คุณลักษณะดินและจุลินทรีย์ดินของแปลงฟื้นฟูป่าที่เหมืองสังกะสี จังหวัดตาก

น.ส.ชุติมา กันตรง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2561
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

SOIL PROPERTIES AND MICROORGANISMS OF REFORESTATION PLOTS AT ZINC MINE, TAK PROVINCE

Miss Chutima Kantrong

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Environmental Science
Inter-Department of Environmental Science
Graduate School
Chulalongkorn University
Academic Year 2018

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	คุณลักษณะดินและจุลินทรีย์ดินของแปลงฟื้นฟูป่าที่เหมืองสังกะสี จังหวัดตาก
โดย	น.ส.ชุติมา กันตรง
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	อาจารย์ ดร.กัลยา สุนทรวงศ์สกุล

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธรรมนูญ หนูจักร)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธงชัย งามประเสริฐวงศ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(อาจารย์ ดร.กัลยา สุนทรวงศ์สกุล)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.ดาว สุวรรณแสง จั่นเจริญ)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร.สุวรรณ ตั้งมิตรเจริญ)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ชุติมา กันตรง : คุณลักษณะดินและจุลินทรีย์ดินของแปลงฟื้นฟูป่าที่เหมืองสังกะสี จังหวัดตาก. (SOIL PROPERTIES AND MICROORGANISMS OF REFORESTATION PLOTS AT ZINC MINE, TAK PROVINCE) อ.ที่ปรึกษาหลัก : อ. ดร.กัลยา สุนทรวงศ์สกุล

การฟื้นฟูป่าไม้ในพื้นที่ทำเหมืองสังกะสีจำเป็นต้องพิจารณาคุณลักษณะดินที่มีผลต่อการพัฒนาของป่าฟื้นฟู การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณลักษณะดินและจุลินทรีย์ดินของแปลงป่าฟื้นฟูบนพื้นที่เหมืองแร่สังกะสี อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก โดยดินที่นำมาศึกษาเก็บตัวอย่างมาจากแปลงป่าฟื้นฟูอายุแตกต่างกัน ได้แก่ ป่าอายุ 0-5 ปี 6-15 ปี และมากกว่า 15 ปี ผลการศึกษาพบว่าคุณลักษณะดินโดยเฉพาะสัดส่วนดินทรายเพิ่มมากขึ้นร้อยละ 22.4±6.1 32.7±2.6 และ 64.4±15.4 ตามลำดับ ความชื้นและธาตุอาหารอื่น ๆ มีการเปลี่ยนแปลงตามอายุของการฟื้นฟูป่า นอกจากนี้ยังพบว่าโลหะหนักในดินเพิ่มขึ้นตามอายุป่าโดยมีปริมาณสังกะสี 73.86±13.7 250.3±166.8 และ 1,416.2±698.4 mg/kg ตามลำดับ และปริมาณแคดเมียม 0.74±0.2 2.72±2.4 และ12.02±5.7 mg/kg ตามลำดับ รวมทั้งปริมาณจุลินทรีย์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอายุป่าโดยมีปริมาณราในดิน $5.13x10^4$±$1.37x10^4$ $33.00x10^4$±$18.9x10^4$ และ$47.1x10^4$±$7.88x10^4$ cfu/g ตามลำดับ ปริมาณแอคติโนมัยซีทในดิน $2.51x10^5$±$0.35x10^5$ $12.26x10^5$±$2.86x10^5$ และ $28.08x10^5$±$4.22x10^5$ cfu/g ตามลำดับ และปริมาณแบคทีเรียในดิน $8.05x10^5$±$0.80x10^5$ $250.0x10^5$±$11.0x10^5$ และ$754.0x105$±$18.0x10^5$ cfu/g ตามลำดับ การเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะดินยังส่งผลให้พบชนิดเห็ดบนดิน 11 ชนิด โดยคุณลักษณะดินที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเห็ดคือดินที่ร่วนซุยและระบายน้ำได้ดี อย่างไรก็ตามพบการถูกชะล้างของดินตะกอนและร่อยรอยของไฟป่าซึ่งอาจเป็นสาเหตุทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะดิน กล่าวโดยสรุปคือการพัฒนาของแปลงป่าฟื้นฟูสามารถพัฒนาคุณลักษณะดินได้หลากหลายและมีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต .....

ปีการศึกษา 2561 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

5887247220 : MAJOR ENVIRONMENTAL SCIENCE
KEYWORD: Forest restoration Zinc mining Soil properties Mushrooms

Chutima Kantrong : SOIL PROPERTIES AND MICROORGANISMS OF REFORESTATION PLOTS AT ZINC MINE, TAK PROVINCE. Advisor: KALLAYA SUNTORNVONGSAGUL, Ph.D.

Forest restoration on a contaminated zinc mining area must take into account in the environmental soil properties that result in forest restoration development. The aim of the study was to analyze the soil properties from zinc mine at Mae Sot district, Tak province. There are three different stages of restored forests including 0-5 years, 6-15 years, and over 15 years. The results showed that the sand increased in a soil texture 22.4±6.1%, 32.7±2.6%, and 64.4±15.4% respectively. Moisture and other nutrients were changed according to the restored forests stage. In addition, the heavy metals increased in a soil, with zinc 73.86±13.7, 250.3±166.8, and 1,416.2±698.4 mg/kg respectively, and cadmium 0.74±0.2 2.72±2.4, and 12.02±5.7 mg/kg respectively. The soil microorganisms tended to increase regarding the restored forest stage, with fungi $5.13x10^4±1.37x10^4$, $33.00x10^4±18.9x10^4$, and $47.1x10^4±7.88x10^4$ cfu/g respectively, actinomycete $2.51x10^5±0.35x10^5$, $12.26x10^5±2.86x10^5$, and $28.08x10^5±4.22x10^5$ cfu/g respectively, and bacteria $8.05x10^5±0.80x10^5$, $250.0x10^5±11.0x10^5$, and $754.0x10^5±18.0x10^5$ cfu/g respectively. A change of soil properties also resulted in a different 11 species of mushrooms found on the site. The soil properties were suitable for mushroom growth were friability and permeability of the soil. However, the change of soil properties may be caused by an erosion of soil sediment and wild fire. In conclusion, the development of restored forests can develop a various

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Field of Study: Environmental Science Student's Signature .....
Academic Year: 2018 Advisor's Signature .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ ดร.กัลยา สุนทรวงศ์สกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำปรึกษา แนะนำ ตลอดการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธงชัย งามประเสริฐวงศ์ ประธานกรรมการสอบ อาจารย์ ดร.ดาว สุวรรณแสง จั่นเจริญ ดร.สุวรรณ ตั้งมิตรเจริญ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ สำหรับข้อเสนอแนะ และคำแนะนำต่าง ๆ เพื่อแก้ไขให้วิทยานิพนธ์สมบูรณ์ขึ้น

ขอขอบพระคุณพี่ๆ เจ้าหน้าที่ บริษัท ผาแดงอินดัสทรี จำกัด (มหาชน) และหัวหน้าและเจ้าหน้าที่โครงการส่งเสริมการเรียนรู้เพื่อการอนุรักษ์และฟื้นฟูสิ่งแวดล้อมอันเนื่องมาจากพระราชดำริที่คอยให้การความช่วยเหลือตลอดระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง

ขอขอบคุณคุณนัชชา ผลพอตน คุณปิยธิดา ขันติพงษ์ คุณปิยวดี ศรีวิชัย คุณอนุวัช ไทรทอง คุณรัตติยา พลเสน และคุณนันทวัน อุ่นจางวางที่คอยช่วยเหลือตลอดการเก็บตัวอย่างและให้คำปรึกษาตลอดจนบุคคลอื่นที่ไม่ได้กล่าวนามในที่นี้

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณคุณแม่บุรี กันตรง คุณพ่อปรีชา กันตรง ที่สนับสนุนทุนการศึกษา ความรัก ความห่วงใยและเป็นกำลังใจให้ข้าพเจ้าเสมอมา ขอขอบคุณนางสาวจิดาภา กันตรงที่คอยให้กำลังใจตลอดมาและขอขอบคุณประเสริฐ หมู่เมี่ยง สำหรับกำลังใจที่ดีตลอดมาระหว่างการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ชุติมา กันตรง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ค

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ง

กิตติกรรมประกาศ ..... จ

สารบัญ ..... ฉ

สารบัญรูป 10

สารบัญตาราง 11

บทที่ 1 บทนำ 12

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 12

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 14

1.3 สมมติฐาน 14

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย 14

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 14

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 15

2.1 คำนิยามที่เกี่ยวข้อง 15

2.1.1 พื้นที่เสื่อมโทรม (Land degradation) 15

2.1.2 การฟื้นฟูเชิงนิเวศ (Ecological restoration) 15

2.1.3 การฟื้นฟูสภาพ (Rehabilitation) 16

2.1.4 การปลูกป่า (Forestation) 17

2.1.5 ระบบนิเวศ (Ecosystem) 17

2.1.6 บริการเชิงนิเวศ (Ecosystem services) 18

2.2 กฎหมายและนโยบายที่เกี่ยวข้องกับการฟื้นฟูป่าไม้ 22

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.2.1 กฎหมายที่เกี่ยวข้อง 22
2.2.2 นโยบายด้านสิ่งแวดล้อมในระดับนานาชาติ 23
2.3 นิเวศวิทยาป่า (Forest Ecology) 25
2.3.1 ชนิดของระบบนิเวศป่า (Type of forest ecosystem) 25
2.3.2 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการพัฒนาชนิดของระบบนิเวศป่าไม้ 27
2.4 ระบบนิเวศดิน 28
2.4.1 โครงสร้างดิน (Soil structure) 28
2.4.2 ความหนาแน่นของดิน (Bulk density of soil) 29
2.4.3 สมบัติทางเคมีของดิน (Chemical characteristic of soil) 29
2.4.4 อินทรียวัตถุในดิน (Soil organic matter) 30
2.4.5 ความเป็นกรดเป็นด่างของดิน (Soil pH) 30
2.4.6 ความชื้นในดิน (Soil moisture) 31
2.4.7 อุณหภูมิดิน (Soil temperature) 31
2.4.8 สิ่งมีชีวิตในดิน (Soil microorganisms) 31
2.5 เห็ดและราขนาดใหญ่ (Mushrooms / Macrofungi) 36
2.5.1 การจำแนกบทบาทและหน้าที่ของเห็ดราในระบบนิเวศ 36
2.5.2 ปัจจัยต่อการเจริญเติบโตของเห็ด 37
2.5.3 การศึกษาโลหะหนักที่พบในเห็ด 38
2.6 การเปลี่ยนแปลงแทนที่ทางนิเวศวิทยา (Ecological succession) 38
2.7 โลหะหนักจากกิจกรรมการทำเหมือง 42
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 44
3.1 การคัดเลือกพื้นที่ระบบนิเวศป่าสำหรับศึกษาลักษณะสมบัติดิน 46
3.1.1 เหมืองผาแดง อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก 46
3.1.2 การจัดเตรียมพื้นที่ก่อนการฟื้นฟู 46

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.1.3 ข้อมูลการฟื้นฟูป่าไม้บริเวณเหมืองสังกะสี อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก 48
3.1.4 ข้อมูลชนิดพันธุ์ไม้และลักษณะบริเวณพื้นที่ศึกษา 49
3.2 ขั้นตอนการศึกษา 50
3.2.1 วิธีการเก็บตัวอย่างดินและเห็ดบนดินที่พบ 50
3.3 การเตรียมการวิเคราะห์ดิน 53
3.3.1 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี 53
3.3.2 วิธีการเตรียมตัวอย่างดินเพื่อการวิเคราะห์ 55
3.3.3 วิธีการวิเคราะห์ลักษณะดิน 55
3.3.4 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ 57
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล 58
4.1 ลักษณะพื้นที่ 58
4.1.1 คุณลักษณะดินที่พัฒนาตามอายุแปลงป่าฟื้นฟู 58
4.1.2 คุณลักษณะดินที่เป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงของอายุป่าฟื้นฟู 59
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ 84
5.1 สรุปผลการทดลอง 84
5.1.1 คุณลักษณะดินและจุลินทรีย์ดินที่เปลี่ยนแปลงตามอายุของการฟื้นฟูป่า 84
5.1.2 ปัจจัยที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของคุณลักษณะดินจากการเตรียมพื้นที่สำหรับฟื้นฟูป่า 85
5.2 ข้อเสนอแนะ 85
บรรณานุกรม 86
ภาคผนวก ก รายละเอียดการวิเคราะห์ 95
ภาคผนวก ข ผลการวิเคราะห์แต่ละพารามิเตอร์ของดิน 106
บรรณานุกรม 2
ประวัติผู้เขียน 3

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 การเปลี่ยนแปลงแทนที่ขั้นปฐมภูมิ 38
รูปที่ 2.2 การเปลี่ยนแปลงแทนที่ขั้นทุติยภูมิ 39
รูปที่ 2.3 กลไกในระบบนิเวศ..... 40
รูปที่ 3.1 กรอบแนวคิดการศึกษา (conceptual framework)..... 43
รูปที่ 3.2 ลักษณะพื้นที่และจุดเก็บตัวอย่าง..... 45
รูปที่ 3.3 ลักษณะพื้นที่แปลงฟื้นฟูป่าอายุ 0-5 ปี 6-15 ปี และมากกว่า 15 ปี..... 47
รูปที่ 3.4 ขั้นตอนการศึกษา..... 50
รูปที่ 3.5 กรอบแนวคิดการศึกษา (conceptual framework)..... 65
รูปที่ 3.6 ไดอะแกรมสามเหลี่ยมมาตรฐาน..... 84
รูปที่ 4.1 ลักษณะประเภทเนื้อดินที่ป่าบริเวณฟื้นฟูบริเวณพื้นที่ทำเหมือง 58
รูปที่ 4.2 การเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของเนื้อดิน 59
รูปที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยอินทรียวัตถุในดินบริเวณแปลงป่าฟื้นฟู 63
รูปที่ 4.4 ค่าเฉลี่ยคาร์บอนทั้งหมดบริเวณแปลงป่าฟื้นฟู 64
รูปที่ 4.5 ค่าเฉลี่ยฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์บริเวณแปลงป่าฟื้นฟู..... 65
รูปที่ 4.6 ค่าเฉลี่ยไนโตรเจนทั้งหมดบริเวณแปลงป่าฟื้นฟู 66
รูปที่ 4.7 ค่าเฉลี่ยไนโตรเจนทั้งหมดบริเวณแปลงป่าฟื้นฟู 67
รูปที่ 4.8 ค่าเฉลี่ยความเป็นกรดเป็นด่างในดินบริเวณแปลงป่าฟื้นฟู 68
รูปที่ 4.9 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของดินบริเวณแปลงป่าฟื้นฟูหมายเหตุ..... 69
รูปที่ 4.10 ค่าเฉลี่ยความชื้นในดินบริเวณแปลงป่าฟื้นฟู..... 70
รูปที่ 4.11 ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิในดินบริเวณแปลงป่าฟื้นฟู 71
รูปที่ 4.12 ค่าเฉลี่ยปริมาณราในดินบริเวณแปลงป่าฟื้นฟู 72
รูปที่ 4.13 ค่าเฉลี่ยปริมาณแอคติโนมัยซีทในดินบริเวณแปลงป่าฟื้นฟู 73
รูปที่ 4.14 ค่าเฉลี่ยปริมาณแบคทีเรียในดินบริเวณแปลงป่าฟื้นฟู..... 75
รูปที่ 4.15 ชนิดเห็ดบนดินที่พบในแปลงป่าฟื้นฟูอายุ 0-5 ปี..... 76
รูปที่ 4.16 ชนิดเห็ดบนดินที่พบในแปลงป่าฟื้นฟูอายุ 6-15 ปี..... 77
รูปที่ 4.17 ชนิดเห็ดบนที่พบในแปลงป่าฟื้นฟูอายุมากกว่า 15 ปี 79

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 การบริการเชิงนิเวศ..... 20
ตารางที่ 2.2 ปัจจัยที่ส่งผลต่อกิจกรรมจุลินทรีย์..... 34
ตารางที่ 2.3 แบบจำลองเชิงนิเวศวิทยา: แนวโน้มที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในการพัฒนาระบบนิเวศ.....42
ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์เพื่อวิเคราะห์คุณลักษณะดิน.....50
ตารางที่ 4.1 ปริมาณโลหะหนักในดินจากแปลงฟื้นฟูป่าอายุ 0-5 ปี 6-15 ปี และมากกว่า 15 ปี..... 62
ตารางที่ 4.2 คุณลักษณะดินที่พบเห็ดบนดินในแปลงป่าฟื้นฟูอายุ 0-5 ปี..... 77
ตารางที่ 4.3 คุณลักษณะดินที่พบเห็ดบนดินในแปลงป่าฟื้นฟูอายุ 6-15 ปี 78
ตารางที่ 4.4 คุณลักษณะดินที่พบเห็ดบนดินในแปลงป่าฟื้นฟูอายุมากกว่า15 ปี 80

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ระบบนิเวศป่าไม้ให้ประโยชน์ทั้งทางตรงและทางอ้อมทั้งในด้านเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม โดยระบบนิเวศป่าไม้เป็นแหล่งอาหาร แหล่งที่อยู่อาศัยของพืชและสัตว์ ยารักษาโรค รวมทั้งเป็นที่อยู่อาศัยของจุลินทรีย์ในดิน (บารมี และคณะ, 2555; วิสุทธิ์ ใบไม้, 2545; สมศักดิ์ วังใน, 2528) ซึ่งจุลินทรีย์ในดินมีบทบาทสำคัญในระบบนิเวศป่าไม้และเป็นส่วนสำคัญในการพัฒนาป่าไม้ (Li Y., Hu J., Wang S., and Wang S., 2014) จุลินทรีย์เป็นกลุ่มสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กที่มีอยู่ในดินซึ่งมีอยู่หลายชนิด เช่น แบคทีเรีย แอคติโนมัยซีท และรา (สุบัณฑิต นิ่มรัตน์, 2549) โดยรามีบทบาทสำคัญที่สุดในดินโดยทำหน้าที่ย่อยสลายเศษซากพืช เช่น กิ่งไม้ผุ ใบไม้ร่วงหล่น เปลี่ยนเป็นธาตุอาหารกลับคืนให้กับดิน และพืชสามารถดึงธาตุอาหารที่ได้จากการย่อยสลายเพื่อใช้ในการเจริญเติบโต (ฉันทนา และคณะ, 2553) นอกจากนี้รายังมีความสัมพันธ์กับรากพืชซึ่งราที่อยู่บริเวณรากพืช (สุบัณฑิต นิ่มรัตน์, 2549) หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ไมคอร์ไรซา (mycorrhiza) โดยทำหน้าที่แลกเปลี่ยนเปลี่ยนธาตุอาหารกับรากพืชโดยต้นไม้ให้คาร์โบไฮเดรตจากกระบวนการสังเคราะห์แสง ให้กลับไมคอร์ไรซา เพื่อไมคอร์ไรซา ดึงไปใช้ในการสร้างโครงสร้างรูปร่างและในขณะเดียวกันไมคอร์ไรซา ส่งกลับคืนธาตุอาหารที่เกิดจากการย่อยสลายไปยังรากพืช พืชสามารถนำธาตุอาหารที่ได้จากการย่อยสลายนำกลับไปใช้กระบวนการเจริญเติบโตของพืชต่อไปเป็นการดำรงชีวิตแบบพึ่งพาอาศัยกัน (Nard, and Fells, 2017)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

กิจกรรมการทำเหมืองแร่มีผลกระทบรุนแรงต่อระบบนิเวศป่าในพื้นที่การทำเหมืองแร่ก่อให้เกิดการตัดไม้ทำลายป่าขนาดใหญ่ สร้างความเสียหายต่อสิ่งแวดล้อมอย่างรุนแรงและสร้างความเสื่อมโทรมให้แก่ระบบนิเวศ (Dowarah et al., 2009) ซึ่งการขุดหน้าดินเพื่อนำพื้นที่มาใช้ประโยชน์ทำให้ความอุดมสมบูรณ์ของหน้าดินซึ่งมีอินทรียวัตถุในดินเป็นองค์ประกอบที่สำคัญและมีบทบาทในการกำหนดโครงสร้างและการทำงานของระบบนิเวศโดยทำหน้าที่เป็นแหล่งพลังงานของสิ่งมีชีวิตในดินที่ไม่สามารถสร้างอาหารเองได้และเป็นแหล่งกักเก็บสารอาหารภายในระบบนิเวศ (Maiti, 2013a) ส่งผลทำให้ลักษณะดินเสื่อมลงทั้งลักษณะดินทางกายภาพทำให้โครงสร้างดินเกิดการระบายน้ำและการกักเก็บน้ำต่ำ ลักษณะดินทางเคมีทำให้ขาดแคลนธาตุอาหารที่สำคัญ เช่น ไนโตรเจน คาร์บอน ฟอสฟอรัส ซัลเฟอร์ (Davies, Younger, and Chapman, 1992) และลักษณะดินทางชีวภาพลดลงจากการรบกวนกระบวนการการทำงานของจุลินทรีย์ (Singh, Raghubanshi, and Singh, 2004) ซึ่ง

การทำให้ความอุดมสมบูรณ์ของดินกลับคืนดังเดิมระบบนิเวศป่าไม้จำเป็นต้องได้รับการฟื้นฟู (Dowarah et al., 2009)

การฟื้นฟูระบบนิเวศป่าไม้จากพื้นที่เสื่อมโทรมเน้นการฟื้นฟูหน้าที่ของดินให้กลับมามีความอุดมสมบูรณ์ดังเดิม เนื่องจากการทำเหมืองแร่ก่อให้การทำลายผิวหน้าของดิน ซึ่งการฟื้นฟูสภาพป่าไม้หลังการทำเหมืองจำเป็นต้องทราบถึงกลไกการพัฒนาโครงสร้างดิน และองค์ประกอบระบบนิเวศที่มีความซับซ้อน เพื่อให้มีความสามารถให้บริการเชิงนิเวศต่อไปได้ (Gajaseni, 2009; Macdonald et al., 2015; จิรากรณ์ คชเสนี., and นันทนา คชเสนี., 2552) รวมทั้งสามารถให้ประโยชน์ด้านแหล่งอาหาร และเป็นแหล่งสมุนไพรเพิ่มขึ้น เช่น การปลูกป่ายางนา (ผู้จัดการออนไลน์., 2555) มีการคำนึงถึงการพัฒนาแหล่งอาหารควบคู่กับการใส่เชื้อเห็ดเผาะซึ่งเป็นรากลุ่มไมคอร์ไรซาลงที่ต้นกล้ายางนาหรือกล้าไม้อื่น ๆ ซึ่งจะได้เห็ดกินได้เพิ่มเติมจากการปลูกต้นไม้และก่อให้เกิดรายได้ นอกจากนี้ยังพบว่าการใส่เชื้อเห็ดเผาะลงในกล้าไม้วงศ์ยาง (กล้าไม้พลวง และกล้าไม้พะยอม) เพื่อหาความสัมพันธ์แบบเอคโตไมคอร์ไรซาที่รากของกล้าไม้ซึ่งเป็นกล้าไม้ที่ใช้ในการปลูกสร้างสวนป่าจากพื้นที่เสื่อมโทรม พบธาตุอาหาร คาร์บอน, ไนโตรเจน, ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ในกล้าไม้ที่ใส่เชื้อเห็ดเผาะมีปริมาณมากกว่ากล้าไม้ที่ไม่ได้ใส่เชื้อเห็ดเผาะลงไป (ธารรัตน์ และคณะ, 2558; อุทัยวรรณ และคณะ, 2559)

การศึกษา และงานวิจัยเกี่ยวกับการพัฒนาลักษณะดินในการฟื้นฟูระบบนิเวศป่าไม้สำหรับให้บริการเชิงนิเวศเพื่อใช้เป็นแหล่งอาหารและรายได้ ซึ่งในสังคมไทยโดยเฉพาะสังคมในชนบทยังมีการดำรงชีวิตที่อิงอาศัยอยู่กับระบบนิเวศป่าไม้อยู่มาก ดังนั้นการพัฒนาพื้นที่ที่มีการเสื่อมโทรม (land degradation) จึงเน้นการพัฒนาในเรื่องของการใช้ประโยชน์จากบริการเชิงนิเวศโดยมนุษย์ ซึ่งมีจุดประสงค์ส่งเสริมให้เกิดความยั่งยืนและทำให้ทรัพยากรธรรมชาติเกิดประโยชน์สูงสุด รวมทั้งตอบสนองความต้องการของสังคมโดยไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อไปในอนาคตในการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัด ซึ่งความต้องการการบริการเชิงนิเวศในชุมชนที่อาศัยอยู่จำเป็นต้องศึกษาการพัฒนาลักษณะดิน (Maiti, 2013a; Sakolrak, Duengkae, Ayawong, Himaman, and Pongpanich, 2012; Sutthirat, 2015)

งานวิจัยในห้องปฏิบัติการนี้ได้ทำการศึกษาเพื่อทราบการพัฒนาลักษณะดินที่เป็นผลจากการพัฒนาระบบนิเวศป่าไม้ที่ได้รับการฟื้นฟูในช่วงระยะเวลาต่าง ๆ บนพื้นที่เหมืองสังกะสีที่ส่งผลต่อการเกิดชนิดเห็ดซึ่งเกิดการย่อยสลายอินทรียวัตถุในดิน เช่น การศึกษาเพื่อทราบถึงการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างดิน, ความชื้น, อินทรียวัตถุในดิน, คาร์บอน, ไนโตรเจน, ฟอสฟอรัส และซัลเฟอร์ ตามอายุป่าฟื้นฟู

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1 เพื่อศึกษาคุณลักษณะดินในแปลงฟื้นฟูป่าของพื้นที่เหมืองสังกะสีแต่ละช่วงอายุ

2 เพื่อศึกษาปริมาณจุลินทรีย์ดินในแปลงฟื้นฟูป่าของพื้นที่เหมืองแต่ละช่วงอายุ

1.3 สมมติฐาน

1 คุณลักษณะดินในแปลงฟื้นฟูป่าฟื้เปลี่ยนแปลงตามอายุของป่าที่เพิ่มขึ้น

2 ปริมาณจุลินทรีย์ดินในแปลงฟื้นฟูป่าเปลี่ยนแปลงตามอายุของป่าที่เพิ่มขึ้น

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษาคุณลักษณะดินและปริมาณจุลินทรีย์ดินของแปลงฟื้นฟูป่าจากพื้นที่เหมืองสังกะสีแต่ละช่วงอายุ โดยพื้นที่ทำการศึกษาตั้งอยู่บริเวณพื้นที่ฟื้นฟูป่าของเหมืองผาแดง ตำบลพระธาตุผาแดง อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก โดยแบ่ง 3 แปลงได้แก่ แปลงฟื้นฟูป่าอายุ 0-5 ปี 6-15 ปี และมากกว่า 15 ปี ตามลำดับ โดยเก็บตัวอย่างดินในช่วง 10-14 มิถุนายน และเก็บตัวอย่างเห็ดในช่วงเดือนมิถุนายนถึงเดือนตุลาคม

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1 สามารถนำข้อมูลใช้สำหรับการเตรียมพื้นที่ก่อนการฟื้นฟูป่าในพื้นที่เหมือง

2. ทราบถึงข้อจำกัดของการฟื้นฟูป่าในพื้นที่เหมืองแร่

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 คำนิยามที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 พื้นที่เสื่อมโทรม (Land degradation)

พื้นที่เสื่อมโทรม หมายถึง พื้นที่ที่มีศักยภาพในการผลิตของดินลดลง (FAO., 2017) และมีการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะทางเคมี (chemical properties) คุณลักษณะกายภาพ (physical properties) และคุณลักษณะชีวภาพ (biological properties) (กรมพัฒนาที่ดิน, 2540b) โดยครอบคลุมในเรื่องของการพังทลายของดิน (soil erosion), ความเสื่อมโทรมของดิน (soil degradation), การเปลี่ยนแปลงเชิงลบ (negative changes) ในขีดความสามารถ (capacity) ของระบบนิเวศ, สินค้าที่จับต้องได้ (provide goods) และบริการ (service) (FAO., 2017) การลดลงหรือสูญเสียกำลังผลิตทางด้านชีวภาพและเศรษฐกิจรวมไปถึงการเกษตรน้ำฝน (Rain-fed cropland) การเกษตรชลประทาน (irrigated cropland) หรือ ทุ่งหญ้า เลี้ยงสัตว์ การสูญเสียความอุดมสมบูรณ์ของพื้นป่าไม้ (Maiti, 2013a) สามารถกล่าวได้ว่าการเปลี่ยนแปลงระบบนิเวศที่เคยมีความสามารถให้บริการ เช่น การเป็นแหล่งอาหาร แหล่งน้ำ แหล่งพลังงาน ในทิศทางที่ไม่เหมาะสมจากการใช้ประโยชน์ของมนุษย์โดยมีปัจจัยการการเกิด ดังนี้

1) สภาพอากาศที่ไม่เหมาะสม เช่น การเกิดภัยแล้ง เป็นต้น

2) การทำลายคุณภาพของมนุษย์ เช่น การทิ้งของเสียลงสู่พื้นดิน, การสร้างที่อยู่อาศัย เป็นต้น

3) การใช้ที่ดินไม่เหมาะสมก่อให้เกิดการสูญเสียความอุดมสมบูรณ์ของดิน (soil fertility), การหมุนเวียนสารอาหาร (nutrient cycles) และความสามารถในการผลิต (soil production) ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพของการบริการของระบบนิเวศ (ecosystem services) มนุษย์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ลดลง

2.1.2 การฟื้นฟูเชิงนิเวศ (Ecological restoration)

การฟื้นฟูระบบนิเวศ หมายถึง กระบวนการช่วยเหลือการฟื้นตัวของระบบนิเวศที่ได้รับความเสื่อมโทรม, ความเสียหายหรือถูกทำลาย (Davis M. A., and Slobodkin L.B., 2004; SER, 2004) โดยมีกิจกรรมในการเร่งการฟื้นตัวของระบบนิเวศจากพื้นที่เสื่อมโทรม เช่น การปลูกป่าและสร้างใหม่ ซึ่งไม่ได้เป็นส่วนหนึ่งของลำดับวนวัฒน์ (silvics) ตามปกติ หรือเป็นการฟื้นฟูอย่างใดอย่างหนึ่งเพื่อเพิ่มคุณค่าทางลักษณะภูมิทัศน์ (Canadian Parks Council., 2007) นอกจากนี้ยังกล่าวได้ว่าการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ฟื้นฟูระบบนิเวศเป็นการฟื้นฟูสภาพ (rehabilitation) ในการชดเชยความเสียหายกระบวนการของระบบนิเวศ ผลผลิต และการบริการให้กลับมาสู่สภาพดังเดิม (Mansourian S., 2005) การฟื้นฟูเพื่อให้พืชสามารถเจริญเติบโตได้และมีความหลากหลายเป็นผลมาจากคุณภาพของดิน และสิ่งแวดล้อม ซึ่งในกระบวนการฟื้นฟูในช่วงแรกเริ่มจำเป็นต้องอาศัยมนุษย์เป็นผู้ดูแลเรื่องของระบบการจัดการดิน การอนุรักษ์ความหลากหลาย ต้องอาศัยความเข้าใจเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อม ซึ่งไม่ได้ใช้องค์ความรู้ในด้านชีววิทยาเพียงอย่างเดียว จำเป็นต้องมีการสร้างแรงจูงใจในการออกแบบ เพื่อให้นโยบายการฟื้นฟู และอนุรักษ์มีประสิทธิภาพ และประสิทธิผล ซึ่งการวิเคราะห์การดำรงชีวิต การเข้าถึงทรัพยากร (bioprospecting) มีหลักการการฟื้นฟู 3 ขั้นตอน (จักรพันธ์ สุทธิรัตน์ และคณะ., 2558) ดังนี้

1) การจำแนกพื้นที่เสื่อมโทรม

พื้นที่ที่มีการปนเปื้อน : สารเคมี, ความเค็ม (น้ำท่วม, เหมืองแร่, การเกษตรรูปแบบใหม่

พื้นที่มีความเสื่อมโทรมหน้าดิน: ธาตุอาหารลดลง, หน้าดินถูกทำลายจากการพังทลาย, แผ่นดินถล่ม (land slide), การทำเหมืองแร่

2) ประเมินความเสื่อมโทรม

ประเมินจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อน, พื้นที่ที่ธาตุอาหารน้อย และพื้นที่ที่ปนเปื้อนและขาดสารอาหารการจำแนกความเสื่อมโทรมจากการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อมทางกายภาพ, สิ่งแวดล้อมทางชีวภาพ, คุณค่าการใช้ประโยชน์ของมนุษย์ และคุณภาพชีวิต

3) การวางระบบการฟื้นฟู

การวางระบบการฟื้นฟูต้องมีการบูรณาการกับหลักการความยั่งยืนในด้านสิ่งแวดล้อม, เศรษฐกิจ และสังคม ซึ่งต้องมีการฟื้นฟูในระยะยาวและอาศัยองค์ความรู้ในเรื่องการจัดการ รวมทั้งงบประมาณที่สูง ซึ่งการฟื้นฟูป่าในพื้นที่เหมืองจำเป็นต้องศึกษาประเภทเหมืองที่สร้างมลพิษการทำลายหน้าดินที่แตกต่างกัน

2.1.3 การฟื้นฟูสภาพ (Rehabilitation)

การฟื้นฟูสภาพ หมายถึง การแยกกระบวนการทางระบบนิเวศของระบบนิเวศที่ได้รับความเสียหายเสื่อมโทรมหรือถูกทำลาย (Mansourian S., 2005) หรือเป็นการฟื้นฟูความสามารถของพื้นที่ป่าเสื่อมโทรมเพื่อให้ผลิตภัณฑ์และบริการจากป่า (FAO., 2017) โดยเฉพาะพื้นที่ทำเหมืองแร่ซึ่งมีวิธีการจัดการพื้นที่หรือแนวทางการฟื้นฟูที่แตกต่างกัน โดยการฟื้นฟูพื้นที่เสื่อมโทรมจากการทำเหมืองมีจุดมุ่งหมายเพื่อต้องการให้เกิดสภาพการพัฒนาของพืชและสิ่งมีชีวิตอื่นๆ เพื่อสามารถรักษาสมดุลของระบบนิเวศใหม่ (Doley, and Audet, 2013) และมีความสามารถในการให้บริการเชิงนิเวศชุมชน (Lubke, and Avis, 1998) บริเวณพื้นที่ที่มีการฟื้นฟูตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้

2.1.4 การปลูกป่า (Forestation)

การปลูกป่ามี 2 รูปแบบ คือ การปลูกป่าแบบแอฟฟอเรสเทชั่น (afforestation) และแบบรีฟอเรสเทชั่น (reforestation) แบ่งเป็นการปลูกป่าขึ้นใหม่ในพื้นที่ไม่เคยมีต้นไม้หรือเคยเป็นป่ามาก่อน (afforestation) (Mansourian S., 2005) และการปลูกป่าขึ้นมาใหม่เพื่อทดแทนในพื้นที่ที่ป่าเดิมที่เสื่อมโทรมจากการถูกทำลายไป (reforestation) (Barthlott, Linsenmair, and Porembski, 2009) แต่ในทางการจัดการป่าไม้การปลูกป่ามีความหมายแตกต่างกันไปตามสภาพการจัดการ (Brand et al,2011) ซึ่งการปลูกป่าจะทำการปลูกต้นไม้ที่มีสายพันธุ์ต่างจากเดิมหรือสายพันธุ์ดั้งเดิมทดแทน (Liu et al., 2012) และในงานวิจัยนี้จึงเน้นการศึกษาระบบนิเวศป่าไม้ฟื้นฟูจากการปลูกป่าแบบรีฟอเรสเทชั่น (reforestation) เป็นการปลูกป่าในพื้นที่ที่ถูกทำลายจากการทำกิจกรรมเหมืองแร่ ซึ่งระบบนิเวศป่าไม้ฟื้นฟูจะมีระยะการพัฒนาของหน้าดินซึ่งส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะดินทางกายภาพ เช่น มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างดิน และความหนาแน่นของดิน เป็นต้น การเปลี่ยนแปลงลักษณะดินทางเคมี เช่น ความเป็นกรด-ด่าง (pH), สารอินทรีย์ในดิน, ธาตุอาหารในดิน เป็นต้น การเปลี่ยนแปลงลักษณะดินทางชีวภาพ เช่น การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างสังคมของจุลินทรีย์ เป็นต้น (Cavagnaro, Cunningham, and Fitzpatrick, 2016) โดยการเปลี่ยนแปลงลักษณะดินทำให้ระบบนิเวศป่าไม้ฟื้นฟูเกิดการพัฒนาส่งผลต่อบริการด้านแหล่งผลิต (provisioning services) ต่อไปได้ (Kardol P., ThroopH. L.., Adkins J., and Graaff M.A., 2016)

2.1.5 ระบบนิเวศ (Ecosystem)

ระบบนิเวศ คือ สิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อมที่ไม่ชีวิตซึ่งมีความสัมพันธ์และเกิดปฏิสัมพันธ์ที่ไม่อาจแยกออกจากกันได้ หน่วยใดๆ ที่หมายรวมถึงสิ่งมีชีวิตในบริเวณหนึ่งบริเวณใดมีปฏิสัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อมทางกายภาพ มีการไหลถ่ายเทพลังงานที่นำไปสู่โครงสร้างเชิงอาหาร ความหลากหลายทางชีวภาพ และการหมุนเวียนของสสาร ที่สามารถกำหนดได้อย่างชัดเจน ระบบนิเวศคือหน่วยพื้นฐานที่สุดทางนิเวศวิทยา เนื่องจากเป็นระบบที่รวมทั้งสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อมที่ไม่มีชีวิต ซึ่งแต่ละส่วนจะมีอิทธิต่อคุณสมบัติของกันและกัน ทั้งสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อมที่ไม่มีชีวิตจำเป็นต่อการรักษาชีวิตที่มีอยู่บนโลกทั้งมวล (Gajaseni, 2009) ระบบนิเวศประกอบด้วยองค์ประกอบที่มีชีวิต (biotic components) และองค์ประกอบที่มีไม่มีชีวิต (abiotic components) ดังนี้

องค์ประกอบที่มีชีวิต (Biotic components) ได้แก่

1) ผู้ผลิต (producer) ได้แก่ สิ่งมีชีวิตที่สามารถสร้างอาหารได้ด้วยตัวเองจากสาร อนินทรีย์ ซึ่งส่วนมากจะเป็นพืชที่มีคลอโรฟิลล์ สามารถตรึงพลังงานจากดวงอาทิตย์โดยโมเลกุลของคลอโรฟิลล์

2) ผู้บริโภค (consumer) ได้แก่ สิ่งมีชีวิตที่ไม่สามารถสร้างอาหารเองได้ (heterotroph) ส่วนมากคือ สัตว์ที่กินสิ่งมีชีวิตอื่นเป็นอาหาร

3) ผู้ย่อยสลาย (decomposer) ได้แก่ สิ่งมีชีวิตขนาดเล็กที่สร้างอาหารเองไม่ได้ เช่น แบคทีเรีย (bacteria) เห็ดรา (fungi) และแอคติโนมัยซีท (actinomycete) ทำหน้าที่ย่อยสลายซากสิ่งมีชีวิตที่ตายแล้วในรูปของสารประกอบโมเลกุลใหญ่จนกลายเป็นสารประกอบโมเลกุลเล็กในรูปของสารอาหาร (nutrients) เพื่อผู้ผลิตนำกลับไปใช้ใหม่

องค์ประกอบที่มีไม่มีชีวิต (abiotic components) ได้แก่

สารประกอบอนินทรีย์ (inorganic substance) ประกอบด้วย แร่ธาตุและสารอินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบสำคัญของเซลล์สิ่งมีชีวิต เช่น คาร์บอน ออกซิเจน ไนโตรเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ เป็นต้น สารเหล่านี้มีการหมุนเวียนใช้ในระบบนิเวศเป็นวัฏจักร เรียกว่า biogeochemical cycle

สารอินทรีย์ (organic compound) ได้แก่ สารอินทรีย์ที่จำเป็นต่อชีวิต เช่น โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน และฮิวมัส เป็นต้น

สภาพภูมิอากาศ (climate regime) ได้แก่ ปัจจัยทางกายภาพที่มีอิทธิพลต่อสิ่งมีชีวิต เช่น อุณหภูมิ แสง ความชื้น อากาศ และพื้นผิวที่อยู่อาศัย (substrate) ซึ่งรวมเรียกว่าปัจจัยจำกัด (limiting factors) (นิตยา เลาหะจินดา., 2549)

2.1.6 บริการเชิงนิเวศ (Ecosystem services)

โครงสร้างและหน้าที่แต่ละระบบนิเวศ แบ่งออกเป็นหลายประเภท เช่น ปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่มีชีวิตและไม่มีชีวิต ขนาดความสัมพันธ์ และหน้าที่ในการสร้างผลผลิต เพื่อการใช้ประโยชน์ของมนุษย์ หรือความสามารถของระบบนิเวศในการให้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ ของมนุษย์ (Adeel, Safriel, Niemeijer, and White, 2005) โดยมีลักษณะการให้บริการของระบบนิเวศ (ecosystem services) หรือการเอื้อประโยชน์ของระบบนิเวศต่อการใช้ประโยชน์โดยมนุษย์ แตกต่างกัน แบ่งออกเป็น 4 ประเภท ตามลักษณะการให้บริการเชิงนิเวศ ได้แก่ (1) การบริการด้านแหล่งผลิต (provisioning services) เช่น แหล่งอาหาร,แหล่งน้ำจืด , แหล่งยารักษาโรค, แหล่งพลังงานชีวมวล และเป็นแหล่งทรัพยากรพันธุกรรม เป็นต้น (2) การบริการด้านการควบคุมกลไกของระบบนิเวศ (regulating services) เช่น การควบคุมสภาพภูมิอากาศ โรค น้ำ ของเสีย การควบคุมการแพร่ของละอองเกสร การป้องกันการชะล้างพังทลายของหน้าดินและน้ำป่าไหลหลาก เป็นต้น (3) การบริการด้านการเกื้อหนุนประโยชน์อื่นๆ ของระบบนิเวศ (supporting services) เช่น การหมุนเวียนธาตุอาหาร การถ่ายทอดพลังงาน การสังเคราะห์แสง การสร้างดิน การเป็นแหล่งที่อยู่ของพืชและสัตว์ (4) การบริการด้านวัฒนธรรม (cultural services) เช่น การเป็นแหล่งท่องเที่ยว พักผ่อนหย่อนใจ การเป็นแหล่งเรียนรู้ ศึกษาและวิจัย และการเป็นแหล่งประวัติศาสตร์ วัฒนธรรมและภูมิปัญญาท้องถิ่น รวมทั้งมีคุณค่าทางจิตใจและทางศาสนา (United Nations Environment Programme, 2005)

