89, 128-137.

Kuzyakov, Y., and Larionova, A. A. (2005). Root and rhizomicrobial respiration: A review of approaches to estimate respiration by autotrophic and heterotrophic organisms in soil. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 168, 503-520.

Lai, L., Zhao, X., Jiang, L., Wang, Y., Luo, L., Zheng, Y., Chen, X., and Rimmington, G. M. (2012). Soil respiration in different agricultural and natural ecosystems in an arid region. *PloS one* 7, e48011.

Lee, K.-H., and Jose, S. (2003a). Soil respiration and microbial biomass in a pecan-cotton alley cropping system in Southern USA. *Agroforestry Systems* 58, 45-54.

Lee, K.-H., and Jose, S. (2003b). Soil respiration, fine root production, and microbial biomass in cottonwood and loblolly pine plantations along a nitrogen fertilization gradient. *Forest Ecology and Management* 185, 263-273.

Li, X., Fu, H., Guo, D., Li, X., and Wan, C. (2010). Partitioning soil respiration and assessing the carbon balance in a *Setaria italica* (L.) Beauv. Cropland on the Loess Plateau, Northern China. *Soil Biology and Biochemistry* 42, 337-346.

Liang, J., Chang-Yi, L., Yong, Y., and Gong-Fu, Y. (2013). Soil respiration in a subtropical mangrove wetland in the Jiulong River Estuary, China. *Pedosphere* 23, 678-685.

Liebig, M., Jones, A., Doran, J., and Mielke, L. (1995). Potential soil respiration and relationship to soil properties in ridge tillage. *Soil Science Society of America Journal* 59, 1430-1435.

Linn, D., and Doran, J. (1984). Effect of water-filled pore space on carbon dioxide and nitrous oxide production in tilled and nontilled soils. *Soil Science Society of America Journal* 48, 1267-1272.

Lovelock, C. E. (2008). Soil respiration and belowground carbon allocation in mangrove forests. *Ecosystems* 11, 342-354.

Mackey, A. (1993). Biomass of the mangrove *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh. near Brisbane, south-eastern Queensland. *Marine and Freshwater Research* 44, 721-725.

Maggs, J., and Hewett, B. (1990). Soil and litter respiration in rainforests of contrasting nutrient status and physiognomic structure near Lake Eacham, north-east Queensland. *Australian journal of ecology* 15, 329-336.

Malhi, Y., Baldocchi, D., and Jarvis, P. (1999). The carbon balance of tropical, temperate and boreal forests. *Plant, Cell & Environment* 22, 715-740.

McGowan, T., Cunningham, S. L., Guzmán, H. M., Mair, J. M., Guevara, J. M., and Betts, T. (2010). Mangrove forest composition and structure in Las Perlas Archipelago, Pacific Panama. *Revista de biología tropical* 58, 857-869.

McKee, K. L., Mendelssohn, I. A., and Hester, M. W. (1988). Reexamination of pore water sulfide concentrations and redox potentials near the aerial roots of *Rhizophora mangle* and *Avicennia germinans*. *American Journal of Botany*, 1352-1359.

McKee, T. B., Doesken, N. J., and Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. *In* "Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology", Vol. 17, pp. 179-183. American Meteorological Society Boston, MA.

Meir, P., Malhi, Y., Hodnett, M., and Grace, J. (2004). Soil CO_2 efflux in a tropical forest in the central Amazon. *Global Change Biology* 10, 601-617.

Michelsen-Correa, S., and Scull, P. (2005). The impact of reforestation on soil temperature. *Middle States Geographer* 38, 39-44.

Miller, S. D., Goulden, M. L., Menton, M. C., da Rocha, H. R., de Freitas, H. C., Figueira, A. M. e. S., and Dias de Sousa, C. A. (2004). Biometric and micrometeorological measurements of tropical forest carbon balance. *Ecological Applications* 14, 114-126.

Nunan, N., Morgan, M., and Herlihy, M. (1998). Ultraviolet absorbance (280nm) of compounds released from soil during chloroform fumigation as an estimate of the microbial biomass. *Soil Biology and Biochemistry* 30, 1599-1603.

Ong, J., Gong, W., and Wong, C. (2004). Allometry and partitioning of the mangrove *Rhizophora apiculata*. *Forest Ecology and Management* 188, 395-408.

Pereira, J., Mateus, J., Aires, L., Pita, G., Pio, C., David, J., Andrade, V., Banza, J., David, T., and Paço, T. (2007). Net ecosystem carbon exchange in three contrasting Mediterranean ecosystems? The effect of drought. *Biogeosciences* 4, 791-802.

Poungparn, S., Komiyama, A., Sangteian, T., Maknual, C., Patanaponpaiboon, P., and Suchewaboripont, V. (2012). High primary productivity under submerged soil raises the net ecosystem productivity of a secondary mangrove forest in eastern Thailand. *Journal of Tropical Ecology* 28, 303-306.

Poungparn, S., Komiyama, A., Tanaka, A., Sangtiean, T., Maknual, C., Kato, S., Tanapermpool, P., and Patanaponpaiboon, P. (2009). Carbon dioxide emission through soil respiration in a secondary mangrove forest of eastern Thailand. *Journal of Tropical Ecology* 25, 393-400.

Purnobasuki, H. (2011). Structure of Lenticels on the Pneumatophores of *Avicennia marina*: as Aerating Device Deliver Oxygen in Mangrove’s root. *biota* 16, 309-315.

Purnobasuki, H., and Suzuki, M. (2004). Aerenchyma formation and porosity in root of a mangrove plant, *Sonneratia alba* (Lythraceae). *Journal of plant research* 117, 465-472.

Purnobasuki, H., and Suzuki, M. (2005). Functional anatomy of air conducting network on the pneumatophore of a mangrove plant, Avicennia marina (Forsk.) Vierh. *Asian Journal of Plant Sciences* 4, 334-347.

Raich, J., and Schlesinger, W. H. (1992). The global carbon dioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate. *Tellus B* 44, 81-99.

Ross, M. S., Ruiz, P. L., Telesnicki, G. J., and Meeder, J. F. (2001). Estimating above-ground biomass and production in mangrove communities of Biscayne National Park, Florida (USA). *Wetlands Ecology and Management* 9, 27-37.

Saintilan, N. (1997). Above-and below-ground biomass of mangroves in a sub-tropical estuary. *Marine and Freshwater Research* 48, 601-604.

Sapronov, D., and Kuzyakov, Y. V. (2007). Separation of root and microbial respiration: comparison of three methods. *Eurasian Soil Science* 40, 775-784.

Sato, A., and Seto, M. (1999). Relationship between rate of carbon dioxide evolution, microbial biomass carbon, and amount of dissolved organic carbon as affected by temperature and water content of a forest and an arable soil. *Communications in Soil Science & Plant Analysis* 30, 2593-2605.

Scholander, P., Van Dam, L., and Scholander, S. I. (1955). Gas exchange in the roots of mangroves. *American Journal of Botany*, 92-98.

Tamai, S., Nakasuga, T., Tabuchi, R., and Ogino, K. (1986). Standing biomass of mangrove forests in southern Thailand. *Journal of the Japanese Forest Society* 68, 384-388.

Tamooh, F., Huxham, M., Karachi, M., Mencuccini, M., Kairo, J., and Kirui, B. (2008). Below-ground root yield and distribution in natural and replanted mangrove forests at Gazi bay, Kenya. *Forest ecology and management* 256, 1290-1297.

Tang, J., Baldocchi, D. D., Qi, Y., and Xu, L. (2003). Assessing soil CO_2 efflux using continuous measurements of CO_2 profiles in soils with small solid-state sensors. *Agricultural and Forest Meteorology* 118, 207-220.

Tomlinson, P. B. (1986). "The botany of mangroves," Cambridge University.

Tomotsune, M., Yoshitake, S., Watanabe, S., and Koizumi, H. (2013). Separation of root and heterotrophic respiration within soil respiration by trenching, root biomass regression, and root excising methods in a cool-temperate deciduous forest in Japan. *Ecological research* 28, 259-269.

Torbert, H., and Wood, C. (1992). Effects of soil compaction and water-filled pore space on soil microbial activity and N losses. *Communications in Soil Science & Plant Analysis* 23, 1321-1331.

Valentini, R., Matteucci, G., Dolman, A., Schulze, E.-D., Rebmann, C., Moors, E., Granier, A., Gross, P., Jensen, N., and Pilegaard, K. (2000). Respiration as the main determinant of carbon balance in European forests. *Nature* 404, 861-865.

Vance, E., Brookes, P., and Jenkinson, D. (1987). An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil biology and Biochemistry* 19, 703-707.

Vincent, G., Shahriari, A. R., Lucot, E., Badot, P.-M., and Epron, D. (2006). Spatial and seasonal variations in soil respiration in a temperate deciduous forest with fluctuating water table. *Soil Biology and Biochemistry* 38, 2527-2535.

Wakushima, S., Kuraishi, S., and Sakurai, N. (1994). Soil salinity and pH in Japanese mangrove forests and growth of cultivated mangrove plants in different soil conditions. *Journal of plant research* 107, 39-46.

Wang, W., Dalal, R., Moody, P., and Smith, C. (2003). Relationships of soil respiration to microbial biomass, substrate availability and clay content. *Soil Biology and Biochemistry* 35, 273-284.

Wang, W., and Guo, J. (2006). The contribution of root respiration to soil CO_2 efflux in *Puccinellia tenuiflora* dominated community in a semi-arid meadow steppe. *Chinese Science Bulletin* 51, 697-703.

Wang, X., Zhu, B., Wang, Y., and Zheng, X. (2008). Field measures of the contribution of root respiration to soil respiration in an alder and cypress mixed plantation by two methods: trenching method and root biomass regression method. *European Journal of Forest Research* 127, 285-291.

Wanga, W., Ohse, K., Liu, J., Mo, W., and Oikawab, T. (2005). Contribution of root respiration to soil respiration in a C3/C4 mixed grassland. *Journal of biosciences* 30, 507-514.

Wei, W., Jiang, F., and Oikawa, T. (2009). Contribution of root and microbial respiration to soil CO_2 efflux and their environmental controls in a humid temperate grassland of Japan. *Pedosphere* 19, 31-39.

Wiant, H. V. (1967). Has the Contribution of Litter Decay to Forest. *Journal of Forestry* 65, 408-409.

Witkamp, M. (1966). Rates of carbon dioxide evolution from the forest floor. *Ecology*, 492-494.

Yan, J., Zhang, D., Zhou, G., and Liu, J. (2009). Soil respiration associated with forest succession in subtropical forests in Dinghushan Biosphere Reserve. *Soil Biology and Biochemistry* 41, 991-999.

Yi, Z., Fu, S., Yi, W., Zhou, G., Mo, J., Zhang, D., Ding, M., Wang, X., and Zhou, L. (2007). Partitioning soil respiration of subtropical forests with different successional stages in south China. *Forest Ecology and Management* 243, 178-186.

Yoshikawaa, K., Inoueb, M., Yoshimorib, I., Nakashimac, A., Teraminamic, T., Matsuod, N., Banjoe, R., and Miyamotof, C. (2011). Forest structure of gray mangrove (*Avicennia marina*) along Egyptian Red Sea coast. *Sci. Fac. Agr. Okayama Univ* 100, 39-51.

Zhang, L., Chen, Y., Zhao, R., and Li, W. (2012). Soil carbon dioxide flux from shelterbelts in farmland in temperate arid region, northwest China. *European Journal of Soil Biology* 48, 24-31.

Zhang, L., Guo, H., Jia, G., Wylie, B., Gilmanov, T., Howard, D., Ji, L., Xiao, J., Li, J., and Yuan, W. (2014). Net ecosystem productivity of temperate grasslands in northern China: an upscaling study. *Agricultural and Forest Meteorology* 184, 71-81.

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (2554). "รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการการศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมเบื้องต้นการทำแนวป้องกันการกัดเซาะชายฝั่ง ป้อมพระจุลจอมเกล้า จังหวัดสมุทรปราการ."

สนิท อักษรแก้ว. (2541). "ป่าชายเลน นิเวศวิทยาและการจัดการ," มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร.