การให้บริการเชิงนิเวศในการฟื้นฟูพื้นที่เสื่อมโทรมมีเป้าหมายแตกต่างกันตามลักษณะการใช้ประโยชน์และหน้าที่ของระบบนิเวศ สภาพทางสังคม และความอุดมสมบูรณ์ของดินในการเป็นแหล่งของสิ่งมีชีวิตในพื้นที่นั้น ๆ ที่มีการเสื่อมโทรมก่อให้เกิดผลกระทบต่อระบบนิเวศ ซึ่งเป็นแหล่งอาหารที่มนุษย์สามารถใช้ประโยชน์ได้จากป่า ดังนั้นนิยามความหมายของพื้นที่เสื่อมโทรม หมายถึง ระบบนิเวศในพื้นที่นั้นๆ ไม่สามารถให้บริการตามประเภทลักษณะการให้บริการของระบบนิเวศได้ เช่น การรักษาปริมาณความชื้นในดินและในอากาศของระบบนิเวศป่าไม้เขตร้อน (tropical rain forest / tropical evergreen forest) ลดความสามารถการให้บริการเชิงนิเวศลดลง เช่น การตัดต้นไม้ทำให้พื้นที่ป่าลดความสามารถในการกักเก็บความชื้นในดินและในอากาศลดลง และการพังทลายของหน้าดินออกจากระบบนิเวศได้รวดเร็วขึ้นจากการชะล้างของน้ำฝน เนื่องจากการไม่มีสิ่งปกคลุมหรือปกคลุมหรือป้องกันหน้าดินในระบบนิเวศป่า และยังส่งผลต่อการลดลงหรือสูญเสียความหลากหลายทางชีวภาพ (biodiversity)

ดังนั้นเมื่อระบบนิเวศมีการเสื่อมโทรมโครงสร้าง, ความชื้น ตลอดจนปริมาณธาตุอาหารลดลงหรือเสื่อมไป ทำให้ไม่มีผู้ผลิตลำดับแรกก็คือพืช ทำให้ไม่สามารถเกิดการสร้างผลผลิตปฐมภูมิ (primary production) ให้แก่ ผู้บริโภคซึ่งไม่สามารถสร้างอาหารเองได้รวมทั้งส่งผลต่อผู้ย่อยสลาย จึงทำให้ความสามารถในการผลิตของระบบนิเวศลดลงหรือสูญเสียไป ส่งผลกระทบทางตรงหรือทางอ้อมต่อการลดประสิทธิภาพการให้บริการเชิงนิเวศต่อการให้ประโยชน์แก่มนุษย์ เช่น การหมุนเวียนสารอาหารที่จำเป็นได้แก่ ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสลดลงโดยเฉพาะพื้นที่การเกษตร ทำให้ความอุดมสมบูรณ์ของดินลดลง และแหล่งอาหารของมนุษย์ลดลงไปด้วย ซึ่งการเติมสารอาหาร หรือสารเคมี สามารถเพิ่มความสามารถในการบริการของระบบนิเวศให้ดำรงต่อไปได้ เช่น การเพาะเห็ดเชื้อเห็ดเผาะในการตอบสนองการเจริญเติบโตของกล้าไม้วงศ์ยางในรูปแบบความสัมพันธ์เอคโตไมคอร์ไรซากับรากไม้ ซึ่งในอนาคตโครงการปลูกป่าที่จะเกิดขึ้นต่อไปในอนาคตจึงควรวางแผนปลูกไม้วงศ์ยางให้มีพื้นที่เพิ่มมากขึ้น เพราะไม้วงศ์ยางเป็นไม้โตช้า การปลูกตั้งแต่วันนี้กว่าจะถึงเวลาตัดฟันเพื่อนำมาใช้งานได้ ต้องใช้เวลาประมาณไม่น้อยกว่า 30 ปี และการปลูกสร้างสวนป่าไม้ได้มีการศึกษาโดยมีการเริ่มตัดสางป่าไม้สักช่วงอายุ 15 ปี ซึ่งหลังจากตัดสางความเหมาะสมในการสร้างเนื้อไม้และผลตอบแทนเชิงธุรกิจ (กรมป่าไม้, 2553; วิเชียร สุมันตกุล, 2544)

ซึ่งเมื่อพิจารณาความต้องการบริการเชิงนิเวศร่วมกับการฟื้นฟูพื้นที่เสื่อมโทรมบนพื้นที่เหมืองเพื่อให้การบริการของระบบนิเวศสามารถกลับคืนมา โดยการฟื้นฟูต้องอาศัยการกำหนดขั้นตอนของระยะการทำงานในการฟื้นฟูให้เป็นไปตามแผนดำเนินงาน ซึ่งพื้นที่เหมืองมีลักษณะพื้นที่ขนาดใหญ่ จึงจำเป็นต้องใช้ระยะเวลาฟื้นฟูเป็นเวลานานและงบประมาณเป็นจำนวนมาก โดยแบ่งประเภทเองระบบนิเวศในพื้นที่ที่ต้องการฟื้นฟูมักได้หลายหลายประเภท เช่น ป่าดิบเขา, ป่าเบญจพรรณ ป่าชุ่มน้ำ และระบบนิเวศในลำธาร นอกจากนี้การฟื้นฟูต้องสร้างปัจจัยที่ทำให้เกิดการหมุนเวียนธาตุอาหารในระบบ

นิเวศใหม่ โดยการฟื้นฟูจำเป็นต้องต้องมีการจัดเตรียมสภาพสิ่งแวดล้อมทางกายภาพ เช่น น้ำและแสง ให้เหมาะสมต่อการเปลี่ยนแปลงแทนที่ทางนิเวศวิทยา (ecological succession) ตามระดับของขนาดสิ่งมีชีวิต และอาศัยพลังงานจากแสงอาทิตย์ในกระบวนการสังเคราะห์แสงในกลุ่มสิ่งมีชีวิตกลุ่มผู้ผลิตเป็นพลังงานชีวมวล และเกิดการถ่ายทอดพลังงานสู่ผู้บริโภครวมทั้งผู้ย่อยสลายเกิดการหมุนเวียนธาตุอาหาร (nutrient cycle) เกิดเป็นผลผลิตเชิงนิเวศ (ecological production) และการให้บริการเชิงนิเวศแก่ชุมชน (จักรพันธ์ สุทธิรัตน์ และคณะ., 2558)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 2.1 การบริการเชิงนิเวศ

การบริการของระบบนิเวศ (Ecosystem Services)			
การบริการด้านแหล่งผลิต (Provisioning Services)	**การบริการด้านการควบคุมกลไกของระบบนิเวศ (Regulating Services)**	**การบริการด้านการเกื้อหนุนประโยชน์อื่นๆ ของระบบนิเวศ (Supporting Services)**	**การบริการด้านวัฒนธรรม (Cultural Services)**
● แหล่งอาหารและน้ำ (Food) ● เนื้อไม้ (Fiber) ● เชื้อเพลิง (Fuelwood) ● ชีวเคมี (Biochemical) ● แหล่งพันธุกรรม (Genetic Resources)	● การควบคุมสภาพภูมิอากาศ (Climate Regulation) ● การควบคุมโรค (Disease Regulation) ● คุณภาพน้ำ	● การเกิดดิน (Soil formation) ● การหมุนเวียนธาตุอาหาร (Nutrient cycle) ● ผลผลิตปฐมภูมิ (Primary production)	● การพักผ่อนหย่อนใจ ● สุนทรียภาพ ● ท่องเที่ยว ● คุณค่าทางจิตใจ-จิตวิญญาณ

(ดัดแปลงจาก Millennium Ecosystem Assessment : MA, 2003)

2.2 กฎหมายและนโยบายที่เกี่ยวข้องกับการฟื้นฟูป่าไม้

2.2.1 กฎหมายที่เกี่ยวข้อง

พระราชบัญญัติป่าสงวนแห่งชาติ พุทธศักราช 2507 ตามมาตรา 16(3) อธิบดีโดยอนุมัติรัฐมนตรีมีอำนาจอนุญาตให้บุคคลหนึ่งบุคคลใดเข้าทำประโยชน์หรืออยู่อาศัยในเขตป่าสงวนแห่งชาติได้ ในกรณีดังต่อไปนี้

1) การเข้าทำประโยชน์หรืออยู่อาศัยในเขตป่าสงวนแห่งชาติคราวละไม่น้อยกว่าห้าปีแต่ไม่เกินสามสิบปี ในกรณีที่ผู้ได้รับอนุญาตเป็นส่วนราชการหรือรัฐวิสาหกิจ ตามกฎหมายว่าด้วยวิธีการงบประมาณ จะอนุญาตโดยให้ยกเว้นค่าธรรมเนียมทั้งหมดหรือบางส่วนตามที่เห็นสมควรก็ได้

2) การเข้าทำประโยชน์เกี่ยวกับการทำเหมืองแร่ตามกฎหมายว่าด้วยแร่คราวละไม่เกินสิบปี โดยให้ได้รับยกเว้นไม่ต้องขอรับใบอนุญาตเก็บหาของป่าและไม้ต้องเสียค่าภาคหลวงของป่าตามพระราชบัญญัตินี้ สำหรับแร่ ดินขาว หรือหิน แล้วแต่กรณี

การขออนุญาตและการอนุญาตตามวรรคหนึ่ง ให้เป็นไปตามหลักเกณฑ์วิธีการและเงื่อนไขที่อธิบดีกำหนด โดยอนุมัติรัฐมนตรี

มาตรา 16 ทวิ ในกรณีที่ป่าสงวนแห่งชาติทั้งหมดหรือบางส่วนมีสภาพเป็นป่าไร่ร้างเก่าหรือทุ่งหญ้า หรือเป็นป่าที่ไม่มีไม้มีค่าขึ้นอยู่เลย หรือมีไม้ไม่มีค่าที่มีลักษณะสมบูรณ์เหลืออยู่เป็นส่วนน้อย และป่านั้นยากที่จะกลับฟื้นคืนดีตามธรรมชาติ ทั้งนี้โดยมีสภาพตามหลักเกณฑ์และเงื่อนไขที่รัฐมนตรีกำหนด โดยอนุมัติคณะรัฐมนตรีให้ถือว่าป่าสงวนแห่งชาติในบริเวณดังกล่าวเป็นป่าเสื่อมโทรม ถ้าทางราชการมีความจำเป็นต้องปรับปรุงฟื้นฟูสภาพป่าเสื่อมโทรม ให้รัฐมนตรีประกาศกำหนดเขตป่าเสื่อมโทรมทั้งหมด หรือบางส่วนเป็นเขตปรับปรุงป่าสงวนแห่งชาติ

ในเขตปรับปรุงป่าสงวนแห่งชาติ ถ้าบุคคลใดได้เข้าทำประโยชน์หรืออยู่อาศัยในเขตดังกล่าวอยู่แล้วจนถึงวันที่ประกาศกำหนดตามวรรคสอง

1) เมื่อบุคคลดังกล่าวร้องขอ และอธิบดีหรือผู้ซึ่งอธิบดีมอบหมายเห็นว่าบุคคลนั้นยังมีความจำเป็นเพื่อการครองชีพ อธิบดีหรือผู้ซึ่งอธิบดีมอบหมายมีอำนาจอนุญาตเป็นหนังสือ ให้บุคคลดังกล่าวทำประโยชน์และอยู่อาศัยต่อไปในที่ที่ได้ทำประโยชน์หรืออยู่อาศัยอยู่แล้วนั้นได้ แต่ต้องไม่เกินยี่สิบไร่ต่อหนึ่งครอบครัวและมีกำหนดเวลาคราวละไม่น้อยกว่าห้าปีแต่ไม่เกินสามสิบปีทั้งนี้ โดยได้รับการยกเว้นค่าธรรมเนียมสำหรับคราวแรก คราวต่อ ๆ ไปต้องเสียค่าธรรมเนียม

2) บุคคลซึ่งได้รับอนุญาตตาม 1) อาจขออนุญาตปลูกป่าหรือไม้ยืนต้นในที่ที่ตนเคยทำประโยชน์หรืออยู่อาศัยในเขตปรับปรุงป่าสงวนแห่งชาติเพิ่มเติมจากที่ได้รับอนุญาตแล้วโดยพิสูจน์ให้เห็นว่าตนมีความสามารถ และมีเครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่จะปลูกป่าหรือไม้ยืนต้นตามที่ขอเพิ่มนั้นได้ อธิบดีหรือผู้ซึ่งอธิบดีมอบหมายมีอำนาจอนุญาตเป็นหนังสือให้ปลูกป่าหรือไม้ยืนต้นได้ แต่ต้องไม่เกิน

สามสิบห้าไร่ต่อหนึ่งครอบครัว และมีกำหนดเวลาคราวละไม่น้อยกว่าห้าปี แต่ไม่เกินสามสิบปีและต้องเสียค่าธรรมเนียมตามที่กฎหมายกำหนดไว้

พระราชบัญญัติแร่ พุทธศักราช 2560 มาตรา 19 เพื่อประโยชน์ในการบริหารจัดการแร่ การอนุญาตให้ทำเหมืองให้พิจารณาอนุญาตได้เฉพาะในพื้นที่ที่แผนแม่บทการบริหารจัดการแร่กำหนดให้เป็นเขตแหล่งแร่เพื่อการทำเหมืองมีความคุ้มค่าในทางเศรษฐกิจ และสอดคล้องกับนโยบายและยุทธศาสตร์ที่กำหนดไว้ในแผนแม่บทการบริหารจัดการแร่ และในกรณีที่แหล่งแร่ใดมีศักยภาพในการพัฒนา แต่เทคโนโลยีที่จะใช้ในการทำเหมือง และมาตรการป้องกันผลกระทบต่อคุณภาพสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของประชาชนยังไม่เหมาะสม ให้สงวนแหล่งแร่นั้นไว้จนกว่าจะมีเทคโนโลยี และมาตรการป้องกันผลกระทบต่อคุณภาพสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของประชาชนที่เหมาะสม ในกรณีการทำเหมืองที่อาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของประชาชนสูง ในการอนุญาตต้องกำหนดให้มีการจัดทำแนวพื้นที่กันชนการทำเหมือง และจัดทำข้อมูลพื้นฐาน

กฎกระทรวงตามวรรคสามต้องกำหนดหลักเกณฑ์ในการพิจารณาอนุญาตให้สอดคล้องกับบทบัญญัติ ในมาตรา 19 โดยต้องกำหนดหลักเกณฑ์ในการพิจารณาความคุ้มค่าในทางเศรษฐกิจ ความเหมาะสมของเทคโนโลยีที่ใช้ในการทำเหมือง ความเหมาะสมของมาตรการป้องกันผลกระทบต่อคุณภาพสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของประชาชน รวมทั้งการพิจารณาแผนการฟื้นฟู การพัฒนา การใช้ประโยชน์และการเฝ้าระวัง

2.2.2 นโยบายด้านสิ่งแวดล้อมในระดับนานาชาติ

Sustainable Development Goals: SDGs (2015)

Sustainable Development Goals หรือเป้าหมายแห่งการพัฒนาอย่างยั่งยืนในกรอบของสหประชาชาติซึ่งได้มาแทนเป้าหมายแห่งการพัฒนาฉบับเดิม ที่มีชื่อว่า Millennium Development Goals: (MDGs) หรือ เป้าหมายการพัฒนาแห่งสหัสวรรษ สำหรับเป้าหมายของการพัฒนาใหม่นี้เป็นเป้าหมายระดับนานาชาติ เพื่อการพัฒนาอย่างยั่งยืน(United Nation Development Program, 2016)

จากการพิจารณาเป้าหมายในการดำเนินการงานวิจัยเพื่อให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้เพื่อให้บรรลุเป้าหมายในการฟื้นฟูพื้นที่เสื่อมโทรมให้เป็นพื้นที่ที่มีระบบนิเวศดังเดิมและสามารถให้ประโยชน์ในด้านบริการของระบบนิเวศแก่ชุมชนบริเวณโดยรอบพื้นที่เสื่อมโทรม ซึ่งสอดคล้องกับกับเป้าหมายที่ 15 ของเป้าหมายแห่งการพัฒนาอย่างยั่งยืน คือ การปกป้อง ฟื้นฟู และส่งเสริมการใช้ประโยชน์จากระบบนิเวศทางบกอย่างยั่งยืน จากความเสื่อมโทรมของที่ดินและการแปรสภาพของที่ดินทำให้มีความหลากหลายทางชีวภาพลดลง ซึ่งเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals: SDGs) มุ่งมั่นที่จะอนุรักษ์และฟื้นฟูประโยชน์จากระบบนิเวศทางบก อาทิ ป่า

ไม้ พื้นที่ชุ่มน้ำ พื้นที่กึ่งแห้งแล้ง และภูเขา ภายในปี 2563 เพื่อการส่งเสริมการจัดการป่าอย่างยั่งยืน และแก้ไขการตัดไม้ทำลายป่าก็เป็นสิ่งสำคัญที่จะช่วยบรรเทาผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ ควรต้องดำเนินการอย่างเร่งด่วนเพื่อที่จะลดการสูญเสียถิ่นที่อยู่อาศัยตามธรรมชาติและความหลากหลายทางชีวภาพที่ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของมรดกทางวัฒนธรรมร่วมกันของเรา

Aichi Biodiversity Targets (2011-2020)

Aichi Biodiversity Targets หรือเป้าหมายเกี่ยวกับความหลากหลายทางชีวภาพ ให้ความสำคัญในเรื่องการอนุรักษ์ฟื้นฟู และการใช้ประโยชน์จากระบบนิเวศ เพื่อให้บริการเชิงนิเวศดำรงอยู่ในสภาพที่สมบูรณ์ และเกิดประโยชน์ต่อมนุษย์อย่างยั่งยืน ถูกสร้างขึ้นและใช้เป็นยุทธศาสตร์แผนความหลากหลายทางชีวภาพ 2011-2020 ในการประชุมครั้งที่ 10 ของการประชุมของประเทศภาคีจัดขึ้นเมื่อเดือนตุลาคม 2553 ณ เมืองนาโกย่าประเทศญี่ปุ่น โดยมีเป้าหมาย 20 เป้าหมาย และ 5 เป้าประสงค์ทางกลยุทธ์ โดยแบ่งเป้าประสงค์เป็น 5 กลยุทธ์ (Canadian Parks Council., 2007) ดังนี้

1) เป้าประสงค์ทางกลยุทธ์ A ระบุถึงสาเหตุของการสูญเสียความหลากหลายทางชีวภาพโดยการนำหลักความหลากหลายทางชีวภาพไปสู่ภาครัฐและสังคม

2) เป้าประสงค์ทางกลยุทธ์ B ลดแรงกดดันโดยตรงต่อความหลากหลายทางชีวภาพและส่งเสริมการใช้อย่างยั่งยืน

3) เป้าประสงค์ทางกลยุทธ์ C เพื่อปรับปรุงสถานะความหลากหลายทางชีวภาพโดยการปกป้องระบบนิเวศ, ชนิด และความหลากหลายทางพันธุกรรม

4) เป้าประสงค์ทางกลยุทธ์ D เพิ่มประโยชน์ให้กับทุกคนจากความหลากหลายทางชีวภาพและบริการระบบนิเวศ

5) เป้าประสงค์ทางกลยุทธ์ E เพิ่มประสิทธิภาพการดำเนินงานผ่านการวางแผนแบบมีส่วนร่วมการจัดการความรู้และการเสริมสร้างศักยภาพ

จากการพิจารณาเป้าหมายในการดำเนินการงานวิจัยเพื่อให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้เพื่อให้บรรลุเป้าหมายในการฟื้นฟูพื้นที่เสื่อมโทรมให้เป็นพื้นที่ที่มีระบบนิเวศดังเดิมและสามารถให้ประโยชน์ในด้านบริการของระบบนิเวศแก่ชุมชนบริเวณโดยรอบพื้นที่เสื่อมโทรม ซึ่งสอดคล้องกับกับเป้าประสงค์ทางกลยุทธ์ D ของ Aichi Biodiversity Targets ซึ่งตรงกับเป้าหมายที่ 14 คือ ระบบนิเวศให้บริการในด้านน้ำ, การดำรงชีวิต และความเป็นอยู่ที่ดี โดยการฟื้นฟูและปกป้องโดยคำนึงถึงความต้องการของชนพื้นเมือง, ชุมชนท้องถิ่น, ท้องถิ่น และคนยากจน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.3 นิเวศวิทยาป่า (Forest Ecology)

2.3.1 ชนิดของระบบนิเวศป่า (Type of forest ecosystem)

ระบบนิเวศป่า (Forest ecosystem)

ป่าไม้เป็นระบบนิเวศที่มีลักษณะของระบบนิเวศที่สำคัญสะท้อนให้เห็นถึงการลักษณะเด่นของระบบสภาพระบบนิเวศและกระบวนการโดยต้นไม้ ระบบนิเวศมีคุณลักษณะของโครงสร้าง (structure), หน้าที่ (function), ปฏิสัมพันธ์ของส่วนประกอบ (component parts), ความซับซ้อน (complexity) ที่สะท้อนให้เห็นถึงโครงสร้าง หน้าที่และการมีปฏิสัมพันธ์และมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา

โครงสร้างระบบนิเวศป่าไม้ (Forest ecosystem structure)

ระบบนิเวศป่าไม้ประกอบด้วย

(1) ดิน (soil) หรือพื้นผิวทางธรณีวิทยา(geological) หรือวัสดุที่เป็นสารอินทรีย์ (organic substrate) ที่ต้นไม้หรือพืชชนิดอื่นสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้

(2) สภาพภูมิอากาศตามความลาดชัน (slope) และด้าน (aspect) ลดความเร็วลมและความชื้นที่สร้างขึ้นโดยต้นไม้

(3) สิ่งมีชีวิตรวมทั้งพืช โครงสร้างของระบบนิเวศป่าไม้สะท้อนให้เห็นถึง สิ่งมีชีวิตเริ่มจากมอส (mosses), ลิเวอร์เวิร์ต (liverwort), ไลเคน (lichens), หญ้า (grasses), พุ่มไม้ (shrubs) และไม้เลื้อย (climber) รวมทั้งต้นไม้ชนิดต่างๆ ในป่าผลัดใบ (deciduous) และป่าดงดิบ (evergreen), ป่าสน (coniferous) พืชเมล็ดเปลือย (gymnosperm) และไม้ใบใหญ่ (broadleaved) ตามลำดับ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประเภทและชนิดของป่าไม้ในประเทศไทย ในทางนิเวศวิทยา “ป่าไม้” คือ สังคมของสิ่งมีชีวิตที่มีไม้ยืนต้นเป็นองค์ประกอบหลัก (ชัยวัฒน์ คงสม, 2548) โดยพันธุ์ไม้ยืนต้นเหล่านั้นอาจเป็นไม้ประเภทผลัดใบ (deciduous tree/shrub) หรือไม้ไม่ผลัดใบ (evergreen tree/shrub) ขึ้นผสมปนเปในสัดส่วนที่แตกต่างกันไปในแต่ละพื้นที่ ทั้งนี้ไม้ไม่ผลัดใบ (evergreen tree/shrub) คือ พันธุ์ไม้ที่มีใบติดอยู่ตามกิ่งก้านตลอดทั้งปี พันธุ์ไม้เหล่านี้จะทยอยทิ้งใบและแตก ใบใหม่ขึ้นอย่างต่อเนื่องตลอดทั้งปีในขณะที่ไม้ผลัดใบ (deciduous plants) คือ พันธุ์ไม้ที่มีการทิ้งใบเกือบทั้งหมดพร้อมกันในช่วงสิ้นสุดฤดูกาลเจริญเติบโต และจะเริ่มแตกใบใหม่พร้อมกันอีกครั้งในช่วงต้นฤดูกาลเจริญเติบโตของปีถัดไป (The American Heritage, 2548) ซึ่งประเภทของป่าในประเทศไทย ป่าไม้ของประเทศไทยสามารถจำแนกออกได้เป็นสองประเภทใหญ่ๆ คือ ป่าไม่ผลัดใบ (evergreen forest) และป่าผลัดใบ (deciduous forest) ได้แก่

(1) ป่าไม่ผลัดใบ (evergreen forest) คือ ป่าที่มีลักษณะเรือนยอดที่เขียวชอุ่มตลอดทั้งปี แม้จะมีพันธุ์ไม้ผลัดใบขึ้นแทรกในชั้น เรือนยอดที่เขียวชอุ่มอยู่บ้าง แต่โดยภาพรวมจะสังเกตเห็นเรือน

ยอดเป็นสีเขียวต่อเนื่องตลอดทั้งปี การกระจายของป่าไม่ผลัดใบในประเทศไทยพบว่าป่าประเภทนี้สามารถขึ้นกระจายได้ทั่วทุกภาคของประเทศ โดยจะกระจายจำกัดอยู่ในบริเวณที่มีความชื้นในบรรยากาศสูงตลอดทั้งปีเท่านั้น (ชัยวัฒน์ คงสม, 2558)

(2) ป่าผลัดใบ (deciduous forest) ป่าผลัดใบเป็นป่าที่พันธุ์ไม้ส่วนใหญ่จะผลัดใบตามฤดูกาล (seasonal) โดยจะผลัดใบในช่วงฤดูแล้ง และผลิใบอ่อนใหม่ในช่วงต้นฤดูฝน ทั้งนี้ในช่วงฤดูฝนลักษณะเรือนยอดของป่าจึงดูเขียวชอุ่มไม่แตกต่างจาก เรือนยอดของป่าไม้ไม่ผลัดใบ แต่ในช่วงฤดูแล้ง (มกราคมถึงมีนาคม) พันธุ์ไม้ส่วนใหญ่จะทิ้งใบให้ร่วงหล่นและ กองทับถมบนพื้นป่า จึงง่ายต่อการเกิดไฟป่าในป่าประเภทนี้ การกระจายของป่าผลัดใบพบว่าสามารถพบ กระจายได้ทั่วทุกภาค ยกเว้นภาคใต้และภาคตะวันออกเฉียงใต้ (จันทบุรีและตราด) ในพื้นที่ที่มีระดับความสูงไม่ เกิน 1,000 เมตร ปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อการเกิดป่าผลัดใบ (ชัยวัฒน์ คงสม, 2558)

ความเสื่อมโทรมของดิน (Soil degradation)

ความเสื่อมโทรมของดินจากการทำลายดินซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการกำเนิดชีวิตในระบบนิเวศ ดินเป็นพื้นฐานของสิ่งมีชีวิตที่สำคัญในการอาศัยในระบบนิเวศ และทำหน้าที่เป็นตัวกลางหมุนเวียนธาตุอาหาร ในสิ่งมีชีวิต ทั้งพืช สัตว์ และจุลินทรีย์ ในวัฏจักรน้ำและอากาศเป็นแหล่งกักเก็บและส่งธาตุอาหารหลัก (primary nutrient elements) และธาตุอาหารรอง (secondary nutrient elements) ช่วงว่างระหว่างอนุภาคดินทำหน้าที่เป็นทางผ่านก๊าซออกซิเจน และกักเก็บความชื้นในการเติบโตของสิ่งมีชีวิต ซึ่งต้องอาศัยระยะเวลาหลายๆปีในการกำเนิดชั้นดิน โดยโครงสร้างและหน้าที่แตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น วัตถุกำเนิด สภาพความลาดชันและการสะสมชั้นดิน โดยการพัดพาตะกอนของน้ำผิวดิน การสะสมบนชั้นดินที่มีความหนาและอินทรียวัตถุในปริมาณมาก ทำให้พืชมีการเจริญเติบโตได้ดี และมีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) คงที่ ซึ่งบริเวณพื้นที่เสื่อมโทรมพบว่ามีปัญหาหลักมาจากสภาพดินไม่เหมาะสม สามารถแบ่งประเภทความเสื่อมโทรมดังนี้

1) ดินที่ขาดธาตุอาหาร เนื่องจากการทำลายหน้าดินจากกิจกรรม เช่น การปลูกพืชเชิงเดี่ยวและกิจกรรมการทำเหมือง

2) ดินที่ปนเปื้อนสารอันตราย เช่น โลหะหนัก สารเคมีอินทรีย์ จากพื้นที่การทิ้งกากสารพิษไม่ถูกต้องตามหลักสุขาภิบาล

3) ดินที่ขาดธาตุอาหารและปนเปื้อนสารอันตราย เช่น ในพื้นที่ทำเหมือง

ดิน (soil) คือ วัตถุที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติรวมตัวกันเป็นชั้นจากส่วนผสมของแร่ธาตุต่างๆ ที่สลายตัวเป็นชิ้นเล็กชิ้นน้อยรวมตัวกับอินทรียวัตถุที่สลายตัวเน่าเปื่อยผุพังอยู่รวมกันเป็นชั้นบางๆ ห่อหุ้มผิวโลกและดินที่เมื่อมีอากาศและน้ำปริมาณที่เหมาะสมจะช่วยในการกำเนิดและการยังชีพและ

การเจริญเติบโตของพืช (1) อุณหภูมิ (temperature) รากของพืชเจริญเติบโตได้ดีที่สุดในช่วงอุณหภูมิของดินที่แน่นอน รากพืชส่วนใหญ่อยู่ในอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ถึง 10 องศาเซลเซียส รากของหญ้าที่ปลูกฤดูหนาวหยุดการเจริญเติบโตที่อุณหภูมิดินสูงกว่า 29 องศาเซลเซียส การงอกของเมล็ดต่อขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของดิน อุณหภูมิของดินและระดับอากาศเหนือพื้นดินถูกควบคุมโดยกลไกการแลกเปลี่ยนความร้อน (2) อนินทรียวัตถุ (inorganic matter) เป็นชิ้นส่วนสลายตัวโดยทางเคมี ทางฟิสิกส์และทางชีวเคมีของแร่และหินแร่ต่างๆในดิน 100 ส่วน จะมีอนินทรียวัตถุประมาณ 45% โดยปริมาตร (3) อินทรียวัตถุ (organic matter) เป็นชั้นส่วนที่เกิดจากการเน่าเปื่อยผุพังสลายตัวของสิ่งมีชีวิต เช่น เศษพืชและสัตว์ที่ทับถมกันอยู่ และในดิน 100 ส่วน จะมีอินทรียวัตถุประมาณ 5 % ปริมาตร (4) น้ำ (water) ในช่องว่างของก้อนดินหรืออนุภาคดินซึ่งน้ำที่มาจากการระเหยแล้วเกิดเป็นฝนช่วยทำให้ดินมีความชุ่มชื้น ซึ่งน้ำบางส่วนซึมลงไปใต้ดินกลายเป็นน้ำบาดาล (Groundwater) เมื่อมีความชื้นบนพื้นดิน ซึ่งน้ำบางส่วนถูกเก็บไว้สำหรับพืช (5) อากาศ (air) นอกจากจะมีน้ำอยู่ระหว่างช่องว่างของก้อนดินหรืออนุภาคของดิน ยังมีอากาศร่วมอยู่ด้วยประมาณ 25 % โดยปริมาตร ซึ่งรากพืชและสิ่งมีชีวิตในดินอื่น ๆ จำเป็นต้องใช้ออกซิเจนและปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากการหายใจ และแบคทีเรียในดินที่สำคัญบางชนิดต้องการก๊าซไนโตรเจนอีกด้วย (6) จุลินทรีย์ (microorganisms) เป็นพวกสิ่งมีชีวิตที่เล็กมาก เช่น เชื้อรา, แบคทีเรีย ฯลฯ ทำหน้าที่ย่อยสลายอินทรียวัตถุย่อยสลายกลายเป็นแร่ธาตุในดิน เช่น ฟอสเฟต เมื่อจุลินทรีย์ย่อยสลายเศษซากพืช-สัตว์เป็นการปลดปล่อยแอมโมเนียม, ไนเตรต, ซัลเฟต ออกมาเป็นประโยชน์ต่อพืช เป็นต้น

2.3.2 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการพัฒนาชนิดของระบบนิเวศป่าไม้

ปัจจัยสภาพภูมิอากาศ

ปัจจัยสภาพภูมิอากาศประกอบด้วยปัจจัยเกี่ยวกับฤดูกาล ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปี และการกระจายของฝน ซึ่งเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดระบบนิเวศป่าชนิดต่างๆ เช่น ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปีอยู่ที่ 1,000-1,500 มม. เกิดระบบนิเวศป่าผสมผลัดใบ ได้แก่ ป่าเบญจพรรณ และป่าเต็งรัง ซึ่งพบได้ทางภาคเหนือของประเทศไทย เป็นต้น (ชัยวัฒน์ คงสม, 2558)

ปัจจัยด้านแสง

แสงเป็นปัจจัยสิ่งแวดล้อมมีอิทธิพลต่อกระบวนการสังเคราะห์แสงของต้นไม้ โดยอาศัยปัจจัยในด้านแสง (wave length) ความเข้มแสง (light intensity) และ ระยะเวลาที่มีแสง (photoperiod) เมื่อมีอัตราการสังเคราะห์แสงมากขึ้น ความเข้มแสงเพิ่มขึ้นจนถึงจุดอิ่มตัวของแสง (light saturation) ซึ่งอัตราการสังเคราะห์จะเริ่มคงที่เรียกว่าอัตราการสังเคราะห์แสง สูงสุด (light saturated photosynthesis) พรรณไม้ แต่ละชนิดมีจุดอิ่มตัวของแสงที่แตกต่างกัน โดยทั่วไป พรรณไม้ที่

ต้องการแสงจะมีจุดอิ่มตัวของแสงสูงกว่า ต้นไม้ที่ทนร่ม แต่ที่ระดับความเข้มแสงต่ออัตราการสังเคราะห์แสงของต้นไม้ที่ทนร่มจะมีค่าสูงกว่าต้นไม้ ที่ต้องการแสง (นรากร และสาพิศ, 2554)

ปัจจัยด้านดิน

ดินเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดระบบนิเวศป่าชนิดต่างๆ เช่น ในพื้นที่ดินมีความลึกไม่มาก แห้งแล้ง และไม่สามารถเก็บความชุ่มชื้นได้ ลักษณะดินเช่นนี้มีอิทธิพลต่อการเกิดระบบนิเวศป่าเบญจพรรณหรือป่าเต็งรังได้ และถ้าดินเป็นดินเลนบริเวณปากแม่น้ำมีอิทธิพลต่อการเกิดระบบนิเวศป่าชายเลนหรือป่าโกงกาง เป็นต้น (ชัยวัฒน์ คงสม, 2558)

2.4 ระบบนิเวศดิน

2.4.1 โครงสร้างดิน (Soil structure)

โครงสร้างโดยเฉพาะอย่างยิ่ง ขนาดเม็ดดิน ที่สามารถมีผลในการควบคุมคุณสมบัติทางฟิสิกส์อื่นๆ ของดิน การจำแนกประเภทเนื้อดิน (soil texture) กำหนดจากสัดส่วนโดยมวลของอนุภาคอนินทรีย์ 3 กลุ่ม (soil separates) คือ ดินเหนียวเป็นดินที่มีเนื้อละเอียด มีการระบายน้ำและอากาศไม่ดี แต่สามารถอุ้มน้ำ ดูดยึด และแลกเปลี่ยนธาตุอาหารพืชได้ดี สามารถเก็บกักน้ำได้นาน ดินร่วนเป็นดินที่เนื้อดินค่อนข้างละเอียด มีการระบายน้ำได้ดีปานกลาง จัดเป็นเนื้อดินที่มีความเหมาะสมสำหรับการเพาะปลูก ดินทรายเป็นดินที่มีอนุภาคขนาดทรายเป็นองค์ประกอบอยู่มากกว่าร้อยละ 85 เนื้อดินมีการเกาะตัวกันหลวมๆ ไม่สามารถอุ้มน้ำได้

นอกจากนี้โครงสร้างดินมีความสำคัญบ่งบอกถึงระบบนิเวศของจุลินทรีย์ในดินบริเวณนั้น เพราะ เพราะสภาพพื้นผิวของดินมีผลต่อการเป็นที่อยู่อาศัยและการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในดิน และยังช่วยให้มีการซึมซับน้ำและสารอื่นๆที่มีผลการอยู่อาศัยของจุลินทรีย์ (สุบัณฑิต นิ่มรัตน์, 2549) และดินเป็นโครงสร้างหลักในการกำหนดประเภทระบบของนิเวศตามธรรมชาติ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริเวณที่เป็นแหล่งสิ่งมีชีวิตที่หลากหลาย ที่มีความสัมพันธ์ในการถ่ายทอดพลังงานระหว่างหน่วยต่างๆ ของโครงสร้างในระบบนิเวศมีความซับซ้อน เช่น ความซับซ้อนของสายใยอาหาร (food webs) ที่เกี่ยวข้องกับสิ่งมีชีวิตที่มีความสำคัญหรือที่มีมูลค่าทางเศรษฐกิจ ได้รับผลกระทบจากกิจกรรมมนุษย์ เช่น การทำเหมืองแร่ การสร้างถนน ระบบระบายน้ำ หรือการพัฒนาเป็นพื้นที่ประกอบการธุรกิจ (Mitsch, and Gosselink, 1993) ซึ่งกิจกรรมเหล่านี้สามารถทำให้เกิดการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมภายในระบบนิเวศ เช่น การปนเปื้อนสารประกอบไฮโดรคาร์บอน (hydrocarbon substances) การปนเปื้อนโลหะหนัก (heavy metals) ซึ่งต้องมีการฟื้นฟูพื้นที่ (cleaned up) หรือบรรเทาผลกระทบการปนเปื้อน (remediation) ดังนั้นการทำลายระบบนิเวศธรรมชาติเดิมด้วยกิจกรรมมนุษย์นั้นสามารถก่อผลกระทบต่อคุณภาพของระบบนิเวศ ซึ่งเคยเป็นที่อาศัยตามธรรมชาติของสัตว์ต่างๆ เช่น

การทำลายที่อาศัย ที่ผสมพันธุ์และที่หลบภัยของสัตว์น้ำ (Boesch, and Turnar, 1984; Kneib, 1997; Rozas, McIvor, and Odum, 1988) พืชและสัตว์ป่า (Maiti, 2013b) หรือก่อผลกระทบต่อพื้นที่อยู่อาศัยของมนุษย์เอง เช่น การควบคุมคุณภาพของแหล่งน้ำให้มีความเหมาะสมต่อความต้องการของมนุษย์ การควบคุมระบบการระบายน้ำ การควบคุมการพังทลายของดิน (Whitaker, and Terrell, 1992) ดังนั้น จึงเกิดความพยายามในการฟื้นฟูพื้นที่เสื่อมโทรม (Wong, Wong, and Baker, 1999) โดยเฉพาะพื้นที่ระบบนิเวศที่เป็นพื้นที่อ่อนไหวอ่อนไหว เช่น ป่าชายเลน (Broome, Seneca, and Woodhouse, 1988; Whitaker, and Terrell, 1992) หรือระบบนิเวศที่เป็นป่าต้นน้ำลำธาร (Maiti, 2013b) ที่เกิดความเสื่อมโทรมจากกิจกรรมการทำเหมืองแร่

2.4.2 ความหนาแน่นของดิน (Bulk density of soil)

ความหนาแน่นของดินปัจจัยที่มีความสำคัญมีผลต่อช่องว่างในดิน (soil pores) ทำให้เกิดการระบายน้ำในดิน (land drainage) คาร์บอนในดิน และการสะสมธาตุอาหารในดิน (Ellert B. H., and Bettan J. R., 1995; Shiri J., Keshavarzi A., Kisi O., Karimi S., and Viveros U. I., 2017) ซึ่งความหนาแน่นของดินสามารถเป็นตัวชี้วัดโครงสร้างดินบริเวณนั้น ๆ (Vishkaee F. M., Mohammadi M. H., and Vanclooster M., 2014)

2.4.3 สมบัติทางเคมีของดิน (Chemical characteristic of soil)

สมบัติทางเคมีของดินขึ้นอยู่กับส่วนประกอบชนิดต่างๆ ในดินโดยเฉพาะอย่างยิ่ง สารอินทรีย์ในดิน ซึ่งได้มาจากการย่อยสลายของซากพืชซากสัตว์ของจุลินทรีย์ในดิน และส่วนประกอบที่สำคัญของสารอินทรีย์คือฮิวมัส (humus) โดยสารฮิวมัสคือสารที่มีการเปลี่ยนแปลงซากพืชซากสัตว์ให้เปลี่ยนรูปจนไม่สามารถจำแนกรูปร่างเดิมได้และการเกิดสารฮิวมัส (humification) ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกคือ การย่อยสลายพวกสารอินทรีย์ขนาดใหญ่โดยจุลินทรีย์ให้กลายเป็นสารโมเลกุลเดียว (monomeris constituents) เช่น สารฟีนอล ควิโนน กรดอะมิโน น้ำตาล ต่อจากนั้นจะค่อยๆ เกิดการพอลิเมอไรซ์พวกสารโมเลกุลเดียว โดยปฏิกิริยาทางเคมีออโตออกซิเดชัน (autooxidation) และปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยเอ็นไซม์จากจุลินทรีย์ เช่น เอนไซม์แลกเคส (Laccases) และเอนไซม์เพอร์ รอกซิเดส (peroxidases) ทำให้เกิดฮิวมัสขนาดใหญ่ (สุบัณฑิต นิ่มรัตน์, 2549)

ส่วนประกอบของดิน (soil components) ดินเป็นสารประกอบที่มีความสลับซับซ้อนและแตกต่างกันไปในแต่ละพื้นที่หรือแม้แต่ในบริเวณเดียวกัน

แร่ธาตุ (minerals) ในหินตั้งต้นมีปริมาณแร่ธาตุต่างๆ เมื่อมีการผุพังของหิน เช่น สารซิลิคอน อะลูมินัม และแร่เหล็ก จะกลายเป็นส่วนประกอบหลักของดินนั้นๆ

ธาตุอาหาร (nutirents) ซึ่งไม่รวมถึง คาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน ในดินที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช มี ๑๖ ชนิด โดยแบ่งออกเป็นสองกลุ่ม

มหธาตุ (macronutrients) แบ่งออกเป็นสองกลุ่มตามลักษณะการมีอยู่ในดิน

ธาตุอาหารหลัก หรือ ธาตุปุ๋ย ได้แก่ ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม (K) เนื่องจากสามธาตุนี้พืชต้องการใช้ในปริมาณมากและดูดดึงไปใช้ประโยชน์

ธาตุอาหารรอง ได้แก่ แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) และกำมะถัน (S) เป็นกลุ่มที่พืชต้องการใช้ในปริมาณมากแต่น้อยกว่ากลุ่มธาตุอาหารหลัก

จุลธาตุ (micronutrients หรือ trace minerals) เป็นธาตุอาหารเสริมที่พืชต้องการใช้ในปริมาณน้อย มีอยู่ 7 ธาตุ ได้แก่ เหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) โบรอน (B) โมลิบดินัม (Mo) ทองแดง (Cu) สังกะสี (Zn) และคลอรีน (Cl) อาจรวมถึง แวนนาเดียม (V), ทังสะเตน (T) และ โซเดียม (Na)

2.4.4 อินทรียวัตถุในดิน (Soil organic matter)

อินทรียวัตถุในดินเป็นสารที่ประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมันและสารอื่นๆ เป็นองค์ประกอบสำคัญของดินที่มีอิทธิพลต่อสมบัติต่างๆ ของดินทั้งทางเคมี ฟิสิกส์ และชีวภาพ ซึ่งจะส่งผลต่อความอุดมสมบูรณ์ของดินและความสามารถในการให้ผลผลิตของดิน รวมทั้งการพัฒนาระบบนิเวศ (ecosystem) ของแต่ละสภาพแวดล้อมโดยตรง อินทรียวัตถุในดินหรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ฮิวมัส (humus) เกิดจากส่วนของซากพืชหรือสัตว์ที่กำลังสลายตัว เซลล์จุลินทรีย์ยังมีชีวิตอยู่และส่วนที่ตายแล้ว ตลอดจนสารอินทรีย์ที่ได้จากการย่อยสลาย หรือส่วนที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นมาใหม่ แต่ไม่รวมถึงรากพืชหรือเศษซากพืชหรือสัตว์ที่ยังไม่ย่อยสลาย และจากการวิเคราะห์สารประกอบส่วนที่เป็นคาร์บอนพบว่า โดยทั่วไปอินทรียวัตถุในดินจะประกอบด้วย

- สารประกอบพวกคาร์โบไฮเดรต ประมาณ 10 – 20%
- สารที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ เช่น กรดอะมิโน (amino acid) และน้ำตาลอะมิโน (amino sugar) ประมาณ 20%
- สารประกอบ aliphatic fatty acid, alkane ฯลฯ ประมาณ 10 – 20%
- ส่วนประกอบพวก aromatic compound

2.4.5 ความเป็นกรดเป็นด่างของดิน (Soil pH)

ความเป็นกรดเป็นด่างของดินไม่มีผลโดยตรงต่อการเจริญเติบโตของพืช แต่จะมีผลทางอ้อมต่อการเจริญเติบโตของพืช คือ เป็นตัวควบคุมปริมาณธาตุอาหารพืชที่ละลายออกมาในสารละลายดิน ถ้าละลายออกมามากเกินไปก็อาจเป็นอันตรายต่อพืชแต่ถ้าละลายออกมาน้อยเกินไปก็ทำให้พืชขาดธาตุอาหารที่จำเป็นได้ นอกจากนี้ ความเป็นกรดเป็นด่างยังมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตและการ

ทำงานของจุลินทรีย์ดิน จุลินทรีย์พวกแบคทีเรียจะเจริญเติบโตในดินที่มีปฏิกิริยาดินใกล้ๆ 7.0 ส่วนเชื้อราจะเจริญได้ดีในดินที่ค่อนข้างเป็นกรด

2.4.6 ความชื้นในดิน (Soil moisture)

ความชื้นหรือปริมาณน้ำในดิน แทรกอยู่ตรงกลางระหว่างอนุภาคดิน และถูกดูดซับไว้ที่ผิวของอนุภาค ธาตุอาหารต่าง ๆ จะละลายอยู่ในน้ำ เพื่อให้สิ่งมีชีวิตต่าง ๆ นำไปใช้ประโยชน์ ปริมาณน้ำในดินขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำฝนที่ตก สภาพอากาศ การระบายน้ำ องค์ประกอบของดิน โครงสร้าง รากพืช และสิ่งมีชีวิตในดิน

2.4.7 อุณหภูมิดิน (Soil temperature)

อุณหภูมิของดินจะเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาตามสภาพปัจจัยต่าง ๆ ของภูมิอากาศ ชนิดของดิน ความชื้น ในดินความลึกและสภาพภูมิศาสตร์ นอกจากนี้อุณหภูมิดินมีความสำคัญต่อกระบวนการต่าง ๆ ของดิน ได้แก่ กระบวนการทางฟิสิกส์ (physical process) กระบวนการทางเคมี (chemical process) และกระบวนการทางชีวภาพ (biological process) กระบวนการทางฟิสิกส์ ที่เกี่ยวข้องได้แก่ การแลกเปลี่ยนความร้อนและก๊าซต่าง ๆ ระหว่างชั้นหน้าตัดดินและบรรยากาศ กระบวนการทางเคมีที่ขึ้นกับอุณหภูมิดินได้แก่ กระบวนการแตกตัว และกระบวนการรวมตัวของสารเคมีในดิน และกระบวนการทางชีวภาพที่สำคัญได้แก่ กระบวนการต่าง ๆของจุลินทรีย์และสิ่งที่มีชีวิตอื่น ๆในดิน ซึ่งจุลินทรีย์ในดินจะมีช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมในการดำเนินกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินและในรากพืช นอกจากนี้ยังมีผลต่อการงอกของเมล็ดพืช การเจริญเติบโตของพืชและกิจกรรมของการตรึงธาตุอาหารต่าง ๆ ในดิน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.4.8 สิ่งมีชีวิตในดิน (Soil microorganisms)

เนื่องจากดินเป็นแหล่งที่อยู่อาศัยของสิ่งมีชีวิตหลายชนิด และยังเป็นแหล่งสารอาหารชนิดต่างๆ สิ่งมีชีวิตกลุ่มใหญ่ที่มีบทบาทสำคัญในการหมุนเวียนสารอาหารในดินไปสู่สิ่งแวดล้อมอื่นๆ และมีบทบาทต่อความอุดมสมบูรณ์ของธาตุอาหารในดิน โดยเป็นผู้ย่อยสลายซากพืชซากสัตว์ (decomposition) โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารพอลิเมอร์ของพืช เช่น เซลลูโลสและลิกนิน ซึ่งแต่ละกลุ่มมีความสามารถในการย่อยสลายแตกต่างกันไป ได้แก่ แบคทีเรีย (bacteria) แอกทิโนไมซีท (actinomycetes) เชื้อรา (fungi) สาหร่าย (algae) ไซยาโนแบคทีเรีย (cyanobacteria) และโพรโทซัว (protozoa)

กิจกรรมการทำเหมืองแร่อาจกล่าวได้ว่าเป็นการทำลายคุณสมบัติของดินในระบบนิเวศ ซึ่งส่งผลต่อความสามารถในการให้บริการของระบบนิเวศในการหมุนเวียนสารอาหาร เพราะกระบวนการทำเหมืองแร่เกิดจากการขุดหรือเคลื่อนย้ายหน้าดินของระบบนิเวศบริเวณนั้นๆให้มีการ

ความสูญเสียไปและบริเวณเศษกองหินและดินที่ไม่ต้องการจากกระบวนการสกัดแร่มีการปนเปื้อนของโลหะหนัก และมีธาตุอาหารต่ำ ดังนั้นการฟื้นฟูพื้นทีเสื่อมโทรมมีการพัฒนาสภาพภูมิประเทศ เพื่อให้สามารถเอื้อต่อการสร้างระบบนิเวศใหม่ เริ่มจากการเตรียมดินให้มีความเหมาะสมในการเป็นตัวกลางให้พืชได้ยึดเกาะ และเป็นแหล่งธาตุอาหารและน้ำแก่พืช (Maiti, 2013b) เพื่อให้ระบบนิเวศเดิมกลับคืนมาและมีความยั่งยืน ซึ่งปัจจุบันการฟื้นฟูส่วนใหญ่มีการปลูกพืชท้องถิ่นมากกว่ากลไกการพัฒนาของสภาพการหมุนเวียนธาตุอาหาร, ปฏิกิริยาทางธรณีเคมี ที่เอื้อต่อกลไกของสิ่งมีชีวิต รวมถึงหน้าที่ของพืชที่จะปลูกในพื้นที่ในระบบนิเวศใหม่ ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการวางแผนและกิจกรรมการฟื้นฟูระบบนิเวศในพื้นที่เหมืองอย่างยั่งยืน อย่างไรก็ตาม พื้นที่เสื่อมโทรมจากการทำเหมืองแร่ ที่ดินขาดความอุดมสมบูรณ์ และมีสารพิษโลหะหนักปนเปื้อน เมื่อพื้นที่เสื่อมโทรมนี้ได้รับการฟื้นฟู จะเกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งสภาพแวดล้อม พืชที่ปลูกและการอยู่อาศัยของสิ่งมีชีวิตอื่นๆ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นนี้เกิดจากกลไกที่ซับซ้อนของกระบวนการชีวธรณีเคมี โดยบริเวณสำคัญอยู่ที่บริเวณเล็ก ๆ รอบรากพืชที่มีอิทธิพลต่อการดูดซึมโลหะหนักไปสู่พืชที่เจริญเติบโตในบริเวณพื้นที่ฟื้นฟูนั้น ๆ (จักรพันธ์ สุทธิรัตน์ และคณะ., 2558)

กระบวนการทางชีวธรณีเคมีเป็นการเปลี่ยนแปลง และเคลื่อนย้ายสารด้วยปฏิกิริยาทางชีวเคมีในอากาศ สิ่งมีชีวิตทุกชนิดมีส่วนร่วมในการเปลี่ยนแปลง ซึ่งจุลินทรีย์มีบทบาทในการทำให้เกิดปฏิกิริยาทางชีวเคมีหลายรูปแบบโดยมีแหล่งพลังงาน 2 แหล่ง คือพลังงานแสงอาทิตย์ และพลังงานจากสารเคมีในรูปของรีดิวซ์ สารแต่ละชนิดมีความสำคัญต่อสิ่งมีชีวิตซึ่งมี 6 ธาตุสำคัญ คือ คาร์บอน ไฮโรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และซัลเฟอร์ ล้วนมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปฏิกิริยาทางชีวเคมี (สุบัณฑิต นิ่มรัตน์, 2549) ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมจากการฟื้นฟูระบบนิเวศ ช่วยส่งเสริมให้กลไกทางชีวธรณีเคมีบริเวณรากพืชเกิดการทำงาน ทำให้พื้นที่เสื่อมโทรมที่มีการปนเปื้อนของโลหะหนักมีความเสี่ยงต่อการการดูดซึมโลหะหนักไปสู่พืช และสะสมในห่วงโซ่อาหารอื่นๆ ต่อไป โดยที่ปัจจัยต่าง ๆ ทางกายภาพและชีวภาพที่มีอิทธิพลต่อการเคลื่อนของโลหะหนักแล้วสะสมในพืช (Bryan, and Langston, 1992; Carbonell-Barrachina, Arabi, DeLaune, Gambrell, and Patrick, 1998; Doyle, and Otte, 1997; R. Gambrell, 1994) ได้แก่

ปัจจัยทางกายภาพ เช่น ชนิดและปริมาณโลหะหนักในสภาพต่างๆ (heavy metal speciation), ลักษณะดินและโครงสร้างดิน (soil properties), ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (organic matter) , ความเป็นกรด-ด่าง (pH), ความเค็ม (salinity) ในดิน ปัจจัยทางชีวภาพ เช่น ชนิดและอายุพืช กิจกรรมจุลินทรีย์ดิน รูปแบบของโลหะหนักเกิดขึ้นแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ และมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา โดยขึ้นอยู่กับความสามารถของโลหะหนักนั้นๆ เอง จากอิทธิพลของชีวภาพโดยตรง เช่น โดยการดูดซึมของพืช (plant uptake) (Burke, Weis, and Weis, 2000; Weis, and Weis, 2004) หรือโดยอ้อมที่ได้รับอิทธิพลจากความเปลี่ยนแปลงที่สามารถเกิดขึ้นในสิ่งแวดล้อมนั้น

(เช่น ลักษณะการปลดปล่อยของโปรตรอน ออกซิเจน สภาพรีดิวซ์ของเหล็กและซัลเฟต (Doyle, and Otte, 1997; R. P. Gambrell, Wiesepape, Patrick, and Duff, 1991; Otte, Kearns, and Doyle, 1995; Wright, and Otte, 1999). ดังนั้น ปัจจัยที่ไม่มีชีวิตและปัจจัยที่มีชีวิตจึงทำให้เกิดการปนเปื้อนในพืชที่สภาพแวดล้อมมีการเปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลา ตามวัฏจักรของธาตุอาหารต่างๆดังนี้

วัฏจักรคาร์บอน (Carbon cycle)

แหล่งสะสมคาร์บอนในสิ่งมีชีวิตบนดินในลักษณะของสารอินทรีย์ในดินซึ่งจะมีการตรึงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศโดยกระบวนการสังเคราะห์แสง (photosysthesis) โดยพืชบก และปล่อยกลับคืนสู่บรรยากาศโดยกระบวนการหายใจ (respiration) โดยสัตว์และจุลินทรีย์จากการย่อยสลายซากพืชซากสัตว์ และฮิวมัส (สุบัณฑิต นิ่มรัตน์, 2549)

วัฏจักรไนโตรเจน (Nitrogen cycle)

การหมุนเวียนธาตุไนโตรเจนในรูปแบบต่าง ๆ เกิดเป็นวัฏจักรจากกกลไกทางกายภาพ, เคมี และชีวภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกลุ่มจุลินทรีย์ โดยมีการนำไนโตรเจนอิสระจากบรรยากาศด้วยแบคทีเรียที่สามารถตรึงก๊าซไนโตรเจน (nitrogen fixing bacteria) ให้เป็นแอมโมเนียไอออน จากนั้นแอมโมเนียไอออนถูกเปลี่ยนให้เป็นไนเตรต และเปลี่ยนเป็นไนไตร์ตด้วยจุลินทรีย์กลุ่มไนทริไฟเออร์ (nitrifier) ซึ่งไนไตร์ตบางส่วนถูกเปลี่ยนต่อให้เป็นก๊าซไนโตรเจนกลับสู่บรรยากาศโดยแบคทีเรียกลุ่มไนทริไฟเออร์ และไนไตร์ตบางส่วนถูกพืชดูดซึมใช้ในการเจริญเติบโต และเมื่อพืชถูกสัตว์กินเป็นอาหารและเมื่อพืชและสัตว์ตายลงถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์พวกย่อยสลาย (decomposer) เช่น แบคทีเรีย และเห็ดรา ย่อยสลายเปลี่ยนรูปเป็นแอมโมเนียมไอออนต่อไป (สุบัณฑิต นิ่มรัตน์, 2549)

วัฏจักรซัลเฟอร์ (Sulfur cycle)

ธาตุซัลเฟอร์ (Sulfur) เป็นธาตุที่พบในเปลือกโลกเป็นอันดับที่ 10 จึงไม่พบการขาดแคลนต่อการใช้ของพืชในดินทั่วไป ซึ่งกิจกรรมที่สามารถทำให้มีการขาดแคลนซัลเฟอร์ได้ เช่น การเติมปุ๋ยเคมีบ่อยๆ การลดลงของสารอินทรีย์ในดิน การปลูกพืชชนิดเดิม ทำให้บริเวณนั้นขาดซัลเฟอร์ได้ เนื่องจากซัลเฟอร์เป็นธาตุที่มีความสามารถในการดูดซับกับดินได้ไม่สูง ซึ่งบริเวณที่มีปริมาณของดินเหนียวและแร่อะลูมิเนียมและแร่เหล็กมีส่วนช่วยในการดูดซับซัลเฟอร์ได้ (สุบัณฑิต นิ่มรัตน์, 2549)

วัฏจักรฟอสฟอรัส (Phosphorus cycle)

ฟอสฟอรัสเป็นธาตุสำคัญชนิดนึ่งของพืชที่สะสมอยู่ในดิน ซึ่งฟอสฟอรัสในดินส่วนใหญ่อยู่ในรูปออร์โทฟอสเฟอริก ฟอสเฟตในดินแบ่งออกได้ 2 พวกใหญ่ ๆ คือ อินทรีย์ฟอสเฟตและอนินทรีย์ฟอสเฟต ซึ่งปริมาณอินทรีย์ฟอสเฟตขึ้นอยู่กับอินทรียวัตถุในดิน นอกจากนี้ธาตุฟอสฟอรัสเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของสิ่งมีชีวิตทุกชนิด เนื่องจากฟอสฟอรัสเป็นส่วนประกอบของโครโมโซมในนิวเคลียส และเป็นส่วนประกอบของสารพลังงาน ATP (adenosine triphosphate) (สุบัณฑิต นิ่มรัตน์, 2549)

จุลินทรีย์ในดิน (soil microorganisms)

จุลินทรีย์จะเกิดปฏิกิริยากับพืชทั้งแบบภาวะอิงอาศัย (commensalim) แบบภาวะเสริม (synergism) และแบบภาวะพึ่งพากัน (mutualism) ดังนั้นจุลินทรีย์มีต่อพืชทั้งทางบวกและทางลบ ซึ่งรากพืชเป็นแหล่งที่อยู่ของจุลินทรีย์ในดิน ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างจุลินทรีย์และรากพืชจะมีความสัมพันธ์ของเชื้อราและรากพืช เรียกว่า ไมคอร์ไรซา ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ที่มีประโยชน์ต่อพืชเป็นอย่างมาก โดยเชื้อราจะแทรกอาศัยในรากพืชทำให้รากมีการแผ่ขยายได้ดี เนื่องจากความสัมพันธ์แบบไมคอร์ไรซาเป็นความสัมพันธ์ที่เฉพาะเจาะจงระหว่างชนิดเชื้อราและชนิดพืช จากสมบัติของไมคอร์ไรซานี้ทำให้มีประโยชน์ต่อระบบนิเวศมีส่วนช่วยในการหมุนเวียนธาตุอาหารและคาร์บอนระหว่างสิ่งมีชีวิตและไม่มีชีวิติ พบว่าการที่จะพบไมคอร์ไรซาเกิดจากปัจจัยที่ทำให้เกิดกระบวนการเกิดดิน ซึ่งปัจจัยที่มีผลมากที่สุดคือ แหล่งธาตุอาหารในดิน (soil nutrient resoures) เช่น ฮิวมัส คาร์บอน ไนโตรเจน และความเป็นกรด-ด่างของดิน นอกจากนี้ภูมิอากาศมีผลต่อการเกิดไมคอร์ไรซาชนิดต่างๆ ขึ้นอยู่กับชนิดพืชและความอุดมสมบูรณ์ของดินบริเวณนั้น ซึ่งการเกิดไมคอร์ไรซาแบ่งได้เป็น 2 ชนิดใหญ่ๆ คือ 1. เอคโตไมคอร์ไรซา คือความสัมพันธ์ของไมคอร์ไรซาที่เชื้อรารวมตัวเป็น pseudoparenchymatous sheath อยู่ส่วนด้านนอกหรือในส่วนเนื้อเยื่อชั้นผิวหรือส่วนเปลือกของรากพืช จากการศึกษาพบการปลูกป่าหลังการตัดต้นไม้ต้องอาศัยปริมาณของเอคโตไมคอร์ไรซาเนื่องจากช่วยให้เมล็ดพืชสามารถดูดซึมคาร์บอนจากบริเวณใกล้เคียงได้อย่างมีประสิทธิภาพดี และ 2. เอนโดไมคอร์ไรซา คือ ความสัมพันธ์ของเชื้อรา และรากพืชโดยเชื้อราแทรกตัวเข้าไปในส่วนข้างในรากพืช ซึ่งช่วยป้องกันการเกิดโรคจากเชื้อก่อโรคบริเวณคอร์เทกซ์ของราก (root cortex) โดยการรวมตัวของเส้นใยของเชื้อราและรากพืช เพิ่มปริมาณของไนโตรเจนให้แก่พืชโดยไม่มีการตรึงไนโตรเจน เป็นต้น (สุบัณฑิต นิ่มรัตน์, 2549)

จากงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการศึกษาป่าที่มีปลูก *alnus subcordata populus deltoides* taxodium *distichum* และป่าผสมตามธรรมชาติธรรมชาติ *quercus castaneifolia carpinus betulus* และ*parrotia persica* ในช่วงอายุ 15 ปี โดยศึกษาปริมาณเศษซากที่ร่วงหล่น (litter quality) และ ความอุดมสมบูรณ์ของดิน (soil fertility) ทำให้ทราบว่าป่าที่มีอายุ 15 ปี มีความอุดมสมบูรณ์ของดินเพิ่มขึ้นจากการหมุนเวียนสาอาหารไนโตรเจน ซึ่งความหลากหลายของพรรณไม้ส่งผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพ (ลักษณะดินและสีของดิน โครงสร้าง ความชื้น ความพรุนของดิน ความหนาของหน้าดิน) คุณสมบัติทางเคมี (ค่าความเป็นกรดเป็นด่างในดิน) และคุณสมบัติทางชีวภาพ (กิจกรรมของสิ่งมีชีวิตต่างๆในดิน เช่นจุลินทรีย์ และเห็ดรา) ของป่าซึ่งอาจส่งผลต่อความหลากหลาย (Yahya K., Fatemeh R., and Seyed M. H., 2015) นอกจากนี้การฟื้นฟูของที่ดินในการกักเก็บคาร์บอนโดยให้ประโยชน์แก่สิ่งแวดล้อมอื่น ส่งผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพและเคมี (Physicochemical) และการเปลี่ยนแปลงของสังคมจุลินทรีย์โดยมี

การศึกษาปริมาณที่มีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีในดิน และสังคมจุลินทรีย์ในดินทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ที่มีการปลูกป่าและที่ทุ่งหญ้าไม่ได้ปลูกป่าพบว่าป่าฟื้นฟูที่มีอายุในช่วง 0-30 ปี มีค่า C/N Rarios เพิ่มขึ้นตามอายุของป่าส่งผลเด่นชัดต่อชีวมวลของจุลินทรีย์ ซึ่งการฟื้นฟูป่ามีความเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบโมเลกุลของสังคมจุลินทรีย์ในดินโดยมีความหลากหลายตามอายุของป่าฟื้นฟู ซึ่งเป็นผลมาจากคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของป่าฟื้นฟู (Cavagnaro et al., 2016) นอกจากนี้การประเมินคุณสมบัติดินตามการฟื้นฟูสภาพดิน (reclamation) ดัชนีความหลากหลายของ กลุ่ม actinobacteria มีแนวโน้มสูงพื้นที่ที่มีการฟื้นฟูในช่วง 15-20 ปี (Yuanyuan et al., 2014) ซึ่งทำให้พบว่าห่วงโซ่อาหารในดินมีบทบาทสำคัญในการหมุนเวียนคาร์บอนและสารอาหาร และการจัดเตรียมการบริการด้านการผลิต (provisioning services) ที่ยั่งยืน ซึ่งความรู้ในเรื่องบทบาทของความหลากหลายทางชีวภาพที่มีอิทธิพลต่อกระบวนการและการให้บริการด้านแหล่งผลิตจากห่วงโซ่อาหารยังมีน้อย แนวทางในการวิจัยในอนาคตกรอบความคิดการเชื่อมโยงลำดับชั้นของความหลากหลายทางชีวภาพของระบบนิเวศสู่กระบวนการทางระบบนิเวศและการบริการจะเห็นความแตกต่างตามลำดับชั้นของความหลากหลายด้านโภชนา หน้าที่ การจัดหมวดหมู่และความหลากลายทางพันธุกรรมนิเวศ (Kardol P. et al., 2016) ดัง (ตารางที่ 2.2)

ตารางที่ 2.2 ปัจจัยที่ส่งผลต่อกิจกรรมจุลินทรีย์

ปัจจัยที่เกิดการเปลี่ยนแปลง	เอกสารอ้างอิง
จุลินทรีย์มีการฟื้นตัวศึกษาจาก pH สารอินทรีย์ในดิน ปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัส	Li *et al*, 2014 ; Yuanqiu L. *et al* 2012 และChang *et al* ,2016
คาร์บอน (C) ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) และความชื้นเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อโครงสร้างชุมชนจุลินทรีย์ในดิน	Li *et al*, 2014 ; Yuanqiu L. *et al* 2012; Chang *et al* ,2016 ; Hafich *et al*,2012 และ Ushio *et al*, 2008

สามารถสรุปได้ว่าระดับความหลากหลายทางชีวภาพของห่วงโซ่อาหารมีความแตกต่างกันกับกระบวนการหรือบริการ ซึ่งกระบวนการหรือบริการถือว่ามีความหลากหลายในด้านลักษณะหน้าที่ที่มีอิทธิพลมากที่สุด การวิจัยต่อไปเน้นการจัดการกับความหลากลายในแต่ละระดับของความหลากหลายทางชีวภาพที่มีความสำคัญเกี่ยวกับบทบาทการทำงานขององค์ประกอบของสายพันธุ์ ซึ่งองค์ประกอบของสายพันธุ์เป็นสิ่งสำคัญสำหรับการเสริมสร้างความเข้าใจบทบาทของห่วงโซ่อาหารในดินที่ทำหน้าที่

เป็นตัวผลักดันกระบวนการของระบบนิเวศและการบริการของระบบนิเวศ (Kardol et al., 2016Kardol P. et al., 2016)

2.5 เห็ดและราขนาดใหญ่ (Mushrooms / Macrofungi)

กลุ่มราที่มีเส้นใยซึ่งสามารถรวมตัวกันเกิดเป็นโครงสร้างหรือดอก (fruiting body) ขนาดใหญ่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่าอันเป็นที่เกิดของเซลล์สืบพันธุ์หรือสปอร์ (spore) มีลักษณะรูปร่างโครงสร้างหรือดอกแตกต่างกันหลายแบบ ซึ่งสามารถจำแนกเห็ดและราขนาดใหญ่ 2 ไฟลัม (phylum) คือ ไฟลัมแบสิดิโอไมโคตา (basidiomycota) และ ไฟลัมแอสโคไมโคตา (ascomycota) เห็ดและราส่วนใหญ่จะอยู่ในไฟลัม basidiomycota ซึ่งเป็นพวกที่สร้างสปอร์แบบอาศัยเพศ (sexual spore) เรียกว่า basidiospore สปอร์ชนิดนี้เกิดอยู่ภายนอกโครงสร้างซึ่งที่มีรูปร่างคล้ายกระบอง เรียกว่า basidium ราขนาดใหญ่ส่วนน้อยที่อยู่ใน ไฟลัม ascomycota นั้น สปอร์ที่เกิดแบบอาศัยเพศเรียกว่า ascospore เกิดอยู่ภายในโครงสร้างรูปร่างคล้ายถุงเรียกว่า ascus ดอกเห็ดและราขนาดใหญ่มีชีวิตอยู่ไม่นานก็ตาย แต่เส้นใยของเห็ดจะเจริญอยู่ในดิน เศษซากพืช ซากสัตว์หรือในเซลล์ของสิ่งมีชีวิตต่างๆ เช่น พืชและแมลง สามารถมีชีวิตอยู่ได้นานเป็นปีหรือหลายปี และสามารถสร้างดอกเห็ดดอกใหม่ได้อีกเมื่อสภาพแวดล้อมเหมาะสม (อนงค์, พูนพิไล และอุทัยวรรณ, 2551)

2.5.1 การจำแนกบทบาทและหน้าที่ของเห็ดราในระบบนิเวศ

เห็ดรามีบทบาทสำคัญในระบบนิเวศ โดย 90 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักชีวมวล (biomass) เป็นเห็ดรารองลงมาคือแบคทีเรีย พืชขนาดเล็ก ซึ่งเห็ดราแบ่งออกเป็น 3 ประเภท โดยดูจากความสัมพันธ์ของเห็ดกับสิ่งที่เห็ดเจริญอยู่หรือสิ่งที่ที่ให้อาหารแก่เห็ด ได้แก่

1) เห็ดแซบโปรไฟต์ (saprophytic mushroom) คือ เห็ดที่เจริญบนเศษซากของสิ่งมีชีวิตต่างๆ ที่กำลังย่อยสลายผุพังหรือช่วยเร่งปฏิกิริยา ซึ่งเป็นผู้ย่อยสลายที่ดีที่สุดในป่า ซึ่งถ้าไม่มีผู้ย่อยสลายเหล่านี้ ทำให้ใบไม้ เศษซากกิ่งไม้ที่ผุพังร่วงหล่นมาสู่พื้นดินไม่สามารถย่อยสลายได้และผู้ผลิตไม่สามารถดึงธาตุอาหารกลับเข้าไปใช้ได้ เนื่องจากเห็ดราสามารถเปลี่ยนอินทรียวัตถุเป็นธาตุอาหารได้ดีที่สุด เช่น การสลายตัวของไม้ ซึ่งรูปทรงของเห็ดรามีหลากหลายรูปแบบ โดยใช้เอนไซม์ย่อยสลายซากไม้ที่ตายแล้วโดยการทำลายเซลลูโลส และลิกนินซึ่งเป็นโครงสร้างหลักส่วนประกอบของไม้

2) เห็ดพาราไซด์ (parasitic mushroom) คือ เห็ดที่เจริญอยู่บนสิ่งมีชีวิต โดยอาศัยสิ่งมีชีวิตอื่นเป็นแหล่งพลังงาน เช่น เห็ดราบางชนิดเติบใกล้ต้นไม้โดยอาศัยธาตุอาหารจากรากไม้ ซึ่งเห็ดราจำพวกนี้มีความสำคัญต่อระบบนิเวศในธรรมชาติทำให้ประชากรพืชมีความสม่ำเสมอและมีสุขภาพที่ดี และพืชที่มีความอ่อนแอไม่สามารถเจริญเติบได้

3) เห็ดไมคอร์ไรซา (mycorrhizal mushroom) คือ เห็ดที่มีเส้นใยเจริญอยู่กับรากของพืชชั้นสูงที่มีชีวิตในแบบพึ่งพาอาศัยซึ่งกันและกัน โดยมีธาตุอาหารและน้ำที่ต้องการในการเจริญเติบโตโดยต้นไม้แลกเปลี่ยนน้ำตาลจากการสังเคราะห์แสงให้แก่เห็ดราเพื่อนำไปสร้างโครงสร้างรูปร่างของเห็ดและในขณะเดียวกันเห็ดส่งคืนธาตุอาหารกลับคืน

ดังนั้นราและป่ามีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน ซึ่งราทำน้าที่เป็นผู้ย่อยสลายเศษซากไม้ ใบไม้ หรือต้นไม้ที่อ่อนแอและตายลง เมื่อย่อยสลายแล้วได้ส่งธาตุอาหารคืนให้กลับให้กับพืช เพื่อใช้ในการเจริญเติบโตต่อไปได้

2.5.2 ปัจจัยต่อการเจริญเติบโตของเห็ด

ความต้องการด้านอาหาร

เห็ดเป็นสิ่งมีชีวิตที่ต้องการสารอินทรีย์จากสิ่งมีชีวิตอื่น โดยใช้แหล่งคาร์บอนจากสารอินทรีย์ไปใช้ (heterotrophs หรือ consumers) ซึ่งเห็ดปรับตัวโดยใช้เอนไซม์ทำลายสารประกอบอินทรีย์ที่พบในถิ่นที่อยู่ เช่น เนื้อไม้ (logs/timber), ใบไม้ (leaves), ฟาง (straw) เป็นต้น เห็ดจำนวนมากต้องการไม้ (wood) และเศษพืช (plant debris) เพื่อใช้เป็นแหล่งอาหาร

ความต้องการด้านน้ำ

เห็ดต้องการความชื้นสูงและระดับความชื้นที่ 90-95 เปอร์เซ็นต์ เพื่อรักษาการเติบโตและการสร้างเส้นใยต้องมีน้ำเพียงพอกระจายเข้าสู่สิ่งแวดล้อม การขับน้ำออก (sweating) ของเอนไซม์ที่หน้าที่เป็นทางผ่านการหล่อลื่นในกระจายเข้าสู่เส้นใย และเป็นทางผ่านของน้ำเข้าสู่ตัวกลางเจริญเติบโตเมื่อปัจจัยแวดล้อมที่ค่อนข้างแห้ง เห็ดสามารถหายใจในอากาศชื้นและกลั่นน้ำเข้าไปในเซลล์ได้และกระจายเข้าสู่ร่างกายตามความต้องการเส้นใย

ความต้องการด้านการแลกเปลี่ยนก๊าซ

บริเวณเห็ดจะถูกฝังในไม้ปกคลุมด้วยหญ้าหรือบริเวณกองปุ๋ยหมักต้องการออกซิเจนน้อยมากจนกว่าจะพร้อมให้ผล ชีวมวลทั้งหมดใช้ขอบนอกเส้นใยติดต่อกับอากาศบริสุทธิ์ การขนส่งออกซิเจนเข้าสู่ภายในและขับคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา ถ้าไม่ออกซิเจนถ้าสิ่งแวดล้อมเปียกเกินไปหรือเส้นใยลึกอาจจะไม่สามารถจัดหาออกซิเจนได้เพียงพอเข้าสู่ร่างกาย เพิ่มพื้นที่การตาย

ความต้องการด้านแสง

เห็ดทั้งหมดไม่ได้ต้องการเจริญเติบโตในที่มืด สายพันธุ์ *agaricus* sp. สามารถเติบโตและพัฒนาในพื้นที่ไม่มีแสง ส่วนเห็ดชนิดอื่นๆ ต้องการแสงจากธรรมชาติหรือการกระจายแสงฟลูออเรส

เซนต์ ซึ่งความยาวคลื่นที่มีความสำคัญคือ blue-green spectrum เห็ดจะตอบสนองในกระบวนการเผาผลาญที่ควบคุมพลังงานมากที่สุดและการต้องการเติบโตของเห็ดเช่นเดียวกับการเริ่มต้นในการสร้างกลไกในระดับที่เพิ่มขึ้นของโปรตีน, วิตามิน ดี และสรรพคุณทางยาจากงานวิจัยมีการใส่เชื้อเห็ดไมคอร์ไรซา Suillus bovinus กับรากไม้สน พบว่ามีการสร้างดอกเห็ดหลังจากการนำไปปลูกในระยะเวลา 2.5 ปี (Chen Y.L., Dell B., and Kang L.H., 2004) นอกจากนี้ยังพบว่ามีการเพาะเห็ดตับเต่าดำ (Boletus colossus Heim) ซึ่งเป็น เห็ดไมคอร์ไรซ่าที่สามารถขึ้นได้กับต้นโสน จากการเพาะเห็ดโสนในธรรมชาติต้องใช้เวลาในการพัฒนาเป็นดอกเห็ดในระยะเวลา 2-3 ปี จึงจะได้ผลผลิต (รวีวรรณ เดื่อมขันมณี., 2557)

2.5.3 การศึกษาโลหะหนักที่พบในเห็ด

เห็ดมีการสะสมมลพิษแตกต่างกันในสิ่งแวดล้อมขึ้นอยู่กับการเจริญเติบโตของชนิดพันธุ์ และประเภทของระบบนิเวศ (Mircea et al., 2006) ซึ่งเห็ดในธรรมชาติได้รับธาตุอาหารปริมาณน้อย (trace element) โดยธาตุอาหารปริมาณน้อยของเห็ดในธรรมชาติจะขึ้นอยู่กับชนิด และขนาดของเห็ด ซึ่งมีการศึกษาโลหะหนักที่เป็นตัวแทนของโลหะหนักในสิ่งแวดล้อม ได้แก่ แคดเมียม (Cd), ทองแดง (Cu), เหล็ก (Fe), นิกเกิล (NI), ตะกั่ว (Pb), สังกะสี (Zn) และแมงกานีส (Mn) (Siric et al., 2014) จากการศึกษาพบการสะสมทองแดง เหล็ก แมงกานีสในหมวกเห็ด (pileus) มากกว่าก้านของเห็ด (stipes) และพบการสะสมตะกั่ว และสังกะสีในก้านของเห็ดมากกว่าหมวกในหมวกเห็ด (Poongkodi G.K., and Priya G.P.H., 2015) จากการศึกษาแสดงให้เห็นว่าเห็ดสามารถทำหน้าที่ดูดซับสารทางชีวภาพ (biosorbent) และปริมารการดูดซับสารทางชีวภาพนั้นจะขึ้นอยู่กับขนาด และชนิดของเห็ด (Das N., 2005)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

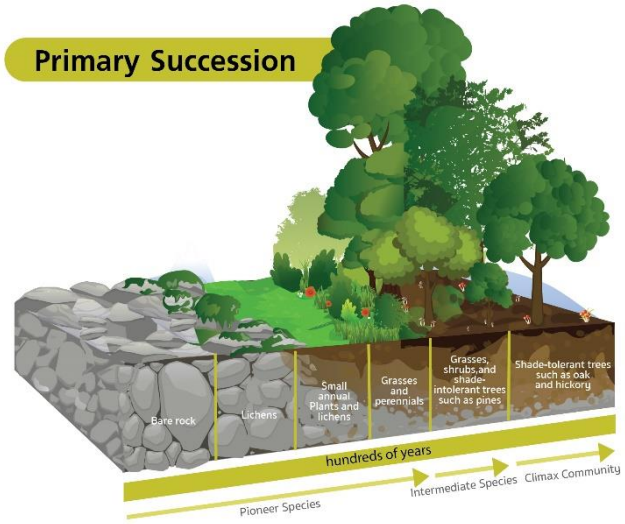
2.6 การเปลี่ยนแปลงแทนที่ทางนิเวศวิทยา (Ecological succession)

การเปลี่ยนแปลงแทนที่ทางนิเวศวิทยา หมายถึงการเปลี่ยนแปลงแทนที่ซึ่งเกิดขึ้นช้าๆในกลุ่มของสิ่งมีชีวิตตามธรรมชาติ เริ่มต้นจากการก่อตัวเป็นพื้นที่หรือพื้นที่ที่มีอยู่แล้วถูกรบกวน โดยมีกลุ่มของสิ่งมีชีวิตหนึ่งเข้าไปแทนที่กลุ่มของสิ่งมีชีวิตอยู่ก่อน เมื่อสภาพแวดล้อมมีการเปลี่ยนแปลงไปโดยที่ไม่ถูกรบกวนมากนักจึงมีการเปลี่ยนแปลงเป็นลำดับขั้นแบบค่อยเป็นค่อยไปในพื้นที่ใดพื้นที่หนึ่งช่วงเวลาใดช่วงเวลาหนึ่ง จนถึงขั้นสมดุล (climax stage) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงแทนที่ มี 2 ประเภท ดังนี้

การเปลี่ยนแปลงแทนที่ขึ้นปฐมภูมิ (Primary succession)

การเปลี่ยนแปลงแทนที่ขึ้นปฐมภูมิเป็นการเปลี่ยนแปลงแทนที่เริ่มจากบริเวณที่ปราศจากสิ่งมีชีวิตมาก่อน เช่น เกาะที่เกิดขึ้นจากภูเขาไฟจนกระทั่งเกิดสิ่งมีชีวิตจำพวกมอส และไลเคนขึ้นมา

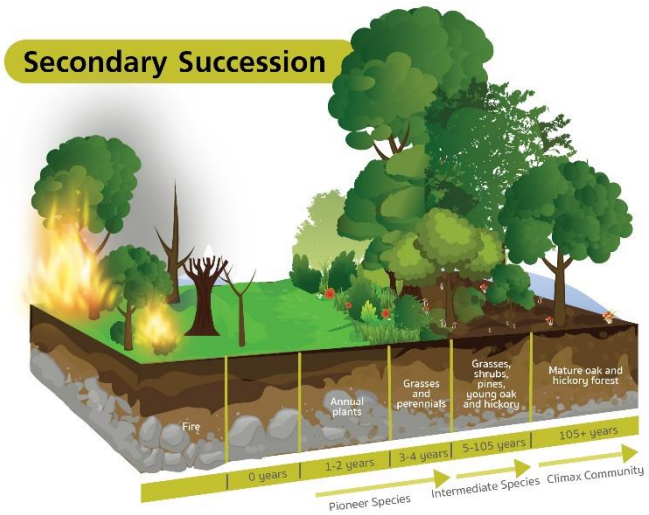
เป็นกลุ่มแรก เมื่อสิ่งมีชีวิตกลุ่มแรกตายไปเกิดการทับ ถม กลายเป็นชั้นบาง ๆของดินเกิดขึ้น จากนั้น กลุ่มสิ่งมีชีวิตกลุ่มที่ 2 เช่น หญ้าหรือพวกวัชพืชป่าเกิดขึ้นแทนที่ เมื่อกลุ่มสิ่งมีชีวิตเหล่านี้ตายไปเกิดการทับถมเป็นชั้นดินที่หนาขึ้นเรื่อย ๆ และความอุดมสมบูรณ์ของแร่ธาตุในดินจึงเริ่มมีมากขึ้นจนทำให้เกิดสิ่งมีชีวิตในกลุ่มไม้ล้มลุก ไม้พุ่ม เกิดขึ้น จนกระทั่งในที่สุดมีไม้ยืนต้นเกิดขึ้นและเกิดเป็นสังคมพืช ซึ่งประกอบด้วยกลุ่มพืชชนิดต่าง ๆ เกิดขึ้นเป็นลำดับกลายเป็นสังคมสมบูรณ์ (climax community) และมีความสมดุล (New World Encyclopedia contributors, 2008) (รูปที่ 2.1)



รูปที่ 2.1 การเปลี่ยนแปลงแทนที่ขั้นปฐมภูมิ
ดัดแปลงจาก (Thompson, 2016)

การเปลี่ยนแปลงแทนที่ขั้นทุติยภูมิ (Secondary succession)

การเปลี่ยนแปลงแทนที่ขั้นทุติยภูมิเป็นการเกิดแทนที่ของสิ่งมีชีวิตอื่นๆ ในพื้นที่เดิมที่ถูกเปลี่ยนแปลงไป เช่น การเปลี่ยนแปลงแทนที่ในบริเวณที่ถูกไฟไหม้บริเวณทำไร่แล้วปล่อยให้รกร้างภายหลัง หรือ ป่าที่ถูกตัดโค่น เป็นต้น ในขั้นต้นของการแทนที่จะเกิดสิ่งมีชีวิตกลุ่มอื่นเกิดขึ้นแทนที่ทั้งเกิดขึ้นเองโดยธรรมชาติ และการปลูกโดยมนุษย์ ในขั้นที่เกิดขึ้นเองนั้น มักจะเริ่มด้วยหญ้าและเป็นต้นไม้เล็ก ไปจนถึงต้นไม้ใหญ่ ซึ่งการแทนที่ในขั้นทดแทนนี้จะใช้เวลาน้อยกว่าการแทนที่ของสิ่งมีชีวิตในขั้นบุกเบิก ทั้งนี้เพราะการแทนที่ในขั้นทดแทนนี้เกิดขึ้นในพื้นที่บริเวณนั้นมีดินและธาตุอาหารอยู่พร้อมแล้ว (รูปที่ 2.2)



รูปที่ 2.2 การเปลี่ยนแปลงแทนที่ขั้นทุติยภูมิ
ดัดแปลงจาก (Thompson, 2016)