เทียมใจ คมกฤส. (2536). "โครงสร้างของไม้ป่าชายเลน," ฉลองรัตน, กรุงเทพมหานคร.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตาราง ผ.1 หมายเลขของต้นไม้ ชื่อวิทยาศาสตร์ เส้นผ่านศูนย์กลางระดับอก (DBH) เส้นผ่านศูนย์กลางระดับผิวดิน (D_0) และความสูงของต้นไม้ ในแปลงศึกษา

แปลง	หมายเลขต้นไม้	ชื่อวิทยาศาสตร์	DBH (cm)	D_0 (cm)	H (m)
1	B125	*Avicennia marina*	10.5	13.5	5.1
	B126	*Avicennia marina*	7.9	10.0	5.1
	B127	*Avicennia marina*	7.0	10.0	5.3
	B128	*Avicennia marina*	7.2	9.7	4.7
	B129	*Avicennia marina*	6.5	7.9	4.7
	B130	*Avicennia marina*	11.0	14.1	6.2
	B131	*Avicennia marina*	6.6	8.7	4.9
	B132	*Avicennia marina*	8.0	8.5	6.1
	B133	*Avicennia marina*	5.0	6.0	4.7
	B134	*Avicennia marina*	5.5	6.5	3.4
	B135	*Avicennia marina*	7.5	10.0	3.6
	B136	*Avicennia marina*	4.6	6.0	4.2
	B137	*Avicennia marina*	11.9	14.5	6.7
	B138	*Avicennia marina*	9.3	10.1	6.3
	B139	*Avicennia marina*	9.0	11.5	5.9
	B140	*Avicennia marina*	4.5	6.4	3.8
	B141	*Avicennia marina*	8.8	10	5.8
	B142	*Avicennia marina*	5.5	7.5	5.3
	B143	*Avicennia marina*	6.5	7.7	5.8
	B144	*Avicennia marina*	5.5	7.0	4.8
	B145	*Avicennia marina*	8.3	11.5	5.9
	B146	*Avicennia marina*	5.0	6.0	3.0
	B147	*Avicennia marina*	6.5	9.0	5.8
	B148	*Avicennia marina*	7.5	9.0	6.1
	B149	*Avicennia marina*	6.5	7.2	5.4
	B150	*Avicennia marina*	7.5	9.0	5.8

แปลง	หมายเลขต้นไม้	ชื่อวิทยาศาสตร์	DBH (cm)	D_0 (cm)	H (m)
1	B151	*Avicennia marina*	10.3	12.0	6.2
	B152	*Avicennia marina*	8.5	10.0	5.7
	B153	*Avicennia marina*	4.6	5.3	3.9
	B154	*Avicennia marina*	8.5	9.5	6.1
	B155	*Avicennia marina*	9.5	14.3	5.1
	B156	*Avicennia marina*	8.8	9.7	6.4
	B157	*Avicennia marina*	8.8	12.0	6.0
	B158	*Avicennia marina*	8.8	11.1	6.5
	B159	*Avicennia marina*	5.3	7.2	3.4
	B160	*Avicennia marina*	6.0	12.4	5.0
	B161	*Avicennia marina*	7.7	12.4	6.2
	B162	*Avicennia marina*	7.2	8.4	6.2
	B163	*Avicennia marina*	5.3	6.7	4.9
	B164	*Avicennia marina*	4.9	7.8	5.3
	B165	*Avicennia marina*	5.5	6.9	4.8
2	B166	*Avicennia marina*	8.1	10.5	6.5
	B167	*Avicennia marina*	9.2	11.7	6.4
	B168	*Avicennia marina*	6.6	8.2	5.8
	B169	*Avicennia marina*	5.8	8.5	6.1
	B170	*Avicennia marina*	4.5	5.3	3.7
	B171	*Avicennia marina*	7.7	9.0	5.8
	B172	*Avicennia marina*	6.0	7.0	5.9
	B173	*Avicennia marina*	4.6	6.0	4.3
	B174	*Avicennia marina*	8.0	10.0	5.4
	B175	*Avicennia marina*	7.1	9.0	6.0
	B176	*Avicennia marina*	8.5	11.0	5.8
	B177	*Avicennia marina*	7.0	8.2	5.4
	B178	*Avicennia marina*	8.5	11.0	5.3
	B179	*Avicennia marina*	8.0	10.0	6.0

แปลง	หมายเลขต้นไม้	ชื่อวิทยาศาสตร์	DBH (cm)	D_0 (cm)	H (m)
2	B180	*Avicennia marina*	8.5	10.5	5.5
	B181	*Avicennia marina*	7.9	10.3	5.9
	B182	*Avicennia marina*	4.6	5.0	4.0
	B183	*Avicennia marina*	5.0	7.0	4.5
	B184	*Avicennia marina*	8.5	10	5.3
	B185	*Avicennia marina*	7.0	10.0	6.0
	B186	*Avicennia marina*	4.5	5.2	4.7
	B187	*Avicennia marina*	5.3	6.4	4.8
	B188	*Avicennia marina*	5.3	7.3	5.2
	B189	*Avicennia marina*	6.7	9.8	6.1
	B190	*Avicennia marina*	5.7	7.6	4.9
	B191	*Avicennia marina*	6.0	7.5	6.2
	B192	*Avicennia marina*	6.6	8.0	5.1
	B193	*Avicennia marina*	5.1	6.4	4.4
	B194	*Avicennia marina*	7.5	8.3	4.8
	B195	*Avicennia marina*	6.0	7.7	5.1
	B196	*Avicennia marina*	7.2	8.2	5.3
	B197	*Avicennia marina*	9.0	10.4	5.9
	B198	*Avicennia marina*	5.6	7.6	5.3
	B199	*Avicennia marina*	7.0	8.3	5.0
	B200	*Avicennia marina*	5.5	7.3	4.2
	B201	*Avicennia marina*	4.5	5.5	4.3
	B202	*Avicennia marina*	5.5	6.0	4.2
	B203	*Avicennia marina*	9.3	11.9	5.8
	B204	*Avicennia marina*	7.5	9.6	5.9
	B205	*Avicennia marina*	10.0	12	5.9
	B206	*Avicennia marina*	6.0	6.9	5.0
	B207	*Avicennia marina*	7.1	8.0	5.9
	B208	*Avicennia marina*	8.7	10.7	6.5

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

แปลง	หมายเลขต้นไม้	ชื่อวิทยาศาสตร์	DBH (cm)	D_0 (cm)	H (m)
2	B209	*Avicennia marina*	6.3	7.8	6.2
	B210	*Avicennia marina*	6.1	8.4	4.7
	B211	*Avicennia marina*	11.0	13.3	6.4
	B212	*Avicennia marina*	8.0	10.0	5.5
	B213	*Avicennia marina*	5.8	7.5	5.4
	B214	*Avicennia marina*	7.0	9.1	5.9
	B215	*Avicennia marina*	6.7	8.0	6.3
	B216	*Avicennia marina*	7.6	8.2	6.1
	B217	*Avicennia marina*	4.6	5.1	3.3
	B218	*Avicennia marina*	7.4	8.3	6.4
	B219	*Avicennia marina*	6.7	7.6	6.0
	B220	*Avicennia marina*	6.5	7.3	5.8
3	B221	*Avicennia marina*	8.4	10.3	5.9
	B222	*Avicennia marina*	5.5	6.1	5.0
	B223	*Avicennia marina*	10.0	12.0	6.2
	B224	*Avicennia marina*	6.5	8.5	5.4
	B225	*Avicennia marina*	5.2	6.3	5.2
	B226	*Avicennia marina*	9.5	11	6.0
	B228	*Avicennia marina*	7.0	7.8	6.2
	B229	*Avicennia marina*	6.7	8.0	5.2
	B231	*Avicennia marina*	7.8	9.2	6.3
	B232	*Avicennia marina*	4.7	7.7	4.5
	B233	*Avicennia marina*	4.5	6.2	3.7
	B234	*Avicennia marina*	5.1	6.6	3.0
	B235	*Avicennia marina*	8.4	10.0	5.2
	B236	*Avicennia marina*	8.8	10.6	6.3
	B237	*Avicennia marina*	6.7	7.8	5.3
	B238	*Avicennia marina*	8.8	9.9	4.7
	B239	*Avicennia marina*	10.2	12.4	6.5

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

แปลง	หมายเลขต้นไม้	ชื่อวิทยาศาสตร์	DBH (cm)	D_0 (cm)	H (m)
3	B240	*Avicennia marina*	7.7	9.2	5.7
	B241	*Avicennia marina*	6.9	8.2	5.9
	B242	*Avicennia marina*	7.2	9.2	6.1
	B243	*Avicennia marina*	8.2	9.8	4.9
	B244	*Avicennia marina*	5.0	5.6	4.3
	B245	*Avicennia marina*	6.7	8.5	4.6
	B246	*Avicennia marina*	9.8	12.1	6.3
	B247	*Avicennia marina*	11.2	13.0	6.1
	B248	*Avicennia marina*	5.0	6.7	4.5
	B249	*Avicennia marina*	6.3	7.9	5.4
	B250	*Avicennia marina*	5.2	8.5	5.7
	B251	*Avicennia marina*	8.0	11.5	5.9
	B252	*Avicennia marina*	10.0	12.3	5.8
	B253	*Avicennia marina*	9.3	12.2	6.3
	B254	*Avicennia marina*	5.3	12.2	5.8
	B255	*Avicennia marina*	8.3	10.1	5.8
	B256	*Avicennia marina*	6.6	8.5	4.9
	B257	*Avicennia marina*	5.2	6.7	5.4
	B258	*Avicennia marina*	5.4	6.5	5.5
	B259	*Avicennia marina*	7.1	8.7	5.3
	B260	*Avicennia marina*	5.0	6.5	4.6
4	B261	*Avicennia marina*	10.5	11.9	6.4
	B262	*Avicennia marina*	8.0	8.3	5.4
	B263	*Avicennia marina*	6.5	10.5	5.5
	B264	*Avicennia marina*	6.0	10.5	5.4
	B265	*Avicennia marina*	5.9	7.4	4.9
	B266	*Avicennia marina*	8.8	11.5	5.2
	B267	*Avicennia marina*	6.9	8.7	5.9
	B268	*Avicennia marina*	6.7	8.2	5.0

แปลง	หมายเลขต้นไม้	ชื่อวิทยาศาสตร์	DBH (cm)	D_0 (cm)	H (m)
4	B269	*Avicennia marina*	5.5	5.9	4.8
	B270	*Avicennia marina*	8.0	9.6	6.3
	B271	*Avicennia marina*	8.5	10	6.2
	B272	*Avicennia marina*	8.0	9.0	5.3
	B273	*Avicennia marina*	4.8	8.5	4.7
	B277	*Avicennia marina*	5.7	8.5	6.0
	B274	*Avicennia marina*	5.9	6.8	3.8
	B278	*Avicennia marina*	9.0	10.5	4.8
	B279	*Avicennia marina*	5.8	6.3	4.0
	B280	*Avicennia marina*	7.4	8.0	5.0
	B281	*Avicennia marina*	9.0	11.5	6.1
	B282	*Avicennia marina*	5.3	5.8	3.7
	B283	*Avicennia marina*	6.0	6.5	4.7
	B284	*Avicennia marina*	6.5	8.5	6.0
	B285	*Avicennia marina*	9.5	10.5	6.2
	B286	*Avicennia marina*	11.2	13.5	6.5
	B287	*Avicennia marina*	7.2	9.1	5.4
	B288	*Avicennia marina*	9.8	2.6	6.7
	B289	*Avicennia marina*	5.5	6.5	4.3
	B290	*Avicennia marina*	7.3	7.5	5.6
	B291	*Avicennia marina*	8.6	12.2	6.0
	B292	*Avicennia marina*	7.5	12.2	5.4
	B293	*Avicennia marina*	5.8	6.9	5.4
	B294	*Avicennia marina*	5.8	6.5	4.3
	B295	*Avicennia marina*	8.0	10.5	6.0
	B296	*Avicennia marina*	6.3	10.5	5.5
	B333	*Avicennia marina*	6.5	14.5	4.7
	B276	*Avicennia marina*	11.5	14.5	6.1
5	A831	*Avicennia marina*	8.0	14.0	6.4

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

แปลง	หมายเลขต้นไม้	ชื่อวิทยาศาสตร์	DBH (cm)	D_0 (cm)	H (m)
5	A832	*Avicennia marina*	10.5	14.0	6.0
	A834	*Avicennia marina*	6.0	12.5	5.1
	A835	*Avicennia marina*	7.0	12.5	5.5
	A836	*Avicennia marina*	8.8	12.5	5.5
	A837	*Avicennia marina*	5.2	6.0	4.1
	A838	*Avicennia marina*	6.5	7.5	4.9
	A839	*Avicennia marina*	6.5	6.7	4.7
	A840	*Avicennia marina*	6.0	14.5	5.2
	A841	*Avicennia marina*	11.2	14.5	5.1
	A842	*Avicennia marina*	6.2	7.5	5.1
	A843	*Avicennia marina*	5.5	9.0	4.7
	A844	*Avicennia marina*	4.5	5.7	4.7
	A845	*Avicennia marina*	8.0	12.2	5.1
	A846	*Avicennia marina*	7.5	12.2	5.0
	A847	*Avicennia marina*	6.4	13.3	5.8
	A848	*Avicennia marina*	10.0	13.3	5.9
	A849	*Avicennia marina*	5.3	6.8	5.5
	A850	*Avicennia marina*	8.0	18.7	6.2
	A851	*Avicennia marina*	12.4	18.7	6.4
	A852	*Avicennia marina*	6.5	9.8	5.0
	A853	*Avicennia marina*	6.2	9.8	5.2
	A854	*Avicennia marina*	6.7	9.5	6.0
	A856	*Avicennia marina*	8.6	13.0	6.6
	A857	*Avicennia marina*	6.2	13.0	4.3
	A858	*Avicennia marina*	9.2	11.5	5.5
	A859	*Avicennia marina*	6.5	8.0	6.3
	A860	*Avicennia marina*	6.0	9.0	4.8
	A861	*Avicennia marina*	5.0	6.5	4.6
	A862	*Avicennia marina*	4.5	6.2	4.2

แปลง	หมายเลขต้นไม้	ชื่อวิทยาศาสตร์	DBH (cm)	D_0 (cm)	H (m)
5	A863	*Avicennia marina*	5.0	6.5	4.5
	A864	*Avicennia marina*	5.5	7.0	4.9
	A865	*Avicennia marina*	6.5	7.1	5.1
	A866	*Avicennia marina*	6.3	8.5	5.1
	A867	*Avicennia marina*	6.0	8.5	5.2
	A868	*Avicennia marina*	7.8	9.2	5.1
	A869	*Avicennia marina*	7.2	9.0	4.7
	A871	*Avicennia marina*	6.9	9.4	5.3
	A872	*Avicennia marina*	9.5	11.5	5.9
	A873	*Avicennia marina*	6.4	8.9	5.7
	A874	*Avicennia marina*	7.4	9.4	5.1
	A876	*Avicennia marina*	10.2	13.1	5.9
	A877	*Avicennia marina*	7.3	8.5	5.1
	A878	*Avicennia marina*	8.6	11.0	5.9
	A879	*Avicennia marina*	4.5	7.0	4.9
	A880	*Avicennia marina*	6.9	8.4	5.7
	A881	*Avicennia marina*	7.4	8.5	5.4
	A882	*Avicennia marina*	5.3	6.0	5.1
	A883	*Avicennia marina*	6.7	7.3	5.3
6	D985	*Avicennia marina*	7.3	9.4	4.9
	D986	*Avicennia marina*	5.5	8.5	4.8
	D987	*Avicennia marina*	6.0	9.0	4.7
	D988	*Avicennia marina*	5.0	6.5	4.5
	D989	*Avicennia marina*	4.9	8.1	4.7
	D990	*Avicennia marina*	4.7	6.0	4.2
	D991	*Avicennia marina*	7.0	5.3	8.8
	D992	*Avicennia marina*	7.3	8.2	4.8
	D994	*Avicennia marina*	6.2	7.0	4.6
	D995	*Avicennia marina*	7.8	15.7	4.7

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

แปลง	หมายเลขต้นไม้	ชื่อวิทยาศาสตร์	DBH (cm)	D_0 (cm)	H (m)
6	D996	*Avicennia marina*	7.3	15.7	4.7
	D997	*Avicennia marina*	6.4	7.1	4.7
	D999	*Avicennia marina*	5.2	7.6	4.6
	D1000	*Avicennia marina*	5.6	6.8	4.8
	A801	*Avicennia marina*	7.5	9.7	4.3
	A803	*Avicennia marina*	4.5	9.0	4.5
	A804	*Avicennia marina*	7.0	9.0	4.6
	A805	*Avicennia marina*	11.0	12.3	5.7
	A806	*Avicennia marina*	5.0	8.3	4.5
	A807	*Avicennia marina*	5.5	8.3	4.6
	A808	*Avicennia marina*	6.0	8.3	4.7
	A809	*Avicennia marina*	4.9	9.5	4.2
	A810	*Avicennia marina*	5.7	7.0	4.1
	A811	*Avicennia marina*	8.5	13.4	4.8
	A812	*Avicennia marina*	6.4	13.4	4.8
	A813	*Avicennia marina*	5.0	13.4	4.2
	A814	*Avicennia marina*	5.8	7.5	4.6
	A815	*Avicennia marina*	8.6	10.8	5.3
	A816	*Avicennia marina*	4.7	6.6	4.4
	A817	*Avicennia marina*	6.2	11.5	5.1
	A818	*Avicennia marina*	8.6	11.5	4.9
	A820	*Avicennia marina*	5.5	7.5	4.9
	A821	*Avicennia marina*	9.7	11.7	5.0
	A822	*Avicennia marina*	4.8	5.5	4.7
	A823	*Avicennia marina*	5.4	6.0	4.3
	A824	*Avicennia marina*	7.3	8.7	4.7
	A825	*Avicennia marina*	6.5	9.0	4.9
	A826	*Avicennia marina*	5.5	6.8	5.0
	A827	*Avicennia marina*	9.5	11.5	5.3

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

แปลง	หมายเลขต้นไม้	ชื่อวิทยาศาสตร์	DBH (cm)	D_0 (cm)	H (m)
6	A829	*Avicennia marina*	10.5	13.3	6.5
	A830	*Avicennia marina*	7.1	10.0	4.2
7	B297	*Avicennia marina*	10.8	13.2	5.1
	B298	*Avicennia marina*	6.0	7.1	4.9
	B299	*Avicennia marina*	6.9	8.5	5.7
	B300	*Avicennia marina*	9.5	12.1	6.5
	B301	*Avicennia marina*	4.5	6.5	3.2
	B302	*Avicennia marina*	7.5	9.0	4.7
	B303	*Avicennia marina*	9.4	12.7	5.2
	B304	*Avicennia marina*	8.9	14.0	5.4
	B305	*Avicennia marina*	6.8	14.0	5.4
	B306	*Avicennia marina*	8.0	10.5	5.8
	B307	*Avicennia marina*	11.5	15.0	6.0
	B308	*Avicennia marina*	6.0	7.5	5.0
	B309	*Avicennia marina*	5.5	6.3	4.8
	B310	*Avicennia marina*	7.6	8.0	5.9
	B311	*Avicennia marina*	6.8	6.5	5.8
	B312	*Avicennia marina*	5.5	6.0	4.3
	B313	*Avicennia marina*	7.2	9.5	5.2
	B314	*Avicennia marina*	8.4	10.0	6.0
	B315	*Avicennia marina*	8.5	9.5	5.1
	B316	*Avicennia marina*	8.3	8.7	4.5
	B317	*Avicennia marina*	5.7	7.7	4.5
	B318	*Avicennia marina*	8.6	11.1	5.9
	B319	*Avicennia marina*	4.7	6.2	4.2
	B320	*Avicennia marina*	5.3	7.0	5.4
	B321	*Avicennia marina*	8.7	10.5	6.1
	B322	*Avicennia marina*	10.4	13.7	6.5
	B323	*Avicennia marina*	5.5	7.2	4.5

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

แปลง	หมายเลขต้นไม้	ชื่อวิทยาศาสตร์	DBH (cm)	D_0 (cm)	H (m)
7	B324	*Avicennia marina*	10.5	14.0	6.5
	B325	*Avicennia marina*	8.2	10.5	5.5
	B326	*Avicennia marina*	9.3	10.5	5.6
	B328	*Avicennia marina*	6.5	7.2	4.8
	B329	*Avicennia marina*	7.8	8.5	6.2
	B330	*Avicennia marina*	9.8	12.1	6.3
8	B331	*Avicennia marina*	7.8	8.7	5.9
	B332	*Avicennia marina*	6.8	8.8	5.9
	B334	*Avicennia marina*	7.3	8.0	6.0
	B335	*Avicennia marina*	6.9	7.3	5.4
	B336	*Avicennia marina*	6.5	9.2	6.0
	B337	*Avicennia marina*	5.3	9.2	6.0
	B338	*Avicennia marina*	7.1	13.3	5.2
	B339	*Avicennia marina*	8.5	13.3	5.3
	B340	*Avicennia marina*	9.2	13.8	5.2
	B341	*Avicennia marina*	8.9	13.8	5.1
	B342	*Avicennia marina*	8.5	10.2	6.2
	B343	*Avicennia marina*	10.3	10.1	6.5
	B344	*Avicennia marina*	5.9	10.3	6.4
	B345	*Avicennia marina*	6.2	10.3	5.5
	B347	*Avicennia marina*	5.5	6.5	4.6
	B348	*Avicennia marina*	9.5	10.7	4.5
	B349	*Avicennia marina*	5.0	8.5	3.0
	B350	*Avicennia marina*	9.5	13.0	5.6
	B351	*Avicennia marina*	9.2	12.2	6.1
	B352	*Avicennia marina*	9.0	10.4	5.7
	B353	*Avicennia marina*	6.7	8.7	4.6
	B354	*Avicennia marina*	5.7	6.4	5.3
	B355	*Avicennia marina*	9.3	11.5	6.6

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

แปลง	หมายเลขต้นไม้	ชื่อวิทยาศาสตร์	DBH (cm)	D_0 (cm)	H (m)
8	B356	*Avicennia marina*	7.5	10.2	5.7
	B357	*Avicennia marina*	7.6	9.7	6.3
	B358	*Avicennia marina*	9.3	11.5	6.3
	B359	*Avicennia marina*	6.3	7.8	4.3
	B360	*Avicennia marina*	5.9	7.3	5.4
	B361	*Avicennia marina*	4.9	6.5	4.7
	B362	*Avicennia marina*	9.2	9.5	6.5
	B363	*Avicennia marina*	5.0	7.0	4.5
	B364	*Avicennia marina*	6.7	7.7	5.8
	B365	*Avicennia marina*	9.8	11.5	5.7
	B366	*Avicennia marina*	8.5	9.2	5.7
	B367	*Avicennia marina*	8.0	9.0	5.6
	B368	*Avicennia marina*	5.0	6.0	5.3
	B369	*Avicennia marina*	7.0	7.9	5.5
	B370	*Avicennia marina*	6.2	9.3	5.9
	B371	*Avicennia marina*	6.7	7.6	6.0
	B372	*Avicennia marina*	10.0	12.0	6.6
	B373	*Avicennia marina*	5.6	6.5	4.5
	B374	*Avicennia marina*	6.4	11.0	5.9
	B375	*Avicennia marina*	5.2	11.0	6.2
	B376	*Avicennia marina*	6.5	8.2	4.8
	B377	*Avicennia marina*	6.7	13.4	5.2
	B378	*Avicennia marina*	8.5	13.4	5.1
	B379	*Avicennia marina*	7.0	9.0	5.3
9	B380	*Avicennia marina*	8.4	10.3	5.6
	B381	*Avicennia marina*	6.7	10.3	5.1
	B382	*Avicennia marina*	8.7	10.3	5.9
	B383	*Avicennia marina*	6.4	7.3	5.3
	B384	*Avicennia marina*	5.1	8.4	4.5

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

แปลง	หมายเลขต้นไม้	ชื่อวิทยาศาสตร์	DBH (cm)	D_0 (cm)	H (m)
9	B385	*Avicennia marina*	5.4	8.4	4.9
	B386	*Avicennia marina*	5.7	6.9	5.4
	B387	*Avicennia marina*	6.8	9.0	4.7
	B388	*Avicennia marina*	7.5	14.9	5.6
	B389	*Avicennia marina*	7.1	8.0	5.7
	B390	*Avicennia marina*	5.5	6.5	4.7
	B391	*Avicennia marina*	8.3	11	5.4
	B393	*Avicennia marina*	9.0	10.5	5.1
	B394	*Avicennia marina*	7.5	9.4	5.4
	B395	*Avicennia marina*	5.5	9.8	4.7
	B396	*Avicennia marina*	7.0	9.8	5.3
	B397	*Avicennia marina*	7.5	8.3	5.8
	B398	*Avicennia marina*	9.6	12	6.3
	B399	*Avicennia marina*	4.6	5.0	6.2
	B400	*Avicennia marina*	11.2	14.4	5.6
	B401	*Avicennia marina*	7.2	8.5	6.2
	B402	*Avicennia marina*	7.6	9.8	6.1
	B403	*Avicennia marina*	6.3	8.5	5.5
	B404	*Avicennia marina*	6.8	8.7	6.3
	B405	*Avicennia marina*	4.5	5.8	3.9
	B406	*Avicennia marina*	6.2	8.2	5.0
	B407	*Avicennia marina*	8.5	11.1	6.2
	B408	*Avicennia marina*	6.2	7.7	5.0
	B409	*Avicennia marina*	8.0	10.0	4.9
	B410	*Avicennia marina*	7.2	9.9	4.8
	B412	*Avicennia marina*	8.9	12.2	6.4
	B413	*Avicennia marina*	6.0	7.5	4.7
	B414	*Avicennia marina*	4.5	7.5	3.5
	B416	*Avicennia marina*	8.0	10.0	5.6