จากการศึกษาโครงการปลูกป่านิเวศโรงงานโตโยต้าตามแนวคิด “การปลูกป่านิเวศอย่างยั่งยืน” และ เทคนิควิธีการปลูกป่าตามแนวคิดของ ศ. ดร. อาคิระ มิยาวากิ ศาสตราจารย์เกียรติคุณมหาวิทยาลัยแห่งชาติโยโกฮาม่า และ ผู้อำนวยการสถาบันการเรียนรู้ด้านนิเวศวิทยานานาชาติประจำประเทศญี่ปุ่น ซึ่งเริ่มจากการเตรียมพื้นที่ปลูกด้านกายภาพในการสร้างเนินดินก่อนปลูกเพื่อเพิ่มลักษณะพื้นที่ให้มีความหลากหลายเหมาะแก่การเจริญเติบโตของต้นไม้ โดยมีการคัดเลือกชนิดพันธุ์ไม้ท้องถิ่นซึ่งในระยะต่างๆของการปลูกพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงพันธุ์เด่นในช่วงระยะเวลาที่แตกต่างกัน เนื่องจากปัจจัยหลายอย่างเช่น ความสามารถในการสังเคราะห์เนื่องจากมีความแตกต่างของลักษณะเรือนยอด, ความสามารถในดึงอาหารของต้นไม้แต่ละชนิด และธาตุอาหารในดินไม่เพียงพอเนื่องจากมีการนำดินมาจากที่อื่น การจัดการป่านิเวศของโตโยต้าพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงแทนที่เช่นเดียวกัน ซึ่งใน 3 ปี แรกธาตุอาหารครบถ้วนสมบูรณ์และมีปริมาณน้ำที่เพียงพอเนื่องมาจากมีการดูแลในเรื่องของธาตุอาหาร และน้ำ โดยในปีที่ 8 ต้นไม้ที่ถูกปลูกขึ้นป่านิเวศมีผลสำเร็จของการปลูกป่านิเวศ ต้นไม้ที่ปลูกนั้นมี อัตราการรอดตาย 90% สามารถเจริญได้ด้วยตนเอง เพราะเป็นไม้ท้องถิ่น (native species) จึงสามารถทนต่อภูมิอากาศในท้องถิ่นได้ดี สามารถฟื้นฟูระบบนิเวศ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงแทนที่และเกิดเป็นป่านิเวศที่สมบูรณ์ในที่สุด

จากที่กล่าวมาข้างต้นนี้อาจจะมีปัจจัยอื่นที่เป็นตัวควบคุมการเปลี่ยนแปลงแทนที่ เช่น ด้านพลังงานมีการเพิ่มมวลชีวภาพและซากอินทรีย์ ด้านการหมุนเวียนสารอาหารเริ่มปิดมากขึ้น ดัชนีการการเปลี่ยนแปลง อัตราการเปลี่ยนแปลงและการกักเก็บสารอาหารที่จำเป็นลดน้อยลง รวมทั้งโครงสร้างของสิ่งมีชีวิตบางชนิดมีการคัดเลือกแบบแพร่พันธุ์ช้าอัตราการสูญเสียต่ำ วงจรชีวิตค่อนข้าง

ยาวนาน (K-selection) หรือ แบบแพร่พันธุ์รวดเร็ว อัตราการสูญเสียสูง วงจรชีวิตค่อนข้างสั้น (R-selection) รวมทั้งขนาดของต้นไม้และส่วนที่แพร่พันธุ์ เช่น เมล็ด หรือผลของต้นไม้ เป็นต้น (จิรากรณ์ คชเสนี, 2553) ซึ่งการคัดเลือกโดยธรรมชาติถือเป็นกลไกพื้นฐานของการเกิดวิวัฒนาการร่วมกับกลไกอื่นๆ ทำให้ประชากรที่มีลักษณะเหมาะสมกับสิ่งแวดล้อมสามารถดำรงชีวิตและแพร่พันธุ์ประชากรในรุ่นต่อไปได้ แต่สำหรับประชากรที่ไม่เหมาะสมกับสิ่งแวดล้อมก็จะถูกปรับเปลี่ยน (adaptation) ให้มีลักษณะทางสรีระพฤติกรรม และรูปแบบการดำรงชีวิตที่กลมกลืนกับสภาพแวดล้อมที่ประชากรนั้นอาศัยอยู่ (สถาบันนวัตกรรมและพัฒนากระบวนการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยมหิดล, 2559) ขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ สภาพภูมิอากาศท้องถิ่น ความชื้นในดิน ปริมาณต่อการเติบโตของต้นไม้และการเกิดศัตรูพืชทำให้ต้นบางชนิดไม่สามารถเจริญเติบได้ดี จึงส่งผลให้เกิดการแทนที่ทางนิเวศวิทยาเกิดเป็นระบบนิเวศซึ่งนำไปสู่การบริการของระบบนิเวศ

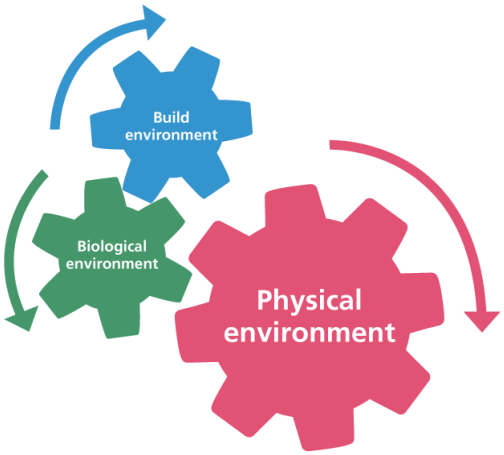
กลไกระบบนิเวศ (mechanism in ecosystems) เป็นการสืบทอดระบบนิเวศมีความสำคัญต่อความสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์กับธรรมชาติซึ่งการสืบทอดระบบนิเวศอาจกำหนดได้จาก 3 พารามิเตอร์ต่อไปนี้ (รูปที่ 2.3)

1) เป็นกระบวนการที่เป็นระเบียบในการพัฒนาชุมชนที่เหมาะสมและเป็นไปตามความคาดหมายได้

2) เป็นผลมาจากการปรับเปลี่ยนสภาพแวดล้อมทางกายภาพโดยชุมชน นั่นคือการสืบทอดโดยสภาพแวดล้อมทางกายภาพจะเป็นตัวกำหนดรูปแบบอัตราการเปลี่ยนแปลงและมีข้อจำกัดความสามารถในการพัฒนา

3) ค่าสูงสุดในระบบนิเวศที่มีเสถียรภาพซึ่งมีมวลชีวภาพสูงสุดและหน้าที่ทางชีวภาพระหว่างสิ่งมีชีวิตจะถูกรักษาไว้จากการหมุนเวียนพลังงานที่มีอยู่

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 2.3 กลไกในระบบนิเวศ

กระบวนการเปลี่ยนแปลงแทนที่ทางนิเวศซึ่งเกิดขึ้นในระบบนิเวศเป็นกระบวนการเหมือนกับการพัฒนาเพื่อการควบคุมการเพิ่มขึ้นหรือการรักษาสมดุลภายในด้วยสภาพแวดล้อมทางกายภาพในการป้องกันจากสิ่งรบกวน การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในลักษณะโครงสร้างและการทำงานที่สำคัญของระบบนิเวศที่กำลังพัฒนา แนวโน้มที่สำคัญในการพัฒนาต่อเนื่องคือระบบนิเวศแบบปิด (closing) หรือมีความหนาแน่นของสิ่งมีชีวิต (tightening) เกิดการหมุนเวียนทางชีวภาพ (biogeochemical cycling) ของธาตุอาหารหลัก เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และแคลเซียม ในระยะเติบโตเต็มวัย (mature systems) ซึ่งมีความสามารถในการดักจับและดึงธาตุอาหารในการหมุนเวียนเข้าสู่ระบบและในระยะวัยอ่อน (young systems) มีการหมุนเวียนธาตุอาหารแบบระบบเปิด ซึ่งยังไม่สามารถรักษาธาตุอาหารไว้ในระบบได้ เนื่องจากมีอัตราในการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว

การฟื้นฟูระบบนิเวศป่าเพื่อให้เกิดการพัฒนาสภาพดินมีผลทำให้เกิดการสร้างธาตุอาหารกลับเข้าสู่ระบบนิเวศป่า เมื่อธาตุอาหารเข้าสู่ระบบนิเวศป่าจะเกิดการหมุนเวียนของธาตุอาหารทำให้ระบบนิเวศป่าเกิดการเปลี่ยนแปลงแทนที่ (ecological succession) ส่งผลให้ระบบนิเวศป่ามีความหลากหลายทางชีวภาพ และให้บริการเชิงนิเวศก่อให้เกิดประโยชน์แก่มนุษย์ ซึ่งจำเป็นต้องเข้าใจกลไกในการจัดการฟื้นฟูที่สามารถให้มนุษย์เข้ามามีส่วนร่วมในการฟื้นฟู ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเน้นการศึกษาระยะการฟื้นฟูสภาพการพัฒนาของระบบนิเวศป่าบริเวณพื้นที่ทำการฟื้นฟูเพื่อให้ทราบถึงกลไกการพัฒนาของดินและความอุดมสมบูรณ์ของดินมีอิทธิพลต่อความหลายหลายทางชีวภาพและเพื่อเป็นแหล่งอาหารสำหรับชุมชน

2.7 โลหะหนักจากกิจกรรมการทำเหมือง

กิจกรรมการทำเหมืองแร่เป็นกิจกกรมที่ก่อให้เกิดการสะสมโลหะหนักบางชนิดสามารถเป็นธาตุอาหารปริมาณน้อย (trace metal) ให้แก่พืช (Fashola M., Ngole-Jeme V.M., and Babalola O.O., 2016; Obiora S. C., Chukwu A., Sadrack F., Theophilus T., and Davies C., 2016) โดยมีการประเมินการปนเปื้อนโลหะหนักในดินบริเวณที่มีกิจกรรมการทำเหมืองแร่โดยมีการศึกษาองค์ประกอบของโลหะหนักที่พบในกิจกกรมการทำเหมือง ได้แก่ แคดเมียม (Cd), ทองแดง (Cu), เหล็ก (Fe), นิกเกิล (NI), ตะกั่ว (Pb), สังกะสี (Zn) และแมงกานีส (Mn) (Abdulwahab S. A., and Marikar F. A., 2012; Li Y. et al., 2014; Obiora S. C. et al., 2016) นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยศึกษาความเกี่ยวข้องระหว่างกระบวนการทางชีวธรณีเคมีในตะกอนรอบรากพืชกับกระบวนการเคลื่อนที่ของโลหะหนักพบว่าการเคลื่อนที่ของโลหะหนักมีการเคลื่อนที่แตกต่างกันไปตามชนิดและปริมาณของโลหะหนักบริเวณที่โลหะหนักเคลื่อนไปไป (Kangwankraiphaisan T., 2011)

ตารางที่ 2.3 แบบจำลองเชิงนิเวศวิทยา: แนวโน้มที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในการพัฒนาระบบนิเวศ

คุณลักษณะของระบบนิเวศ	**ระยะพัฒนา**	**ระยะโตเต็มวัย**
โครงสร้างชุมชน		
ปริมาณสารอินทรีย์ทั้งหมด	ขนาดเล็ก	ขนาดใหญ่
สารอนินทรีย์	ภายนอกสิ่งมีชีวิต (Extra biotic)	ภายในสิ่งมีชีวิต (intra biotic)
ความหลากหลายของชนิด (Species diversity)	ต่ำ	สูง
ความหลากหลายทางชีวเคมี (Biochemical diversity)	ต่ำ	สูง
ประวัติชีวิต (Life history)		
ขนาดของสิ่งมีชีวิต (Size of organism)	ขนาดเล็ก	ขนาดใหญ่
วงจรชีวิต (Life cycles)	วงจรชีวิตสั้น ไม่มีความซับซ้อน	วงจรชีวิตยาว มีความซับซ้อน
การหมุนเวียนสารอาหาร (Nutrient cycle)		
การหมุนเวียนแร่ธาตุ (Mineral cycle)	ระบบเปิด	ระบบปิด
อัตราการแลกเปลี่ยนสารอาหารระหว่างสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม (Nutrient exchange rate, between organisms and environment)	มีอัตราแลกเปลี่ยนอย่างรวดเร็ว	มีอัตราแลกเปลี่ยนอย่างช้าๆ
บทบาทของเศษซากในการฟื้นฟูสารอาหาร (Role of detritus in nutrient regeneration)	มีความสำคัญน้อย	มีความสำคัญมาก
รูปแบบการเจริญเติบโต (Growth form)	R-selection	K-selection
การผลิต (Production)	ปริมาณ (Quantity)	คุณภาพ (Quality)

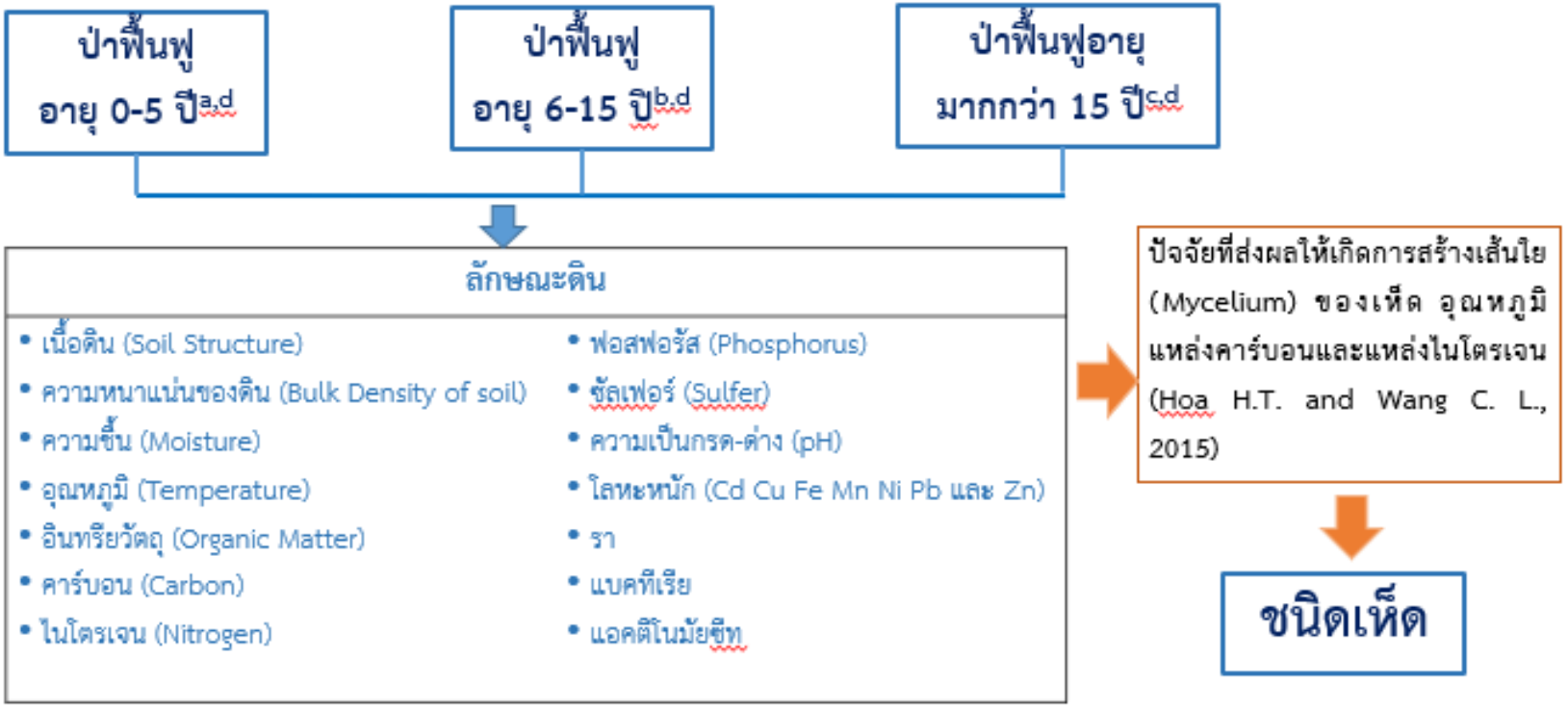
(ดัดแปลงจาก Odum, 1965)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้จะทำการศึกษากระบวนการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะดินซึ่งเป็นผลจากการพัฒนาของแปลงป่าฟื้นฟูบนพื้นที่เหมืองโดยศึกษาคุณลักษณะดินทางกายภาพได้แก่ เนื้อดิน ความหนาแน่นของดิน และความชื้นใน และอุณหภูมิ คุณลักษณะดินทางเคมี ได้แก่ อินทรียวัตถุ (organic matter) คาร์บอนทั้งหมด (total carbon) ไนโตรเจนทั้งหมด (total nitrogen) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available phosphorus)กำมะถัน (sulfur) และ ความเป็นกรด-ด่าง (potential of hydrogen ion: pH) (Davies et al., 1992; Gajaseni, 2009; Maiti, 2013a; Shiri J. et al., 2017; Vishkaee F. M. et al., 2014) และคุณลักษณะดินทางชีวภาพ ได้แก่ แบคทีเรีย แอคติโนมัยซีท และชนิดเห็ดบนดิน (Gajaseni, 2009; สมศักดิ์ วังใน., 2528; อนงค์ จันทร์ศรีกุล, พูนพิไล สุวรรณฤทธิ์., and อุทัยวรรณ แสงวณิช., 2551) ซึ่งเมื่อมีการฟื้นฟูระบบนิเวศป่าไม้โดยการปลูกต้นไม้โดยมีปัจจัยสิ่งแวดล้อมเช่น ปริมาณน้ำฝน แสง ภูมิอากาศ มากระตุ้นให้เกิดการเติบโต เมื่อป่าไม้มีการเจริญเติบโตจะเกิดการร่วงหล่นของเศษซากจากต้นไม้ เช่น กิ่งไม้ ใบไม้ ลงไปสู่พื้นดินเกิดเป็นอินทรียวัตถุ ซึ่งสิ่งมีชีวิตชนิดแรก ๆ ที่เข้ามามีบทบาทในการย่อยสลายอินทรียวัตถุ คือ จุลินทรีย์จำพวกเห็ดรา เมื่อเห็ดรามีการย่อยสลายอินทรียวัตถุแล้วส่งผลให้เกิดการพัฒนาคุณลักษณะดินบริเวณระบบนิเวศป่าไม้ฟื้นฟู และเกิดการพัฒนาของระบบนิเวศป่าไม้ฟื้นฟูโดยมีการเปลี่ยนแปลงแทนที่ (ecological succession) และยังส่งผลต่อธาตุอาหารในดินอีกด้วย ซึ่งธาตุอาหารในดินส่งผลชนิดของเห็ดราที่เป็นผู้ย่อยสลายธาตุอาหาร เมื่อเห็ดราย่อยสลายก่อให้เกิดการหมุนเวียนของธาตุอาหารส่งกลับไปยังต้นไม้ ซึ่งเห็ดราไม่เพียงแต่ทำหน้าที่เป็นผู้ย่อยสลายอินทรียวัตถุยังสามารถเป็นบริการเชิงนิเวศ (ecosystem services) โดยการให้บริการเชิงนิเวศในด้านแหล่งผลิต (provisioning services) การฟื้นฟูระบบนิเวศป่าไม้ก่อให้เกิดการพัฒนาลักษณะดินซึ่งมีผลทำให้เกิดการสร้างธาตุอาหารกลับเข้าสู่ระบบนิเวศป่าไม้ ซึ่งจำเป็นต้องอาศัยจุลินทรีย์มาทำหน้าที่ย่อยสลาย โดยการฟื้นฟูระบบนิเวศป่าไม้จำเป็นต้องเข้าใจกลไกในการจัดการฟื้นฟูที่สามารถทำให้มนุษย์เข้ามามีส่วนร่วมในการฟื้นฟู ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเน้นการศึกษาระยะการฟื้นฟูสภาพการพัฒนาลักษณะดินจากระบบนิเวศป่าไม้ฟื้นฟูในพื้นที่มีการฟื้นฟู เพื่อให้ทราบถึงการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะดินบริเวณแปลงฟื้นฟูป่าไม้และปริมาณจุลินทรีย์ในแต่ละแปลงป่าไม้ฟื้นฟู

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 3.1 กรอบแนวคิดการศึกษา (conceptual framework)

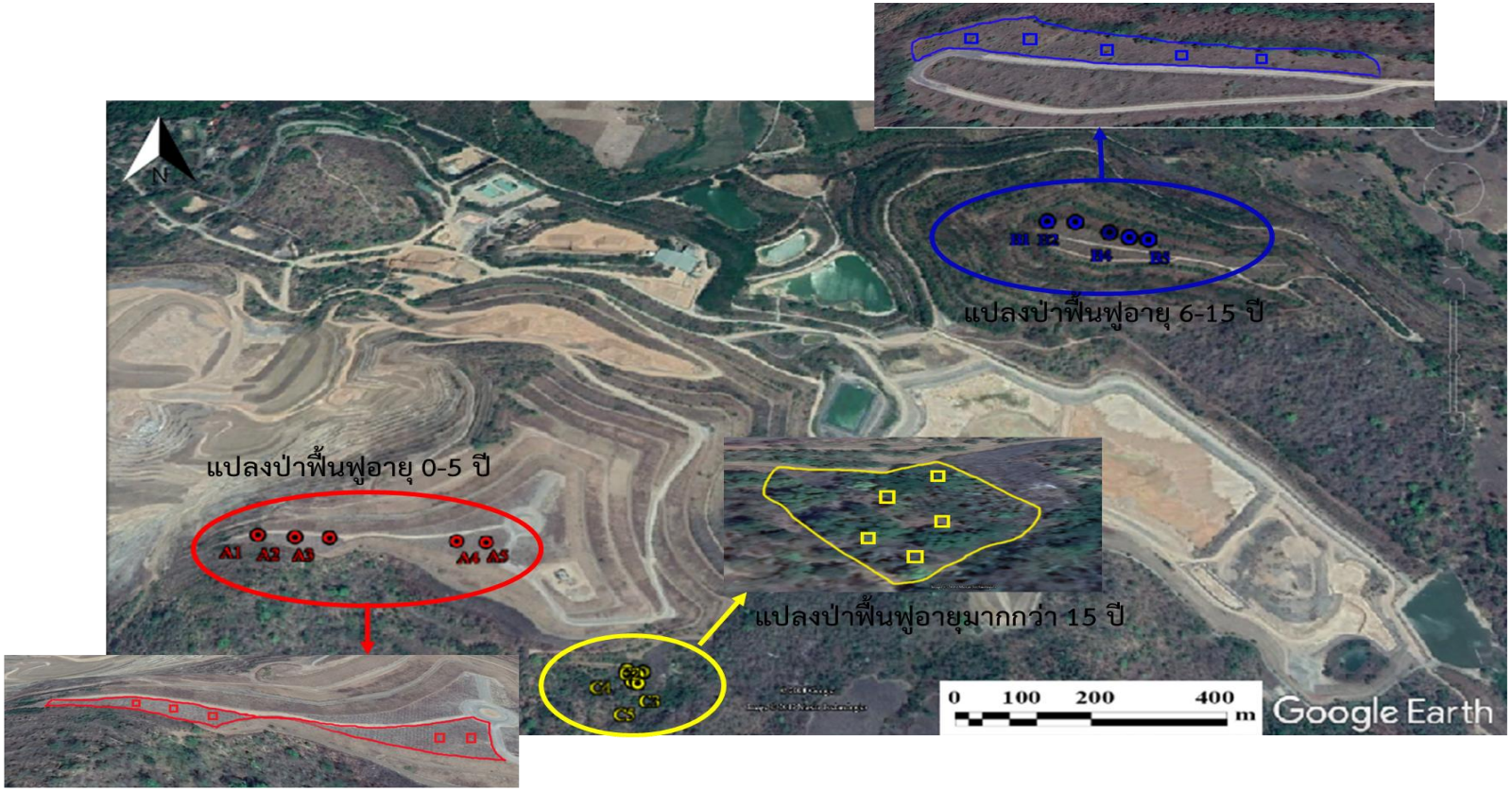
3.1 การคัดเลือกพื้นที่ระบบนิเวศป่าสำหรับศึกษาลักษณะสมบัติดิน

3.1.1 เหมืองผาแดง อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก

พื้นที่ทำเหมืองตั้งอยู่บนป่าสงวนแห่งชาติ ป่าแม่สอด อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก ซึ่งป่าแม่สอดมีทรัพยากรธรรมชาติและพันธุ์ไม้ เช่น ไม้สัก ไม้แดง ไม้ประดู่ ไม้ยาง ไม้เต็ง ไม้รัง เป็นต้น มีคุณลักษณะดินดินร่วนปนทราย เนื่องจากมีลักษณะเป็นป่าโปร่ง และมีไฟป่าเกิดขึ้นเป็นประจำ ซึ่งเมื่อเกิดไฟป่าต้นไม้ได้มีการสะสมธาตุอาหารไว้ที่รากไม้ ซึ่งเป็นแหล่งอาหารสำหรับเห็ดที่อาศัยอยู่บริเวณรากไม้ (ธวัชชัย สันติสุข., 2555; ราชกิจจานุเบกษา, 2516) เมื่อมีปัจจัยสิ่งแวดล้อมในด้านน้ำ สภาพภูมิอากาศ เพิ่มเข้ามาระบบนิเวศป่าชนิดนี้จะเกิดการเปลี่ยนแปลงแทนที่ (Ecological Succession) โดยมีการนำธาตุอาหารที่ถูกสะสมไว้ในรากมาใช้ โดยมีจุลินทรีย์เป็นผู้ย่อยสลาย จากเหตุผลข้างต้นป่าสงวนแห่งชาติ ป่าแม่สอดจึงมีความน่าสนใจสำหรับการศึกษาการพัฒนาลักษณะดิน ป่าแม่สอดนี้มีการแบ่งใช้พื้นที่ในการทำเหมืองแร่อุตสาหกรรม โดยบริษัท ผาแดงอินดัสทรี จำกัด (มหาชน) มีที่ตั้งอยู่ในเขตตำบลพระธาตุผาแดง อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก โดยกิจกรรมการทำเหมืองจะต้องมีการขุดหน้าดินออกซึ่งบริเวณหน้าดินจะเป็นแหล่งสะสมของอินทรียวัตถุในบริเวณระบบนิเวศป่าไม้ ทำให้เกิดการรบกวนต่อกิจกรรมจุลินทรีย์ ซึ่งจุลินทรีย์ทำหน้าที่ย่อยสลายอินทรียวัตถุและส่งกลับธาตุอาหารคืนสู่ต้นไม้ เมื่อขาดกิจกรรมจุลินทรีย์ส่งผลทำให้ไม่เกิดการพัฒนาลักษณะดิน (สมศักดิ์ วังใน., 2528) และทำให้เกิดพื้นที่เสื่อมโทรมซึ่งเป็นผลกระทบมาจากกิจกรรมการทำเหมือง ซึ่ง โดยบริษัท ผาแดงอินดัสทรี จำกัด (มหาชน) มีการแบ่งพื้นที่ฟื้นฟูป่าไม้หลังจากการทำเหมืองซึ่งตรงกับวัตถุประสงค์ของการศึกษานี้โดยมีป่าฟื้นฟูอายุ 0-5 ปี 6-15 ปี และมากกว่า 15 ปี เพื่อศึกษาคุณลักษณะดินและปริมาณจุลินทรีย์ที่มีการเปลี่ยนแปลงตามอายุป่า

3.1.2 การจัดเตรียมพื้นที่ก่อนการฟื้นฟู

- นำกองมูลดินทรายที่เกิดจากการเปิดหน้าเหมือง เก็บกองเป็นแบบขั้นบันไดโดยมีความสูงชั้นละไม่เกิน 15 เมตร ความกว้างหน้าขั้นระดับ (Berm Wide) 8 เมตร ความลาดชันรวมไม่เกิน 27 องศา
- นำกองมูลดินทรายที่มีการปนเปื้อนด้วยแคดเมียมสูงเก็บกองไว้ด้านใน แล้วนำกองมูลดินทรายที่มีการปนเปื้อนด้วยแคดเมียมต่ำปิดทับด้านนอกโดยมีความหนา 3 เมตร
- ก่อนการฟื้นฟูมีการนำหน้าดินผสมอินทรียวัตถุจากภายนอกถม 30 เซนติเมตร ก่อนปลูกพืช



รูปที่ 3 ผิดพลาด! ไม่มีข้อความของสไตล์ที่ระบุในเอกสาร-2 ลักษณะพื้นที่และจุดเก็บตัวอย่าง

3.1.3 ข้อมูลการฟื้นฟูป่าไม้บริเวณเหมืองสังกะสี อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก

บริษัท ผาแดงอินดัสทรี จำกัด (มหาชน) มีที่ตั้งอยู่ในเขตตำบลพระธาตุผาแดง อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก โดยมีการฟื้นฟูสภาพพื้นที่สิ้นสุดการทำเหมืองซึ่งได้เริ่มทำการปรับปรุงสภาพพื้นที่ส่วนใหญ่บริเวณแนวขอบบ่อเหมือง ลานทิ้งดิน และพื้นที่ส่วนอื่นๆ ภายในเขตอนุญาตที่เกี่ยวข้องกับการทำเหมืองโดยมีการปรับปรุงสภาพพื้นที่ให้เหมาะสมกับการปลูกต้นไม้และ

ทำการคัดเลือกพันธุ์ให้เหมาะสมกับสภาพพื้นที่ควบคู่ไปกับการทำเหมืองโดยเริ่มดำเนินการตั้งแต่ปี 2536 โดยมีรายละเอียดดังนี้

ปี พ.ศ. 2536 เริ่มมีการปลูกหญ้าแฝกบริเวณขอบขั้นบันไดด้านทิศตะวันออกของเหมือง มีเนื้อที่ 38 ไร่

ปี พ.ศ. 2543 ปลูกต้นพญาสัตบรรณและต้นยูคาลิปตัส บริเวณลานทิ้งดินที่ 1 มีเนื้อที่ 5 ไร่

ปี พ.ศ. 2545 ปลูกต้นกระถินเทพา สนสามใบ ยูคาลิปตัส และขี้เหล็กอเมริกัน บริเวณลานดินที่ 1 มีเนื้อที่ 8 ไร่

ปี พ.ศ. 2548 ดำเนินการปลูกตระกูลถั่ว ไม้โตเร็ว เช่น ยูคาลิปตัส พญาสัตบรรณ สะเดา และไผรวก บริเวณลานดินที่ 3 มีเนื้อที่ 10.1 ไร่

ปี พ.ศ. 2549 ดำเนินการปลูกต้นไม้ยืนต้น ได้แด่ ไผ่ ไม้แดง กระถินบ้าน สะตอป่า ขนุนป่า และเสี้ยวดอกขาวบริเวณพื้นที่บ่อเหมืองซึ่งเป็นพื้นที่ประทานบัตรที่ 30769/15525 จำนวน 8.3 ไร่ และปลูกไม้โตเร็วบริเวณพื้นที่การเก็บขังน้ำขุ่นข้นหรือมูลดินทรายนอกเขตเหมืองแร่ที่ 1/2545 และลานทิ้งดินที่ 3 คือ สะตอป่า ไผ่ เสี้ยวดอกขาว และพืชคลุมดิน

ปี พ.ศ. 2550 ดำเนินการปลูกพืชคลุมดิน ไม้ยืนต้นโตเร็ว และเป็นไม้ท้องถิ่น ได้แก่ ไผ่ สัก สะตอป่า หญ้าแฝก และหญ้ารูซี่ บริเวณลาดชันของพื้นที่ลานทิ้งดินที่ 3 และปลูกหญ้าแฝก หญ้ารูซี่ และต้นไม้โตเร็ว เช่น กระถิน และตะขบ เป็นต้น บริเวณอาคารเก็บวัตถุระเบิดซึ่งเป็นพื้นที่ใบอนุญาตปลูกสร้างอาคารเกี่ยวกับการทำเหมือง หรือจัดตั้งสถานที่เพื่อการแต่งแร่นอกเขตเหมืองแร่ที่ 1/252

ปี พ.ศ. 2551 ดำเนินการปลูกต้นไม้พื้นที่บ่อเหมืองด้านทิศใต้ ลานทิ้งดินที่ 1 และลานทิ้งดินที่ 3 จำนวน 14 ไร่ โดยดำเนินการปลูกไม้ยืนต้น เช่น สักและมะค่าโมง เป็นต้น

ปี พ.ศ. 2552 และปี 2553 ดำเนินการปลูกต้นไม้บริเวณลานทิ้งดินที่ 3 ได้แก่หญ้าแฝกและไม้ยืนต้นโตเร็ว

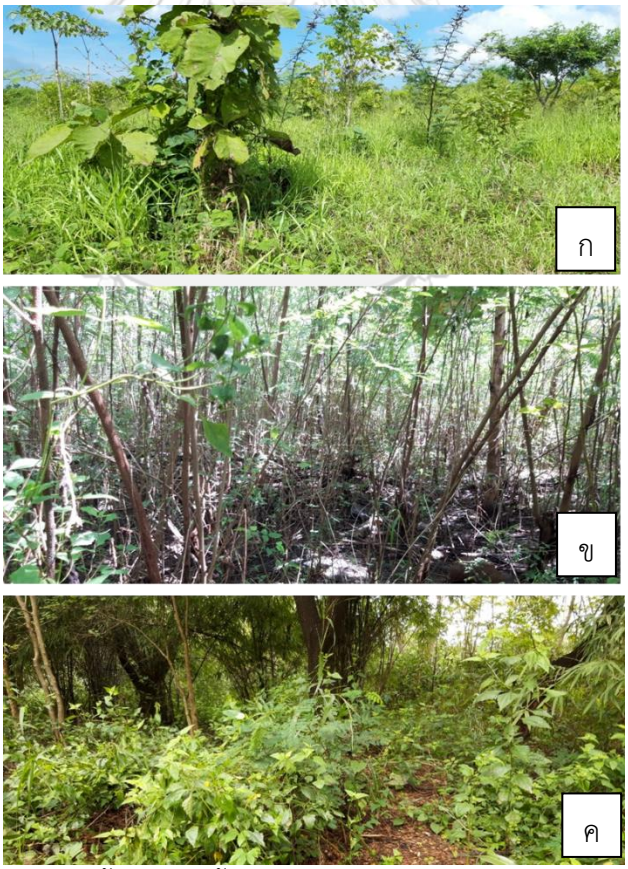
ปี พ.ศ. 2554 ดำเนินการปลูกต้นไม้ยืนต้นท้องถิ่นและหญ้าแฝกบริเวณลานทิ้งดินที่ 1 และบริเวณพื้นที่บ่อเหมืองที่สิ้นสุดการทำเหมืองแล้วบริเวณบ่อเหมืองด้านทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ และทิศตะวันตกเฉียงใต้ รวมเนื้อที่ 129 ไร่ แบ่งออกเป็นพื้นที่ลานดินประมาณ 77 ไร่

ปี พ.ศ. 2555 ดำเนินการฟื้นฟูสภาพแวดล้อมพื้นที่ทำเหมืองบริเวณขอบบ่อเหมือง และพื้นที่ลานทิ้งดินที่ 1 โดยกรปลูกพืชคลุมดิน ไม้ยืนต้น และไม้ท้องถิ่น รวมเนื้อที่ 103 ไร่

ปี พ.ศ. 2556 ถึงปัจจุบันมีแผนการดำเนินการฟื้นฟูสภาพบริเวณพื้นที่ทำเหมือง โดยการปลูกพืชคลุมดิน และไม้ยืนต้นท้องถิ่น

3.1.4 ข้อมูลชนิดพันธุ์ไม้และลักษณะบริเวณพื้นที่ศึกษา

- แปลงฟื้นฟูป่าอายุ 0-5 ปี มีเนื้อที่ 6.5 ไร่ ได้รับการฟื้นฟูโดยปลูกหญ้ารูซี่ ไผ่ และต้นสัก
- แปลงฟื้นฟูป่าอายุ 6-15 ปี มีเนื้อที่ 7.5 ไร่ ได้รับการฟื้นฟูโดยปลูกต้นกระถิน ต้นสัก รวงผึ้ง
- แปลงฟื้นฟูป่าอายุมากกว่า 15 ปี มีเนื้อที่ 5 ไร่ ได้รับการฟื้นฟูโดยปลูกต้นกระถิน ต้นสัก กระถิน ตะขบ ไผ่



รูปที่ 3.3 ลักษณะพื้นที่แปลงฟื้นฟูป่าอายุ 0-5 ปี 6-15 ปี และมากกว่า 15 ปี

หมายเหตุ (ก) แปลงฟื้นฟูป่าอายุ 0-5 ปี (ข) แปลงฟื้นฟูป่าอายุ 6-15 ปี (ค) แปลงฟื้นฟูป่าอายุมากกว่า15 ปี

3.2 ขั้นตอนการศึกษา

มีขั้นตอนศึกษา (รูปที่ 3.3) ดังนี้

1) สอบถามข้อมูลบริเวณพื้นที่ที่มีการปลูกป่าฟื้นฟูหลังการทำเหมืองสังกะสี โดยใช้ข้อมูลอายุของแปลงฟื้นฟูป่าจากเจ้าหน้าที่ บริษัท ผาแดงอินดัสทรี จำกัด (มหาชน) โดยแบ่งเป็นป่าฟื้นฟูอยู่ในช่วงอายุ 0-5 ปี 6-15 ปี และ มากกว่า 15 ปี

2) สำรวจพื้นที่ และการกำหนดพิกัดทางภูมิศาสตร์ด้วยเครื่องหาพิกัดด้วยสัญญาณดาวเทียม ณ ภาคสนาม และระบุพิกัดพื้นที่ศึกษาลงบนแผนที่ Google Earth

3) ทำการวางเส้นทางเพื่อใช้วางควอทแดท (quadrant) มีขนาด 10 x 10 ตารางเมตร โดยใช้วิธี Line transect method โดยกำหนดทิศทางการวางเส้น (line) จากบริเวณทิศเหนือของแปลงป่าฟื้นฟู ระยะเส้น 150 เมตร ระยะห่างระหว่างแปลงย่อย 20 เมตร ทิศทางการวางควอทแดทเลือกตามความเหมาะสมของพื้นที่ตามการวางเส้นแปลงป่าฟื้นฟู (Jachmann H., 2001)

4) สุ่มเก็บตัวอย่างดินโดยใช้วิธีการสุ่ม (Random sampling) (Maben, 2015) 3 จุด ในแต่ละแปลงย่อย โดยวัดอุณหภูมิในดินที่ภาคสนามและแบ่งเก็บตัวอย่างดินเป็น 2 ส่วน

- ส่วนที่ 1 ใช้กระบอกโลหะเก็บดินโดยปิดฝาให้มิดชิด เพื่อป้องการระเหยของน้ำในดิน และนำมาวิเคราะห์ความชื้นและความหนาแน่นในดิน
- ส่วนที่ 2 ตัวอย่างประมาณ 0.5 กิโลกรัม โดยเก็บรักษาตัวอย่างที่อุณหภูมิ 4°C เพื่อนำมาวิเคราะห์คุณลักษณะดินทางเคมี (ความเป็นกรดเป็นด่าง อินทรียวัตถุ คาร์บอนทั้งหมด ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ กำมะถัน ปริมาณโลหะหนัก) และคุณลักษณะดินทางชีวภาพ (แบคทีเรีย รา แอคติโนมัยซีท)

5) เก็บตัวอย่างเห็ดบนดินโดยในแต่ละควอทแดทที่พบ และนำมาจำแนกชนิด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

3.2.1 วิธีการเก็บตัวอย่างดินและเห็ดบนดินที่พบ

มีวิธีการเก็บตัวอย่างในแต่ละแปลง (Carter M.R., and Gregorich E.G., 2008; กรมพัฒนาที่ดิน, 2540b) (กรมพัฒนาที่ดิน, 2540b)(รูปที่ 3.4) ดังต่อไปนี้

1) เก็บตัวอย่างดินของแต่ละควอทแดทในแปลงฟื้นฟูป่าอายุ 0-5 ปี 6-15 ปี และ มากกว่า 15 ปี ควอทแดทละ 3 จุด รวมเป็น 15 ตัวอย่าง

2) ใช้พลั่วขุดดินเป็นรูปตัววี (V) ในแต่ละจุด ความลึกจากหน้าดินประมาณ 15 ซม.และเก็บตัวอย่างดิน 1 ส่วน ให้ได้น้ำหนักดินประมาณ 1 กิโลกรัม และใส่ตัวอย่างดินลงในถุงพลาสติกซิปล็อคที่เตรียมไว้ โดยการเก็บรักษาตัวอย่างดินอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จนกว่าจะมีการวิเคราะห์ลักษณะดิน (ตารางที่ 3.1) ในภายหลัง (Matsushita Y., 2010) พร้อมทั้งจดบันทึกข้อมูล

3) นำตัวอย่างดินมาอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสและบดผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร เพื่อทำการวิเคราะห์ต่อไป