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

แปลง	หมายเลขต้นไม้	ชื่อวิทยาศาสตร์	DBH (cm)	D_0 (cm)	H (m)
9	B417	*Avicennia marina*	5.0	6.0	4.5
	B418	*Avicennia marina*	5.0	7.0	4.7
	B419	*Avicennia marina*	7.0	8.1	5.2
	B420	*Avicennia marina*	7.8	10.9	5.0
	B421	*Avicennia marina*	6.9	8.6	3.9
	B422	*Avicennia marina*	6.0	8.9	5.3
	B423	*Avicennia marina*	8.0	9.8	6.1
	B424	*Avicennia marina*	10.3	12.5	6.2
10	B425	*Avicennia marina*	6.2	7.5	5.7
	B426	*Avicennia marina*	5.1	7.0	4.5
	B427	*Avicennia marina*	4.5	10.1	5.5
	B428	*Avicennia marina*	5.2	10.1	5.6
	B429	*Avicennia marina*	8.5	12.9	6.7
	B430	*Avicennia marina*	5.8	7.5	5.9
	B431	*Avicennia marina*	5.7	6.9	6.0
	B432	*Avicennia marina*	11.5	12.0	6.5
	B433	*Avicennia marina*	4.7	9.8	4.2
	B435	*Avicennia marina*	8.0	9.8	5.2
	B434	*Avicennia marina*	5.2	6.5	4.2
	B436	*Avicennia marina*	8.5	12.0	5.7
	B437	*Avicennia marina*	5.0	6.5	4.8
	B438	*Avicennia marina*	5.5	8.0	5.0
	B439	*Avicennia marina*	9.0	13.0	4.7
	B440	*Avicennia marina*	5.8	13.0	4.5
	B441	*Avicennia marina*	7.4	9.3	6.2
	B442	*Avicennia marina*	5	5.6	4.5
	B443	*Avicennia marina*	4.6	6.0	3.6
	B444	*Avicennia marina*	6.0	8.0	5.9
	B445	*Avicennia marina*	5.1	6.4	4.7

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

แปลง	หมายเลขต้นไม้	ชื่อวิทยาศาสตร์	DBH (cm)	D_0 (cm)	H (m)
10	B446	*Avicennia marina*	5.7	8.5	5.9
	B447	*Avicennia marina*	6.3	7.7	3.9
	B448	*Avicennia marina*	9.0	11.3	5.9
	B449	*Avicennia marina*	9.0	12.0	4.5
	B451	*Avicennia marina*	5.0	9.0	4.1
	B452	*Avicennia marina*	7.0	9.0	4.3
	B453	*Avicennia marina*	5.5	6.3	4.2
	B454	*Avicennia marina*	8.7	13.9	5.2
	B455	*Avicennia marina*	9.4	13.9	5.3
	B456	*Avicennia marina*	7.5	8.0	5.7
	B458	*Avicennia marina*	6.9	13.4	6.0
	B459	*Avicennia marina*	6.7	8.9	6.9
	B460	*Avicennia marina*	4.8	6.7	4.7
	B461	*Avicennia marina*	8.0	10.5	6.7
	B464	*Avicennia marina*	6.5	8.0	5.0
	B465	*Avicennia marina*	6.5	12.0	4.7
	B466	*Avicennia marina*	10.0	12.0	4.8
	B467	*Avicennia marina*	5.0	5.5	4.4
	B468	*Avicennia marina*	7.9	10.0	5.7
	B469	*Avicennia marina*	6.0	6.5	4.9
	B470	*Avicennia marina*	9.0	10.0	5.1
	B471	*Avicennia marina*	6.0	8.0	5.0
	B473	*Avicennia marina*	5.1	6.4	5.3
11	B475	*Avicennia marina*	8.0	11.2	4.9
	B476	*Avicennia marina*	8.9	13.7	4.8
	B477	*Avicennia marina*	7.8	13.7	6.4
	B478	*Avicennia marina*	4.5	6.8	4.7
	B479	*Avicennia marina*	7.0	8.9	3.5
	B480	*Avicennia marina*	6.5	8.5	5.6

แปลง	หมายเลขต้นไม้	ชื่อวิทยาศาสตร์	DBH (cm)	D_0 (cm)	H (m)
11	B482	*Avicennia marina*	5.0	6.9	6.0
	B483	*Avicennia marina*	5.6	8.5	5.7
	B484	*Avicennia marina*	6.9	8.3	6.0
	B485	*Avicennia marina*	7.0	8.9	6.9
	B486	*Avicennia marina*	5.9	7.1	4.7
	B487	*Avicennia marina*	8.5	10.2	6.7
	B488	*Avicennia marina*	7.1	8.8	5.0
	B489	*Avicennia marina*	4.5	6.1	4.7
	B490	*Avicennia marina*	8.1	10.5	4.8
	B491	*Avicennia marina*	4.9	6.3	4.4
	B492	*Avicennia marina*	6.2	8.3	5.7
	B493	*Avicennia marina*	7.9	9.3	4.9
	B494	*Avicennia marina*	4.6	6.6	5.1
	B495	*Avicennia marina*	5.3	7.7	5.0
	B496	*Avicennia marina*	4.6	6.4	5.3
	B497	*Avicennia marina*	5.2	6.0	4.9
	B498	*Avicennia marina*	6.9	8.5	4.8
	B499	*Avicennia marina*	5.2	7.3	6.4
	B500	*Avicennia marina*	6.5	7.1	4.7
	B501	*Avicennia marina*	7.7	9.6	3.5
	B502	*Avicennia marina*	5.8	7.0	5.6
	B503	*Avicennia marina*	4.7	6.0	4.4
	B504	*Avicennia marina*	4.5	5.3	5.7
	B505	*Avicennia marina*	5.8	9.6	4.9
	B507	*Avicennia marina*	4.9	5.8	5.1
	B508	*Avicennia marina*	7.0	8.5	5.0
	B509	*Avicennia marina*	5.3	6.9	5.3
	B510	*Avicennia marina*	5.0	6.5	4.9
	B511	*Avicennia marina*	4.9	6.3	4.8

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

แปลง	หมายเลขต้นไม้	ชื่อวิทยาศาสตร์	DBH (cm)	D_0 (cm)	H (m)
11	B512	*Avicennia marina*	4.8	6.0	5.8
	B513	*Avicennia marina*	4.7	5.8	6.3
	B514	*Avicennia marina*	9.2	11.4	6.2
	B515	*Avicennia marina*	4.5	6.5	5.6
	B516	*Avicennia marina*	4.9	6.6	6.2
	B517	*Avicennia marina*	6.4	7.9	6.1
	B518	*Avicennia marina*	4.9	5.8	5.5
	B519	*Avicennia marina*	7.5	9.3	6.3
	B521	*Avicennia marina*	5.4	7.5	3.9
	B522	*Avicennia marina*	5.5	7.3	5.0
	B523	*Avicennia marina*	7.3	9.2	6.2
	B526	*Avicennia marina*	4.6	6.8	5.0
	B527	*Avicennia marina*	4.8	6.1	4.9
	B528	*Avicennia marina*	5.5	7.5	4.8
	B529	*Avicennia marina*	6.1	9.5	6.4
	B530	*Avicennia marina*	8.5	11.9	4.7
	B531	*Avicennia marina*	5.0	6.7	3.5
12	B533	*Avicennia marina*	7.0	8.2	5.6
	B534	*Avicennia marina*	7.5	9.6	4.7
	B535	*Avicennia marina*	7.3	8.9	3.5
	B536	*Avicennia marina*	4.6	6.6	5.6
	B537	*Avicennia marina*	4.9	7.0	5.5
	B538	*Avicennia marina*	5.2	7.4	6.3
	B540	*Avicennia marina*	5.5	7.1	3.9
	B541	*Avicennia marina*	5.9	8.5	5.0
	B542	*Avicennia marina*	4.6	5.9	6.2
	B543	*Avicennia marina*	5.1	8.5	5.0
	B544	*Avicennia marina*	5.9	8.5	3.9
	B545	*Avicennia marina*	7.2	10.0	5.0

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

แปลง	หมายเลขต้นไม้	ชื่อวิทยาศาสตร์	DBH (cm)	D_0 (cm)	H (m)
12	B546	*Avicennia marina*	6.3	8.8	6.0
	B547	*Avicennia marina*	4.5	5.5	5.7
	B548	*Avicennia marina*	5.6	7.4	6.0
	B550	*Avicennia marina*	7.1	10.3	6.9
	B552	*Avicennia marina*	5.4	7.8	4.7
	B553	*Avicennia marina*	4.8	7.8	6.7
	B554	*Avicennia marina*	4.5	5.6	5.0
	B555	*Avicennia marina*	5.5	6.8	4.7
	B557	*Avicennia marina*	5.0	6.7	4.8
	B558	*Avicennia marina*	6.3	9.4	4.4
	B559	*Avicennia marina*	5.1	7.0	5.7
	B560	*Avicennia marina*	8.8	10.8	4.9
	B562	*Avicennia marina*	4.5	6.5	5.1
	B563	*Avicennia marina*	7.9	9.9	5.0
	B564	*Avicennia marina*	5.5	6.9	5.3
	B565	*Avicennia marina*	5.6	8.0	4.9
	B566	*Avicennia marina*	4.6	5.5	6.3
	B567	*Avicennia marina*	8.0	10.5	6.2
12	B568	*Avicennia marina*	9.2	11.5	5.6
	B569	*Avicennia marina*	6.4	7.5	6.2
	B570	*Avicennia marina*	6.6	8.5	6.1
	B571	*Avicennia marina*	6.8	9.3	5.5
	B572	*Avicennia marina*	5.7	7.1	6.3
	B573	*Avicennia marina*	5.3	6.1	3.9
	B574	*Avicennia marina*	8.4	11.1	5.0
	B575	*Avicennia marina*	5.8	7.0	6.2
	B576	*Avicennia marina*	6.6	8.0	5.0
	B577	*Avicennia marina*	8.4	11.0	4.9
	B578	*Avicennia marina*	6.6	8.0	4.8

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

แปลง	หมายเลขต้นไม้	ชื่อวิทยาศาสตร์	DBH (cm)	D_0 (cm)	H (m)
12	B579	*Avicennia marina*	6.8	9.6	4.7
	B580	*Avicennia marina*	6.8	10.0	3.5
	B581	*Avicennia marina*	4.9	10.0	5.6
	B583	*Avicennia marina*	5.1	6.2	3.9
	B585	*Avicennia marina*	7.9	9.3	5.0
	B586	*Avicennia marina*	7.7	9.6	6.2
	B588	*Avicennia marina*	7.2	9.5	5.3
	B589	*Avicennia marina*	7.8	8.9	4.9
	B590	*Avicennia marina*	7.7	9.8	6.3
13	B591	*Avicennia marina*	5.5	7.7	6.2
	B592	*Avicennia marina*	9.0	11.4	5.6
	B593	*Avicennia marina*	6.0	7.9	6.2
	B594	*Avicennia marina*	6.2	7.7	6.1
	B595	*Avicennia marina*	8.5	9.6	5.5
	B596	*Avicennia marina*	8.2	12.7	4.9
	B597	*Avicennia marina*	6.1	7.6	5.4
	B598	*Avicennia marina*	5.7	7.5	4.7
	B599	*Avicennia marina*	7.5	9.6	5.6
	B600	*Avicennia marina*	4.8	5.3	5.7
	B601	*Avicennia marina*	4.8	6.9	4.7
	B602	*Avicennia marina*	5.0	6.0	5.4
	B603	*Avicennia marina*	7.4	9.5	5.1
	B604	*Avicennia marina*	5.0	6.7	5.4
	B605	*Avicennia marina*	5.0	5.8	4.7
	B606	*Avicennia marina*	6.2	7.6	5.3
	B607	*Avicennia marina*	6.2	7.8	5.8
	B608	*Avicennia marina*	5.0	6.7	6.3
	B609	*Avicennia marina*	6.9	9.1	6.2
	B610	*Avicennia marina*	7.7	9.2	5.6

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

แปลง	หมายเลขต้นไม้	ชื่อวิทยาศาสตร์	DBH (cm)	D_0 (cm)	H (m)
13	B611	*Avicennia marina*	7.1	8.4	6.1
	B612	*Avicennia marina*	9.7	12.1	5.5
	B613	*Avicennia marina*	6.7	8.3	6.3
	B614	*Avicennia marina*	6.9	7.8	3.9
	B615	*Avicennia marina*	9.5	11.2	5.0
	B616	*Avicennia marina*	4.6	6.4	6.2
	B617	*Avicennia marina*	7.9	9.2	5.0
	B618	*Avicennia marina*	6.5	8.2	4.9
	B619	*Avicennia marina*	7.0	9.7	4.8
	B620	*Avicennia marina*	4.7	5.7	6.4
	B621	*Avicennia marina*	4.8	6.0	4.7
	B622	*Avicennia marina*	6.5	8.4	4.9
	B623	*Avicennia marina*	5.7	8.3	5.4
	B624	*Avicennia marina*	7.3	9.4	4.7
	B625	*Avicennia marina*	4.7	6.3	5.6
	B626	*Avicennia marina*	5.5	6.9	5.7
	B627	*Avicennia marina*	5.5	6.4	4.7
	B628	*Avicennia marina*	5.8	7.2	5.4
	B629	*Avicennia marina*	6.2	6.7	5.1
	B630	*Avicennia marina*	4.8	6.3	5.4
	B631	*Avicennia marina*	5.0	5.2	4.7
	B632	*Avicennia marina*	11.1	12.7	5.3
	B633	*Avicennia marina*	6.8	8.3	5.8
	B634	*Avicennia marina*	7.7	10.0	6.3
	B636	*Avicennia marina*	5.7	7.1	6.2
	B637	*Avicennia marina*	4.9	6.4	5.6
	B638	*Avicennia marina*	8.2	8.9	6.2
	B639	*Avicennia marina*	4.8	6.2	6.1
	B640	*Avicennia marina*	5.2	7.7	5.5

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

แปลง	หมายเลขต้นไม้	ชื่อวิทยาศาสตร์	DBH (cm)	D_0 (cm)	H (m)
13	B641	*Avicennia marina*	4.7	6.7	3.9
	B642	*Avicennia marina*	6.4	8.5	5.0
	B643	*Avicennia marina*	5.2	6.8	6.2
	B644	*Avicennia marina*	6.0	6.1	5.0
14	B645	*Avicennia marina*	6.1	7.1	4.9
	B646	*Avicennia marina*	7.4	10.9	4.8
	B647	*Avicennia marina*	9.6	12.1	6.4
	B648	*Avicennia marina*	5.4	7.8	4.7
	B649	*Avicennia marina*	5.2	7.8	4.9
	B652	*Avicennia marina*	5.3	8.8	5.4
	B653	*Avicennia marina*	4.8	8.8	4.7
	B654	*Avicennia marina*	5.4	8.8	5.6
	B655	*Avicennia marina*	6.3	7.2	5.7
	B656	*Avicennia marina*	7.0	8.4	4.7
	B658	*Avicennia marina*	6.9	13.4	5.4
	B659	*Avicennia marina*	6.4	13.4	5.1
	B660	*Avicennia marina*	6.9	8.8	5.4
	B661	*Avicennia marina*	7.7	9.3	4.7
	B662	*Avicennia marina*	5.2	6.8	5.3
	B663	*Avicennia marina*	6.3	8.2	5.0
	B664	*Avicennia marina*	9.0	10.5	4.9
	B665	*Avicennia marina*	5.8	7.5	4.8
	B666	*Avicennia marina*	7.1	8.1	6.4
	B667	*Avicennia marina*	9.3	9.5	4.7
	B668	*Avicennia marina*	7.1	11.5	5.0
	B669	*Avicennia marina*	7.0	8.6	6.2
	B670	*Avicennia marina*	8.2	9.1	5.0
	B671	*Avicennia marina*	7.9	9.4	4.9
	B672	*Avicennia marina*	6.5	8.6	5.0

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

แปลง	หมายเลขต้นไม้	ชื่อวิทยาศาสตร์	DBH (cm)	D_0 (cm)	H (m)
14	B673	*Avicennia marina*	4.6	7.1	5.0
	B674	*Avicennia marina*	9.3	13.3	4.9
	B675	*Avicennia marina*	4.5	6.8	4.8
	B676	*Avicennia marina*	4.8	6.2	6.4
	B677	*Avicennia marina*	10.0	11.2	4.7
	B678	*Avicennia marina*	6.9	8.0	5.0
	B679	*Avicennia marina*	6.3	7.4	6.2
	B680	*Avicennia marina*	4.6	6.7	5.0
	B681	*Avicennia marina*	7.8	9.2	4.9
	B683	*Avicennia marina*	7.2	9.9	4.8
	B684	*Avicennia marina*	4.8	6.3	6.4
	B685	*Avicennia marina*	7.4	8.3	4.7
	B686	*Avicennia marina*	8.8	10.5	4.7
	B687	*Avicennia marina*	5.3	7.0	5.0
	B688	*Avicennia marina*	5.9	7.3	6.2
	B689	*Avicennia marina*	4.9	5.5	5.0
	B690	*Avicennia marina*	6.2	7.6	4.9
	B691	*Avicennia marina*	5.0	5.8	5.6
	B692	*Avicennia marina*	4.6	6.4	4.0
	B693	*Avicennia marina*	4.8	6.2	4.3
	B694	*Avicennia marina*	5.4	7.2	5.3
15	D917	*Avicennia marina*	4.7	7.0	4.5
	D918	*Avicennia marina*	4.8	5.7	4.7
	D919	*Avicennia marina*	5.2	6.9	5.0
	D921	*Avicennia marina*	9.7	17.5	5.7
	D922	*Avicennia marina*	6.2	17.5	5.6
	D924	*Avicennia marina*	4.6	5.3	4.0
	D925	*Avicennia marina*	5.6	16.0	4.3
	D927	*Avicennia marina*	7.3	16.0	5.3

แปลง	หมายเลขต้นไม้	ชื่อวิทยาศาสตร์	DBH (cm)	D_0 (cm)	H (m)
15	D926	*Avicennia marina*	5.7	7.0	4.3
	D928	*Avicennia marina*	6.1	8.2	4.8
	D929	*Avicennia marina*	5.8	7.3	4.9
	D930	*Avicennia marina*	6.2	7.3	4.8
	D931	*Avicennia marina*	7.0	10.0	6.2
	D932	*Avicennia marina*	4.5	10.0	4.4
	D933	*Avicennia marina*	5.7	6.2	4.6
	D934	*Avicennia marina*	7.0	8.1	4.7
	D935	*Avicennia marina*	9.0	9.7	5.3
	D936	*Avicennia marina*	5.5	7.2	4.2
	D937	*Avicennia marina*	7.9	11.0	6.0
	D940	*Avicennia marina*	4.5	5.5	4.2
	D941	*Avicennia marina*	4.5	5.0	4.3
	D942	*Avicennia marina*	5.0	6.3	4.8
	D943	*Avicennia marina*	5.5	6.0	4.9
	D944	*Avicennia marina*	7.2	8.6	5.0
	D945	*Avicennia marina*	6.0	7.0	5.2
	D946	*Avicennia marina*	6.5	8.0	4.7
	D947	*Avicennia marina*	5.6	7.5	5.2
	D948	*Avicennia marina*	5.5	6.2	5.7
	D949	*Avicennia marina*	6.5	9.5	5.3
	D950	*Avicennia marina*	6.6	9.5	5.2
	D951	*Avicennia marina*	6.5	9.0	4.8
	D952	*Avicennia marina*	4.5	9.0	5.2
	D953	*Avicennia marina*	5.6	7.3	4.8
	D957	*Avicennia marina*	4.8	8.2	5.3
	D958	*Avicennia marina*	6.2	8.0	4.3
	D959	*Avicennia marina*	5.0	8.3	4.2
	D961	*Avicennia marina*	7.7	9.0	5.2

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

แปลง	หมายเลขต้นไม้	ชื่อวิทยาศาสตร์	DBH (cm)	D_0 (cm)	H (m)
15	D962	*Avicennia marina*	5.3	7.0	4.3
	D965	*Avicennia marina*	5.6	5.8	3.8
	D966	*Avicennia marina*	5.0	6.4	3.8
	D967	*Avicennia marina*	4.5	6.0	4.1
	D968	*Avicennia marina*	5.5	6.9	4.5
	D969	*Avicennia marina*	5.4	6.3	4.7
	D970	*Avicennia marina*	5.0	7.1	4.7
	D972	*Avicennia marina*	8.5	9.8	4.6
	D973	*Avicennia marina*	7.0	8.8	5.1
	D974	*Avicennia marina*	5.0	6.5	4.6
	D975	*Avicennia marina*	4.5	5.0	4.5
	D976	*Avicennia marina*	5.5	8.0	4.9
	D977	*Avicennia marina*	6.0	8.0	4.9
	D978	*Avicennia marina*	6.7	8.5	4.7
	D979	*Avicennia marina*	4.5	8.5	4.5
	D980	*Avicennia marina*	7.5	8.6	4.8
	D982	*Avicennia marina*	6.0	7.0	4.7
	D984	*Avicennia marina*	5.7	6.1	4.5
16	D861	*Avicennia marina*	9.0	12.5	5.8
	D862	*Avicennia marina*	6.6	8.0	5.7
	D863	*Avicennia marina*	5.0	8.0	4.6
	D865	*Avicennia marina*	5.0	7.1	4.9
	D866	*Avicennia marina*	8.0	10.0	5.1
	D867	*Avicennia marina*	7.0	8.4	5.1
	D868	*Avicennia marina*	7.5	10.2	4.9
	D869	*Avicennia marina*	5.3	10.2	4.9
	D870	*Avicennia marina*	7.2	9.0	4.8
	D871	*Avicennia marina*	5.0	9.9	4.5
	D872	*Avicennia marina*	4.9	9.9	4.6

แปลง	หมายเลขต้นไม้	ชื่อวิทยาศาสตร์	DBH (cm)	D_0 (cm)	H (m)
16	D873	*Avicennia marina*	6.5	7.4	4.6
	D875	*Avicennia marina*	4.5	6.5	3.7
	D876	*Avicennia marina*	6.5	7.0	5.3
	D877	*Avicennia marina*	10.5	12	6.12
	D878	*Avicennia marina*	7.7	16.7	5.4
	D879	*Avicennia marina*	7.5	16.7	5.3
	D880	*Avicennia marina*	7.0	8.0	4.5
	D882	*Avicennia marina*	5.5	7.2	4.5
	D883	*Avicennia marina*	4.5	7.2	4.4
	D884	*Avicennia marina*	4.5	5.1	4.4
	D885	*Avicennia marina*	4.5	13.3	4.1
	D886	*Avicennia marina*	6.0	13.3	4.7
	D902	*Avicennia marina*	5.5	13.3	4.7
	D887	*Avicennia marina*	7.2	7.4	5.1
	D889	*Avicennia marina*	5.1	5.7	4.7
	D890	*Avicennia marina*	6.2	8.5	4.9
	D891	*Avicennia marina*	9.0	9.3	6.0
	D892	*Avicennia marina*	4.5	10.8	4.5
	D893	*Avicennia marina*	7.9	10.8	5.3
	D894	*Avicennia marina*	8.5	9.8	5.8
	D895	*Avicennia marina*	5.0	9.1	3.8
	D896	*Avicennia marina*	7.0	9.1	5.8
	D897	*Avicennia marina*	7.0	9.9	5.8
	D898	*Avicennia marina*	5.8	7.3	4.7
	D899	*Avicennia marina*	6.5	9.2	5.7
	D900	*Avicennia marina*	5.5	8.3	3.0
	D901	*Avicennia marina*	6.0	7.7	5.0
	D903	*Avicennia marina*	5.3	7.2	4.9
	D904	*Avicennia marina*	5.0	7.5	4.5

แปลง	หมายเลขต้นไม้	ชื่อวิทยาศาสตร์	DBH (cm)	D_0 (cm)	H (m)
16	D905	*Avicennia marina*	5.5	7.0	4.3
	D906	*Avicennia marina*	5.3	7.0	4.5
	D907	*Avicennia marina*	13	14.5	6.0
	D908	*Avicennia marina*	4.7	6.3	4.5
	D909	*Avicennia marina*	5.0	6.9	4.3
	D910	*Avicennia marina*	8.0	11.5	4.8
	D911	*Avicennia marina*	6.5	11.5	4.8
	D912	*Avicennia marina*	5.0	5.5	4.6
	D913	*Avicennia marina*	7.0	8.5	5.0
	D914	*Avicennia marina*	6.5	7.0	4.9
	D915	*Avicennia marina*	6.5	7.2	4.8
	D916	*Avicennia marina*	5.5	6.7	4.7
17	B695	*Avicennia marina*	6.6	9.0	4.7
	B696	*Avicennia marina*	9.2	9.4	4.7
	B697	*Avicennia marina*	6.6	7.2	5.1
	B698	*Avicennia marina*	8.5	10.0	4.7
	B699	*Avicennia marina*	4.6	5.1	4.9
	B700	*Avicennia marina*	4.5	6.0	6.0
	B702	*Avicennia marina*	5.5	6.7	4.5
	B704	*Avicennia marina*	5.7	6.2	5.3
	B705	*Avicennia marina*	5.7	6.7	5.8
	B706	*Avicennia marina*	5.7	6.8	3.8
	B707	*Avicennia marina*	6.0	8.0	5.9
	B708	*Avicennia marina*	5.5	6.8	5.8
	B709	*Avicennia marina*	9.0	10.5	4.7
	B710	*Avicennia marina*	6.1	7.5	5.7
	B711	*Avicennia marina*	6.2	7.3	3.0
	B712	*Avicennia marina*	7.5	9.6	5.0
	B713	*Avicennia marina*	11.3	12.9	4.9