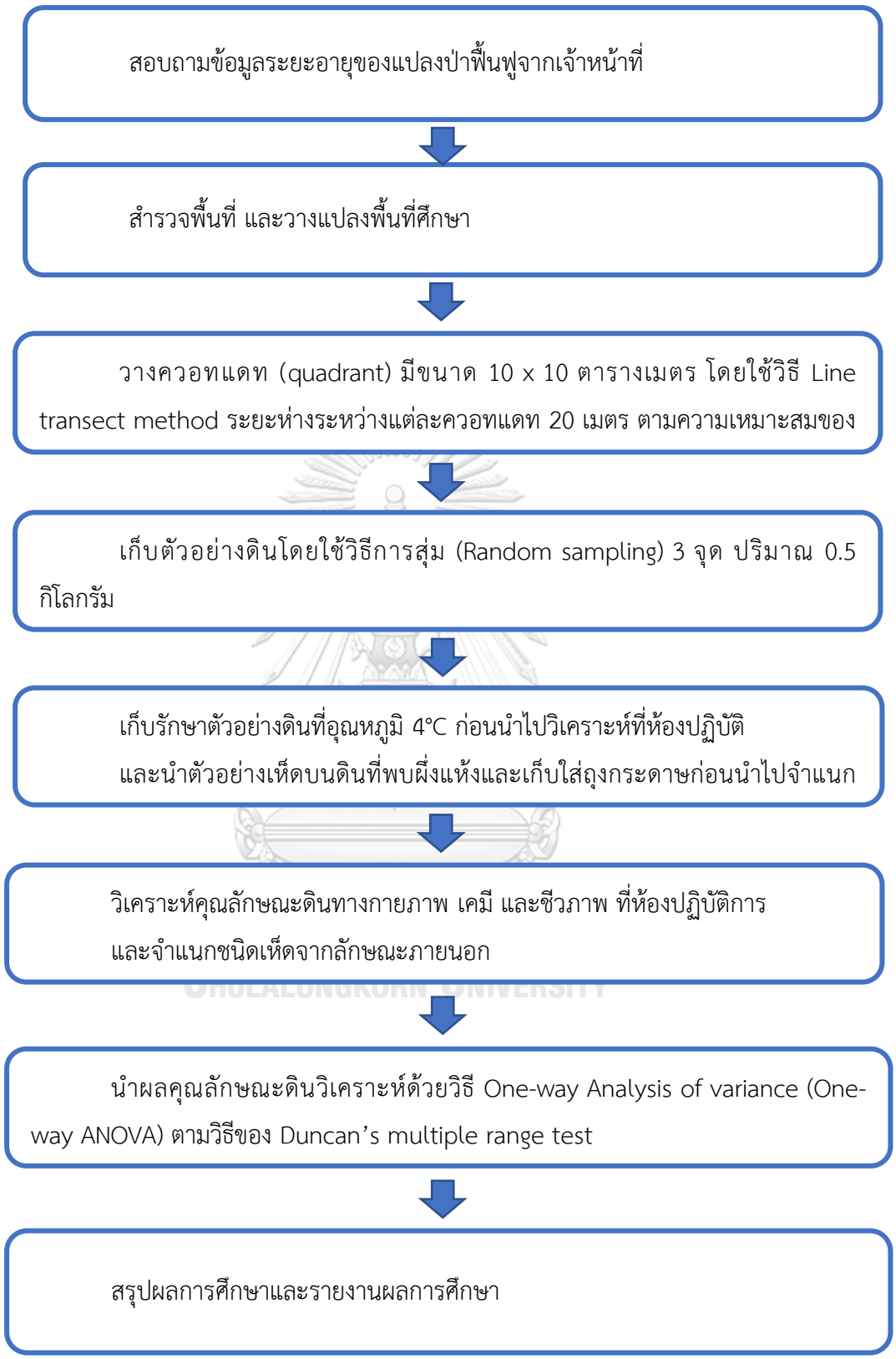
ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์เพื่อวิเคราะห์คุณลักษณะดิน

พารามิเตอร์	**อายุ 0-5 ปี**[1]	**อายุ 6-15 ปี**[2]	**มากกว่า 15 ปี**[3]
	มิ.ย.	**มิ.ย.**	**มิ.ย.**
ทางกายภาพ • เนื้อดิน • ความหนาแน่นของดิน • ความชื้น • อุณหภูมิ	15 ตัวอย่าง	15 ตัวอย่าง	15 ตัวอย่าง
ทางเคมี • อินทรียวัตถุ • ไนโตรเจนทั้งหมด • คาร์บอนทั้งหมด • ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ • กำมะถัน • ความเป็นกรด-ด่าง • โลหะหนัก (Cd Cu Fe Mn Ni Pb และ Zn)			
ทางชีวภาพ • ปริมาณแบคทีเรีย, แอคติโนมัยซีท, รา			

1(Chen Y.L. et al., 2004; รวีวรรณ เดื่อมขันมณี., 2557), 2 (กรมป่าไม้, 2553; วิเชียร สุมันตกุล, 2544), 3(Cavagnaro et al., 2016; Yahya K. et al., 2015)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4) เก็บตัวอย่างเห็ดในแต่ละควอทแดทของแปลงป่าฟื้นฟูอายุ 0-5 ปี 6-15 ปี และมากกว่า 15 ปี โดยถ่ายรูปชนิดเห็ดที่พบ จดบันทึกลักษณะภายนอกของเห็ด ลักษณะพื้นที่ที่พบเห็ด และเก็บตัวอย่างเห็ดแต่ละชนิดใส่แยกถุงกระดาษเพื่อป้องกันการปนเปื้อนของสปอร์เพื่อนำไปจำแนกชนิดต่อไป (อนงค์, พูนพิไล และอุทัยวรรณ, 2551)



รูปที่ 3.4 ขั้นตอนการศึกษา

3.3 การเตรียมการวิเคราะห์ดิน

3.3.1 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี

วัสดุอุปกรณ์

1. ตลับเมตร
2. เครื่องวัดพิกัดทางภูมิศาสตร์ GPS รุ่น Garmine eTrex30x
3. พลั่ว (Shovel)
4. ถุงพลาสติกสำหรับใส่ตัวอย่างดิน หรือภาชนะสำหรับใส่ดิน
5. ตะแกรงร่อนตัวอย่างดิน
6. เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH-meter) รุ่น NANA-111159 Eutech-Mettler
7. เครื่อง spectrophotometer
8. ตู้อบ (Oven) ของ memmert
9. เครื่องนึ่งฆ่าเชื้อ (Autoclave)
10. เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง Presica รุ่น BJ 1000C
11. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง METTLER TOLEDO รุ่น AB204-S
12. ช้อนตักสาร (spatula)
13. ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer Flask) ขนาด 50 และ 250 ml
14. กระดาษกรอง เบอร์ 42
15. ปิเปต (pipette)
16. บีกเกอร์ขนาด 50 100 และ500 ml
17. ขวดวัดปริมาตร (Volumetric flask) ขนาด 250 500 และ1000 ml
18. หลอดทดลอง (Test tube) ขนาด 16x100 mm
19. ตะแกรงใส่หลอดทดลอง (Test tube rack)
20. กระบอกฉีดน้ำกลั่น
21. กระบอกตวง ขนาด 25 ml และ 100 ml
22. บิวเรต ขนาด 50 ml
23. จานเพาะเชื้อ (Plate)
24. แท่งแก้วสามเหลี่ยม
25. เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer)
26. ช้อนตักสาร
27. กระดาษชั่งสาร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารเคมี

1. สารสารละลายมาตรฐานโปแตสเซียมไดโคเมต ($K_2Cr_2O_7$) ของ Ajax Finechem
2. กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) ชอง QRëC
3. แอมโมเนียมฟลูออไรด์ (NH_4F) ของ MERCK
4. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ของ Fisher Scientific
5. แบเรียมคลอไรด์ ($BaCl_2$) ของ MERCK
6. Beef extract ของ Bacto™
7. Peptone Peptone ของ Bacto™
8. Yeast extract ของ Bacto™
9. Rose Bengal
10. Streptomycin
11. Na Casenate
12. ผงวุ้น (Agar)
13. ได-โพแทสเซียมไฮโดรเจนออโธฟอสเฟต (K_2HPO_4) ของ UNILAB
14. แมกนีเซียมซัลเฟตเฮปตะไฮเดรต ($MgSO_4.7H_2O$) ของ MERCK
15. เฟอริกคลอไรด์ แอนไฮดรัส $FeCl_3$ ของ UNILAB
16. กรดแอสคอร์บิก ($C_6H_8O_6$) ของ UNILAB
17. กรดบอริก (H_3BO_3) ของ RCI labscan
18. 1 10-ฟีแนนโทรลีนไฮเดรต ($C_{12}H_8N_2.H_2O$) ของ Ajax Finechem
19. แอมโมเนียมเฟอรัสซัลเฟต ($FeSO_4.(NH_4)SO_2.6H_2O$) ของ Ajax Finechem
20. แอมโมเนียมโมลิบเดต ($(NH_4)_6Mo_7O_4^{-2}•4H_2O$) ของ LOBA CHEMIE
21. น้ำกลั่น

3.3.2 วิธีการเตรียมตัวอย่างดินเพื่อการวิเคราะห์

การนำตัวอย่างไปวิเคราะห์จำเป็นต้องมีการเตรียมตัวอย่างดิน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2540a) ตามขั้นตอนดังนี้

1) นำตัวอย่างดินเลือกเศษวัสดุที่ติดมากับดินออก และนำมาอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส

2) นำตัวอย่างดินที่แห้งแล้ว ทำการร่อนด้วยตะแกรงร่อนขนาด 2 มิลลิเมตร นำตัวอย่างดินไปวิเคราะห์หาปริมาณอินทรียวัตถุ และธาตุอาหารในดิน ตามลำดับ

3.3.3 วิธีการวิเคราะห์ลักษณะดิน

วิเคราะห์ลักษณะดินทางกายภาพ

1) การวิเคราะห์เนื้อดินโดยวิธีไฮโดรมิเตอร์ (Head, 2006)

ชั่งตัวอย่างดิน 50 กรัม เติมสารละลาย calgon และถ่ายสารละลายทั้งหมดลงใน Dispersion cup ล้างด้วยน้ำกลั่น นำไปปั่นด้วยเครื่อง Mechanical stirrer และถ่ายลงใน Sedimentation cylinder บันทึกค่าไฮโดรมิเตอร์ที่อ่านได้และนำไปเปรียบเทียบกับสามเหลี่ยมมาตรฐาน

* หมายเหตุ ส่งตัวอย่างดินวิเคราะห์ที่กรมพัฒนาที่ดิน

2) ปริมาณความชื้น (กรมพัฒนาที่ดิน, 2540b อ้างถึงใน Beck, 1999)

ชั่งตัวอย่างดิน 100 กรัม นำใส่ภาชนะที่ทำการชั่งน้ำหนักภาชนะแล้วใส่ตัวอย่างดิน อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส 16 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำไปใส่โถดูดความชื้น (desiccator) ทิ้งไว้ให้เย็น จากนั้นนำมาชั่งน้ำหนักหลังอบ และนำผลที่ได้ไปคำนวณ

3) ความหนาแน่นของดินใช้ core method

เก็บตัวอย่างดิน และเกลี่ยหน้าดินที่กระบอกโลหะให้เรียบเสมอปากกระบอก ปิดฝากระบอกและทำความสะอาดเศษดินรอบ ๆ กระบอกโลหะ และนำไปชั่งน้ำหนักและนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมงหรือจนกว่าน้ำหนักคงที่ จากนั้นทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำกระบอกโลหะนำดินออกล้างทำความสะอาด อบให้แห้งในตู้อบพร้องทั้งชั่งน้ำหนักนำไปคำนวณ

วิเคราะห์ลักษณะดินทางเคมี

1) การวัดความเป็นกรด-ด่างของดิน (pH) (กรมพัฒนาที่ดิน, 2540b อ้างถึงใน Beck,1999)

วัด pH ในน้ำอัตราส่วน ดิน : น้ำ = 1:1 โดยชั่งตัวอย่างดิน 20 กรัม ใส่บีกเกอร์ เติมน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร คนให้เข้ากันด้วยแท่งแก้วเป็นระยะ ๆ 30 นาที จากนั้นทิ้งไว้ 30 นาที นำไปวัดพีเอชของดินด้วย pH meter

2) อินทรียวัตถุในดิน และคาร์บอนทั้งหมด (กรมพัฒนาที่ดิน, 2540b อ้างถึงใน Walkley & Black, 1996)

ชั่งตัวอย่างดิน 1 กรัม เติมสารละลายมาตรฐาน K2Cr2O7 10 มิลลิลิตร และ เติม H2SO4 เข้มข้น 20 ml จากนั้นนำมาไทเทรตด้วย FeSO4 และนำผลที่ได้ไปคำนวณ

3) ไนโตรเจนทั้งหมด (Pansu, and Gautheyrou, 2006)

นำตัวอย่างการย่อยด้วย K2 SO4 :CuSO4 5H2O: Se จากนั้นนำมากลั่นโดยการเติม NaOH ลงไป จากนั้นนำไปไทเทรตหา NH4H2BO3 ที่เกิดขึ้น โดยใช้ H2SO4 และนำผลที่ได้ไปคำนวณ

4) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Pansu, and Gautheyrou, 2006)

ชั่งตัวอย่างดิน 1 กรัม เติมน้ำยาสกัด Bray 2 และKurtz 10 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ 30 นาที จากนั้นนำไปอ่านค่าความเข้มข้นด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ช่วงคลื่น 882 นาโนเมตร และนำผลที่ได้ไปคำนวณ

5) กำมะถัน (กรมวิชาการเกษตร, 2553)

ชั่งตัวอย่างดิน 10 กรัม เติมสารละลาย Calcium Tetrahydrogen Di-orthrophospate 500 mg P/L ปริมาณ 50 มิลลิลิตร นำไปเขย่า 60 นาที และกรองสารละลาย จากนั้นเติม Barium chloride ประมาณ 1 กรัม เขย่าเบาๆและเติม Gum acacia 0.25% ปริมาณ 1 มิลลิลิตร และปรับปริมาณด้วยน้ำกลั่น นำไปอ่านค่าความเข้มข้นด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ช่วงคลื่น 430 นาโนเมตร และนำผลที่ได้ไปคำนวณ

*หมายเหตุ ส่งตัวอย่างวิเคราะห์ที่กรมพัฒนาที่ดิน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

6) โลหะหนัก (Cd Cu Fe Mn Ni Pb และ Zn) (Furman N.H., 1963)

ชั่งตัวอย่างดินเตรียมไว้ 10 กรัม ทำการย่อยตัวอย่างดิน (Digest) ด้วยวิธี nitric acid-hydrochloric acid digestion โดยใช้กรดไนตริกเข้มข้น (NHO3) และกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (HCl) อัตราส่วน 1:3 จากนั้นกรองผ่านกระดาษกรอง เบอร์ 1 และปรับปริมาตรสารละลายด้วยน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 50 มิลลิลิตร และนำสารละลายมาวิเคราะห์โลหะหนักทั้งหมด ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) นำผลที่ได้ไปคำนวณ

*หมายเหตุ ส่งตัวอย่างวิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการ อาคารสถาบัน 2 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิเคราะห์ลักษณะดินทางชีวภาพ

1) วิธีนับจำนวนจากจานเพาะเชื้อ (Total Plate Count) (Witkamp M., 1973)

1. ชั่งตัวอย่างดิน 1 กรัม ต่อน้ำกลั่นฆ่าเชื้อ 10 มิลลิลิตร และนำมาเจือจาง (Dilution) ดังนี้

หาปริมาณแบคทีเรียเจือจางที่ 10^{-4} (ดินจากแปลงฟื้นฟูป่าอายุ 0-5 ปี),10^{-5} (ดินจากแปลงฟื้นฟูป่าอายุ 6-15 ปี) และ 10^{-6} (ดินจากแปลงฟื้นฟูป่าอายุมากกว่า 15 ปี)

หาปริมาณเชื้อราเจือจางที่ 10^{-2} (ดินจากแปลงฟื้นฟูป่าอายุ 0-5 ปี),10^{-3} (ดินจากแปลงฟื้นฟูป่าอายุ 6-15 ปี) และ 10^{-4} (ดินจากแปลงฟื้นฟูป่าอายุมากกว่า 15 ปี)

หาปริมาณเชื้อแอคติโนมัยซีทเจือจางที่ 10^{-2} (ดินจากแปลงฟื้นฟูป่าอายุ 0-5 ปี),10^{-3} (ดินจากแปลงฟื้นฟูป่าอายุ 6-15 ปี) และ 10^{-4} (ดินจากแปลงฟื้นฟูป่าอายุมากกว่า 15 ปี)

2. เตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ 3 ชนิด ได้แก่ Nutrient agar, Streptomycin Rose Bengal Agar และ Na Caseinate Agar สำหรับเชื้อแบคทีเรีย รา และแอคติโนมัยซีท ตามลำดับ

3. ดูดสารละลายที่เตรียมไว้มา 0.1 มิลลิลิตร ใส่ในแต่ละเพลทและทำการกระจายสาร (Spread plate) และนำไปบ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ตามลำดับ

4. นับจำนวนโคโลนีแต่ละเชื้อและบันทึกผล

2) จำแนกชนิดจากการวิเคราะห์รูปร่างดอกเห็ด (Morphology Analysis)

การวิเคราะห์รูปร่างดอกเห็ด (Morphology Analysis) เป็นการศึกษาเกี่ยวกับรูปร่างลักษณะภายนอก และโครงสร้างของเห็ด รวมทั้งรอยพิมพ์สปอร์ เพื่อจำแนกชนิดของเห็ด (อนงค์ จันทร์ศรีกุล et al., 2551)

*หมายเหตุ : มีข้อจำกัดในการเข้าพื้นที่และตัวอย่างเห็ดย่อยสลายง่ายจึงไม่ได้รายงานผลรอยพิมพ์สปอร์

3.3.4 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

ผลวิเคราะห์คุณลักษณะดินหาความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะดินกับอายุแปลงป่าฟื้นฟูบนพื้นที่เหมืองและปริมาณจุลินทรีย์ดินนำไปวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยใช้วิธี Analysis of variance (ANOVA) ตามวิธีของ Duncan’s multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

บทที่ 4
ผลการทดลองและอภิปรายผล

ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะสมบัติดินและจุลินทรีย์ดินในแปลงป่าฟื้นฟูในเหมืองสังกะสี จังหวัดตาก โดยทำการศึกษาคุณลักษณะดินทางกายภาพ เคมี และชีวภาพจากแปลงฟื้นฟูป่าอายุ 0-5 ปี 6-15 ปี และมากกว่า 15 ปี โดยผลการศึกษาสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

4.1 ลักษณะพื้นที่

ก่อนการฟื้นฟูพื้นที่มีการจัดเตรียมหน้าดินซึ่งนำหน้าดินมาจากภายนอกและมีการถมหน้าดินสูง 30 เซนติเมตร เพื่อเตรียมปลูกต้นไม้ในการฟื้นฟู โดยจากการสังเกตบริเวณพื้นที่ศึกษาป่าฟื้นฟูอายุ 0-5 ปี ลักษณะพื้นที่มีความลาดชันอยู่ติดกับถนน โดยในพื้นที่ส่วนใหญ่พบต้นหญ้า มีการปลูกต้นสักและไผ่ในพื้นที่ ลักษณะดินจากการสังเกตมีลักษณะเป็นดินเหนียวปนดินร่วนมีสีน้ำตาลเข้ม เมื่อปลูกหญ้ารูซี่ลงไปแล้วจะมีการตัดหญ้าบางส่วนและปล่อยให้อยู่ตามลักษณะทางธรรมชาติ ในส่วนของพื้นที่ป่าฟื้นฟูอายุ 6-15 ปี ลักษณะพื้นที่จากการสังเกตมีลักษณะเป็นลานดินชั้นบนสุดพบต้นกระถินยัก และหญ้าคาเป็นจำนวนมาก มีต้นสักเป็นส่วนน้อย ลักษณะดินเป็นดินเหนียว มีสีน้ำตาลอ่อน โดยพื้นที่มีความลาดชัน พื้นดินเศษซากกิ่งไม้ ใบไม้โดยสัตว์หน้าดิน (Soil fauna) เช่น มด และไส้เดือน เป็นต้น บริเวณพื้นดิน มีการตัดกิ่งก้านของต้นกระถินบ้างเล็กน้อยส่วนใหญ่ถูกปล่อยไว้ให้อยู่ตามธรรมชาติ ในบริเวณป่าฟื้นฟูอายุมากกว่า 15 ปี ส่วนใหญ่พบต้นไผ่เป็นจำนวนมาก ต้นตะขบ ต้นกระถินยก และต้นสัก โดยลักษณะดินมีลักษณะเป็นดินร่วนปนทรายมีสีน้ำตาลส้ม ต้นไม้มีระยะห่างระหว่างต้นลักษณะพื้นที่มีความลาดชัน โดยบนพื้นดินจะพบเศษซากจากพืชเป็นส่วนน้อยและพบร่องรอยไฟป่า นอกจากนี้ลักษณะพื้นที่ของแปลงฟื้นฟูป่าแต่ละช่วงอายุ มีความลาดชัน ไม่มีแนวคันดินป้องกันการชะล้างของน้ำฝนและกักเก็บความชื้นในดิน

4.1.1 คุณลักษณะดินที่พัฒนาตามอายุแปลงป่าฟื้นฟู

ต้นไม้ในป่าฟื้นฟูบนพื้นที่ทำเหมืองถูกเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของต้นไม้ทั้งใต้ดินและส่วนเหนือดินที่มีลักษณะแตกต่างกัน ซึ่งการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ส่งผลต่อปริมาณอินทรียวัตถุ และลักษณะสมบัติของวัสดุจากพืช (litter) ที่ได้จากใบ (leave) และรากฝอย (fine roots) (Xu et al. (2018), Aerts, R., & Honnay, O. (2011) & Błonska, E., Lasota, J., Zwydak, M., Klamerus-Iwan, A., & Gołab, J. (2016)) โดยมีจุลินทรีย์ในดิน (soil microorganisms) เพื่อย่อยสลายเศษซากพืชทั้งหลายเหล่านี้แล้วส่งผลต่อความหนาแน่นของดิน ความหนาแน่นของดินส่งผลต่อการกักเก็บ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ความชื้นภายในดินและอุณหภูมิของเนื้อดิน รวมถึงค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (potential of hydrogen ion : pH) ในดิน ซึ่งลักษณะสมบัติดินที่มีเปลี่ยนแปลงอันเนื่องมาจากการพัฒนาโครงสร้างของต้นไม้บนพื้นที่เหมืองปัจจัยทางกายภาพที่ส่งผลต่อการสะสมปริมาณคาร์บอนในรูปอินทรียวัตถุในดิน (soil oganic matter) ไนโตรเจนทั้งหมด (total nitrogen) ฟอสฟอรัส (phosphorus) ซึ่งเกิดเป็นการหมุนเวียนธาตุอาหารภายในดิน โดยอาศัยกระบวนการทางเคมีและชีวภาพขณะเกิดกิจกรรมย่อยสลายของจุลินทรีย์ เช่น รา, แบคทีเรีย และแอคติโนมัยซีท (Xu et al. (2018) ดังนั้นผลการศึกษาจึงแสดงถึงการพัฒนาลักษณะสมบัติดินทางกายภาพ ทางเคมี และทางชีวภาพที่พบในแปลงฟื้นฟูป่า

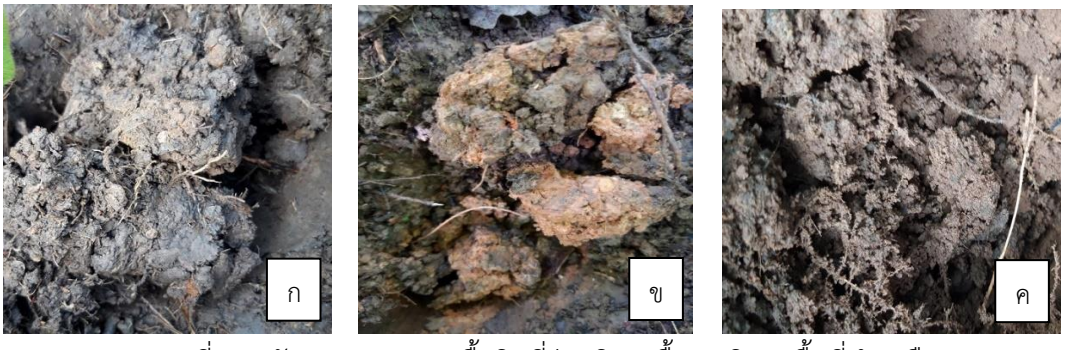
4.1.2 คุณลักษณะดินที่เป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงของอายุป่าฟื้นฟู

เนื้อดิน (Soil texture)

ลักษณะเนื้อดินเป็นปัจจัยสำคัญต่อการเจริญเติบโตของต้นไม้ซึ่งส่งผลต่อความหนาแน่นในดินและการกักเก็บความชื้นในดิน โดยการฟื้นฟูป่าจะส่งต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อดินก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางกายภาพของดินพร้อมก่อให้เกิดการบริการเชิงนิเวศ นอกจากนี้ลักษณะเนื้อยังสามารถบ่งบอกความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบของดินต่างๆ เช่น ลักษณะเนื้อดินทรายจะมีการกักเก็บความชื้นในน้อย เนื่องจากลักษณะดินทรายมีช่องว่างระหว่างอนุภาคมากทำให้น้ำไหลผ่านได้ง่ายกว่าดินร่วนและดินเหนียว (FAO., 2017) จากการศึกษาภาคสนามพบว่าลักษณะเนื้อดินแปลงฟื้นฟูป่าอายุ 0-5 ปี ลักษณะเนื้อดินส่วนมากมีลักษณะเนื้อดินเหนียวปนร่วน (silty clay) แปลงฟื้นฟูป่าอายุ 6-15 ปี ลักษณะเนื้อดินเป็นดินเหนียวปนร่วน (silty clay) และแปลงฟื้นฟูป่าอายุมากกว่า 15 ปี ลักษณะเนื้อดินเป็นดินร่วนปนทราย (sandy loam) (

รูปที่ 4.*1*)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

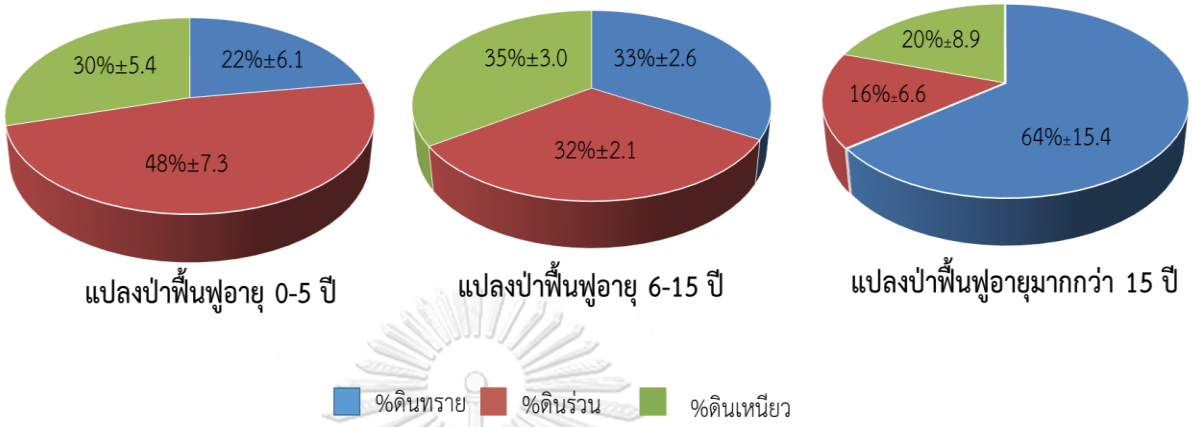


รูปที่ 4.1 ลักษณะประเภทเนื้อดินที่ป่าบริเวณฟื้นฟูบริเวณพื้นที่ทำเหมือง

หมายเหตุ ก ลักษณะสมบัติดินเหนียวปนร่วนพบในป่าฟื้นฟูอายุ 0-5 ปี

ข ลักษณะสมบัติดินเหนียวปนดินร่วนพบในป่าฟื้นฟูอายุ 6-15 ปี

ค ลักษณะสมบัติดินร่วนปนทรายพบในป่าฟื้นฟูอายุมากกว่า15 ปี



รูปที่ 4.2 การเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของเนื้อดิน

*หมายเหตุ N=5

ผลการศึกษาพบว่าแปลงป่าฟื้นฟูมีอายุเพิ่มขึ้นสัดส่วนของดินทรายเพิ่มขึ้นตามอายุป่าโดยสัดส่วนของดินทรายมีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ ($\bar{X}$±SD) 22±6.1 33±2.6 และ 64±15.4 ตามลำดับ ในขณะที่สัดส่วนของดินเหนียวและดินร่วนลดลงตามอายุ สัดส่วนของดินเหนียวมีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ ($\bar{X}$±SD) 30±5.4 35±-3.0 และ 20±8.9 mg/kg ตามลำดับ และสัดส่วนของดินร่วนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ ($\bar{X}$±SD) 48±7.3 32±2.1 และ 16±6.6 mg/kg ตามลำดับ (รูปที่ 4.2) ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการชะล้างของน้ำฝนที่พัดพาตะกอนดิน ทำให้ปริมาณของดินทรายเพิ่มขึ้น เนื่องจากดินทรายมีอนุภาคหนักกว่าดินเหนียวและดินร่วน จึงถูกพัดพาไปได้ยากกว่า และประเด็นสำคัญที่พบในการศึกษานี้คือการจัดเตรียมพื้นที่ก่อนการฟื้นฟูป่าของเหมืองพบว่ามีการเตรียมหน้าดินให้มีคุณลักษณะดินที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและการรอดชีวิตของต้นกล้าจนเติบโตเป็นต้นไม้ใหม่ต่อไปและมีการถมหน้าดินเพียง 30 เซนติเมตร ซึ่งสาเหตุที่มีการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของดินทรายที่มากขึ้น อาจมาจากการย่อยสลายอินทรียวัตถุในหน้าดินที่มีการผสมรวมกับหน้าดินก่อนปลูกต้นกล้าและในขั้นตอนเตรียมพื้นที่ไม่มีการคำนึงถึงความลาดชันของพื้นที่ จึงทำให้หน้าดินถูกชะล้างจากการไหลบ่าของน้ำฝนโดยการพัดพาตะกอนดินจึงทำให้หน้าดินที่ถมถูกชะล้างและดินดั้งเพิ่มเพิ่มขึ้นมาแทนที่ (Jennifer et al.2009., Cory C. C., Sasha C. R., & Alan R. T.,2006)

จากผลการศึกษาสรุปได้ว่าการเปลี่ยนคุณลักษณะเนื้อดินเป็นผลมาจากการชะล้างหน้าดินด้วยน้ำฝนที่พัดพาอนุภาคดินที่มีขนาดเล็กจากบริเวณพื้นที่ศึกษา ซึ่งจากการพัดพาอนุภาคดินโดย

น้ำฝนส่งผลให้แปลงป่าฟื้นฟูที่มีอายุเพิ่มมากขึ้นมีอนุภาคดินเป็นดินทรายมากกว่าดินร่วนและดินเหนียว ดังนั้นการเตรียมแปลงสำหรับฟื้นฟูป่าบนพื้นที่เหมืองควรคำนึงถึงความลาดชันของพื้นที่ เพื่อป้องกันการชะล้างของตะกอนดินจากหน้าดินโดยน้ำฝน (Inthapan, and Boonchee, 2000; Truong, 2000)

โลหะหนักในดิน (Soil heavy metals)

ปริมาณโลหะหนักเป็นธาตุอาหารปริมาณน้อยแต่มีบทบาททางอ้อมในดิน ซึ่งเป็นปัจจัยที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชโดยส่งผลต่อกระบวนการทางชีวภาพ โดยทั่วไปผิวโลกจะมีการสะสมของโลหะหนักอยู่ปริมาณหนึ่ง ซึ่งโลหะหนักในดินเกิดจากการผุพังและการสลายตัวของวัตถุต้นกำเนิดจากสภาพแวดล้อม (FAO, 2016) ปริมาณโลหะหนักในดินแปรผันตามลักษณะของวัตถุกำเนิด ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน เนื้อดิน และระดับความลึกของดิน

ผลการศึกษาพบว่าปริมาณโลหะหนักของแปลงฟื้นฟูป่าอายุ 0-5 ปี 6-15 ปี และมากกว่า 15 ปี มีแนวโน้มสูงขึ้น โดยปริมาณสังกะสีมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ ($\bar{X}$±SD) 73.9±13.7 250.3±166.7 และ 1416.2±698.4 mg/kg ตามลำดับ ปริมาณแคดเมียมมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ ($\bar{X}$±SD) 0.70±0.2 2.70±2.4 และ 12.0±5.7 mg/kg ตามลำดับ (ตารางที่ 4.1) จากการทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของปริมาณสังกะสีและแคดเมียมในดินจากแปลงฟื้นฟูป่า 3 ช่วงอายุ พบว่าแปลงฟื้นฟูป่าอายุมากกว่า 15 ปี มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (P<0.05) กับดินจากแปลงฟื้นฟูป่า 0-5 ปี และ 6-15 ปี โดยปริมาณสังกะสีและแคดเมียมในดินจากป่าบริเวณใกล้เคียงพื้นที่ศึกษา 14.4±12.1 mg/kg และ0.77±0.26 mg/kg ตามลำดับ โดยปริมาณสังกะสีและแคดเมียมในดินที่ราบสูงบริเวณใกล้เคียงพื้นที่ศึกษา 26.8±15.8 mg/kg และ1.38±0.68 mg/kg ตามลำดับ (Sriprachote et al., 2014) นอกจากนี้ปริมาณเหล็ก แมงกานีส และตะกั่วมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยปริมาณเหล็กมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ ($\bar{X}$±SD) 21,120.80±1976.70 30,065.41± 2,934.50 และ 31,079±7,216.20 mg/kg ตามลำดับ ปริมาณแมงกานีสมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ ($\bar{X}$±SD) 532.80±2.30 660.60±1.80 และ 2,398.60±4.10 mg/kg ตามลำดับ และปริมาณตะกั่วค่าเฉลี่ยเท่ากับ ($\bar{X}$±SD) 26.70±2.30 30.80±7.10 และ 403.80±259.20 mg/kg ตามลำดับ (ตารางที่ 4.1) จากการทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของปริมาณเหล็ก แมงกานีส และตะกั่วในดินจากแปลงฟื้นฟูป่า 3 ช่วงอายุ พบว่าแปลงฟื้นฟูป่าอายุมากกว่า 15 ปี มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (P<0.05) กับดินจากแปลงฟื้นฟูป่า 0-5 ปี และ 6-15 ปี และปริมาณโลหะหนักที่ไม่เปลี่ยนแปลงคือ ทองแดงและนิเกิล ปริมาณทองแดงมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ ($\bar{X}$±SD) 16.60±2.30 19.80±1.80 และ 16.20±4.10 mg/kg ตามลำดับ จากการทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ของปริมาณเหล็ก แมงกานีส และตะกั่วในดินจากแปลงฟื้นฟูป่า 3 ช่วงอายุ พบว่าแปลงฟื้นฟูป่าอายุ 0-5 ปี 6-15 ปี และมากกว่า 15 ปี ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (P>0.05) และปริมาณนิเกิลมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ ($\bar{X}$±SD) 15.70±1.80 22.51±1.90 และ 13.51±5.30 mg/kg ตามลำดับ จากการทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของปริมาณเหล็ก แมงกานีส และตะกั่วในดินจากแปลงฟื้นฟูป่า 3 ช่วงอายุ พบว่าแปลงฟื้นฟูป่าอายุ 6-15 ปี มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (P<0.05) กับดินจากแปลงฟื้นฟูป่า 0-5 ปี และ มากกว่า15 ปี จากการศึกษาพบแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของปริมาณโลหะหนักโดยเฉพาะสังกะสีและแคดเมียมอาจเป็นผลมาจากหน้าดินถูกพัดพาทำให้โลหะหนักที่ถูกสะสมไว้ในดินดั้งเดิมเพิ่มขึ้นมาแทนซึ่งจากข้อมูลนี้ไม่น่าจะสัมพันธ์กับชนิดเห็ดที่พบในแปลงศึกษา เนื่องจากเป็นปริมาณของโลหะหนักรวมซึ่งปริมาณโลหะที่ละลายออกมาในรูปของสารละลายความเป็นพิษเฉียบพลันจะต้องมีปริมาณสูง

จากผลการศึกษาสรุปได้ว่าแนวโน้มเพิ่มขึ้นของปริมาณโลหะหนักในดินเป็นผลมาจากอิทธิพลการชะล้างหน้าดิน เนื่องจากพื้นที่แปลงฟื้นฟูป่าที่เหมืองมีลักษณะพื้นที่ลาดชัน ซึ่งในขั้นตอนการฟื้นฟูมักมองที่ธาตุอาหารสำหรับต้นไม้และชนิดของต้นไม้เป็นหลัก แต่ไม่มีการจัดการที่ระมัดระวังเรื่องการจัดเตรียมพื้นที่และดินก่อนการฟื้นฟูป่า

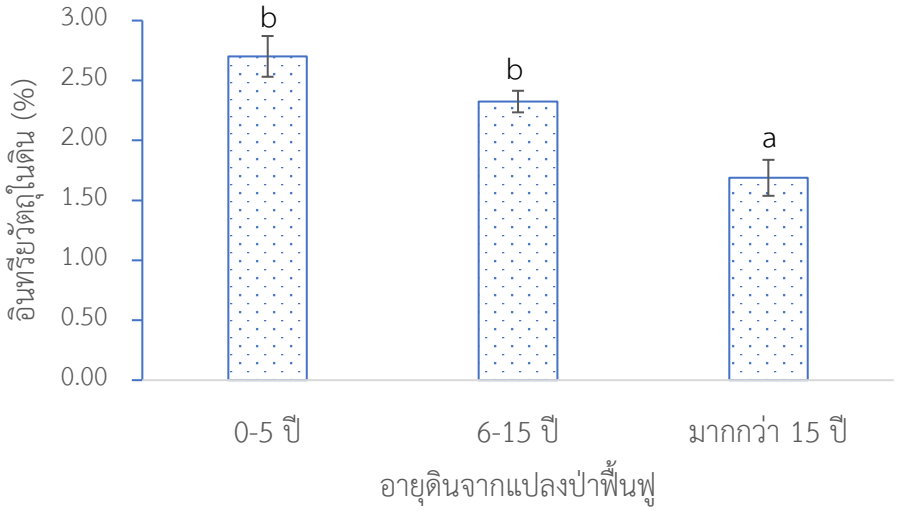
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 4.1 ปริมาณโลหะหนักในดินจากแปลงฟื้นฟูป่าอายุ 0-5 ปี 6-15 ปี และมากกว่า 15 ปี

อายุดินจากแปลงป่าฟื้นฟู	ปริมาณโลหะหนัก (mg/kg)						
	สังกะสี	แคดเมียม	เหล็ก	แมงกานีส	นิเกิล	ตะกั่ว	ทองแดง
0-5 ปี	73.86±13.7^{a}	0.70±0.2^{a}	21,120.80±1,976.7^{a}	532.80±2.3^{a}	15.70±1.8^{a}	26.70±2.3^{a}	16.60±2.3^{a}
6-15 ปี	250.26±166.7^{a}	2.70±2.4^{a}	30,065.41±2,934.5^{b}	660.60±1.8^{a}	22.51±1.9^{b}	30.80±7.1^{a}	19.80±1.8^{a}
มากกว่า 15 ปี	1,416.20±698.4^{b}	12.00±5.7^{b}	31,079.40±7,216.2^{b}	2,398.60±4.1^{b}	13.51±5.3^{a}	403.80±259.2^{b}	16.20±4.1^{a}
N=	5	5	5	5	5	5	5
F=	15.47	14.27	6.97	15.47	9.30	10.46	2.26
Sig=	.000	.001	.010	.000	.004	.002	.146

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษ a และ b แสดงถึงความแตกต่างและไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตามวิธีของ Duncan's multiple range test โดยมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95% ($\bar{X}$±SD)

อินทรียวัตถุในดิน (Soil organic matter)



รูปที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยอินทรียวัตถุในดินบริเวณแปลงป่าฟื้นฟู

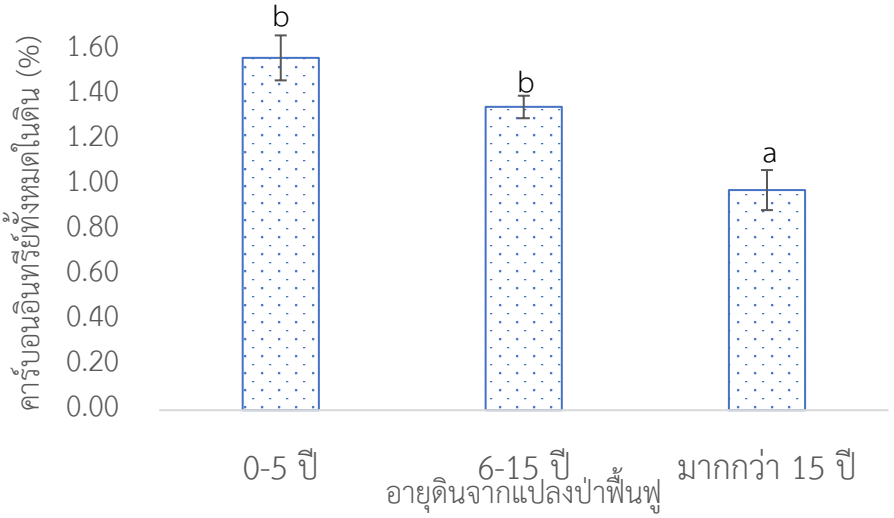
หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษ a และ b แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตามวิธีของ Duncan's multiple range test โดยมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (N= 15)

ผลการศึกษาพบว่าปริมาณของอินทรียวัตถุลดลง โดยพบปริมาณอินทรียวัตถุในแปลงป่าฟื้นฟูอายุ 0-5 ปี มากกว่า 15 ปี 6-15 ปี มีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ ($\bar{X}$±SD) 2.70±1.15 2.32±0.6 และ1.68±1.02 ตามลำดับ จากการทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของปริมาณอินทรียวัตถุในดินจากแปลงป่าฟื้นฟู 3 ช่วงอายุ พบว่าป่าฟื้นฟูอายุมากกว่า 15 ปี มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (P<0.05) กับลักษณะดินจากป่าฟื้นฟู 0-5 ปี และ 6-15 ปี ปริมาณอินทรียวัตถุในดินของป่าใกล้เคียงพื้นที่ศึกษาพบว่ามีปริมาณอินทรียวัตถุร้อยละ 1.53 ซึ่งกว่าปริมาณอินทรียวัตถุของการศึกษานี้ และปริมาณอินทรียวัตถุในดินของที่ราบสูงบริเวณใกล้เคียงพื้นที่ศึกษาพบว่ามีปริมาณอินทรียวัตถุร้อยละ 3.17 มากกว่าปริมาณอินทรียวัตถุของการศึกษานี้ ทั้งนี้การเปลี่ยนแปลงของปริมาณอินทรียวัตถุในดินมีการผันแปรตามปัจจัยสิ่งแวดล้อมอื่นๆ จากผลการศึกษานี้อาจมีสาเหตุจากพบร่องรอยการกัดเซาะหน้าดินของพื้นที่โดยการชะล้างของน้ำฝนทำให้มีการเปลี่ยนแปลงอินทรียวัตถุ (Jennifer et al.2009., Bauer A.,1974) และพบร่องรอยการเผาป่าโดยมีรายงานไฟป่าทำให้สูญเสียอินทรียวัตถุหน้าดิน 10-20% (FAO 2005, Santín and Doerr,2016) อินทรียวัตถุเป็นปัจจัยสำคัญของการพัฒนาเนื้อดิน (soil texture) โดยกิจกรรมของจุลินทรีย์จากการย่อยสลาย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากผลการศึกษาสรุปได้การลดลงของปริมาณอินทรียวัตถุจากหน้าดินเป็นผลมาจากการถูกชะล้างของน้ำฝนและถูกไฟป่าเผาทำลาย ดังนั้นควรมีการระมัดระวังเรื่องการเตรียมพื้นที่เพื่อป้องกันการชะล้างของน้ำฝนและมาตรการป้องกันการเกิดไฟป่าบริเวณแปลงฟื้นฟู

คาร์บอนทั้งหมดในดิน (Soil total carbon)



รูปที่ 4.4 ค่าเฉลี่ยคาร์บอนทั้งหมดบริเวณแปลงป่าฟื้นฟู

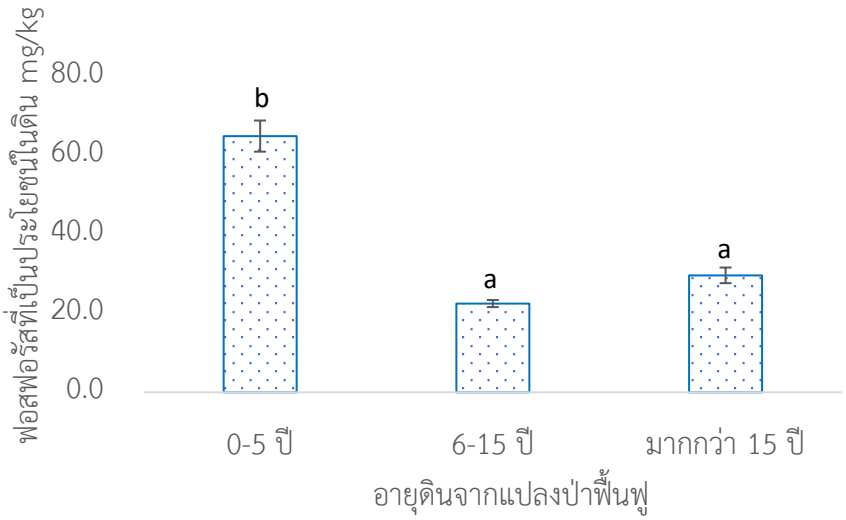
หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษ a และ b แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตามวิธีของ Duncan’s multiple range test โดยมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (N= 15)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ผลการศึกษาพบว่าปริมาณของคาร์บอนทั้งหมดในดิน โดยพบปริมาณคาร์บอนทั้งหมดในดินจากแปลงป่าฟื้นฟูอายุ 0-5 ปี มากกว่า 15 ปี 6-15 ปี มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ ($\bar{X}$±SD) 1.57±0.67 1.35±0.35 และ0.98±0.60 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งจากการทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของปริมาณอินทรียวัตถุในดินจากแปลงป่าฟื้นฟู 3 ช่วงอายุ พบว่าแปลงป่าฟื้นฟูอายุมากกว่า 15 ปี มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (P<0.05) กับลักษณะดินจากป่าฟื้นฟู 0-5 ปี และ 6-15 ปี โดยคาดว่าสาเหตุจากอินทรียวัตถุลดลงจากการถูกชะล้างโดยน้ำฝนและการถูกไฟป่าเผา(Jennifer et al.2009, Bauer A.,1974, FAO 2005, Santín and Doerr,2016) ซึ่งปริมาณคาร์บอนทั้งหมดในดินมีความสัมพันธ์กับปริมาณอินทรียวัตถุในดินเนื่องจากกระบวนย่อยสลายของจุลินทรีย์ดิน ซึ่งในอินทรียวัตถุนั้นมีสัดส่วนของเป็นส่วนประกอบ จากการะบวนการย่อยสลายอินทรียวัตถุจึงส่งต่อปริมาณคาร์บอนในดิน

จากผลการศึกษาสรุปได้การลดลงของปริมาณคาร์บอนในดินเป็นผลมาจากการถูกชะล้างของน้ำฝนและถูกไฟป่าเผาทำลาย

ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน (Soil available phosphorus)



รูปที่ 4.5 ค่าเฉลี่ยฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์บริเวณแปลงป่าฟื้นฟู

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษ a และ b แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตามวิธีของ Duncan's multiple range test โดยมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (N= 15)

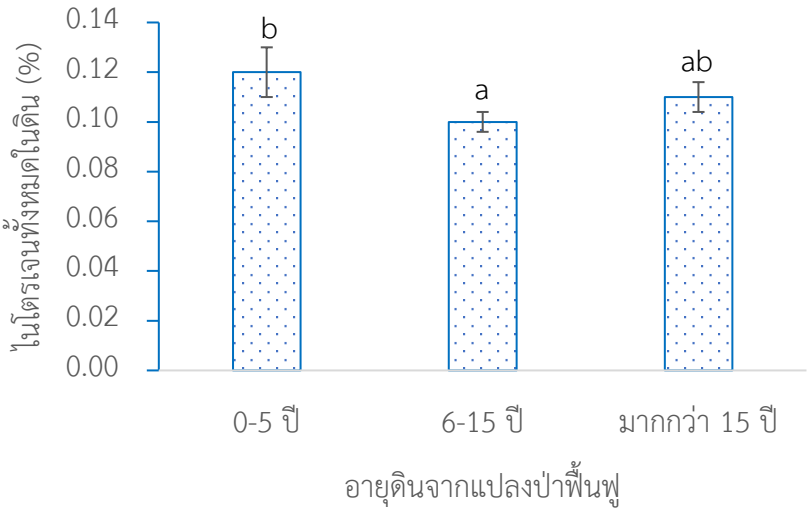
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ผลการศึกษาพบว่าปริมาณของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินจากแปลงป่าฟื้นฟูอายุ 0-5 ปี มากกว่า 15 ปี 6-15 ปี มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ ($\bar{X}$ ±SD) 64.89±26.44 22.49±6.02 และ29.63±13.29 mg/kg ซึ่งจากการทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินจากแปลงป่าฟื้นฟู 3 ช่วงอายุ พบว่าแปลงป่าฟื้นฟูอายุ 0-5 ปี มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (P<0.05) กับลักษณะดินจากป่าฟื้นฟู 6-15 ปี และ >15 ปี อย่างไรก็ตามการสะสมของอินทรียวัตถุ (organic matter) คาร์บอน (Carbon) และไนโตรเจน (Nitrogen) ยังส่งผลต่อการสะสมของปริมาณฟอสฟอรัสในดินอีกด้วย (Braos, Cruz, Ferreira, and Kuhnen, 2015; Vincent, Turner, and Tanner, 2010; Zhang et al., 2005) นอกจากนี้ความเป็นกรดเป็นด่างของดินยังมีอิทธิพลต่อสภาพฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน ถ้าดินมีสภาพเป็นกรดมากเกินไปฟอสฟอรัสจะทำปฏิกิริยากับเหล็กกำให้พืชไม่สามารถดึงฟอสฟอรัสในดินไปใช้ได้ แต่ถ้าดินมีความเป็นด่างมากเกินไปพืชไม่สามารถใช้ฟอสฟอรัสได้ (Margenot, 2018) โดยคาดว่ามีสาเหตุมาจาก

อินทรียวัตถุลดลงจากการถูกชะล้างของน้ำฝนและไฟป่า นอกจากนี้การสะสมปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินของป่าเขตร้อนมีค่าต่ำ โดยป่าเขตร้อนจะมีการสะสมฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 4-40 mg/kg (สมชาย และคณะ, 2542)

จากผลการศึกษาสรุปได้ว่าการลดลงของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในเป็นผลมาจากอินทรียวัตถุถูกชะล้างของน้ำฝนและถูกไฟป่าเผาทำลาย ดังนั้นการฟื้นฟูป่าควรคำนึงถึงการป้องกันการชะล้างหน้าดินโดยน้ำฝน

ไนโตรเจนทั้งหมดในดิน (Soil total nitrogen)



รูปที่ 4.6 ค่าเฉลี่ยไนโตรเจนทั้งหมดบริเวณแปลงป่าฟื้นฟู

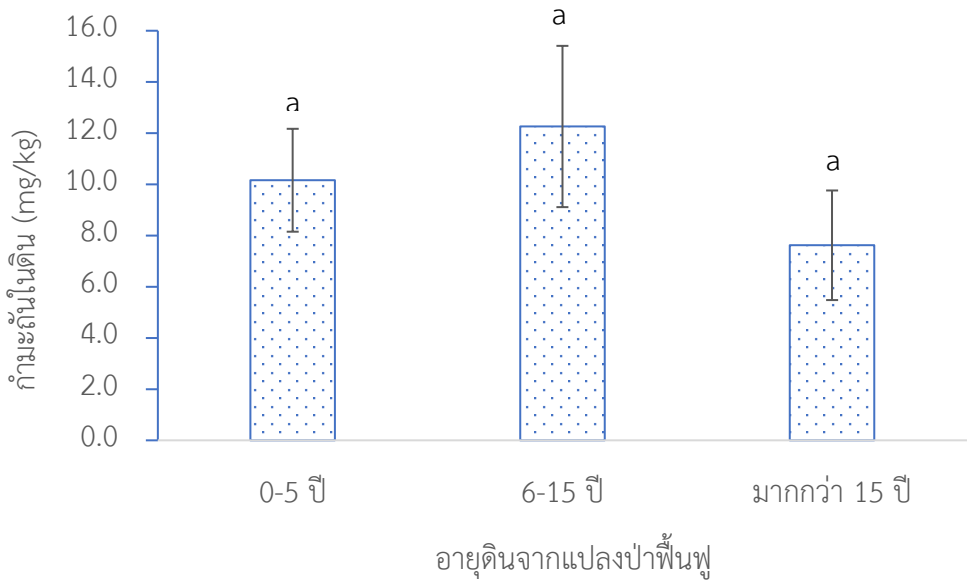
หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษ a และ b แสดงถึงความแตกต่างและความไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตามวิธีของ Duncan's multiple range test โดยมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (N= 15)

ผลการศึกษาพบว่าปริมาณของไนโตรเจนทั้งหมดในดินจากแปลงป่าฟื้นฟูอายุ 0-5 ปี 6-15 มากกว่า 15 ปี มีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ ($\bar{X}$±SD) 0.12±0.05 0.10±0.02 และ0.11±0.04 ตามลำดับ () ซึ่งจากการทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของไนโตรเจนทั้งหมดในดินจากป่าฟื้นฟู 3 ช่วงอายุ พบว่าแปลงป่าฟื้นฟูอายุ 0-5 ปี มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P \geq 0.05$) กับลักษณะดินจากแปลงป่าฟื้นฟู 6-15 ปี และแปลงป่าฟื้นฟูอายุมากกว่า15 ปี ไม่มีความแตกต่างกันกับดินจากแปลงป่าฟื้นฟูอายุ 0-5 ปี และ 6-15 ปี โดยมีคาดว่ามีสาเหตุมาจากไนโตรเจนเป็นปัจจัยในการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งไนโตรเจนมาจากการย่อยอินทรียวัตถุของจุลินทรีย์

เมื่ออินทรียวัตถุลดลงทำให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินต่ำ โดยพบว่าไนโตรเจนในดินพื้นที่เขตร้อนมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด 0.02-0.50 % และไนโตรเจนในดินของป่าเขตร้อน ที่ระดับความลึก 0-15 cm. พบไนโตรเจนในดินบริเวณพื้นที่มีความลาดชัน 0.13 ± 0.05% และบริเวณใกล้เนินเขา 0.11 ± 0.02% (Yadav and Pandya, 2015)

จากผลการศึกษาสรุปได้ว่าปริมาณของไนโตรเจนทั้งหมดในดินไม่มีการเปลี่ยนแปลง เพราะในดินทั่วไปมีปริมาณไนโตรเจนต่ำอยู่แล้ว ดังนั้นแปลงป่าฟื้นฟูอายุเพิ่มขึ้นจึงไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจน

กำมะถันในดิน (Soil sulfur)



รูปที่ 4.7 ค่าเฉลี่ยไนโตรเจนทั้งหมดบริเวณแปลงป่าฟื้นฟู

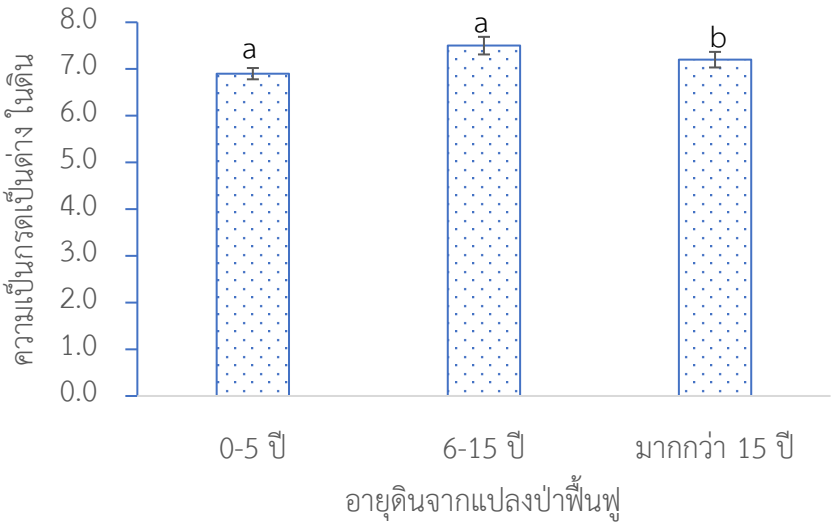
หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษ a แสดงถึงความไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตามวิธีของ Duncan's multiple range test โดยมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (N= 15)

จากผลการศึกษาพบว่าปริมาณของกำมะถันในดินจากแปลงป่าฟื้นฟูอายุ 0-5 ปี 6-15 มากกว่า 15 ปี มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ ($\bar{X}$±SD) 10.16±4.51 12.26±3.16 และ7.62±2.15 mg/kg ซึ่งจากการทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของกำมะถันในดินจากแปลงป่าฟื้นฟู 3 ช่วงอายุ พบว่ากำมะถันในดินจากแปลงป่าฟื้นฟูทั้ง 3 ช่วงอายุไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (P>0.05) โดยน่าจะมีสาเหตุมาจากกำมะถันจะถูกสะสมอยู่ในอินทรียวัตถุและแร่ธาตุในดิน โดยกำมะถันถูกปลดปล่อยให้เป็นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ในอากาศ เมื่อถูกฝนชะ

ล้างซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตกลงมาในดินและถูกสะสมในรูปของซัลเฟต ปริมาณกำมะถันในดินที่เหมาะสมแก่การเพาะปลูกที่ 15 mg/kg (อิสริยาภรณ์, 2007) โดยกำมะถันเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อพืชมีส่วนช่วยในกระบวนการสร้างเอนไซม์และโปรตีนในพืชเทียบเท่ากับฟอสฟอรัส กระบวนการในการปลดปล่อยซัลเฟอร์ขึ้นอยู่กับจุลินทรีย์ที่ได้ย่อยสลายเศษซากพืชบริเวณรากพืช นอกจากนี้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อกระบวนการปลดปล่อยของกำมะถัน (Dungan G.H. Lang J. A.L.and Pendleton W.,1959) ซึ่งจากการศึกษาปริมาณซัลเฟอร์ในดินบริเวณแปลงป่าฟื้นฟูอายุ 0-5 ปี 6-15 ปี และมากกว่า 15 ปี มีค่าเฉลี่ยซัลเฟอร์คือ 10.16±4.51 12.26±3.16 และ7.62±2.15 mg/kg

จากผลการศึกษาสรุปได้ว่าปริมาณกำมะถันในดินไม่มีการเปลี่ยนแปลงเพราะกำมะถันมาจากวัตถุต้นกำเนิดซึ่งมีเยอะอยู่แล้วโดยธรรมชาติ ดังนั้นแปลงป่าฟื้นฟูอายุเพิ่มขึ้นจึงไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณกำมะถัน

ความเป็นกรดเป็นด่างในดิน (Soil pH)



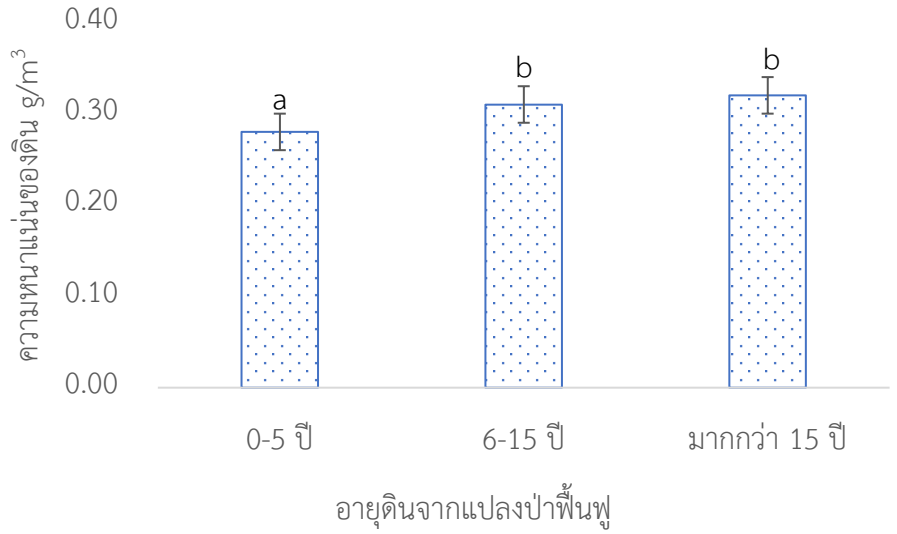
รูปที่ 4.8 ค่าเฉลี่ยความเป็นกรดเป็นด่างในดินบริเวณแปลงป่าฟื้นฟู

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษ a และ b แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตามวิธีของ Duncan’s multiple range test โดยมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (N= 15)

ผลการศึกษาพบว่าความเป็นกรดเป็นด่างในดินจากแปลงป่าฟื้นฟูอายุ 0-5 ปี 6-15 มากกว่า 15 ปี มีสภาพเป็นกลางมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ ($\bar{X}$±SD) 6.9±0.1 7.4±0.2 และ7.2±0.2 ตามลำดับ ซึ่งจากการทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของความเป็นกรดเป็นด่างในดินจากแปลงป่าฟื้นฟู 3 ช่วงอายุ พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (P<0.05) โดยมีคาดว่าสาเหตุจากและปริมาณอินทรียวัตถุในดินในแต่ละแปลงป่าฟื้นฟูแตกต่างกัน และอีกสาเหตุที่ทำให้ความเป็นกรดด่างเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย เนื่องจากความเป็นกรดเป็นด่างในดินเดิมมีค่าอยู่ในช่วง 6.9-7.9 นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงของความเป็นกรดเป็นด่างยังเป็นผลมาจากการย่อยสลายอินทรียวัตถุของจุลินทรีย์ในดิน

จากผลการศึกษาสรุปได้ว่าการเพิ่มขึ้นของแปลงป่าฟื้นฟูไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดเป็นด่างในดินเพราะสภาพพื้นที่เดิมความเป็นกรดเป็นด่างมีสภาพเป็นกลางถึงเป็นด่าง ดังนั้นแปลงป่าฟื้นฟูอายุเพิ่มขึ้นจึงไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดเป็นด่างในดิน

ความหนาแน่นของดิน (Soil bulk density)



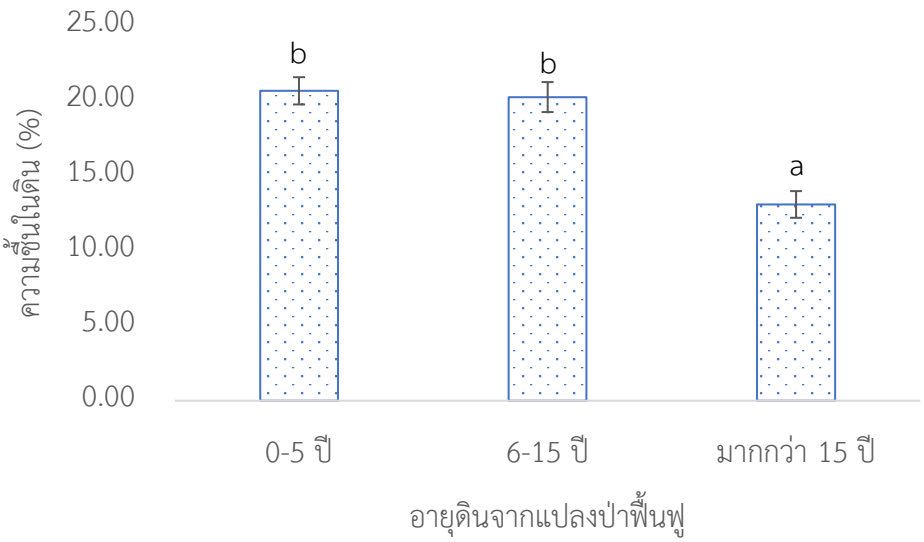
รูปที่ 4.9 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของดินบริเวณแปลงป่าฟื้นฟูหมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษ a และ b แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตามวิธีของ Duncan's multiple range test โดยมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (N= 15)

ผลการศึกษาพบว่าความหนาแน่นของดินจากแปลงป่าฟื้นฟูอายุ 0-5 ปี 6-15 มากกว่า 15 ปี มีเฉลี่ยเท่ากับ ($\bar{X}$±SD) 0.28±0.02 0.31±0.02 และ0.32±0.02 g/m^3 ตามลำดับ ซึ่งจากการทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของความหนาแน่นของดินจากแปลงป่าฟื้นฟูอายุ 0-5 ปี พบว่า

มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P<0.05$) กับความหนาแน่นของดินป่าฟื้นฟูอายุ 6-15 ปี และ มากกว่า 15 ปี อาจมีสาเหตุจากในช่วงการเตรียมการฟื้นฟูป่ามีการไถพรวนของดินจึงทำให้ความหนาแน่นของดิน โดยทั่วไปความหนาแน่นของดินเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืชซึ่งความหนาแน่นของดินเป็นผลมาจากการพัฒนาของเนื้อดิน (soil texture) และปริมาณอินทรียวัตถุในดินดังนั้นหากดินมีปริมาณอินทรียวัตถุสูงจะทำให้ดินมีความพรุนสูงทำให้ความหนาแน่นของดินนั้นต่ำและยังส่งผลต่อการเก็บรักษาความชื้นในดิน ซึ่งความหนาแน่นของดินมักเพิ่มขึ้นตามระดับความลึกของดินเนื่องจากมีปริมาณอินทรียวัตถุและความพรุนน้อยลงจึงทำให้ดินมีความหนาแน่นสูงขึ้น (USDA, 2008

จากการศึกษาสามารถสรุปได้ว่าปริมาณอินทรียวัตถุส่งผลต่อความหนาแน่นของดิน ทั้งนี้ยังเป็นผลมาจากกระบวนการเตรียมดินเพื่อที่จะทำการปลูกป่านั้นมีการไถพรวนของดินให้สภาพของดินในป่าฟื้นฟูในช่วงอายุ 0-5 ปี และ 6-15 ปี มีความหนาแน่นของดินที่ไม่แตกต่างจากป่าฟื้นฟูอายุมากกว่า 15 ปี

ความชื้นในดิน (Soil moisture)



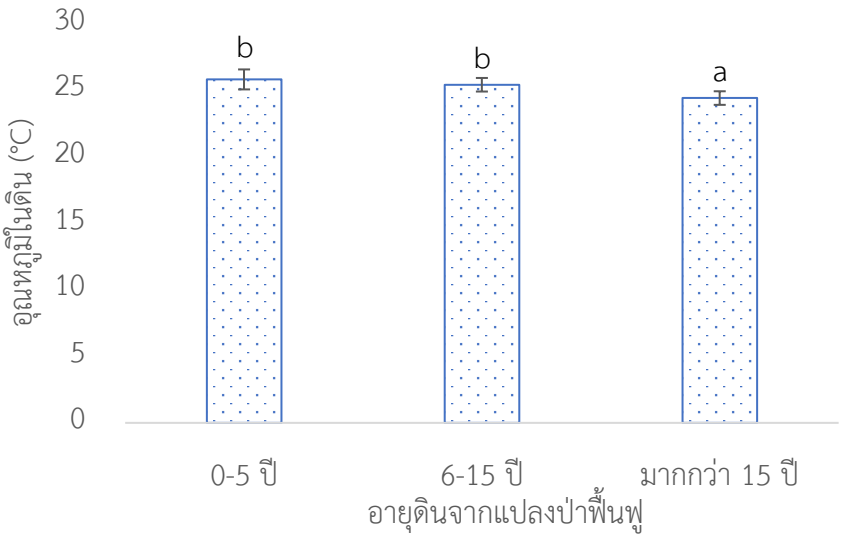
รูปที่ 4.10 ค่าเฉลี่ยความชื้นในดินบริเวณแปลงป่าฟื้นฟู

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษ a และ b แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตามวิธีของ Duncan’s multiple range test โดยมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (N= 15)

ผลการศึกษาพบว่าปริมาณของความชื้นในดินจากป่าฟื้นฟูอายุ 0-5 ปี 6-15 มากกว่า 15 ปี มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ ($\bar{X}$±SD) 20.68±3.53 20.25±3.39 และ13.09±3.45 ตามลำดับ ซึ่งจากการทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของในดิน พบว่าความชื้นในดินของป่าฟื้นฟูอายุมากกว่า 15 ปี มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (P<0.05) กับความชื้นในดินจากป่าฟื้นฟูอายุ 0-5 ปี และ6-15ปี โดยอาจมีสาเหตุหลักจากการชะล้างหน้าดินทำให้สัดส่วนของดินทรายเพิ่มขึ้นซึ่งลักษณะของดินทรายมีการระบายน้ำได้ดีและมีพรุนในดินมากกว่าดินเหนียวและดินร่วน จึงทำให้ความชื้นในป่าฟื้นฟูอายุมากกว่า 15 ปี ลดลง และอีกสาเหตุอาจมาจากรัศมีของกิ่งก้านใบทำหน้าคล้ายฟองน้ำดูดซับน้ำด้านบนไว้ และค่อยๆ ร่วงลงสู่เนื้อดินซึ่งน้ำบนผิวดินจะถูกส่งผ่านตามระบบรากรวมทั้งอิทธิพลของอินทรียวัตถุจากราก และเศษซากใบไม้ (fall foliage) (USDA., 2008) นอกจากนี้ยังส่งผลต่ออุณหภูมิในดินอีกด้วย

จากผลการศึกษาสรุปได้ว่าความชื้นในดินของแปลงป่าฟื้นฟูที่อายุเพิ่มขึ้นเป็นผลมาจากการถูกชะล้างของตะกอนดินทำให้สัดส่วนของดินทรายเพิ่มขึ้นเป็นผลทำให้ลดลงตามอายุป่าฟื้นฟูที่เพิ่มขึ้น

อุณหภูมิในดิน (Soil temperature)



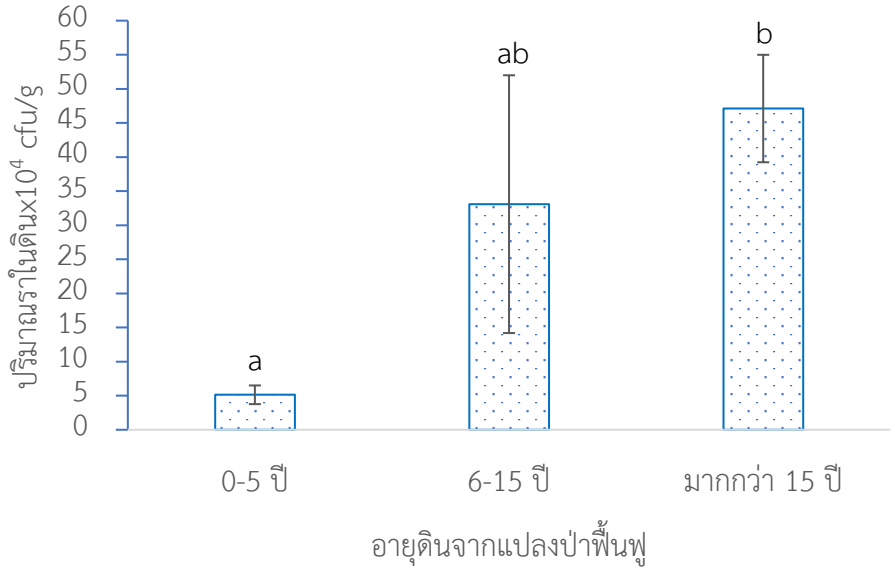
รูปที่ 4.11 ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิในดินบริเวณแปลงป่าฟื้นฟู

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษ a และ b แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตามวิธีของ Duncan’s multiple range test โดยมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (N= 15)

การศึกษาพบว่าปริมาณของอุณหภูมิในดินจากแปลงป่าฟื้นฟูอายุ 0-5 ปี 6-15 มากกว่า 15 ปี มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ ($\bar{X}$±SD) 26±0.8 25±0.5 และ24±0.5 องศาเซลเซียส ซึ่งจากการทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิในดินจากแปลงป่าฟื้นฟูอายุมากกว่า 15 ปี พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (P<0.05) กับอุณหภูมิในดินจากแปลงป่าฟื้นฟูอายุ 0-5 ปี และ 6-15 ปี โดยคาดว่ามีสาเหตุจากระหว่างการเก็บตัวอย่างมีฝนตก และวัดอุณหภูมิในดินมีช่วงเวลาวัดคนละช่วงเวลา และจากการเปลี่ยนแปลงของลักษณะเนื้อดินและความหนาแน่นของดินรวมทั้งการย่อยสลายของอินทรียวัตถุโดยผลต่อการเปลี่ยนแปลงของช่องว่างในดินทำให้น้ำและอากาศสามารถแทรกซึมเข้าสู่ช่องว่างภายในดิน (soil pores) ซึ่งส่งผลต่อกักเก็บความชื้นภายในดินส่งทำให้การเปลี่ยนของอุณหภูมิในดิน (National Park Service, 2019) เมื่อเปรียบเทียบการศึกษาระหว่างป่าปฐมภูมิ และป่าทุติยภูมิของป่าเขตร้อน ช่วงเดือนกันยายน พบว่ามีอุณหภูมิในดินเท่ากับ 19.94±0.71 และ20.44±0.70 °C (Zhou et al.,2013)

จากผลการศึกษาสรุปได้ว่าอุณหภูมิในดินของแปลงป่าฟื้นฟูที่อายุเพิ่มขึ้นเป็นผลมาจากการสภาพอากาศขณะตรวจวัด จึงเป็นผลทำให้อุณหภูมิลดลง

ปริมาณราในดิน (Soil fungi)



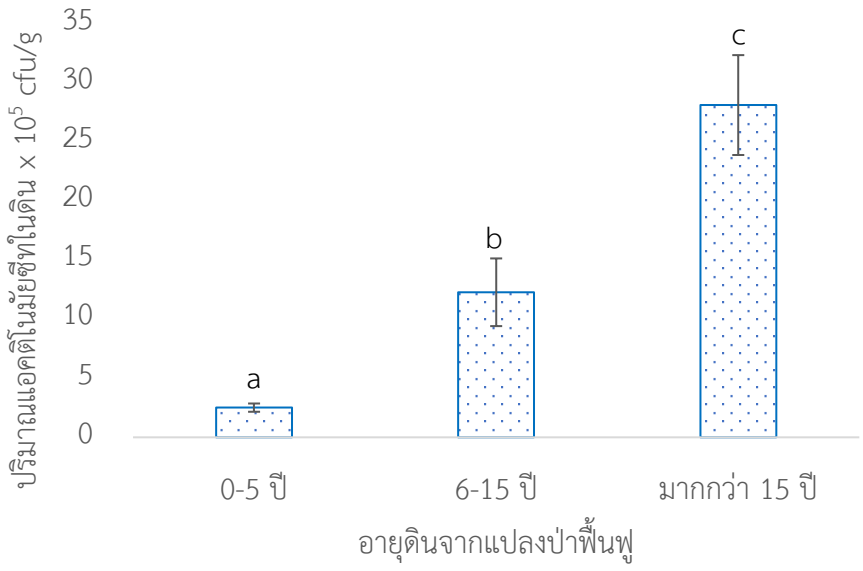
รูปที่ 4.12 ค่าเฉลี่ยปริมาณราในดินบริเวณแปลงป่าฟื้นฟู

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษ a และ b แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตามวิธีของ Duncan’s multiple range test โดยมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (N= 15)

ผลการศึกษาพบว่าปริมาณของปริมาณราในดินจากแปลงป่าฟื้นฟูอายุ 0-5 ปี 6-15 และมากกว่า 15 ปี มีเฉลี่ยเท่ากับ ($\bar{X}$±SE) $5.13x10^4$±$1.37x10^4$ $33.00x10^4$±$18.9x10^4$ และ $47.1x10^4$±$7.88x10^4$ cfu/g ตามลำดับ ซึ่งจากการทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของปริมาณราในดินจากแปลงป่าฟื้นฟูอายุ 0-5 ปี และมากกว่า 15 ปี พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P \leq 0.05$) โดยปริมาณราจากแปลงป่าฟื้นฟู 6-15 ปี ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยคาดว่ามีสาเหตุจาก การย่อยสลายเศษซากราสามารถย่อยสลายโมเลกุลใหญ่ที่มีความซับซ้อนจากพืช เช่น ไฟเบอร์ เซลลูโลส ลิกนิน เป็นต้น นอกจากนี้เจริญเติบโตด้วยการสร้างเส้นใย และรบางชนิดสามารถเจริญเติบร่วมกับสิ่งมีชีวิตอื่นๆ (symbiosis) เช่น mycorriza ซึ่งมีการเจริญเติบโตร่วมกับรากพืช เป็นต้น ผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณราส่งผลต่อแสดงให้เห็นว่ารามีความสัมพันธ์ทางชีวภาพกับต้นไม้โดยราเป็นปัจจัยสำคัญของระบบนิเวศซึ่งราจำพวกเอ็คโตไมคอร์ไรซ่ามีส่วนในการควบคุมกระบวนการหมุนเวียนธาตุอาหารจากพืชและช่วยในการดูดซึมน้ำเข้าสู่รากพืช (Izabela L. K. and Andrzej M. J.,2016) โดยราส่วนใหญ่เจริญเติบโตได้ดีในค่าความเป็นกรดเป็นกด่างที่มีสภาพเป็นกลางโดยปริมาณราในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์มีจำนวนอยู่ที่ 10^8 ถึง 10^9 cfu/g

จากผลการศึกษาสามารถสรุปได้ว่าแนวโน้มปริมาณราในดินที่เพิ่มตามอายุของแปลงป่าฟื้นฟูเนื่องจากสามารถย่อยสลายได้ยากจึงทำให้มีแนวโน้มปริมาณราเพิ่มขึ้น

ปริมาณแอคติโนมัยซีทในดิน (Soil actinomycete)



รูปที่ 4.13 ค่าเฉลี่ยปริมาณแอคติโนมัยซีทในดินบริเวณแปลงป่าฟื้นฟู

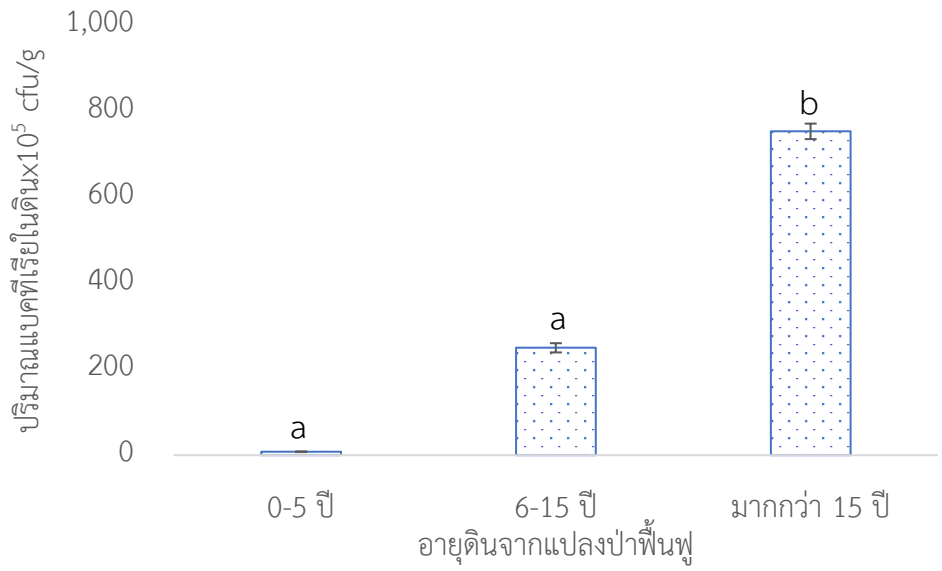
หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษ a b และ c แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตามวิธีของ Duncan's multiple range test โดยมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (N= 15)

ผลการศึกษาพบว่าปริมาณของแอคติโนมัยซีทในดินจากแปลงป่าฟื้นฟูอายุ 0-5 ปี 6-15 มากกว่า 15 ปี มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ ($\bar{X}$±SE) $2.51x10^5$±$0.35x10^5$ $12.26x10^5$±$2.86x10^5$ และ $28.08x10^5$±$4.22x10^5$ cfu/g ตามลำดับ ซึ่งจากการทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของปริมาณแอคติโนมัยซีทในดินจากแปลงป่าฟื้นฟูอายุมากกว่า 15 ปี พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (P<0.05) กับปริมาณแอคติโนมัยซีทจากแปลงป่าฟื้นฟูอายุ 0-5 ปี และ 6-15 ปีโดยคาดว่ามีสาเหตุจากเมื่อแปลงป่าฟื้นฟูมีอายุมากขึ้นส่งผลทำให้ปริมาณของแอคติโนมัยซีเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากแอคติโนมัยซีทเจริญได้ช้ากว่าราและแบคทีเรียจึงมีการพัฒนาเพื่อความอยู่รอดให้สามารถแข่งขันกับจุลินทรีย์อื่นๆ จึงมีการปรับตัวให้สามารถใช้สารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างซับซ้อนย่อยสลายได้ยาก เช่น เซลลูโลส (cellulose) ลิกนิน (lignin) และไฟเบอร์ (fiber) (Kirby R.,2006) จึงความจำเพาะเจาะจงของชนิดพืชจากการคัดเลือกทางธรรมชาติจึงให้ปริมาณของแอคติโนมัยซีทปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อป่าฟื้นฟูอายุมากขึ้น นอกจากนี้เป็นผลมาจากการคัดเลือกตามธรรมชาติซึ่งโดยปัจจัยแวดล้อม เช่น ลักษณะสมบัติดิน อุณหภูมิ ความชื้น ธาตุอาหาร และความเป็นกรดเป็นด่างในดิน (Helgason T. and Fitter A.H.,2009) นอกจากนี้แอคติโนมัยซีทยังเจริญเติบโตได้ดีในดินที่มีสภาพเป็นกลางถึงเป็นด่างซึ่งในการศึกษานี้พบว่าความเป็นกรดเป็นด่างในดินมีสภาพเป็นด่างอีกด้วย และปริมาณแอคติโนมัยซีทในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์มีจำนวนอยู่ที่ 10^7ถึง10^8 cfu/g

จากผลการศึกษาสรุปได้ว่าแนวโน้มของปริมาณแอคติโนมัยซีทในดินที่เพิ่มขึ้นเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงของเศษซากพืชที่มีองค์ประกอบย่อยสลายได้ยากและคุณลักษณะที่มีสภาพเป็นด่างจึงเอื้อต่อการเจริญเติบโตของแอคติโนมัยซีท

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

แบคทีเรียในดิน (Soil bacteria)



รูปที่ 4.14 ค่าเฉลี่ยปริมาณแบคทีเรียในดินบริเวณแปลงป่าฟื้นฟู

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษ a b และ c แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตามวิธีของ Duncan's multiple range test โดยมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (N= 15)

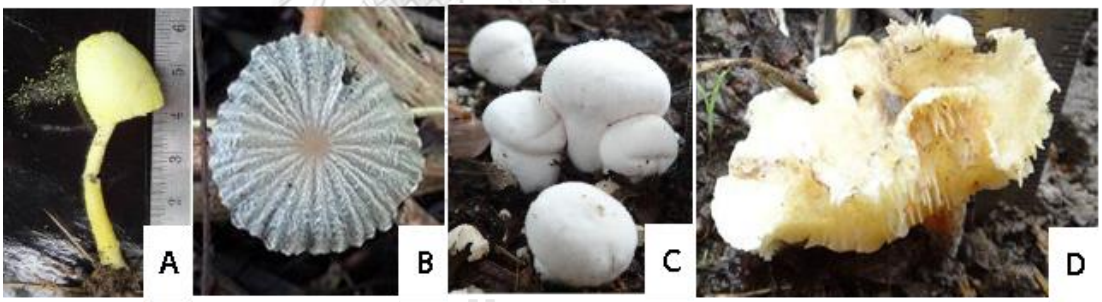
จากผลการศึกษาพบว่าปริมาณของปริมาณแบคทีเรียในดินจากป่าฟื้นฟูอายุ 0-5 ปี 6-15 มากกว่า 15 ปี มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ ($\bar{X}$±SE) $8.05x10^5$±$0.80x10^5$ $250.0x10^5$±$11.0x10^5$ และ $754.0x10^5$±$18.0x10^5$ cfu/g ตามลำดับ ซึ่งจากการทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของแบคทีเรียในดินจากป่าฟื้นฟูมากกว่า 15 ปี พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (P<0.05) โดยแบคทีเรียจากป่าฟื้นฟูอายุ อายุ 0-5 ปี และ 6-15 ปี ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยคาดว่ามีสาเหตุจากแปลงป่าฟื้นฟูอายุมากกว่า 15 ปี มีสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมแก่การเจริญเติบโตของแบคทีเรีย มีการเจริญเติบโตของต้นไม้ใหญ่ที่เริ่มผลิตผลและเกิดเป็นต้นใหม้จึงทำให้มีความหลากหลายของอินทรียวัตถุและร่องรอยจากไฟป่าที่พบในแปลงฟื้นฟูป่าอายุมากกว่า 15 ปี น่าจะมีส่วนทำให้มีการสร้างสารอาหารใหม่(Lladó S., López-Mondéjar R., and Baldrian P., 2017; Sun S., Li S., Avera B. N. , Strahm B. D., and Badgley B. D., 2017) เนื่องจากแบคทีเรียสามารถเจริญเติบโตได้ทุกสภาพแวดล้อมมีความหลากหลายในการดำรงชีพ และเจริญเติบได้ดีในดินที่มีความเป็นกรดเป็นด่างสภาพเป็นกลาง โดย

แบคทีเรียบางชนิดสามารถออกซิไดซ์สารอินทรีย์จากอินทรียวัตถุ (Salvador L., Rubén L.-M. and Petr B.,2017)

จากผลการศึกษาสามารถสรุปได้ปริมาณของแบคทีเรียในดินที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อมในดินอาจส่งผลต่อชนิดของแบคทีเรียที่มีความหลากหลายมากขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงธาตุอาหารในดินหลังถูกไฟป่า