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

แปลง	หมายเลขต้นไม้	ชื่อวิทยาศาสตร์	DBH (cm)	D_0 (cm)	H (m)
17	B714	*Avicennia marina*	5.6	5.8	5.6
	B715	*Avicennia marina*	5.4	6.6	3.9
	B716	*Avicennia marina*	5.1	8.3	5.0
	B717	*Avicennia marina*	4.9	8.3	6.2
	B718	*Avicennia marina*	7.1	8.9	5.3
	B719	*Avicennia marina*	6.2	6.6	4.9
	B720	*Avicennia marina*	7.5	8.3	6.3
	B721	*Avicennia marina*	7.4	8.1	6.2
	B722	*Avicennia marina*	9.4	11.8	5.6
	B723	*Avicennia marina*	7.4	10.2	6.2
	B724	*Avicennia marina*	6.5	7.6	6.1
	B725	*Avicennia marina*	5.1	6.2	5.5
	B726	*Avicennia marina*	7.3	9.3	4.9
	B727	*Avicennia marina*	7.5	9.8	5.4
	B728	*Avicennia marina*	6.2	6.6	6.0
	B729	*Avicennia marina*	7.8	8.8	4.52
	B730	*Avicennia marina*	8.1	8.5	5.3
	B731	*Avicennia marina*	5.4	6.2	5.82
	B732	*Avicennia marina*	8.1	10.1	3.76
	B733	*Avicennia marina*	6.4	8.7	5.89
	B734	*Avicennia marina*	6.2	8.7	5.8
	B735	*Avicennia marina*	5.8	7.1	4.73
	B738	*Avicennia marina*	9.2	11.5	5.7
	B739	*Avicennia marina*	6.4	7.0	3.0
	B740	*Avicennia marina*	6.3	7.4	4.73
	B741	*Avicennia marina*	6.9	8.1	5.7
	B742	*Avicennia marina*	8.0	10.1	3.0
17	B743	*Avicennia marina*	8.3	10.1	6.2
18	B744	*Avicennia marina*	4.8	6.2	5.3

แปลง	หมายเลขต้นไม้	ชื่อวิทยาศาสตร์	DBH (cm)	D_0 (cm)	4.9
18	B745	*Avicennia marina*	6.2	8.2	6.3
	B746	*Avicennia marina*	11.3	14.1	6.2
	B747	*Avicennia marina*	5.1	6.8	5.6
	B748	*Avicennia marina*	5.7	6.3	6.2
	B749	*Avicennia marina*	5.1	6.1	6.0
	B750	*Avicennia marina*	5.4	6.8	4.5
	B753	*Avicennia marina*	8.7	9.5	5.3
	B754	*Avicennia marina*	4.8	6.3	5.8
	B755	*Avicennia marina*	6.8	9.3	3.8
	B756	*Avicennia marina*	6.5	7.1	5.9
	B757	*Avicennia marina*	5.0	6.2	5.8
	B758	*Avicennia marina*	5.6	6.2	4.7
	B759	*Avicennia marina*	9.0	10.5	5.7
	B760	*Avicennia marina*	5.8	9.8	3.0
	B761	*Avicennia marina*	6.4	7.5	6.2
	B762	*Avicennia marina*	4.6	6.2	5.3
	B763	*Avicennia marina*	9.1	11.5	4.9
	B764	*Avicennia marina*	5.9	6.9	6.3
	B766	*Avicennia marina*	4.8	5.8	6.2
	B767	*Avicennia marina*	7.1	7.4	5.6
	B768	*Avicennia marina*	5.2	6.6	6.2
	B770	*Avicennia marina*	6.1	7.3	6.1
	B771	*Avicennia marina*	5.4	6.0	5.5
	B772	*Avicennia marina*	5.3	7.2	4.9
	B773	*Avicennia marina*	8.0	10.0	5.4
	B775	*Avicennia marina*	6.8	9.5	5.8
	B776	*Avicennia marina*	6.4	7.4	3.8
	B777	*Avicennia marina*	9.8	11.9	5.9
	B778	*Avicennia marina*	4.5	6.2	5.8

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

แปลง	หมายเลขต้นไม้	ชื่อวิทยาศาสตร์	DBH (cm)	D_0 (cm)	H (m)
18	B779	*Avicennia marina*	4.5	5.9	3.8
	B780	*Avicennia marina*	5.8	7.0	5.9
	B781	*Avicennia marina*	5.4	6.1	5.8
	B784	*Avicennia marina*	8.2	9.4	4.7
	B785	*Avicennia marina*	5.1	6.6	5.7
	B786	*Avicennia marina*	5.3	6.5	3.0
	B787	*Avicennia marina*	4.9	6.8	4.7
	B788	*Avicennia marina*	5.6	6.9	5.7
	B789	*Avicennia marina*	8.7	11.2	4.6
	B790	*Avicennia marina*	8.2	9.5	3.7
	B791	*Avicennia marina*	5.9	7.5	5.3
	B792	*Avicennia marina*	7.0	9.8	6.1
	B793	*Avicennia marina*	6.5	8.3	5.4
	B794	*Avicennia marina*	6.5	7.7	5.3
	B795	*Avicennia marina*	10.3	12.2	4.5
	B796	*Avicennia marina*	6.3	7.6	4.5
	B797	*Avicennia marina*	4.6	5.0	4.4
	B800	*Avicennia marina*	5.1	6.5	4.4
	B801	*Avicennia marina*	5.0	6.4	4.1
	B802	*Avicennia marina*	8.0	8.7	4.7
	B803	*Avicennia marina*	5.8	7.5	4.7
	B804	*Avicennia marina*	6.5	8.5	5.1
19	B805	*Avicennia marina*	8.5	10.8	4.7
	B807	*Avicennia marina*	6.7	8.2	4.9
	B808	*Avicennia marina*	5.4	7.1	6.0
	B809	*Avicennia marina*	4.6	5.4	4.5
	B810	*Avicennia marina*	5.6	7.0	5.3
	B811	*Avicennia marina*	9.2	10.9	5.8
	B812	*Avicennia marina*	5.4	6.7	3.8

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

แปลง	หมายเลขต้นไม้	ชื่อวิทยาศาสตร์	DBH (cm)	D_0 (cm)	H (m)
19	B813	*Avicennia marina*	4.6	5.5	5.7
	B814	*Avicennia marina*	4.6	5.8	4.5
	B815	*Avicennia marina*	5.2	6.4	3.7
	B816	*Avicennia marina*	5.1	10.6	5.3
	B818	*Avicennia marina*	6.7	10.6	6.1
	B819	*Avicennia marina*	5.8	6.1	5.4
	B820	*Avicennia marina*	5.0	5.8	5.8
	B822	*Avicennia marina*	5.6	6.8	4.7
	B823	*Avicennia marina*	4.6	6.0	5.7
	B824	*Avicennia marina*	4.5	5.3	3.0
	B825	*Avicennia marina*	7.3	14.2	4.0
	B830	*Avicennia marina*	4.6	14.2	3.8
	B826	*Avicennia marina*	6.0	6.9	5.9
	B827	*Avicennia marina*	5.8	7.2	5.8
	B828	*Avicennia marina*	8.5	10.5	4.7
	B831	*Avicennia marina*	7.0	5.5	5.7
	B832	*Avicennia marina*	10	11.4	3.0
	B834	*Avicennia marina*	6.4	7.4	4.7
	B835	*Avicennia marina*	5.3	6.7	5.7
	B836	*Avicennia marina*	4.7	5.9	4.6
	B838	*Avicennia marina*	5.1	6.0	3.7
	B839	*Avicennia marina*	5.2	5.7	5.3
	B840	*Avicennia marina*	5.8	7.9	6.1
	B841	*Avicennia marina*	5.1	6.2	5.4
	B842	*Avicennia marina*	5.8	5.3	5.3
	B843	*Avicennia marina*	6.4	7.0	4.5
	B844	*Avicennia marina*	5.5	6.2	4.5
	B845	*Avicennia marina*	6.8	8.4	4.3
	B846	*Avicennia marina*	5.8	7.3	4.3

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

แปลง	หมายเลขต้นไม้	ชื่อวิทยาศาสตร์	DBH (cm)	D_0 (cm)	H (m)
19	B848	*Avicennia marina*	5.9	7.2	4.7
	B849	*Avicennia marina*	5.3	8.1	4.7
	B850	*Avicennia marina*	5.8	8.1	5.1
	B851	*Avicennia marina*	4.8	6.3	4.7
	B852	*Avicennia marina*	6.1	7.8	4.9
	B853	*Avicennia marina*	6.3	8.9	6.0
	B854	*Avicennia marina*	5.3	5.6	4.5
	B855	*Avicennia marina*	7.0	8.8	5.3
	B856	*Avicennia marina*	6.1	8.3	5.8
	B858	*Avicennia marina*	6.5	7.5	3.7
	B859	*Avicennia marina*	6.0	8.1	5.8
	B860	*Avicennia marina*	5.8	6.9	4.7
	B861	*Avicennia marina*	7.2	9.6	5.7
	B863	*Avicennia marina*	6.1	8.5	3.0
	B864	*Avicennia marina*	6.2	6.9	5.8
	B865	*Avicennia marina*	7.3	8.7	4.73
	B866	*Avicennia marina*	4.8	5.9	5.7
20	B867	*Avicennia marina*	10.5	12	3.0
	B868	*Avicennia marina*	4.6	5.9	4.7
	B869	*Avicennia marina*	9.7	11.9	5.7
	B871	*Avicennia marina*	4.6	7.5	4.6
	B872	*Avicennia marina*	8.0	10.5	3.7
	B873	*Avicennia marina*	6.0	6.9	5.3
	B874	*Avicennia marina*	6.7	7.7	6.12
	B875	*Avicennia marina*	6.5	9.7	5.4
	B877	*Avicennia marina*	5.1	6	5.3
	B879	*Avicennia marina*	4.8	6.5	5.6
	B880	*Avicennia marina*	7.0	8.3	5.6
	B881	*Avicennia marina*	6.4	8.0	4.9

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

แปลง	หมายเลขต้นไม้	ชื่อวิทยาศาสตร์	DBH (cm)	D_0 (cm)	H (m)
20	B882	*Avicennia marina*	5.8	8.2	5.5
	B883	*Avicennia marina*	4.5	6.2	4.7
	B884	*Avicennia marina*	6.5	9.4	4.9
	B885	*Avicennia marina*	6.2	8.3	5.3
	B889	*Avicennia marina*	6.1	8.3	5.5
	B886	*Avicennia marina*	4.8	5.8	4.5
	B888	*Avicennia marina*	5.4	6.3	4.3
	B890	*Avicennia marina*	8.2	10.5	5.0
	B891	*Avicennia marina*	4.9	10.5	4.7
	B892	*Avicennia marina*	7.8	10.2	5.1
	B893	*Avicennia marina*	5.9	6.9	4.7
	B894	*Avicennia marina*	5.4	7.3	4.9
	B895	*Avicennia marina*	9.8	11.9	6.0
	B896	*Avicennia marina*	5.9	7.1	7.2
	B897	*Avicennia marina*	6.0	7.9	5.3
	B898	*Avicennia marina*	5.0	6.5	5.6
	B900	*Avicennia marina*	6.4	8.9	5.6
	B901	*Avicennia marina*	6.7	8.0	4.9
	B902	*Avicennia marina*	7.2	8.0	4.7
	B903	*Avicennia marina*	5.5	7.9	4.9
	B904	*Avicennia marina*	6.0	7.5	5.3
	B905	*Avicennia marina*	6.0	7.5	5.5
	B906	*Avicennia marina*	4.5	5.6	5.1
	B907	*Avicennia marina*	4.8	8.5	4.3
	B908	*Avicennia marina*	4.5	5.7	6.3
	B909	*Avicennia marina*	7.1	8.5	4.9
	B910	*Avicennia marina*	7.9	10.3	4.7
	B911	*Avicennia marina*	11.2	14.5	5.2
	B912	*Avicennia marina*	4.6	6.0	5.5

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

แปลง	หมายเลขต้นไม้	ชื่อวิทยาศาสตร์	DBH (cm)	D_0 (cm)	H (m)
20	B913	*Avicennia marina*	5.3	8.0	4.3
	B914	*Avicennia marina*	8.3	10.2	5.1
	B915	*Avicennia marina*	6.5	8.0	4.3
	B916	*Avicennia marina*	4.5	5.7	6.3
	B917	*Avicennia marina*	5.0	6.5	4.9
21	D601	*Avicennia marina*	5.2	7.1	4.7
	D603	*Avicennia marina*	4.5	5.7	5.2
	D604	*Avicennia marina*	6.0	8.0	5.5
	D605	*Avicennia marina*	4.5	6.0	4.7
	D606	*Avicennia marina*	5.5	6.2	4.9
	D607	*Avicennia marina*	5.3	6.8	5.3
	D608	*Avicennia marina*	6.0	8.7	5.5
	D609	*Avicennia marina*	4.8	7.0	4.5
	D610	*Avicennia marina*	5.0	6.1	4.3
	D612	*Avicennia marina*	4.5	5.4	5.0
	D613	*Avicennia marina*	5.5	8.8	4.3
	D614	*Avicennia marina*	5.5	8.8	4.3
	D615	*Avicennia marina*	5.2	6.5	4.8
	D616	*Avicennia marina*	7.1	9.5	5.5
	D617	*Avicennia marina*	5.0	6.2	3.4
	D618	*Avicennia marina*	6.5	8.1	5.7
	D619	*Avicennia marina*	5.0	7.2	5.1
	D620	*Avicennia marina*	6.8	8.1	5.3
	D621	*Avicennia marina*	7.0	8.4	5.4
	D622	*Avicennia marina*	5.0	6.4	5.1
	D623	*Avicennia marina*	4.5	6.0	4.9
	D624	*Avicennia marina*	4.5	5.6	4.9
	D625	*Avicennia marina*	4.7	5.9	4.7
	D626	*Avicennia marina*	5.0	6.0	4.8

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

แปลง	หมายเลขต้นไม้	ชื่อวิทยาศาสตร์	DBH (cm)	D_0 (cm)	H (m)
21	D627	*Avicennia marina*	4.8	6.4	5.3
	D628	*Avicennia marina*	5.4	6.8	5.9
	D629	*Avicennia marina*	6.8	8.9	5.0
	D630	*Avicennia marina*	4.9	6.0	5.4
	D631	*Avicennia marina*	4.6	5.9	4.4
	D632	*Avicennia marina*	4.7	5.8	4.9
	D634	*Avicennia marina*	5.0	6.5	5.3
	D635	*Avicennia marina*	5.6	6.4	5.6
	D636	*Avicennia marina*	6.0	7.0	5.6
	D637	*Avicennia marina*	5.8	6.9	4.9
	D638	*Avicennia marina*	5.3	7.3	5.5
	D639	*Avicennia marina*	6.7	10	5.4
	D640	*Avicennia marina*	5.4	6.9	5.3
	D641	*Avicennia marina*	5.5	6.8	4.2
	D642	*Avicennia marina*	5.7	7.6	4.5
	D643	*Avicennia marina*	7.0	10.3	4.6
	D644	*Avicennia marina*	6.5	5.1	4.7
	D645	*Avicennia marina*	4.7	6.5	4.9
	D646	*Avicennia marina*	5.2	5.0	4.8
	D647	*Avicennia marina*	8.2	12.3	5.2
	D648	*Avicennia marina*	4.6	5.5	5.1
	D649	*Avicennia marina*	4.5	6.5	5.0
	D650	*Avicennia marina*	4.6	6.6	5.2
	D651	*Avicennia marina*	5.0	5.5	4.3
	D653	*Avicennia marina*	7.0	8.2	4.9
	D654	*Avicennia marina*	6.2	7.8	5.3
22	D655	*Avicennia marina*	8.0	10.7	5.7
	D656	*Avicennia marina*	4.5	5.5	4.2
	D657	*Avicennia marina*	5.0	7.0	5.1

แปลง	หมายเลขต้นไม้	ชื่อวิทยาศาสตร์	DBH (cm)	D_0 (cm)	H (m)
22	D659	*Avicennia marina*	4.6	6.0	4.4
	D663	*Avicennia marina*	4.5	5.0	5.3
	D664	*Avicennia marina*	7.5	9.9	7.3
	D666	*Avicennia marina*	5.2	6.0	6.5
	D667	*Avicennia marina*	4.8	6.2	5.8
	D668	*Avicennia marina*	4.6	5.5	4.3
	D669	*Avicennia marina*	7.1	10.5	5.2
	D670	*Avicennia marina*	6.2	10.5	5.7
	D673	*Avicennia marina*	5.0	5.5	4.2
	D674	*Avicennia marina*	4.8	6.3	5.7
	D675	*Avicennia marina*	5.4	7.1	5.4
	D676	*Avicennia marina*	6.0	6.6	4.8
	D677	*Avicennia marina*	9.4	11.0	5.8
	D679	*Avicennia marina*	9.3	10.0	5.7
	D680	*Avicennia marina*	10.0	12.8	6.5
	D681	*Avicennia marina*	5.2	7.1	4.7
	D682	*Avicennia marina*	5.5	7.5	5.7
	D683	*Avicennia marina*	5.0	6.6	5.2
	D684	*Avicennia marina*	4.5	5.1	4.3
	D686	*Avicennia marina*	7.7	16.1	5.2
	D687	*Avicennia marina*	4.9	16.1	4.9
	D688	*Avicennia marina*	7.2	16.1	5.2
	D691	*Avicennia marina*	9.7	12.0	6.1
	D693	*Avicennia marina*	5.5	7.3	5.9
	D694	*Avicennia marina*	8.0	9.7	4.8
	D698	*Avicennia marina*	6.5	7.8	6.5
	D699	*Avicennia marina*	5.0	8.5	4.6
	D700	*Avicennia marina*	4.5	8.5	4.6
	D701	*Avicennia marina*	5.0	5.8	4.6

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

แปลง	หมายเลขต้นไม้	ชื่อวิทยาศาสตร์	DBH (cm)	D_0 (cm)	H (m)
22	D702	*Avicennia marina*	4.5	5.3	4.7
	D703	*Avicennia marina*	5.7	6.8	4.7
	D704	*Avicennia marina*	8.0	9.9	6.3
	D705	*Avicennia marina*	8.1	9.8	5.1
	D706	*Avicennia marina*	8.5	11.7	6.4
	D707	*Avicennia marina*	5.6	11.7	4.7
	D708	*Avicennia marina*	6.2	7.8	5.0
	D710	*Avicennia marina*	4.5	5.9	6.1
	D711	*Avicennia marina*	5.5	6.7	5.7
	D712	*Avicennia marina*	7.2	8.7	4.9
23	D714	*Avicennia marina*	7.0	8.4	5.1
	D715	*Avicennia marina*	10	13.5	6.2
	D716	*Avicennia marina*	5.5	6.3	4.9
	D717	*Avicennia marina*	7.5	7.9	5.2
	D718	*Avicennia marina*	4.5	6.5	3.4
	D719	*Avicennia marina*	7.4	10.6	6.1
	D722	*Avicennia marina*	6.5	7.0	6.2
	D723	*Avicennia marina*	8.5	10.5	6.1
	D724	*Avicennia marina*	4.6	10.5	5.3
	D726	*Avicennia marina*	4.5	5.6	6.0
	D727	*Avicennia marina*	6.0	7.7	5.5
	D728	*Avicennia marina*	9.4	12	6.2
	D729	*Avicennia marina*	6.7	12	5.8
	D730	*Avicennia marina*	7.5	9.1	6.4
	D731	*Avicennia marina*	5.0	5.5	4.5
	D732	*Avicennia marina*	7.5	8.5	5.4
	D733	*Avicennia marina*	4.5	5.5	3.0
	D735	*Avicennia marina*	8.7	10.1	6.5
	D736	*Avicennia marina*	6.0	7.2	6.0

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

แปลง	หมายเลขต้นไม้	ชื่อวิทยาศาสตร์	DBH (cm)	D_0 (cm)	H (m)
23	D737	*Avicennia marina*	5.5	5.5	4.2
	D738	*Avicennia marina*	4.5	5.1	3.0
	D739	*Avicennia marina*	7.7	10.2	6.3
	D740	*Avicennia marina*	4.6	6.1	5.7
	D741	*Avicennia marina*	5.8	7.7	6.5
	D742	*Avicennia marina*	5.8	7.0	6.3
	D743	*Avicennia marina*	8.5	9.0	6.5
	D744	*Avicennia marina*	7.0	9.8	6.1
	D745	*Avicennia marina*	5.6	14.6	5.8
	D746	*Avicennia marina*	5.0	6.0	5.8
	D747	*Avicennia marina*	5.0	7.2	4.3
	D748	*Avicennia marina*	4.8	6.0	4.8
	D749	*Avicennia marina*	5.7	7.1	5.3
	D750	*Avicennia marina*	9.2	10.7	6.3
	D751	*Avicennia marina*	8.1	10.4	6.2
	D752	*Avicennia marina*	8.0	9.5	5.2
	D754	*Avicennia marina*	4.8	6.5	5.2
	D755	*Avicennia marina*	6.0	7.3	4.8
	D756	*Avicennia marina*	11.5	12.9	6.0
	D758	*Avicennia marina*	4.5	5.9	4.7
	D759	*Avicennia marina*	6.6	8.1	5.7
	D760	*Avicennia marina*	5.5	7.3	5.2
	D761	*Avicennia marina*	8.0	9.7	6.2
	D762	*Avicennia marina*	6.5	8.0	5.9
	D764	*Avicennia marina*	7.6	10.0	5.2
	D765	*Avicennia marina*	5.0	6.9	4.9
	D766	*Avicennia marina*	4.7	5.8	4.8
	D767	*Avicennia marina*	5.5	7.0	4.5
	D768	*Avicennia marina*	8.0	11.0	6.2

แปลง	หมายเลขต้นไม้	ชื่อวิทยาศาสตร์	DBH (cm)	D_0 (cm)	H (m)
24	D770	*Avicennia marina*	4.7	5.5	3.3
	D771	*Avicennia marina*	8.4	9.5	6.4
	D772	*Avicennia marina*	4.6	6.4	4.1
	D773	*Avicennia marina*	5.5	6.0	4.7
	D774	*Avicennia marina*	5.0	6.5	4.9
	D775	*Avicennia marina*	6.5	7.3	5.0
	D776	*Avicennia marina*	6.0	10.0	5.1
	D777	*Avicennia marina*	6.5	10.0	5.2
	D778	*Avicennia marina*	5.1	6.9	5.4
	D779	*Avicennia marina*	7.4	9.4	6.2
	D780	*Avicennia marina*	6.5	8.0	4.8
	D781	*Avicennia marina*	6.4	8.0	4.7
	D782	*Avicennia marina*	6.9	8.5	6.2
	D783	*Avicennia marina*	7.5	10.5	6.1
	D784	*Avicennia marina*	8.0	9.0	5.8
	D785	*Avicennia marina*	5.0	6.0	4.7
	D786	*Avicennia marina*	6.5	8.0	5.9
	D787	*Avicennia marina*	7.5	8.0	6.0
	D788	*Avicennia marina*	5.3	5.6	3.8
	D789	*Avicennia marina*	9.0	11.3	5.4
	D790	*Avicennia marina*	7.0	8.5	4.8
	D791	*Avicennia marina*	5.5	7.5	3.1
	D793	*Avicennia marina*	8.5	10.3	5.7
	D794	*Avicennia marina*	10.5	17.3	6.3
	D795	*Avicennia marina*	7.2	17.3	6.2
	D796	*Avicennia marina*	7.2	9.5	6.2
	D797	*Avicennia marina*	6.0	8.5	5.4
	D798	*Avicennia marina*	6.0	8.0	5.8
	D799	*Avicennia marina*	5.5	7.0	5.8

แปลง	หมายเลขต้นไม้	ชื่อวิทยาศาสตร์	DBH (cm)	D_0 (cm)	H (m)
24	D800	*Avicennia marina*	7.5	9.0	5.9
	D802	*Avicennia marina*	8.0	10.1	6.3
	D803	*Avicennia marina*	8.5	9.6	5.3
	D804	*Avicennia marina*	9.5	10.5	5.2
	D805	*Avicennia marina*	5.0	5.0	5.0
	D806	*Avicennia marina*	6.0	5.9	5.5
	D807	*Avicennia marina*	5.7	6.1	6.0
	D808	*Avicennia marina*	6.0	8.4	4.5
	D809	*Avicennia marina*	5.3	8.1	4.9
	D810	*Avicennia marina*	5.6	7.5	5.2
	D811	*Avicennia marina*	5.3	6.4	4.5
25	D812	*Avicennia marina*	4.8	6.0	4.3
	D813	*Avicennia marina*	6.8	8.3	5.0
	D814	*Avicennia marina*	5.6	9.3	4.5
	D815	*Avicennia marina*	8.5	10.6	6.0
	D816	*Avicennia marina*	8.5	8.6	6.4
	D817	*Avicennia marina*	6.0	7.3	5.3
	D818	*Avicennia marina*	5.4	6.1	4.3
	D819	*Avicennia marina*	7.5	9.0	6.2
	D820	*Avicennia marina*	5.0	6.5	4.8
	D821	*Avicennia marina*	10.5	12	6.5
	D822	*Avicennia marina*	7.5	9.0	6.3
	D823	*Avicennia marina*	7.5	9.1	6.0
	D824	*Avicennia marina*	4.5	5.6	3.5
	D825	*Avicennia marina*	5.0	7.0	3.8
	D826	*Avicennia marina*	5.5	6.0	6.2
	D827	*Avicennia marina*	9.0	10.5	6.0
	D828	*Avicennia marina*	7.2	9.0	5.0
	D829	*Avicennia marina*	9.5	11.5	6.7