4.1.2 ชนิดของเห็ดบนดินที่พบในแปลงป่าฟื้นฟูทั้ง 3 ช่วงอายุ

จากผลการศึกษาพบชนิดเห็ดบนดินบริเวณแปลงป่าฟื้นฟูอายุ 0-5 ปี พบเห็ด 4 ชนิด (รูปที่ 4.15) แปลงป่าฟื้นฟูอายุ 6-15 ปี พบเห็ด 1 ชนิด (รูปที่ 4.16) และแปลงป่าฟื้นฟูอายุมากกว่า 15 ปี พบเห็ด 6 ชนิด (รูปที่ 4.17) โดยมีพารามิเตอร์ที่จำเป็นต่อสร้างเส้นใยชของเห็ด (Mycelium) ได้แก่ ขนาดอนุภาค ความชื้น อุณหภูมิ ความหนาแน่นในดิน ความเป็นกรดเป็นด่าง รวมทั้งอินทรียวัตถุซึ่งเป็นแหล่งไนโตรเจน คาร์บอน ต่อการเจริญเติบโตของเห็ด (Bellettinia M. B. et al., 2016)



CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 4.15 ชนิดเห็ดบนดินที่พบในแปลงป่าฟื้นฟูอายุ 0-5 ปี

A: *Leucocoprinus birnbaumii* (corda)	Family: Agaricacea
B: *Coprinus plicatilis* (*Agaricus plicatilis*)	Family**:** Psathyrellaceae
C: *Lycoperdon pretens*	Family: Lycoperdaceae
D: *Cantharellus cibarius*	Family: Cantharellaceae

จากผลการศึกษาพบว่าแปลงป่าฟื้นฟูอายุ 0-5 ปี ในควอทแดทที่ 1 และควอทแดทที่ 3 (ตารางที่ 4.2) จากการทดสอบเปรียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยใช้ Paired Sample T-Test (N=9) ของพารามิเตอร์ที่มีความเหมาะสมต่อการสร้างเส้นใยของเห็ดระหว่างควอทแดท พบว่าไม่

แตกต่างกันมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95% โดยสาเหตุจากเห็ดแต่ละชนิดมีความต้องการของแต่ละพารามิเตอร์แตกต่างกัน

ตารางที่ 4.2 คุณลักษณะดินที่พบเห็ดบนดินในแปลงป่าฟื้นฟูอายุ 0-5 ปี

คุณลักษณะดิน	**ควอทแดทที่1**	**ควอทแดทที่ 3**
	Coprinus plicatilis	1) *Leucocoprinus birnbaumii* (corda) 2) *Lycoperdon pretens* 3) *Cantharellus cibarius*
เนื้อดิน	ดินเหนียวร่วน	ดินเหนียวร่วน
ความชื้นในดิน (%)	22.93±0.45	20.21±0.86
อินทรียวัตถุในดิน (%)	2.69±0.40	2.41±0.53
คาร์บอนทั้งหมดในดิน (%)	1.56±0.24	1.40±0.31
ไนโตรเจนทั้งหมดในดิน (%)	0.10±0.01	0.11±0.01
ความหนาแน่นของดิน (g/m^3)	0.31±0.00	0.27±0.01
อุณหภูมิ (°C)	26	25
ความเป็นกรดเป็นด่างในดิน	6.8	6.9

รูปที่ 4.16 ชนิดเห็ดบนดินที่พบในแปลงป่าฟื้นฟูอายุ 6-15 ปี

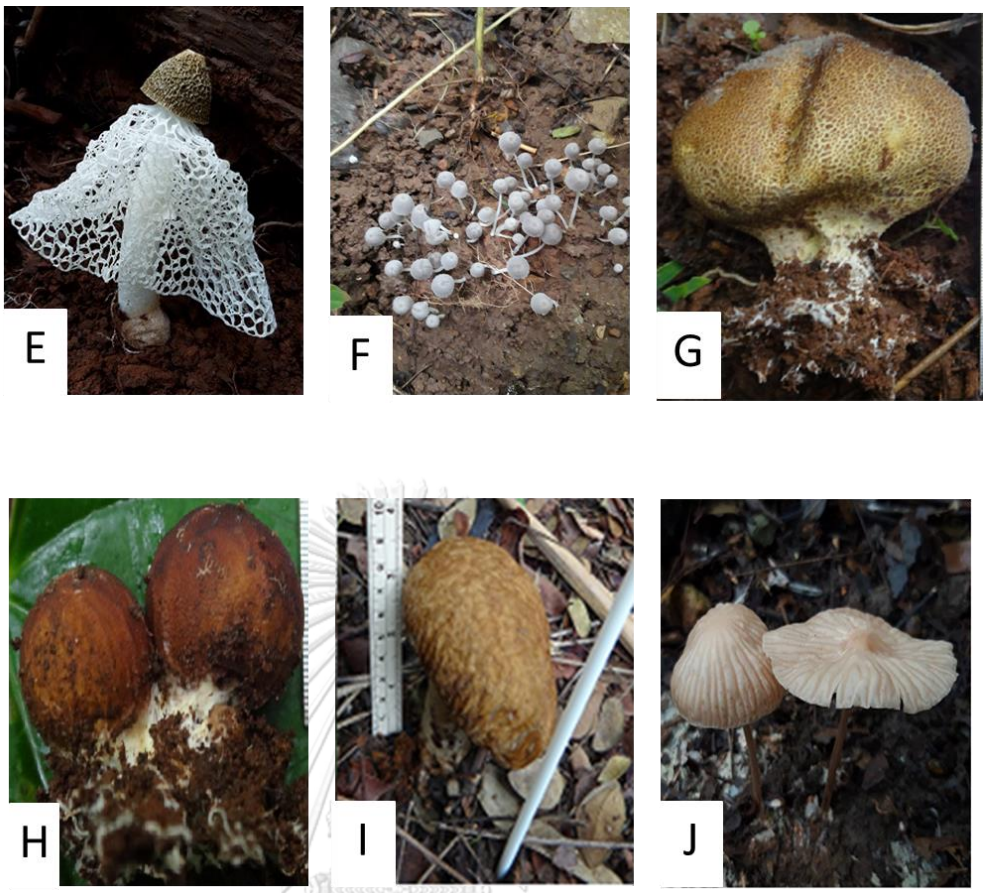
Coprinopsis lagopus Family: Psathyrellaceae

จากผลการศึกษาพบว่าแปลงป่าฟื้นฟูอายุ 6-15 ปี ในควอทแดทที่ 2 (ตารางที่ 4.3) จากการทดสอบเปรียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยใช้ Paired Sample T-Test (N=9) ของพารามิเตอร์ที่มีความเหมาะสมต่อการสร้างเส้นใยของเห็ดระหว่างควอทแดทที่พบชนิดเห็ดและไม่พบชนิดเห็ด พบว่าความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ที่มีความเหมาะสมต่อการสร้างเส้นใยของเห็ดระหว่างควอทแดทที่พบชนิดเห็ดและไม่พบชนิดเห็ด พบว่าไม่แตกต่างกันมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95% โดยน่าจะมีสาเหตุจากลักษณะเนื้อดินไม่เอื้อต่อการเจริญเติบโตของเห็ด เพราะดินเหนียวมีความหนาแน่นเกินไปจึงทำให้ดอกเห็ดไม่สามารถเจริญเติบโตได้ โดยปัจจัยที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของเห็ดขนาดของอนุภาคต้องมีความร่วนซุย (Bellettinia M. B. et al., 2016)

ตารางที่ 4.3 คุณลักษณะดินที่พบเห็ดบนดินในแปลงป่าฟื้นฟูอายุ 6-15 ปี

คุณลักษณะดิน	**ควอทแดทที่ 2**
	Coprinopsis lagopus
เนื้อดิน	ดินเหนียว
ความชื้น (%)	21.14±1.59
อินทรียวัตถุ (%)	2.62±0.15
คาร์บอนทั้งหมด (%)	1.52±0.09
ไนโตรเจนทั้งหมด (%)	0.11±0.01
ความหนาแน่นในดิน (g/m^3)	0.30±0.01
อุณหภูมิ (°C)	25
pH	7.6

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 4.17 ชนิดเห็ดบนที่พบในแปลงป่าฟื้นฟูอายุมากกว่า 15 ปี

E: *Dictyophora indusiate* Family: Phallacae

F: *Coprinus disseminates* Family: Coprinaceae

G: *Scleroderma verrucosum* Pers Family: Sclerodermataceae

H: *Scleoderma flavidum* Family: Sclerodermataceae

I: *Calvatia craniiformis* Family: Lycoperdaceae

J: *Marasmius maximus* Family: Marasmiaceae

จากผลการศึกษาพบว่าแปลงป่าฟื้นฟูอายุมากกว่า 15 ปี พบเห็ด 6 ชนิด (รูปที่ 4.17) ในควอทแดทที่ 1 3 4 และ 5 (ตารางที่ 4.4) จากการทดสอบเปรียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยใช้ Paired Sample T-Test (N=9) พบคุณลักษณะของดินที่พบชนิดเห็ดจากควอทแดทที่ 1 3 4 และ5 จากการทดสอบเปรียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ที่มีความเหมาะสมต่อการสร้างเส้นใยของเห็ดในดินจากควอทแดทที่ 3 และ 4 ที่พบชนิดเห็ด พบว่าอินทรียวัตถุและคาร์บอนทั้งหมดมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95% ซึ่งจากการเปรียบค่าเฉลี่ยทั้งควอทแดทที่ 3 และ 4 ซึ่งผลการศึกษาพบว่า ความหนาแน่นของดิน อุณหภูมิ pH ไม่ต่างกันมาก รวมทั้งความชื้นในดิน

อินทรียวัตถุในดิน คาร์บอนทั้งหมด ไนโตรเจนทั้งหมดในดินมีค่าใกล้เคียงกัน (ตารางที่ 4.4) โดยแปลงป่าฟื้นฟูอายุมากกว่า 15 ปี พบชนิดเห็ดมากที่สุดอาจมีสาเหตุมาจากสภาพแวดล้อมของแหล่งที่อยู่อาศัยมีค่าความเป็นกรดด่างปานกลางเท่ากับดินเหนียวดินร่วนปนทราย ความชื้นในดินที่ความลึก 15 ซม. อยู่ระหว่าง 9.96 ± 2.35-16.90 ± 1.92% มีส่วนประกอบของดินร่วนเล็กน้อย เนื่องจากเศษซากไผ่มีอัตราการสลายตัวได้เร็วและส่วนนึงอาจมาจากกิจกรรมของราและแอคติโนมัยซีทที่มีผลต่อการย่อยสลายของลิกนินจึงทำให้แปลงป่าฟื้นฟูอายุมากกว่า 15 ปี มีธาตุอาหารและคุณลักษณะดินที่เหมาะสมการเกิดชนิดเห็ด

ตารางที่ 4.4 คุณลักษณะดินที่พบเห็ดบนดินในแปลงป่าฟื้นฟูอายุมากกว่า15 ปี

คุณลักษณะดิน	**ควอทแดทที่ 1**	**ควอทแดทที่ 3**	**ควอทแดทที่ 4**	**ควอทแดทที่ 5**
	Coprinus disseminates* และ *Calvatia craniiformis	***Marasmius maximus***	***Scleroderma verrucosum* Pers *และ Scleoderma flavidum***	***Dictyophora indusiate***
เนื้อดิน	ดินร่วนเหนียว	ดินร่วนปนทราย	ดินร่วนปนทราย	ดินร่วนปนทราย
ความชื้น (%)	16.06±1.25	9.96±2.88	13.05±3.30	10.20±1.50
อินทรียวัตถุ (%)	2.37±0.18	0.93±0.28*	0.71±0.09*	2.02±1.39
คาร์บอนทั้งหมด (%)	1.37±0.11	0.53±0.17*	0.42±0.05*	1.17±0.81
ไนโตรเจนทั้งหมด (%)	0.13±0.01	0.08±0.02	0.06±0.01	0.11±0.04
ความหนาแน่นในดิน (g/m^3)	0.32±0.01	0.32±0.01	0.35±0.02	0.31±0.02
อุณหภูมิ (°C)	24	25	24	24
pH	7.4	7.2	7.3	7.0

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากที่กล่าวมาข้างต้นคุณลักษณะดินที่เห็ดสามารถสร้างเส้นใยได้ต้องมีสัดส่วนดินร่วนเป็นองค์ประกอบ และมีช่วงของธาตุอาหารในดินที่เหมาะสมต่อการสร้างเส้นใยของเห็ด แต่ในการศึกษานี้ไม่สามารถระบุปริมาณของแต่ละพารามิเตอร์ที่เห็ดสามารถนำไปใช้ในการสร้างเส้นใยและเจริญเติบได้ได้ โดยในการศึกษาพบว่าระดับอินทรียวัตถุในดินมีผลกระทบต่อความชื้นในดินซึ่งในการศึกษาพบว่า

ความชื้นของดินในพื้นที่ศึกษาอยู่ในช่วง อย่างไรก็ตามช่วงความชื้นของดิน 10-20% มีเหมาะสมต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ และปริมาณน้ำในดินที่แทรกซึมระหว่างช่องว่างของดินร้อยละ 60 เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการขยายพันธุ์เห็ด หากในทางตรงกันข้ามดินที่มีความอิ่มตัวด้วยน้ำสูงและช่องว่างระหว่างอนุภาคในดินมีผลต่อการแทรกซึมของอากาศที่ไม่มีความเหมาะสมส่งผลต่อการเกิดปฏิกิริยาในดินลดลงนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงของกลุ่มจุลินทรีย์ในดิน (Linn D. M., and Doran J. W., 1984) โดยการศึกษาพบชนิดเห็ดบนดินมากที่สุดในแปลงฟื้นฟูป่าอายุมากกว่า 15 ปี และปริมาณจุลินทรีย์มีแนวโน้มเพิ่มจำนวนขึ้นในแปลงฟื้นฟูป่าช่วงอายุนี้ ซึ่งจุลินทรีย์ทำหน้าที่ย่อยสลายอินทรีย์วัตถุให้กลายเป็นสารอินทรีย์ เนื่องจากการเสื่อมสภาพตามของเศษซากตามธรรมชาติทั่วไปขึ้นอยู่กับความชื้นในดินที่เหมาะสมทำให้เกิดการสร้างโครงสร้างของเห็ดชนิดต่าง ๆ จึงสามารถพบชนิดเห็ดได้ในทุกช่วงอายุของการฟื้นฟูป่า เมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาของ (Gezer, and Kaygusuz, 2015) พบว่าเห็ดชนิด *Agaricus langei* ซึ่งอยู่ใน Family: Agaricaceae เติบโตใน pH 7.7-8.9 ซึ่งใกล้เคียงกับผลการศึกษานี้ และปริมาณอินทรียวัตถุ 1.56-5.49% นอกจากนี้การศึกษาของ Singha, Banerjee, Pati, and Mohapatra (2017) ได้ศึกษาความถี่ของชนิดเห็ดที่พบในป่าเบญจพรรณ (deciduous mixed type of forest) รัฐเบงกอลตะวันตกของประเทศอินเดีย พบเห็ดชนิด *Leucocoprinus brinbaumii* Family : Agaricaceae, *Craterellus* sp. Family : Cantharellaceae และ Family : Sclerodermataceae เช่นเดียวกับการศึกษานี้พบในแปลงป่าฟื้นฟูที่มีอายุ 0-5ปี ซึ่งมีลักษณะเป็นดินเหนียวร่วน (Silt Clay) pH 6.8-6.9 พบ *Leucocoprinus brinbaumii* และ *Craterellus* sp และแปลงป่าฟื้นฟูอายุมากกว่า 15 ปี มีลักษณะดินทรายปนดินร่วน (sandy loam) pH 7.3 พบเห็ด *Scleroderma verrucosum* นอกจากนี้ Boontawekol, Pomchotekul, and Venin (2004) ได้ศึกษาความหลากหลายของชนิดเห็ดบริเวณป่าดงดิบแล้ง ป่าดงดิบชื้น และป่าเต็งรังเล็กน้อยพบเห็ดชนิด Dictyophora indusiata Family : Phallaceae เช่นเดียวกับการศึกษานี้พบเห็ดชนิดนี้ในแปลงป่าฟื้นฟูอายุมากกว่า 15 ปี โดยเห็ดชนิดนี้จะพบได้บริเวณดินที่มีอินทรียวัตถุเน่าเปื่อยผุพัง (decaying litter) โดยอยู่เป็นดอกเดี่ยวหรืออยู่เป็นกลุ่ม (Li, Motimer, Karunnarathna, Xu, and Hyde, 2014) โดยบริเวณพื้นที่ศึกษาแปลงป่าฟื้นฟูอายุมากกว่า 15 ปี มีต้นไผ่ขึ้นเป็นจำนวนมากซึ่งทำให้พบเห็ดที่อยู่ในวงศ์ (Family) agaricaceae Coprinaceae Lycoperdaceae และ Phallaceae (Kumar, Talwal, Panden, and Raja, 2013) เนื่องจากเศษซากจากไผ่มีอัตราการสลายตัวเร็วเนื่องจากปริมาณลิกนินต่ำเมื่อมีความชื้นและอุณหภูมิที่เหมาะสมจึงส่งผลต่อการสลายตัว (Frankland, 1966)

สรุปได้ว่าลักษณะเนื้อดินที่มีความเหมาะสมต่อการเกิดชนิดเห็ดต้องมีความร่วนซุยและมีความสามารถระบายน้ำได้พอเหมาะ และการย่อยสลายอินทรียวัตถุจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ยังส่วงผลต่อธาตุคาร์บอนทั้งหมดในดิน ไนโตรเจนในดินอีกด้วย และความแตกต่างกันของการเกิดชนิดเห็ด

ที่มาจากปัจจัยภายนอกเนื่องมาจากระดับความสูงของภูมิประเทศและสภาพอากาศส่งผลให้ผลการศึกษาคูลักษณะดินและชนิดเห็ดในแต่ละแปลงศึกษามีความแตกต่างกัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 5
สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 คุณลักษณะดินและจุลินทรีย์ดินที่เปลี่ยนแปลงตามอายุของการฟื้นฟูป่า

จากการศึกษาคุณลักษณะดินจากแปลงป่าฟื้นฟูอายุ 0-5 ปี 6-15ปี และอายุมากกว่า 15 ปี พบว่าเมื่อแปลงฟื้นฟูในพื้นที่ศึกษาอายุเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้มีสัดส่วนของดินทรายเพิ่มขึ้นเนื่องมากจากการถูกชะล้างหน้าดินโดยน้ำฝนซึ่งเป็นผลมาจากเตรียมหน้าดินและพื้นที่ก่อนการฟื้นฟูป่า

1. ปริมาณอินทรียวัตถุมีแนวโน้มลดลงบริเวณแปลงป่าฟื้นฟูในช่วงอายุ 0-5 ปี แปลงป่าฟื้นฟูอายุ 6-15 ปี และแปลงป่าฟื้นฟูอายุมากกว่า 15 ปี มีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 2.70±1.15 2.32±0.6 และ1.68±1.02 ตามลำดับ เนื่องจากการถูกชะล้างหน้าดินโดยน้ำฝนและพบร่องรอยการเกิดไฟป่า

2. ปริมาณคาร์บอนทั้งหมดบริเวณแปลงป่าฟื้นฟูในช่วงอายุ 0-5 ปี แปลงป่าฟื้นฟูอายุ 6-15 ปี และแปลงป่าฟื้นฟูอายุมากกว่า 15 ปี มีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 1.57±0.67 1.35±0.35 และ 0.98±0.60 ตามลำดับ

3. ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดบริเวณแปลงป่าฟื้นฟูในช่วงอายุ 0-5 ปี แปลงป่าฟื้นฟูอายุ 6-15 ปี และแปลงป่าฟื้นฟูอายุมากกว่า 15 ปี มีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 0.12 ±0.05 0.10±0.02 และ 0.11±0.04 ตามลำดับ มีการเปลี่ยนเล็กน้อยตามอายุป่าที่เพิ่มขึ้นและอายุป่าไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงไนโตรเจนทั้งหมด

4. ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์บริเวณแปลงป่าฟื้นฟูในช่วงอายุ 0-5 ปี แปลงป่าฟื้นฟูอายุ 6-15 ปี และแปลงป่าฟื้นฟูอายุมากกว่า 15 ปี มีค่าเท่ากับ 64.89±26.44 22.49±6.02 และ 29.63±13.29 mg/kg ตามลำดับ

5. จากการศึกษาปริมาณกำมะถันในดินบริเวณแปลงป่าฟื้นฟูในช่วงอายุ 0-5 ปี แปลงป่าฟื้นฟูอายุ 6-15 ปี และแปลงป่าฟื้นฟูอายุมากกว่า 15 ปี มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 10.16±4.51 12.26±3.16 และ7.62±2.15 mg/kg ตามลำดับ อายุป่าฟื้นฟูที่เพิ่มขึ้นไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของกำมะถันในดิน

6. การเปลี่ยนแปลงของโลหะหนักในดินที่สำคัญเพิ่มขึ้นตามอายุป่าโดยมีปริมาณสังกะสี 73.86±13.7 250.3±166.8 และ 1,416.2±698.4 mg/kg และปริมาณแคดเมียม 0.74±0.2 2.72±2.4และ12.02±5.7 mg/kg

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

7. ปริมาณราในดินมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอายุของแปลงป่าฟื้นฟู โดยพบว่าแปลงป่าฟื้นฟูในช่วงอายุ 0-5 ปี แปลงป่าฟื้นฟูอายุ 6-15 ปี และแปลงป่าฟื้นฟูอายุมากกว่า 15 ปี มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $5.13x10^4 \pm 1.37x10^4$ $33.00x10^4 \pm 18.9x10^4$ และ$47.1x10^4 \pm 7.88x10^4$ cfu/g ตามลำดับ

8. ปริมาณแอคติโนมัยซีทในดินมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอายุของแปลงป่าฟื้นฟู โดยพบว่าแปลงป่าฟื้นฟูในช่วงอายุ 0-5 ปี แปลงป่าฟื้นฟูอายุ 6-15 ปี และแปลงป่าฟื้นฟูอายุมากกว่า 15 ปี มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $2.51x10^5 \pm 0.35x10^5$ $12.26x10^5 \pm 2.86x10^5$ และ$28.08x10^5 \pm 4.22x10^5$ cfu/g ตามลำดับ

9. ปริมาณแบคทีเรียในดินมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอายุของแปลงป่าฟื้นฟู โดยพบว่าแปลงป่าฟื้นฟูในช่วงอายุ 0-5 ปี แปลงป่าฟื้นฟูอายุ 6-15 ปี และแปลงป่าฟื้นฟูอายุมากกว่า 15 ปี มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $8.05x10^5 \pm 0.80x10^5$ $250.0x10^5 \pm 11.0x10^5$ และ$754.0x10^5 \pm 18.0x10^5$ cfu/g ตามลำดับ

10. พบเห็ด 11 ชนิดดังนี้ *Leucocoprinus birnbaumii* (Corda), *Cantharellus cibarius*, *Coprinus plicatilis*, *Lycoperdon pretense*, *Coprinopsis lagopus*, *Dictyophora indusiate*, *Coprinus disseminates*, *Scleroderma verrucosum* Pers, Scleoderma flavidum, *Calvatia craniiformis* และ *Marasmius maximus* ตามลำดับ

5.1.2 ปัจจัยที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของคุณลักษณะดินจากการเตรียมพื้นที่สำหรับฟื้นฟูป่า

จากผลการศึกษาที่กล่าวมาข้างต้นพบว่ามีปัจจัยภายนอกของแปลงฟื้นฟูป่าอายุ 0-5 ปี 6-15 ปี และมากกว่า 15 ปี 2 ปัจจัยดังนี้

1. ลักษณะของภูมิประเทศและความลาดชันของพื้นที่ก่อนเตรียมดินเพื่อฟื้นฟูป่า
2. การเกิดไฟป่าบริเวณพื้นที่ศึกษา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ก่อนเริ่มการฟื้นฟูป่าควรเตรียมพื้นที่ให้มีความเหมาะสมตามลักษณะของภูมิประเทศและควรเพิ่มแนวคันดินในพื้นที่แปลงฟื้นฟูป่าตามความลาดเอียงของลักษณะพื้นที่ เพิ่มแนวชะลอน้ำและปลูกหญ้าแฝก เพื่อป้องการสูญเสียความชื้นในดินและป้องกันการชะล้างดินตะกอนจากน้ำฝน

2. ปริมาณสังกะสีและแคดเมียมที่ยังคงอยู่ในพื้นที่ แม้ว่ามีการปลูกป่ามาแล้วมากกว่า 15 ปี พบว่าพืชคลุมดินเจริญเติบโตได้ดี มีต้นไม้หลายชั้นเรือนยอด หลายชั้นอายุขึ้นอยู่ จากผลการศึกษาเรื่องการฟื้นฟูป่าบนพื้นที่ทำเหมืองต้องศึกษาการเกิด ไบโอแมกนิฟิเคชั่น (Biomagnification) คือ สิ่งมีชีวิตที่อยู่ท้ายห่วงโซ่จะได้รับการสะสมของโลหะหนักเพิ่มทวีคูณเนื่องจากได้รับการถ่ายเทสารพิษตกค้างมาเป็นทอดๆ จากพืชแยกตามอายุของดินจากแปลงป่าฟื้นฟูบนพื้นที่เหมือง

บรรณานุกรม

ภาษาอังกฤษ

Abdulwahab S. A. , and Marikar F. A. (2012). The environmental impact of gold mines:pollution by heavy metals. *Journal of Engineering,* 2(2), 304-313.

Adeel, Z., Safriel, U., Niemeijer, D. , and White, R. (2005). *Ecosystems and Human Well-being : Desertification Synthesis : a Report of the Millennium Ecosystem Assessment* (1-56973-590-5 (alk. paper)). Retrieved from

Barthlott, W., Linsenmair, K. E. , and Porembski, S. (2009). *Biodiversity : Structure and Function* (Vol. 2). United Kingdom.

Bellettinia M. B.et al. (2016). Factors affecting mushroom Pleurotus spp. *Saudi Journal of Biological Sciences,* 26, 633-646.

Boesch, D. F. , and Turnar, R. E. (1984). Dependence of fishery species on salt marshes: the role of food and refuge. *Estuaries,* 7, 460-468.

Boontawekol, T., Pomchotekul, Y. , and Venin, A. (2004). *Mushrooms diversity in Khao Ang Rue Nai Wildlife Sanctuary*.

Brand D., Moshe I., Shaler M., Zuk A. , and Riov J. (2011). Afforestation in Israel – reclaiming ecosystems and combating desertification *Forestry for People*, 273-280.

Braos, L. B., Cruz, M. C. P. d., Ferreira, M. E. , and Kuhnen, F. (2015). ORGANIC PHOSPHORUS FRACTIONS IN SOIL FERTILIZED WITH CATTLE MANURE. *R. Bras. Ci. Solo,* 39, 140-150.

Broome, S. W., Seneca, E. D. , and Woodhouse, W. W. (1988). Tidal salt marsh restoration. *Aquat. Bot.,* 32(1-2), 1-22.

Bryan, G. W. , and Langston, W. J. (1992). Bioavailability, accumulation and effects of heavy metals in sediments with special reference to United Kingdom estuaries: a review. *Environ. Pollut.,* 76, 89-131.

Burke, D., Weis, J. S. , and Weis, P. (2000). Release of metals by the leaves of the salt marsh grasses *Spartina alternifolia* and *Phragmites australis*. *Estuar. Coast. Shelf Sci.,* 51, 153-159.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Canadian Parks Council. (2007). *Principles and Guidelines for ECOLOGICAL RESTORATION in Canada's Protected Natural Areas*. Canada

Carbonell-Barrachina, A. A., Arabi, M. A., DeLaune, R. D., Gambrell, R. P. , and Patrick, W. H. j. (1998). The influence of arsenic chemical form and concentration on *Spartina patens* and *Spartina alterniflora* growth and tissue arsenic concentration. *Plant Soil,* 217, 33-43.

Carter M.R. , and Gregorich E.G. (2008). *Soil Sampling And Medthods of Analysi*.

Cavagnaro, T. R., Cunningham, S. C. , and Fitzpatrick, S. (2016). Pastures to woodlands: changes in soil microbial communities and carbon following reforestation. *Applied Soil Ecology,* 107, 24-32. doi:10.1016/j.apsoil.2016.05.003

Chen Y.L., Dell B. , and Kang L.H. (2004). Cultivation of Suillus bovinus (Boletaceae) on Pinus elliottii in south China. In: Abstracts of IV Asian-Pacific mycological congress Chiang Mai, Thailand. 14-19.

Das N. (2005). Heavy metals biosorption by mushrooms. *Natural Produce Radian,* 4(6), 454-459.

Davies, R., Younger, A. , and Chapman, R. (1992). Water availability in a restored soil. *Soil Use and Management,* 8, 67–73.

Davis M. A. , and Slobodkin L.B. (2004). The Science and Values of Restoration Ecology. *Restoration Ecology,* 12(1), 1-3.

Doley, D. , and Audet, P. (2013). Adopting novel ecosystems as suitable rehabilitation alternatives for former mine sites. *Ecological Processes,* 2(22), 11.

Dowarah, J.et al. (2009). Eco-restoration of a high-sulfur coal mine overburden dumping site in northeast India: A case study. *Earth System Science,* 118(5), 597–608.

Doyle, M. O. , and Otte, M. L. (1997). Organism-induced accumulation of iron, zinc and arsenic in wetland soils. *Environ. Pollut.,* 96, 1-11.

Ellert B. H. , and Bettan J. R. (1995). Calculation of organic matter and nutrients stored in soils under contrasting management regimes. *SOIL SCIENCE*, 529-538.

FAO. (2017). Soil Degradation Retrieved from http://www.fao.org/soils-portal/soil-degradation-restoration/en/

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Fashola M., Ngole-Jeme V.M. , and Babalola O.O. (2016). Heavy Metal Pollution from Gold Mines: Environmental Effects and Bacterial Strategies for Resistance. *Environment Reseach Public Healt,* 13(11).

Frankland, J. (1966). Succession of fungi on decaying petioles of *Pteridium aquilinum*. *J Ecol,* 54, 41-63.

Furman N.H. (1963). *Standard method of chemical Analysis D. Van Nostrand Comp*.

Gajaseni, J. (2009). *Ecological*. Bangkok: Chulalongkorn University Press.

Gambrell, R. (1994). Trace and toxic metals in wetlands - a review. *J. Environ. Qual.,* 23, 883-891.

Gambrell, R. P., Wiesepape, J. B., Patrick, W. H. j. , and Duff, M. C. (1991). The effects of pH, redox, and salinity on metal release from a contaminated sediment. *Water, Air, and Soil Pollut.,* 57/58, 359-367.

Gezer, K. , and Kaygusuz, O. (2015). Soil and habitat characteristics of various species of mushroom growing wild in the Gireniz Valley, Turkey. *Oxidation Communications,* 38(1), 389-397.

Head, K. H. (2006). *Manual of soil laboratory testing, Volume* 1: CRC Press.

Inthapan, P. , and Boonchee, S. (2000). *RESEARCH ON VETIVER GRASS FOR SOIL AND WATER CONSERVATION IN THE UPPER NORTH OF THAILAND*.

Jachmann H. (2001). LINE TRANSECT COUNTS. *Estimating Abundance of African Wildlife*, 46-92.

Kangwankraiphaisan T. (2011). *Heavy metal translocation involving biogeochemical mechanisms in the rhizosphere sediment of zinc smelting.* (Doctor of Philosophy), Chulalongkorn University, Bangkok.

Kardol P., ThroopH. L.., Adkins J. , and Graaff M.A. (2016). A hierarchical framework for studying the role of biodiversity in soil food web processes and ecosystem services. *Soil Biology & Biochemistry*, 1-4.

Kneib, R. T. (1997). The role of tidal mrashes in the ecology of estuarine nekton. *Oceanogr. Mar. Biol. Annu. Rev.,* 35, 163-220.

Kumar, R., Talwal, A., Panden, S. , and Raja, R. (2013). Fungal diversity associated with bamboo litter from Bambusetum of Rain Forest Research Institute, Northeast India. *BIODIVERSITAS,* 14, 79-88.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Li, H., Motimer, P. E., Karunnarathna, S. C., Xu, J. , and Hyde, K. D. (2014). New species of Phallus from a subtropical forest in Xishuangbanna, China. *Phytotaxa,* 163(2), 091–103

Li Y., Hu J., Wang S. , and Wang S. (2014). Function and Application of Soil Microorganisms in the Forest Ecosystem. *Chinese Journal of Applied Ecology,* 15(10), 1943-1946.

Linn D. M. , and Doran J. W. (1984). Effect of Water-Filled Pore Space on Carbon Dioxide and Nitrous Oxide Production inTilled and Nontilled Soils1. *SOIL SCIENCE,* 48, 1267-1272.

Liu, Y.et al. (2012). The long-term effects of reforestation on soil microbial biomass carbon in sub-tropic severe red soil degradation areas. *Forest Ecology and Management,* 285, 77-84. doi:10.1016/j.foreco.2012.08.019

Lladó S., López-Mondéjar R. , and Baldrian P. (2017). Forest Soil Bacteria: Diversity,Involvement in Ecosystem Processes,and Response to Global Change. *Microbiologyand Molecular Biology Reviews,* 81(2).

Lubke, R. A. , and Avis, A. M. (1998). A Review of the Concepts and Application of Rehabilitation Following Heavy Mineral Dune Mining. *Marine Pollution Bulletin,* 37(8-12), 546-557.

Maben, A. (2015). Rocky Intertidal Transect. Retrieved from https://enviroliteracy.org/teaching-resources/ap-environmental-science-course-material/rocky-intertidal-transect-survey-teacherstudent/

Macdonald, S. E.et al. (2015). Forest restoration following surface mining disturbance: challenges and solutions. *New Forests,* 46(5-6), 703-732.

Maiti, S. K. (2013a). Ecorestoration of the Coalmine Degraded Land. *Restoration Ecology,* 22, 125-126.

Maiti, S. K. (2013b). *Ecorestoration of the coalmine degraded lands*. India: Springer.

Mansourian S. (2005). Overview of forest restoration strategies and terms. In *Forest restoration in landscapes: beyond planting trees. Springer* (pp. 8-13). New York.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Margenot, A. (2018). Soil phosphorus availability and lime: more than just pH? Retrieved from https://www.soils.org/discover-soils/story/soil-phosphorus-lime-ph

Matsushita Y. (2010). Technical Report on the PCR-DGGE Analyis of Bacteria and Fungal Soil Communitie. *National Institute for Aro-Environment Science*.

Mitsch, W. J. , and Gosselink, J. G. (1993). *Wetlands*. New York: John Wiley & Sons.

Nard, J. , and Fells, E. (2017). Fungi in the Forest : Community Creators. Retrieved from https://www.gbbr.ca/download/Kids%20in%20the%20Biosphere/Fungi%20in%20the%20Forest%201.pdf [Accessed 2 June 2018]

New World Encyclopedia contributors. (2008). Succession (ecological). In.

Obiora S. C., Chukwu A., Sadrack F., Theophilus T. , and Davies C. (2016). Assessment of heavy metal contamination in soils around lead (Pb)-zinc (Zn) mining areas in Enyigba, southeastern Nigeria. *Journal of the Geological Society of India,* 87(4), 453-462.

Otte, M. L., Kearns, C. C. , and Doyle, M. O. (1995). Accumulation of arsenic and zinc in the rhizosphere of wetland plants. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.,* 55, 154-161.

Pansu, M. , and Gautheyrou, J. (2006). *Handbook of Soil Analysis Mineralogical, Organic and Inorganic Methods*

Poongkodi G.K. , and Priya G.P.H. (2015). Nutrient Contents of Edible Mushrooms, Agaricusbisporus and Pleurotusostreatus. *Modern Chemistry and Applied Science,* 2(2), 78-86.

Rozas, L. P., McIvor, C. C. , and Odum, W. E. (1988). Intertidal rivulets and creek banks: corridors between tidal creeks and marshes. *Mar. Ecol. Prog. Ser.,* 47, 303-307.

Sakolrak, B., Duengkae, K., Ayawong, C., Himaman, W. , and Pongpanich, K. (2012). *Diversity and Utilization of Mushrooms in Mae Ping National Park* Bangkok

SER. (2004). The SER International Primer on Ecological Restoration. Retrieved from www.ser.org/pdf/primer3.pdf

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Shiri J., Keshavarzi A., Kisi O., Karimi S. , and Viveros U. I. (2017). Modeling soil bulk density through a complete data scanning procedure : Heuristic alternatives. *Journal of Hydrology,* 549, 592-602.

Singh, A. N., Raghubanshi, A. S. , and Singh, J. S. (2004). Impact of native tree plantations on mine spoil in a dry tropical environment. *Forest Ecology and Management,* 187, 49-60.

Singha, K., Banerjee, A., Pati, B. R. , and Mohapatra, P. K. D. (2017). Eco-diversity, productivity and distribution frequency of mushrooms in Gurguripal Eco-forest, Paschim Medinipur, West Bengal, India

Current Research in Environmental & Applied Mycology, 7(1).

Sun S., Li S., Avera B. N. , Strahm B. D. , and Badgley B. D. (2017). Soil Bacterial and Fungal Communities Show Distinct Recovery Patterns during Forest Ecosystem Restoration. *Microbial Ecology,* 83(14).

Sutthirat, J., et al., . (2015). *Green mines for sustainable development*. Bangkok: STC media and marketing publishing.

Truong, P. (2000). Vetiver Grass System: Potential Applications for Soil and Water Conservation in Northern California.

United Nation Development Program. (2016). *Sustainable Development Goals (SDGs).* Retrieved from https://sustainabledevelopment.un.org

United Nations Environment Programme, U. (2005) Ecosystems and Human Well-being: A Framework for Assessment. . In I. Press (Series Ed.). *Ecosystems and Their Services* (pp. 245).

USDA. (2008). Soil Quality Indicators. https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_053256.pdf

Vincent, A., Turner, B. , and Tanner, E. (2010). Soil organi48-57c phosphorus dynamics following perturbation of litter cycling in a tropical moist forest. *Eur J Soil Sci.,* 61, 48-57.

Vishkaee F. M., Mohammadi M. H. , and Vanclooster M. (2014). Predicting the soil moisture retention curve, from soil particle size distribution and bulk density

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

data using a packing density scaling factor. *Hydrology and Earth System Sciences,* 18, 4053-4063.

Weis, J. S. , and Weis, P. (2004). Metal uptake, transport and release by wetland plants: implications for phytoremediation and restoration. *Environ. Int.,* 30, 685-700.

Whitaker, G. , and Terrell, C. R. (1992). Federal programs for wetland restoration and use of wetlands for nonpoint source pollution control. *Ecological Eng.,* 1, 157-170.

Witkamp M. (1973). Compatibility of micro measurement. . *Bull Ecol. Res. Commun. (Stockholm),* 17(179-188).

Wong, M. H., Wong, J. W. C. , and Baker, A. J. M. (1999). *Remediation and management of degraded lands*.

Wright, D. J. , and Otte, M. L. (1999). Wetland plant effects on the biogeochemistry of metals beyond the rhizosphere. *Biol. Environ., 99B*(1), 3-10.

Yahya K., Fatemeh R. , and Seyed M. H. (2015). Effects of tree species on topsoil properties and nitrogen cycling in natural forest and tree plantations of northern Iran. *Catena,* 144,, 65-73.

Zhang, C.et al. (2005). Pools and distributions of soil phosphorus in China. *GLOBAL BIOGEOCHEMICAL CYCLES,* 19. doi:10.1029/2004GB002296

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาษาไทย

กรมป่าไม้. (2553). สัก. กรุงเทพฯ: สำนักส่งเสริมการปลูกป่า.

กรมพัฒนาที่ดิน. (2540a). การคุ้มครองพื้นที่เกษตรกรรม. 62 หน้า.

กรมพัฒนาที่ดิน. (2540b). การคุ้มครองพื้นที่เกษตรกรรม.

กรมวิชาการเกษตร. (2553). คู่มือวิเคราะดินทางเคมีและฟิสิกส์. ควิกปริ๊นท์ ออฟเซ็ท: กรุงเทพฯ.

จักรพันธ์ สุทธิรัตน์ และคณะ. (2558). เหมืองสีเขียวเพื่อการพัฒนาอย่างยั่งยืน. กรุงเทพฯ: บริษัท เอสทีซี มีเดีย แอนด์ มาเก็ตติ้ง จำกัด.

จิรากรณ์ คชเสนี. , and นันทนา คชเสนี. (2552). นิเวศวิทยาระบบนิเวศ. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ฉันทนา รุ่งพิทักษ์ชัย, ประยูร ดำรงรักษ์, มูฮำหมัดตายุดิน บาฮะคีรี , and พาตีเมาะ อาแยกาจิ. (2553). ความหลากหลายของเห็ดในหุบเขาลำพญา จังหวัดยะลา. Retrieved from

ชัยวัฒน์ คงสม. (2548). ทรัพยากรป่าไม้ สิ่งแวดล้อมและกฎหมายที่เกี่ยวข้อง. Retrieved from นนทบุรี:

ชัยวัฒน์ คงสม. (2558) ป่าไม้ของประเทศไทย. มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.

ธัชชัย สันติสุข. (2555). ป่าของประเทศไทย. Retrieved from http://www.dnp.go.th/botany/PDF/publications/veget.pdf

ธารรัตน์ แก้วกระจ่าง, บารมี สกลรักษ์, อุทัยวรรณ แสงวณิช , and และเจษฎา วงค์พรหม. (2558). การตอบสนองด้านการเติบโตของกล้าไม้พะยอม (*Shorea roxburghii* G. Don) ต่อการปลูกเชื้อเห็ดเผาะหนัง.

นรากร ศริเลิศ , and สาพิศ ดิลกสัมพันธ์. (2554). การเติบและลักษณะทางสรีรวิทยาของกล้าไม้ยูคาลิปตัส 4 สายต้น ภายใตความเข้มแสงที่ต่างกัน. วารสารวนศาสตร์, 30(2), 15-26.

นิตยา เลาหะจินดา. (2549). นิเวศวิทยา:พื้นฐานสิ่งแวดล้อมศึกษา. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

บารมี สกลรักษ์, กิตติมา ด้วงแค, จันจิรา อายะวงศ์, วินันท์ดา หิมะมาน , and กฤษณา พงษ์พานิช. (2555). ความหลากหลายและการใช้ประโยชน์ของเห็ดราในอุทยานแห่งชาติแม่ปิง.

ผู้จัดการออนไลน์. (2555). การใส่เชื้อราลงกล้าไม้ยาง ชาวบ้านได้เห็ด ประเทศได้ป่า. Retrieved from http://www.manager.co.th/Science/ViewNews.aspx?NewsID=9550000133774

รวีวรรณ เดื่อมขันมณี. (2557). พัฒนาการเพาะเห็ดตับเต่าเห็ดเอคโตไมคอร์ไรซา: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยราชมงคลสุวรรณภูมิ.