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

แปลง	หมายเลขต้นไม้	ชื่อวิทยาศาสตร์	DBH (cm)	D_0 (cm)	H (m)
25	D830	*Avicennia marina*	5.8	6.9	4.8
	D831	*Avicennia marina*	5.2	6.5	5.3
	D832	*Avicennia marina*	5.2	6.1	4.5
	D833	*Avicennia marina*	6.0	7.2	4.7
	D834	*Avicennia marina*	10.3	13.1	6.5
	D836	*Avicennia marina*	6.6	7.4	5.1
	D837	*Avicennia marina*	5.5	7.1	4.9
	D838	*Avicennia marina*	6.0	7.2	4.2
	D839	*Avicennia marina*	4.5	5.0	4.6
	D840	*Avicennia marina*	8.3	9.5	6.3
	D841	*Avicennia marina*	7.0	8.2	6.3
	D842	*Avicennia marina*	8.0	8.6	5.2
	D843	*Avicennia marina*	7.7	9.5	6.3
	D844	*Avicennia marina*	6.0	7.8	6.1
	D845	*Avicennia marina*	5.0	5.4	3.7
	D846	*Avicennia marina*	6.5	7.0	5.4
	D849	*Avicennia marina*	4.5	7.5	4.8
	D850	*Avicennia marina*	5	7.5	3.7
	D851	*Avicennia marina*	7.5	9.0	6.3
	D852	*Avicennia marina*	5.5	6.1	4.5
	D853	*Avicennia marina*	7.5	9.5	6.0
	D854	*Avicennia marina*	5.6	7.2	5.2
	D855	*Avicennia marina*	6.5	7.0	5.9
	D856	*Avicennia marina*	11.0	14.5	5.7
	D857	*Avicennia marina*	9.5	11.5	6.3
	D858	*Avicennia marina*	5.5	6.4	5.5
	D859	*Avicennia marina*	5.5	6.4	4.5
	D860	*Avicennia marina*	5.0	6.0	4.3

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

วิธีวิเคราะห์เนื้อดินโดยวิธีไฮโดรมิเตอร์

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. Sedimentation cylinder
2. Dispersing apparatus
3. Hydrometer (สำหรับวัดสารละลายแขวนลอยของดิน)
4. เทอร์โมมิเตอร์
5. ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
6. นาฬิกาจับเวลา
7. ขวดฉีดน้ำ
8. plunger

สารเคมี

1. สารละลาย calgon 5% เตรียมโดย sodium hexameta phosphate 50 กรัม sodium carbonate 8.3 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 1 ลิตร
2. Amyl alcohol

วิธีการ

1. ชั่งตัวอย่างดิน 50 กรัม ใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร ใส่สารละลาย calgon 5% 100 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน และแช่ทิ้งไว้ค้างคืน
2. ถ่ายสารละลายดินลงใน dispersing cup ใช้ขวดฉีดน้ำล้างเอาดินที่ติดในขวดรูปชมพู่ให้หมดและปั่น 3 นาที
9. ถ่ายสารละลายดินที่ปั่นแล้งลงใน Sedimentation cylinder ล้างดินที่อยู่ใน dispersing cup ออกให้หมด เติมน้ำลงไปจนถึงขีด 1130 มิลลิลิตร ของ Sedimentation cylinder โดยในขณะนั้นมี hydrometer ลอยอยู่ด้วย จากนั้นเอา hydrometer ออกและใช้ plunger กวน 1 นาที เพื่อให้ได้สารแขวนลอยดินที่สมบูรณ์อีกครั้ง (หากมีฟองเกิดขึ้นใช้ amyl alcohol หยดลงไป 2-3 หยด จนฟองหมด)

3. ค่อยๆหย่อน hydrometer ลงไปใหม่ และอ่านค่าบนก้าน hydrometer เมื่อครบ 40 วินาที สมมติให้ค่าที่อ่านได้เป็น Rt 40s กรัมต่อลิตร ในขณะนั้นให้วัดค่าอุณหภูมิของสารละลายดินด้วย สมมติให้ค่าที่อ่านได้เป็น T 40s °C
4. ทำ blank คือส่วนของสารละลาย calgon 5% ดำเนินการคล้ายข้างต้นทั้งหมด (ไม่มีตัวอย่างดิน) ดังนั้นจะได้ค่าที่อ่านได้จาก hydrometer สมมติให้เป็นค่า Cr 40s กรัมต่อลิตร รวมทั้งวัดอุณหภูมิของสารละลายและสมมติค่าที่อ่านได้เป็น r 40s °C
5. ปล่อยทิ้งไว้และวัดค่าสารละลายดินอีกครั้งเมื่อครบ 2 ชั่วโมง ค่าบน hydrometer ที่อ่านได้สมมติเป็น Rt 2h กรัมต่อลิตร และวัดอุณหภูมิได้เป็นค่า T 2h °C
6. สำหรับในสารละลาย blank ค่าที่อ่านได้บนก้านที่ 2 ชั่วโมง สมมติค่าเป็น Cr 2h กรัมต่อลิตร และอ่านอุณหภูมิได้ค่า r 2h °C จากนั้นนำค่าต่างๆที่ได้มาคำนวณ

<u>วิธีการคำนวณ</u>

สมมติให้ Rs 40s = กลุ่มอนุภาคซิลท์ + กลุ่มอนุภาคดินเหนียว กรัมต่อลิตร

จะได้ Rs 40s = [Rt 40s + 0.36 (t 40s – 20)] + [Cr 40s + 0.5 (r 40s – 20)]............ ①

สมมติให้ Rs 2h = กลุ่มอนุภาคดินเหนียว กรัมต่อลิตร

จะได้ Rs 2h = [Rt 2h + 0.36 (t 2h – 20)] + [Cr 2h + 0.5 (r 2h – 20)]................ ②

กลุ่มอนุภาคซิลท์ = ① - ②.. ③

กลุ่มอนุภาคทราย = 50 - ①

เนื่องจากสารละลายดิน 1130 มิลลิลิตร ได้จากดิน 50 กรัม

ดังนั้น % ดินเหนียว = 2 × ②

% ดินซิลท์ = 2 × ③

% ดินทราย = 2 × ④

จากนั้นอ่านชื่อลักษณะของเนื้อดินจากไดอะแกรมสามเหลี่ยม (ภาพที่ 3.12)

การวิเคราะห์หาปริมาณ Organic carbon ของดิน โดยวิธี Walkley blank modified acid dichromate digestion, $FeSO_4$ titration method

<u>หลักการ</u>

Organic carbon และ oxidizable matter ในตัวอย่างดินจะถูก oxidize ด้วย $Cr_2O_7^{-2}$ จาก potassium dichromate และกรดซัลฟิวริคเข้มข้นที่เติมลงไปในอัตราส่วน 1.2 โดยปริมาตร ความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาจะช่วยเร่งการ oxidize ให้เกิดได้ดีและสมบูรณ์ขึ้น หลังจากนั้นหาปริมาณ $Cr_2O_7^{-2}$ ที่เหลือจากปฏิกิริยาด้วยการไทเตรทกับสารละลายของ Ferrous ammonium sulfate นำค่าที่ได้จากการไทเตรทไปลบออก $Cr_2O_7^{-2}$ ทั้งหมดที่ใส่ลงไปในปฏิกิริยา จะทำให้ทราบปริมาณ Organic carbon ของดิน

<u>อุปกรณ์</u>

1. Erlenmeyer flask 250 ml
2. Pipette
3. Analytical balance
4. Buret
5. Cylinder 100 ml

<u>สารเคมี</u>

1. Standard 1.0 $K_2Cr_2O_7$ solution
2. Conc. H_2SO_4
3. สารละลาย Ferrous ammonium sulfate 0.5 N
4. O-phosphoric acid
5. Diphenylamine indicator
6. Solid NaF

<u>วิธีเตรียม</u>

1. Standard 1.0 N $K_2Cr_2O_7$ solution : ละลาย $K_2Cr_2O_7$ (A.R.grade) อบที่ 105 $^{\circ}$C 24 ชั่วโมง 49.04 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วทำสารละลายให้เป็น 1 ลิตร ด้วยน้ำกลั่น

2. Conc. H_2SO_4 : ใช้กรด H_2SO_4 (A.R.grade) ที่มีความเข้มข้นไม่ต่ำกว่า 96% (ถ้าดินมี Cl^- สูง เช่น ดินเค็ม ให้เติม Ag_2SO_4 ในอัตรา 15 กรัม/ลิตร ในสารละลายกรด H_2SO_4 ด้วยเพื่อป้องกันการ interfere จาก Cl^-)
3. Diphenylamine indicator : ชั่ง Diphenylamine 0.5 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 20 ml แล้วเติม H_2SO_4 เข้มข้น 100 ml
4. Ferrous ammonium sulfate solution (FAS) 0.5 N : $Fe(NH_4)_2 . 6H_2O$ 196.1 กรัม ในน้ำกลั่น 800 ml ที่มีกรด H_2SO_4 20 ml แล้วทำให้สารละลาย 1 ลิตร ด้วยน้ำกลั่น เก็บไว้ในขวดสีน้ำตาล
5. O-phosphoric acid : ความเข้มข้นไม่น้อยกว่า 85%
6. Solid NaF

<u>วิธีวิเคราะห์</u>

1. ชั่งดิน 1 กรัม (ปริมาณตัวอย่างอาจลดลงได้ตามความเหมาะสม ถ้าดินนั้นมีปริมาณอินทรียวัตถุสูง) ใส่ใน Erlenmeyer flask ขนาด 250 ml เติม Standard 1.0 N $K_2Cr_2O_7$ 10 ml โดย H_2SO_4 เข้มข้น 20 ml โดยพยายามให้กรดไหลลงข้างๆ flask ให้ชะล้างตัวอย่างลงไปอยู่ใน flask ให้หมด เพื่อป้องกันไม่ให้เม็ดดินเกาะติดอยู่ตามข้าง flask ให้เข้ากันดีเป็นเวลาประมาณ 1 นาที ตั้งทิ้งไว้จนสารละลายเย็นเท่าอุณหภูมิห้อง
2. เติมน้ำกลั่น 100 ml แล้วทิ้งไว้ให้เย็น แล้วเติม O-phosphoric acid 10 ml และ NaF 0.2 กรัม เขย่าให้เข้ากัน แล้วเติม indicator ประมาณ 3-4 หยด เขย่าอีกครั้งจนผสมกันดี สีของสารละลายจะเป็นสีม่วงปนน้ำเงิน (ถ้าเป็นสีเขียวแสดงว่ามีปริมาณอินทรียวัตถุมากเกินไป ต้องทำใหม่โดยชั่งตัวอย่างดินให้น้อยลง)
3. ไทเตรท mixture ด้วย FAS 0.5 N solution ที่จุด end point สีของสารละลายจะเปลี่ยนจากม่วงแกมน้ำเงินเป็นสีเขียวแกมน้ำเงิน
4. ทำ Blank เปรียบเทียบทุกครั้ง
5. <u>วิธีคำนวณ</u>

$$\% \text{ organic matter (O.M)} = 10 \times \frac{(B-S)}{B} \times \frac{0.6716}{g\ .soil} \times N$$

B = ปริมาณ FAS ที่ใช้ในการไทเตรท blank

S = ปริมาณ FAS ที่ใช้ในการไทเตรท sample

g = น้ำหนักดินที่ใช้

N = ความเข้มข้นของ $K_2Cr_2O_7$ (ในกรณีที่ความเข้มข้นไม่ใช่ 1.0 N)

<u>คำแนะนำ</u>

1. เนื่องจากการเตรียม Standard 1.0 N $K_2Cr_2O_7$ มักเตรียมคราวละมากๆ ดังนั้น normality ของ standard จะไม่เท่ากับ 1.0 N จริง ในกรณีเช่นนี้ควรเตรียม standard 1.0 N $K_2Cr_2O_7$ ที่แน่นอน 100 ml เพื่อเอาไปหา normality ที่แท้จริงของ $K_2Cr_2O_7$ solution ที่เตรียมไว้มากๆ
2. การชั่งตัวอย่างดิน ถ้าดินมีสีดำ ควรชั่งดินปริมาณน้อยลง แต่ถ้าเป็นดินทรายควรชั่งปริมาณเพิ่มขึ้น น้ำหนักดินที่ชั่งต้องแน่นอน
3. ปริมาณ $K_2Cr_2O_7$ ที่ใช้ จะต้องเป็นค่าที่แน่นอน เนื่องจาก $K_2Cr_2O_7$ ในกรดเป็น strength oxidize agent ทำหน้าที่ oxidizable ให้เป็น CO_2 แล้วไทเตรทด้วย $(Fe(NH_4) . (SO_4)_2) . 6H_2O$ เพื่อหาปริมาณที่ใช้ไปในการทำปฏิกิริยาของ oxidizing agent
4. เติม O-phosphoric acid เพื่อเวลาไทเตรทจะเห็นสีชัดขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวจีรนันท์ เพชรแก้ว เกิดเมื่อวันที่ 28 ตุลาคม พ.ศ. 2531 ที่จังหวัดสุราษฎร์ธานี สำเร็จการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายที่โรงเรียนสุราษฎร์พิทยา เมื่อปีการศึกษา 2549 และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เกียรตินิยมอันดับหนึ่ง) สาขาชีววิทยา ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ เมื่อปีการศึกษา 2553 โดยได้รับทุนโครงการพัฒนาและส่งเสริมผู้มีความสามารถพิเศษทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (พสวท.) ในปี พ.ศ. 2551 และเข้าศึกษาต่อด้วยทุนโครงการพัฒนาและส่งเสริมผู้มีความสามารถพิเศษทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (พสวท.) ในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาพฤกษศาสตร์ ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2554

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University