ราชกิจจานุเบกษา. (2516). ป่าสงวนแห่งชาติ (*National Forest)*.

วิเชียร สุมันตกุล. (2544). การปลูกสร้างสวนป่าไม้สัก. Retrieved from http://www.dnp.go.th/development/teak.htm

วิสุทธิ์ ใบไม้. (2545). วิวัฒนาการ มนุษย์ และความหลากหลายทางชีวภาพ. กรุงเทพฯ จิรวัฒน์ เอ็กซ์เพรส.

สมศักดิ์ วังใน. (2528). จุลินทรีย์และกิจกรรมในดิน. กรุงเทพฯ: บริษัทสำนักพิมพ์ ไทยวัฒนาพานิชย์ จำกัด.

สมศักดิ์ วังใน. (2528). จุลินทรีย์และกิจกรรมในดิน. กรุงเทพฯ: บริษัทสำนักพิมพ์ ไทยวัฒนาพานิชย์ จำกัด.

สุบัณฑิต นิ่มรัตน์. (2549). จุลชีววิทยาทางดิน. กรุงเทพฯ: โอเอส.พริ้นติ้ง.เฮ้าส์.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

อนงค์ จันทร์ศรีกุล, พูนพิไล สุวรรณฤทธิ์. , and อุทัยวรรณ แสงวณิช. (2551). ความหลากหลายของเห็ดและราขนาดใหญ่ในประเทศไทย. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อุทัยวรรณ แสงวณิชet al. (2559). การตอบสนองด้านการเติบโตของกล้าไม้วงศ์ยางบางชนิดที่มีเห็ดเผาะหนังสัมพันธ์อยู่กับรากแบบเอคโตไมคอร์ไรซา.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ก
รายละเอียดการวิเคราะห์

1. ขั้นตอนการวิเคราะห์

1.1 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ

ก. วิเคราะห์โครงสร้างดินด้วยวิธีไฮโดรมิเตอร์

1. ชั่งตัวอย่างดิน 50 กรัม ใส่บีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิเมตร เติมสารละลาย calgon5% 100 มิลลิลิตร ใช้แท่งแก้วคนให้ตัวอย่างดินทำปฏิกิริยากับสารละลาย ตั้งทิ้งไว้ 20 นาที

2. ถ่ายสารละลายจากข้อ 1. ทั้งหมดลงใน Dispersion cup ล้างด้วยน้ำกลั่น นำไปปั่นด้วยเครื่อง Mechanical stirrer เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นนำสารละลายดินทั้งหมดถ่ายลงใน Sedimentation cylinder ล้าง Dispersion cup ด้วยน้ำกลั่น และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดล่างของ cylinder (ปริมาตร 1130 มิลลิตร) โดยใส่ Hydrometer ไว้ด้วย

3. จากนั้นนำ Hydrometer ออก แล้วใช้ plunger คนเป็นเวลา 30 วินาที โดยยกขึ้น-ลง เพื่ออนุภาคของดินในสารแขวนลอยกระจายอย่างสม่ำเสมอ

4. นำ Hydrometer ค่อยๆหย่อนลงไปใน Sedimentation cylinder โดยอย่าสารแขวนลอยได้รับการกระทบกระเทือนจากไฮโดรมิเตอร์ บันทึกค่าไฮโดรมิเตอร์ที่อ่านได้ และอุณหภูมิของสารแขวนลอย ที่เวลา 40 วินาที และ 2 ชั่วโมง ตามลำดับ

5. วิเคราะห์ blank ตามข้อ 2-3

6. คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของ Sand, Silt และClay แล้วนำไปเทียบกับไดอะแกรมสามเหลี่ยมมาตรฐานเพื่อหาเนื้อดินต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

วิธีคำนวณ

Rs 40s = กลุ่มอนุภาค + กลุ่มอนุภาคดินเหนียว กรัมต่อลิตร

= [Rt40s + 0.36(t40s - 20)] + [Cr40s + 0.5 Cr40s - 20)] —— (1)

Rs 2h = กลุ่มอนุภาคดินเหนียว กรัมต่อลิตร

= [Rt2h + 0.36(t2h - 20)] + [Cr 2h + 0.5 Cr 2h - 20)] —— (2)

กลุ่มอนุภาคซิลท์ (silt) = (1) – (2) ——— (3) (กรัมต่อลิตร)

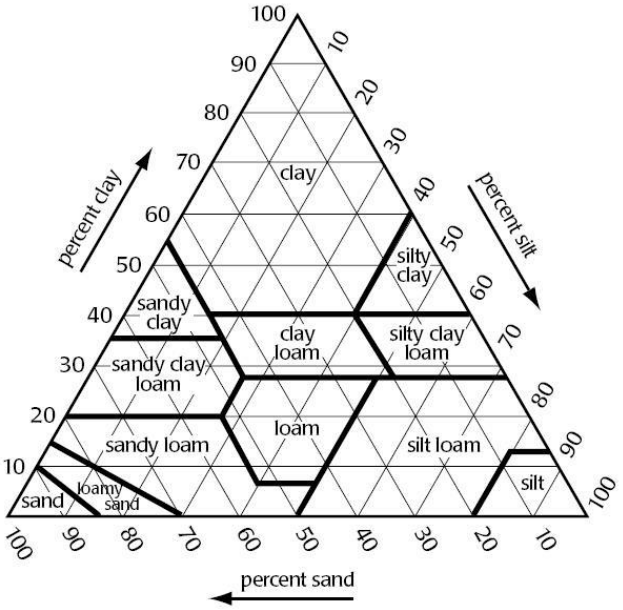
กลุ่มอนุภาคทราย (sand) = 50 – (1) ——— (4)) (กรัมต่อลิตร)

ดังนั้น เปอร์เซ็นต์ดินเหนียว = 2 x (2)

เปอร์เซ็นต์ดินซิลท์ = 2 x (3)

เปอร์เซ็นต์ดินทราย = 2 x (4)

อ่านค่าจาก texture ของดินจากไดอะแกรมสามเหลี่ยม



รูปที่ 3.ผิดพลาด! ไม่มีข้อความของสไตล์ที่ระบุในเอกสาร-6 ไดอะแกรมสามเหลี่ยมมาตรฐาน ที่มา http://soil-genesis.enviro-soil.com/images/TexturalTriangle.jpg

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ข. การวัดเปอร์เซ็นต์ความชื้นโดยวิธีอบแห้ง (Dried oven)

1. ชั่งตัวอย่างดิน 100 กรัม

2. ทำความสะอาดภาชนะเก็บตัวอย่างดินพร้อมฝาปิดให้แห้งแล้วนำไปชั่งน้ำหนัก พร้อมบันทึกน้ำหนักที่ได้

3. นำตัวอย่างดินใส่ในภาชนะที่ทำการชั่งน้ำหนักภาชนะแล้วปิดฝาพร้อมทั้งชั่งน้ำหนักก่อนอ

4. นำพาชนะใส่ตัวอย่างดินเข้าตู้อบ (Oven) ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส อย่างน้อย 16 ชั่วโมง

5. นำภาชนะที่ใส่ตัวอย่างดินออกจากตู้อบใส่เข้าไปในโถดูดความชื้น (desiccator) ทิ้งไว้ให้เย็น จากนั้นนำมาชั่งน้ำหนักหลังอบ

วิธีคำนวณ

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความชื้น (MC\%)} = \frac{W2 - W3 \times 100}{W3 - W1}$$

เมื่อ W1 = น้ำหนักภาชนะ (กรัม)

W2 = น้ำหนักของดินและภาชนะก่อนอบ (กรัม)

W3 = น้ำหนักของดินและภาชนะหลังอบ (กรัม)

ค. การวิเคราะห์ความหนาแน่นของดินด้วยวิธีคอร์ (Core method)

การวิเคราะห์ความหนาแน่นของดินเพื่อเป็นตัวชี้วัดโครงสร้างของดินที่ส่งผลให้เกิดการระบายน้ำและการสะสมธาตุอาหารในดินโดยมีขั้นตอน (Blake and Hartge,1986) ดังนี้

อุปกรณ์

1. ตู้อบ (Oven)
2. กระบอกโลหะ (core)
3. เครื่องชั่ง (balance)
4. เครื่องวัดสเกล (vernier)

วิธีการทดลอง

1. ใช้กระบอกโลหะ (core) เจาะลงไปในดิน เพื่อเก็บตัวอย่างดิน จากนั้นเกลี่ยหน้าดินที่กระบอกโลหะให้เรียบเสมอปากกระบอก และปิดด้วยฝาพลาสติกพร้อมทั้งพันด้วยเทปกาวพันสายไฟ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2. ทำความสะอาดเศษดินรอบ ๆ กระบอกโลหะ และนำไปชั่งน้ำหนัก (Ws)

3. นำตัวอย่างดินในกระบอกโลหะอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมงหรือจนกว่าน้ำหนักคงที่ จากนั้นทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

4. นำกระบอกโลหะนำดินออกล้างทำความสะอาด อบให้แห้งในตู้อบพร้องทั้งชั่งน้ำหนักกระบอกโลหะเปล่า (Wa)

5. ใช้ vernier วัดเส้นผ่าศูนย์กลาง (2r) และความสูง (h) ของกระบอกโลหะเก็บตัวอย่างดิน จากนั้นนำมาคำนวณปริมาตร (Vs) โดยใช้สมการหาปริมาตรของทรงกระบอกคือ $\pi r2h$

เมื่อ ความหนาแน่นรวมของดิน $\rho b = \frac{(Ws+Wa)- Wa}{Vs}$ g/m3

Ws = น้ำหนักดินแห้งรวมกับกระบอกโลหะ

Wa = น้ำหนักกระบอกโลหะ

Vs = ปริมาตรภายในกระบอกโลหะ

1.2 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี

ก. การวัดความเป็นกรด-ด่างของดิน (pH)

เป็นการวิเคราะห์หาค่าความเป็นกรด-ด่าง โดยใช้อัตราส่วนของดินต่อน้ำเท่ากับ 1:1 แล้วนำไปวัดด้วย pH meter

1. ชั่งตัวอย่างดิน 10 กรัม ใส่บีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร

2. เติมน้ำกลั่น ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ใช้แท่งแก้วคนตัวอย่างดินกับน้ำกลั่นให้เข้ากัน (หากสารละลายไม่เพียงพอต่อการวัดให้เติมน้ำกลั่นเพิ่มอีก 10 มิลลิลิตร หรือใช้อัตราส่วนดินต่อน้ำ 1:2) ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 30 นาที โดยในขณะตั้งทิ้งไว้คนตัวอย่างดินเป็นครั้งคราว 2-3 ครั้ง แล้วจึงนำไปวัดด้วย pH meter

3. ก่อนทำการวัดตัวอย่างดินให้ปรับตั้ง pH meter โดยใช้สารละลายบัฟเฟอร์มาตรฐาน pH 4.0 และ pH 7.0 ที่อุณหภูมิห้อง (25°C)

4. วัดค่าความเป็นกรด-ด่างของตัวอย่างดินโดยจุ่มอิเลคโทรดลงในสารละลายตัวอย่าง แล้วบันทึกผล

ข. การวิเคราะห์หาองค์ประกอบของสารอินทรีย์ในดิน และคาร์บอน

1. ชั่งดิน 1 กรัม ใส่ขวดรูปชมพู่ (erlenmeyer flask) ขนาด 250 มิลลิลิตร

2. เติมสารละลายมาตรฐาน โปแตสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$) 1.0 N 10 มิลลิลิตร

3. เติมกรดซัลฟิวริก H_2SO_4 98 % ปริมาตร 20 มิลลิลิตรเขย่าเบาๆ เพื่อให้สารละลายทำปฏิกิริยากับตัวอย่างดิน จากนั้นตั้งทิ้งไว้ให้สารละลายเย็นที่อุณหภูมิห้อง

4. เติมน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร

5. หยดอินดิเคเตอร์ออร์โทฟีแนนโทรลีน 5 หยด

6. ไตเตรทด้วยสารละลาย FAS (Ammonium ferrous sulfate : (NH4)FeSO4.6H2O) 0.5 N ที่จุดสิ้นสุดโดยสารละลายเปลี่ยนสีเขียวเป็นสีน้ำตาลแดง

7. จดบันทึกปริมาณสารละลาย และทำ Blank ตามวิธีทำข้อ 2 ถึง 6 เพื่อตรวจสอบ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

วิธีคำนวณ

$$\% \text{ อินทรีย์คาร์บอน (Organic Carbon, O.C.)} = \frac{10 \times (B-S) \times 100 \times 3 \times 100 \times N}{B \times 77 \times 1000 \times W}$$

$$\% \text{ อินทรียวัตถุ (Organic Matter, O.M.)} = \frac{10 \times (B-S) \times 100 \times 100 \times 3 \times 100 \times N}{B \times 77 \times 58 \times 1000 \times W}$$

หรือ % OM = % O.C. x 1.724

เมื่อ

B = ปริมาณ FAS ที่ใช้ในการไตเตรท Blank (มล.)

S = ปริมาณ FAS ที่ใช้ในการไตเตรทตัวอย่าง (มล.)

W = น้ำหนักดินที่ใช้ (กรัม)

N = ความเข้มข้นของ $(NH4)FeSO_4.6H_2O$ (ในกรณีที่ความเข้มไม่ใช่ 1.0 N) (หน่วย normality)

ค. การวิเคราะห์หาไนโตรเจน

วิธีนี้มี 3 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนการ ย่อย การกลั่น และการไทเทรต

1. ขั้นตอนการย่อย (digestion step) เป็นการเปลี่ยนสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจน ไปเป็น $(NH4)^2 SO^4$ ขึ้น โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา $K_2 SO^4$:$CuSO^4$ $5H_2O$: Se ในอัตราส่วน 100:10:1 แสดงปฏิกิริยาดังสมการที่ 1

$$\text{Organic N} + H_2SO_4 + (NH_4)^2SO_4 \longrightarrow CO_2(g) + H_2O \qquad (1)$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2. ขั้นตอนการกลั่น (distillation step) เป็นการเปลี่ยน $(NH_4)^2 SO_4$ ที่เกิดจากการย่อยในขั้นตอนแรกไปเป็นแก๊ส NH3 โดยเติม NaOH ลงไป จากนั้นเกิดการจับแก๊สด้วยกรดบอริก เกิดปฏิกิริยาดังสมการที่ 2 และ 3

$$(NH4)2SO4 + 2NaOH \longrightarrow 2NH3 + Na2SO4 + 2H2O \qquad (2)$$

$$H_3BO_3 + NH_3 \longrightarrow NH_4H_2BO_3 \qquad (3)$$

(ammonium borate) (สีเขียว)

3. ขั้นตอนการไทเทรต (titration step) เป็นการไทเทรตหา $NH_4H_2BO_3$ ที่เกิดขึ้นโดยใช้กรด HCL หรือ H_2SO_4 สามารถแสดงปฏิกิริยาดังสมการที่ 4

$$NH_4H_2BO_3 + H^+ \longrightarrow H_2BO_3 + NH^{4+} \qquad (4)$$

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างดิน 2 กรัม ใส่ Kjeldahl flask เติม catalyst 7 กรัม (เตรียมจาก 95 กรัม K_2SO_4: 5 กรัม $CuSo_4.5H_2O$)

2. เติมสารละลายกรดซัลฟูริก (H_2SO_4) เข้มข้น 15 มิลลิลิตร

3. นำไปย่อยบนเตาไฟจนได้ของเหลวใส ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น (ประมาณ 45 นาที) ที่อุณหภูมิห้อง

4. เติมน้ำ DI 50 มิลลิลิตร

5. เติม 32% NaOH ลงใน Kjedahl flask ที่เครื่องกลั่น

6. นำ Erlenmeyer flask ขนาด 250 มิลลิลิตร ซึ่งบรรจุ 50 มิลลิลิตร 4% Boric acid และหยด 2-3 หยด Mixed indicator ต่อเข้ากับชุดกลั่นโดยให้ปลายล่างของ Condenser อยู่ใต้ระดับระดับของเหลวใน Erlenmeyer flask ไตเตรตให้เปลี่ยนสีจาก สีส้มเป็นสีเขียว

7. กลั่นจนได้ของเหลวประมาณ 150 มิลลิลิตร (ดูจาก scale ของ Erlenmeyer flask) นำ Erlenmeyer flask ออก ล้างปลาย Condensor ด้วยน้ำ DI

8. นำมาทำการไตเตรต สารที่กลั่นได้กับ 0.1 N HCL ที่ทราบความเข้มข้นแน่นอน (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

วิธีคำนวณ $N = (Vol.\ HCL_{titrate} - Vol.\ HCL_{blank}) \times N_{HCL} \times 0.014007$

$$\%N = \frac{Nx100}{Wt.\ sample}$$

ง. การวิเคราะห์หาฟอสฟอรัส

1. ชั่งตัวอย่างดิน 1.0 กรัม ใส่ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask) ขนาด 50 มิลลิลิตร

2. เติมน้ำยาสกัด Bray II และKurtz 10 มิลลิลิตร

(การเตรียมสารละลาย : ละลายแอมโมเนียฟลูออไรด์ (ammonium fluoride, NH4F) 11.10 กรัม ในน้ำกลั่น 8 ลิตร เติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (conc. HCl) ลงไป 86 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตร 10 ลิตร และปรับ pH ให้อยู่ระหว่าง 1.5-1.6

3. ปิเปตน้ำยาสกัด Bray II และKurtz : working solution ในอัตราส่วน 1:16 ลงในหลอดแก้ว ทิ้งไว้ 30 นาที จากนั้นนำไปอ่านค่าความเข้มข้น (concentration) ด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ช่วงคลื่น 882 นาโนเมตร

4. ทำ Blank ตามวิธีทำข้อ 2 และ 3 เพื่อตรวจสอบ

วิธีคำนวณ

$$\text{ฟอสฟอรัส (P)} = \frac{B \times DF(\text{sample}) \times X}{A \times DF\ (\text{standard})} \quad \text{มก./กก.}$$

เมื่อ A = น้ำหนักของตัวอย่างดิน (กรัม)

B = ปริมาตรน้ำยาสกัด (มิลลิลิตร)

X = ค่าที่อ่านที่ได้ เมื่อวัดค่าเทียบกับ standard set

DF = อัตราส่วนการเจือจาง (dilution factor)

ในกรณีไม่มีการทำเจือจาง

$$\text{ฟอสฟอรัส (P)} = \frac{B \times X}{A} \quad \text{มก./กก.}$$

จ. การวิเคราะห์หาซัลเฟอร์

1. ชั่งตัวอย่างดิน 10 กรัม ใส่ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask) ขนาด 125 มิลลิลิตร ใส่ Activated Charcoal ประมาณ 1 ช้อนชา หรือ 1 กรัม

2. เติมสารละลาย Calcium Tetrahydrogen Di – orthophosphate 500 mg P/L ปริมาณ 50 มิลลิลิตร ปิดด้วยแผ่นพาราฟิล์ม นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าเป็นเวลา 60 นาที และกรองสารละลายผ่านกระดาษกรองเบอร์ 42

3. ปิเปตสารละลายตัวอย่างที่ผ่านกระดาษกรองแล้วปริมาณ 25 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร จากนั้นเติม Barium Chloride ประมาณ 1 กรัม แล้วเขย่าเบาๆ เพื่อให้ Barium Chloride ทำปฏิกิริยากับสารละลายตัวอย่าง และเติม Gum acaaia 0.25% ปริมาณ 1 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน

4. ปิเปตสารละลายมาตรฐานซัลเฟตความเข้มข้น 100 mg/L ปริมาณ 0, 2, 4, 6, 8 และ 12 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร จะได้ความเข้มข้น 0, 4, 8, 12, 16 และ 24 มิลลิกรัมต่อลิตร (mg/L)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5. เติมสารละลาย Calcium Tetrahydrogen Di – orthophosphate 500 mg P/L เพื่อให้สารละลายมาตรฐานทั้ง 6 ความเข้มข้น มีปริมาตร 25 มิลลิลิตร เติม Barium Chloride ประมาณ 1 กรัม แล้วเขย่าเบาๆ เพื่อให้ Barium Chloride ทำปฏิกิริยากับสารละลายตัวอย่าง และเติม Gum acaaia 0.25% ปริมาณ 1 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน

6. นำสารละลายตัวอย่าง และสารละลายมาตรฐาน ไปวัดค่าความขุ่นด้วย UV-Visible spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 430 นาโนเมตร ภายในเวลา 30 นาที นำค่าที่อ่านได้จากเครื่องมาหาความเข้มข้นของสารละลายตัวอย่างโดยเปรียบเทียบกับค่าความขุ่นของสารละลายมาตรฐาน แล้วนำไปคำนวณปริมาณกำมะถันในดินต่อไป

วิธีคำนวณ

ปริมาณของซัลเฟต (SO_4^{2-})

$$\text{ซัลเฟต (mg/kg)} = \frac{CSO_4^{2-} \times V \times DF}{Wt.}$$

เมื่อ CSO_4^{2-} = ความเข้มข้นของ SO_4^{2-} ที่อ่านได้จาก Standard curve (mg/L)

V = ปริมาตรน้ำยาสกัด (มิลลิลิตร)

DF = อัตราส่วนการเจือจาง (dilution factor)

Wt. = น้ำหนักตัวอย่างดิน (g)

ฉ. การวิเคราะห์โลหะหนัก (Cd Cu Fe Mn Ni Pb และ Zn)

1. นำตัวอย่างดินที่แยกเศษวัสดุออกแล้วนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นตัวอย่างดินมาบดและร่อนด้วยตะแกรงขนาด 80 เมช (mesh) เก็บตัวอย่างดิน 50 กรัม เก็บตัวอย่างดิน 50 กรัม เก็บไว้ในขวดแก้วมีฝาปิดเพื่อนำไปวิเคราะห์

2. ชั่งตัวอย่างดินเตรียมไว้ 10 กรัม ใส่บีกเกอร์อบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที – 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น (Desiccater) และทำการย่อยตัวอย่างดิน (Digest) ด้วยวิธี nitric acid-hydrochloric acid digestion โดยใช้กรดไนตริกเข้มข้น (NHO3) และกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (HCl) อัตราส่วน 1:3 บนเครื่องให้ความร้อน (Hot Plate) ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

3. นำสารละลายกรองผ่านกระดาษกรอง เบอร์ 1 และปรับปริมาตรสารละลายในขวดรูปชมพู่ (Volumetric Flask) ด้วยน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 50 มิลลิลิตร

4. นำสารละลายที่ปรับปริมาตรแล้วมาวิเคราะห์โลหะหนักทั้งหมด ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) และนำไปวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

1.3 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางชีวภาพ

ก. วิธีนับจำนวนจากจานเพาะเชื้อ (Total Plate Count)

1. นำตัวอย่างมาละลายกับน้ำกลั่นฆ่าเชื้อเพื่อทำการเจือจางโดยหา

- ปริมาณแบคทีเรียเจือจางที่ 10^{-4} (ดินจากแปลงฟื้นฟูป่าอายุ 0-5 ปี),10^{-5} (ดินจากแปลงฟื้นฟูป่าอายุ 6-15 ปี) และ 10^{-6} (ดินจากแปลงฟื้นฟูป่าอายุมากกว่า 15 ปี)
- ปริมาณเชื้อราเจือจางที่ 10^{-2} (ดินจากแปลงฟื้นฟูป่าอายุ 0-5 ปี),10^{-3} (ดินจากแปลงฟื้นฟูป่าอายุ 6-15 ปี) และ 10^{-4} (ดินจากแปลงฟื้นฟูป่าอายุมากกว่า 15 ปี)
- ปริมาณเชื้อแอคติโนมัยซีทเจือจางที่ 10^{-2} (ดินจากแปลงฟื้นฟูป่าอายุ 0-5 ปี),10^{-3} (ดินจากแปลงฟื้นฟูป่าอายุ 6-15 ปี) และ 10^{-4} (ดินจากแปลงฟื้นฟูป่าอายุมากกว่า 15 ปี)

2. เตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ 3 ชนิด ได้ Nutrient agar, Streptomycin Rose Bengal Agar และ Na Caseinate Agar สำหรับแบคทีเรีย, รา และแอคติโนมัยซีท ตามลำดับ

ขั้นตอนการเตรียม Nutrient Agar

ส่วนประกอบ		
Beef extract	30	กรัม
Peptone	5.0	กรัม
Agar	15.0	กรัม
น้ำกลั่น	1000	มิลลิลิตร

ทำปราศจากเชื้อด้วยหม้อนึ่งฆ่าเชื้อ (autoclave) ที่ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที รอจนมีอุณหภูมิ 45-50 องศาเซลเซียส จึงเทลงเพลทด้วยเทคนิคปราศจากเชื้อ

ขั้นตอนการเตรียม Streptomycin Rose Bengal Agar

ส่วนประกอบ		
KH2SO4	0.5	กรัม
K2HSO4	0.5	กรัม
MgSO4.7H2O	0.5	กรัม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Peptone	10	กรัม
Yeast extract	0.5	กรัม
Rose Bengal	0.05	กรัม
Streptomycin	0.033	กรัม
Agar	15.0	กรัม
น้ำกลั่น	1000	มิลลิลิตร

นำส่วนประกอบทั้งหมด ยกเว้น Streptomycin ทำปราศจากเชื้อด้วยหม้อนึ่งฆ่าเชื้อ (autoclave) ที่ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที รอจนมีอุณหภูมิ 45-50 องศาเซลเซียส แล้วจึงเติม Streptomycin ที่ผ่าน cold sterilization ด้วยเทคนิคปราศจากเชื้อจึงเทลงเพลทด้วยเทคนิคปราศจากเชื้อ

ขั้นตอนการเตรียม Na Caseinate Agar

ส่วนประกอบ		
Na Caseinate	2.0	กรัม
K2HSO4	0.5	กรัม
MgSO4.7H2O	0.5	กรัม
FeCl2	0.333	กรัม
Agar	15.0	กรัม
น้ำกลั่น	1000	มิลลิลิตร

นำส่วนประกอบทั้งหมดทำปราศจากเชื้อด้วยหม้อนึ่งฆ่าเชื้อ (autoclave) ที่ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที รอจนมีอุณหภูมิ 45-50 องศาเซลเซียส แล้วจึงเทลงเพลทด้วยเทคนิคปราศจากเชื้อ

ข. วิธีการจำแนกชนิดเห็ด

ขั้นตอนเก็บตัวอย่างเห็ด

<u>ขั้นตอนเก็บตัวอย่างเห็ด</u>

- เก็บดอกเห็ดแต่ละช่วงตั้งดอกเห็ดอ่อนจนถึงดอกเห็ดแก่ และนำมาใส่กระดาษไข โดยแยกดอกเห็ดแต่ละชนิดห่อแยกกัน เพื่อป้องกันการปะปนของสปอร์

- ถ่ายรูป และจดบันทึกลักษณะภายนอกของดอกเห็ด ประเภทของวัสดุการเจริญของเห็ด และลักษณะที่อยู่ของชนิดเห็ด

- จำแนกชนิดเห็ดโดยจำแนกจากลักษณะของหมวกเห็ด (รูปร่าง ขอบของหมวกเห็ด ผิวของหมวก และเนื้อหมวก) ลักษณะของครีบ (การติดของครีบกับก้าน ขอบขอบครีบ ระยะห่างระหว่างครีบ และรูปแบบของครีบ) ลักษณะของก้าน (การติดของก้านกับหมวกเห็ด รูปร่างของก้าน ผิวของก้าน เนื้อในของก้าน และเยื่อหุ้มครีบ (partial veil))

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ข

ผลการวิเคราะห์แต่ละพารามิเตอร์ของดิน

ผลการส่งวิเคราะห์ลักษณะเนื้อดิน

อายุแปลงป่า	%S	%Si	%C
0-5 ปี	17.7	50.0	32.3
	14.5	57.0	28.5
	29.0	45.7	25.3
	25.0	37.0	37.2
	25.9	50.0	24.1
6-15 ปี	31.1	34.0	34.9
	29.0	29.7	41.3
	35.1	28.7	36.2
	33.8	31.9	34.3
	34.4	31.8	33.8
มากกว่า 15 ปี	42.9	24.9	32.2
	53.2	21.0	25.8
	74.1	11.2	14.7
	77.7	11.2	11.1
	73.9	11.0	15.1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ผลการส่งวิเคราะห์โลหะหนักในดิน

อายุแปลงป่า	Cu	Fe	Zn	Mn	Ni	Cd	Pb
0-5 ปี	20.1	23525	92.7	594	17.4	0.9	29.2
	16.8	20267	73.8	529	15.4	0.7	26.1
	14.5	19417	56.6	479	13.7	0.5	23.7
	17.2	22959	66.1	562	17.8	0.7	25.7
	14.4	19436	80.1	500	14.3	0.9	28.8

อายุแปลงป่า	Cu	Fe	Zn	Mn	Ni	Cd	Pb
6-15 ปี	20.4	31879	153	445	24.2	2	25.1
	22.3	33690	339	584	24.1	6.9	27.8
	18.4	30247	86.3	910	22.8	1	32.4
	20.1	28303	498	861	21.9	1.5	42.5
	17.8	26208	175	503	19.4	2.2	26.1
มากกว่า 15 ปี	15.6	32764	277	1953	19.4	6.3	30.1
	21	40491	1621	2495	18.7	14.5	371
	13.7	26569	1563	2221	9.1	8.7	444
	11.1	21669	1436	1966	8.1	20.7	415
	19.7	33904	2184	3358	12.3	9.9	759

ผลการส่งวิเคราะห์กำมะถันในดิน

อายุแปลงป่า	กำมะถัน (mg/kg)
0-5 ปี	10.1
	17.8
	9.0
	7.7
	6.2
6-15 ปี	12.9
	13.3
	12.9
	6.9
	15.6
มากกว่า 15 ปี	9.8
	9.9
	5.9
	5.3

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

อายุแปลงป่า	กำมะถัน (mg/kg)
	7.2

ผลการวิเคราะห์อินทรียวัตถุและคาร์บอนทั้งหมดในดิน

น้ำหนักดิน (แปลง 0-5 ปี)	Vol. FAS	% C	%OM	Blank
1.0498	12.8	1.46	2.52	21.1
1.0287	11.8	1.67	2.88	21.1
1.0303	12.5	1.54	2.66	21.1
1.0178	13.8	1.32	2.28	21.1
1.0218	14.1	1.26	2.18	21.1
1.0190	13.9	1.30	2.25	21.1
1.0213	11	1.83	3.15	21.1
1.0197	10.8	1.87	3.22	21.1
1.0232	11.2	1.79	3.08	21.1
1.0172	1	3.65	6.29	21.1
1.0202	0.5	3.73	6.43	21.1
1.0197	1	3.64	6.28	21.1
1.0041	11.5	1.77	3.04	21.1
1.0069	11.8	1.71	2.94	21.1
1.0078	12.1	1.65	2.84	21.1
1.0192	8.3	2.32	4.00	21.1
1.0202	9.1	2.17	3.74	21.1
1.0187	8.3	2.32	4.00	21.1
1.0137	15.2	1.07	1.85	21.1
1.0153	15.8	0.96	1.66	21.1
1.0097	14.9	1.13	1.95	21.1
1.0186	13.8	1.32	2.28	21.1
1.0176	13.4	1.40	2.41	21.1
1.0173	13.1	1.45	2.50	21.1
1.0064	11.9	1.69	2.91	21.1
1.0053	11.4	1.78	3.07	21.1
1.0059	11.4	1.78	3.07	21.1
1.0134	14.1	1.28	2.20	21.1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

น้ำหนักดิน (แปลง 0-5 ปี)	Vol. FAS	% C	%OM	Blank
1.0212	14.7	1.16	2.00	21.1
1.0198	14.3	1.23	2.12	21.1
1.0072	15.8	0.97	1.68	21.1
1.0112	16.1	0.91	1.57	21.1
1.0098	15.8	0.97	1.67	21.1
1.0178	14.1	1.27	2.19	21.1
1.0128	14.3	1.24	2.14	21.1
1.0201	15.1	1.09	1.87	21.1
1.0097	14.2	1.26	2.18	21.1
1.0102	14.2	1.26	2.17	21.1
1.0113	13.9	1.31	2.27	21.1
1.0026	13.1	1.47	2.54	21.1
1.0065	13.4	1.41	2.44	21.1
1.0129	14.3	1.24	2.14	21.1
1.012	15.6	1.00	1.73	21.1
1.0098	16.1	0.91	1.58	21.1
1.0101	16.1	0.91	1.58	21.1

น้ำหนักดิน (แปลง 6-15 ปี)	Vol. FAS	% C	%OM	Blank
1.0051	14.6	1.19	2.06	21.1
1.0089	14.9	1.13	1.96	21.1
1.0032	14.4	1.23	2.13	21.1
1.0039	11.1	1.84	3.17	21.1
1.0043	11.3	1.80	3.11	21.1
1.0025	11	1.86	3.21	21.1
1.0008	14.3	1.25	2.16	21.1
1.0016	14.9	1.14	1.97	21.1
1.001	14.7	1.18	2.04	21.1
1.0168	9.1	2.18	3.76	21.1
1.0145	8.9	2.22	3.83	21.1
1.0193	9.1	2.17	3.75	21.1
1.0283	13.6	1.35	2.32	21.1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

น้ำหนักดิน (แปลง 6-15 ปี)	Vol. FAS	% C	%OM	Blank
1.0193	13	1.47	2.53	21.1
1.0015	12	1.68	2.89	21.1
1.0266	16.6	0.81	1.40	21.1
1.0193	15.9	0.94	1.62	21.1
1.0238	16.3	0.87	1.49	21.1
1.0119	12.6	1.55	2.67	21.1
1.0098	12.5	1.57	2.71	21.1
1.0108	12.9	1.50	2.58	21.1
1.0014	15.1	1.11	1.91	21.1
1.0035	15.3	1.07	1.84	21.1
1.0134	15.6	1.00	1.73	21.1
1.0209	15.5	1.01	1.75	21.1
1.0198	15.3	1.05	1.81	21.1
1.0258	15.7	0.97	1.68	21.1
1.0155	15.7	0.98	1.69	21.1
1.0149	15.5	1.02	1.76	21.1
1.0098	15.1	1.10	1.89	21.1
1.011	13.7	1.35	2.33	21.1
1.0132	14.1	1.28	2.20	21.1
1.0078	13.2	1.45	2.50	21.1
1.0159	15.7	0.98	1.69	21.1
1.0118	15.2	1.08	1.86	21.1
1.0131	15.4	1.04	1.79	21.1
1.0148	12.9	1.49	2.57	21.1
1.0153	13.1	1.45	2.51	21.1
1.0098	12.2	1.63	2.81	21.1
1.0078	13.2	1.45	2.50	21.1
1.0112	13.4	1.41	2.42	21.1
1.0095	13.6	1.37	2.37	21.1
1.0063	13.1	1.47	2.53	21.1
1.0075	13.3	1.43	2.46	21.1
1.0035	12.8	1.53	2.63	21.1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

น้ำหนักดิน (แปลงมากกว่า 15 ปี)	Vol. FAS	% C	%OM	Blank
1.0198	13.9	1.30	2.25	21.1
1.0235	14.3	1.23	2.12	21.1
1.0137	13.5	1.38	2.39	21.1
1.0069	13.4	1.41	2.43	21.1
1.0112	14.3	1.24	2.14	21.1
1.0098	13.8	1.33	2.30	21.1
1.0026	12.9	1.51	2.60	21.1
1.0018	12.9	1.51	2.61	21.1
1.0034	13.2	1.45	2.51	21.1
1.0013	13.7	1.36	2.35	21.1
1.0021	13.7	1.36	2.35	21.1
1.0014	13.5	1.40	2.42	21.1
1.0324	10.2	1.95	3.36	21.1
1.0254	10	2.00	3.45	21.1
1.0253	10	2.00	3.45	21.1
1.0043	16.6	0.83	1.43	21.1
1.0052	16.7	0.81	1.39	21.1
1.0049	16.6	0.83	1.43	21.1
1.0094	17.1	0.73	1.26	21.1
1.0076	16.8	0.79	1.36	21.1
1.0083	17	0.75	1.29	21.1
1.0091	18.7	0.44	0.76	21.1
1.0113	18.9	0.40	0.69	21.1
1.0094	18.6	0.46	0.79	21.1
1.0102	18.7	0.44	0.76	21.1
1.0098	18.7	0.44	0.76	21.1
1.0119	18.9	0.40	0.69	21.1
1.0205	19.2	0.34	0.59	21.1
1.0198	19.1	0.36	0.62	21.1
1.0193	19.1	0.36	0.62	21.1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

น้ำหนักดิน (แปลงมากกว่า 15 ปี)	Vol. FAS	% C	%OM	Blank
1.0116	18.7	0.44	0.76	21.1
1.0093	18.5	0.48	0.82	21.1
1.0178	18.9	0.40	0.69	21.1
1.0131	18.7	0.44	0.75	21.1
1.0128	18.7	0.44	0.75	21.1
1.0112	18.4	0.49	0.85	21.1
1.0180	15.2	1.07	1.85	21.1
1.0114	14.9	1.13	1.95	21.1
1.0143	15	1.11	1.91	21.1
1.0176	9.4	2.12	3.66	21.1
1.0173	9.4	2.12	3.66	21.1
1.0154	9.2	2.16	3.73	21.1
1.0194	19.8	0.24	0.41	21.1
1.0101	19.3	0.33	0.57	21.1
1.0173	19.7	0.25	0.44	21.1

ผลการวิเคราะห์ไนโตรเจนทั้งหมดในดิน

น้ำหนักดิน แปลง 0-5 ปี	Vol. N HCL (ml)	N (g)	%N
2.2426	1.55	0.00193941	0.09
2.1196	1.55	0.00209727	0.10
2.1819	1.45	0.00196196	0.09
2.1453	1.55	0.00209727	0.10
2.0801	1.35	0.00182665	0.09
2.0325	1.30	0.00175900	0.09
2.0624	1.70	0.00230023	0.11
2.1124	1.60	0.00216492	0.10
2.1363	1.50	0.00202961	0.10
2.1127	4.10	0.00554761	0.26
2.1159	4.60	0.00622415	0.29
2.0526	4.35	0.00588588	0.29
2.0242	2.10	0.00284146	0.14

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

น้ำหนักดิน แปลง 0-5 ปี	Vol. N HCL (ml)	N (g)	%N
2.0362	2.15	0.00290911	0.14
2.0537	2.20	0.00297677	0.14
2.0231	2.35	0.00317973	0.16
2.0949	2.30	0.00311208	0.15
2.0301	2.25	0.00304442	0.15
2.0265	1.70	0.00230023	0.11
2.0212	1.75	0.00236788	0.12
2.0657	1.75	0.00236788	0.11
2.0479	1.65	0.00223258	0.11
2.0733	1.80	0.00243554	0.12
2.0294	1.65	0.00223258	0.11
2.0033	1.90	0.00257084	0.13
2.0638	1.85	0.00250319	0.12
2.0121	2.05	0.00277381	0.14
2.0409	1.35	0.00182665	0.09
2.0273	1.65	0.00223258	0.11
2.0353	1.35	0.00182665	0.09
2.0258	1.40	0.00189431	0.09
2.0275	1.40	0.00189431	0.09
2.0112	1.15	0.00155604	0.08
2.0172	1.30	0.00175900	0.09
2.0169	1.05	0.00142073	0.07
2.0054	1.40	0.00189431	0.09
2.0304	1.50	0.00202961	0.10
2.0577	1.50	0.00202961	0.10
2.0328	1.55	0.00209727	0.10
2.0113	1.90	0.00257084	0.13
2.0236	1.75	0.00236788	0.12
2.0254	1.85	0.00250319	0.12
2.0433	1.70	0.00230023	0.11
2.0030	1.50	0.00202961	0.10
2.0215	1.50	0.00202961	0.10

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

น้ำหนักดิน แปลง 6-15 ปี	Vol. N HCL (ml)	N (g)	%N
2.0097	1.20	0.00146583	0.07
2.0384	1.15	0.00155604	0.08
2.0471	1.30	0.00175900	0.09
2.0342	1.85	0.00250319	0.12
2.0214	1.75	0.00236788	0.12
2.0219	1.90	0.00257084	0.13
2.0025	1.30	0.00175900	0.09
2.0090	1.50	0.00202961	0.10
2.0128	1.50	0.00202961	0.10
2.0133	2.45	0.00331504	0.16
2.0017	2.05	0.00277381	0.14
2.0107	2.25	0.00304442	0.15
2.0017	1.05	0.00142073	0.07
2.0258	1.60	0.00216492	0.11
2.0035	1.70	0.00230023	0.11
2.0004	1.35	0.00182665	0.09
2.0026	1.30	0.00175900	0.09
2.0186	1.15	0.00155604	0.08
2.0223	1.40	0.00189431	0.09
2.0047	1.25	0.00169135	0.08
2.0188	1.15	0.00155604	0.08
2.0090	1.10	0.00148838	0.07
2.0239	1.15	0.00155604	0.08
2.0025	1.10	0.00148838	0.07
2.0325	1.25	0.00169135	0.08
2.0080	1.25	0.00169135	0.08
2.0326	1.45	0.00196196	0.10
2.0190	1.40	0.00189431	0.09
2.0043	1.25	0.00169135	0.08
2.0518	1.55	0.00209727	0.10
2.017	1.30	0.00175900	0.09

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

น้ำหนักดิน แปลง 6-15 ปี	Vol. N HCL (ml)	N (g)	%N
2.0224	1.80	0.00243554	0.12
2.0306	1.60	0.00216492	0.11
2.0035	1.40	0.00189431	0.09
2.0196	1.40	0.00189431	0.09
2.0158	1.35	0.00182665	0.09
2.0081	2.10	0.00284146	0.14
2.0303	2.00	0.00270615	0.13
2.0297	1.95	0.00263850	0.13
2.0074	1.95	0.00263850	0.13
2.0318	1.65	0.00223258	0.11
2.0199	1.80	0.00243554	0.12
2.0099	1.80	0.00243554	0.12
2.0131	2.00	0.00270615	0.13
2.0470	2.05	0.00277381	0.14

น้ำหนักดิน แปลงมากกว่า 15 ปี	Vol. N HCL (ml)	N (g)	%N
2.0365	1.80	0.00227768	0.11
2.0304	1.95	0.00263850	0.13
2.0178	1.90	0.00257084	0.13
2.0164	2.10	0.00284146	0.14
2.0200	2.15	0.00290911	0.14
2.0028	2.05	0.00277381	0.14
2.0032	1.90	0.00257084	0.13
2.0053	2.10	0.00284146	0.14
2.0169	2.20	0.00297677	0.15
2.0144	2.10	0.00284146	0.14
2.0087	2.05	0.00277381	0.14
2.0095	2.05	0.00277381	0.14
2.0169	2.75	0.00372096	0.18
2.0282	3.40	0.00460046	0.23
2.0183	3.10	0.00419454	0.21

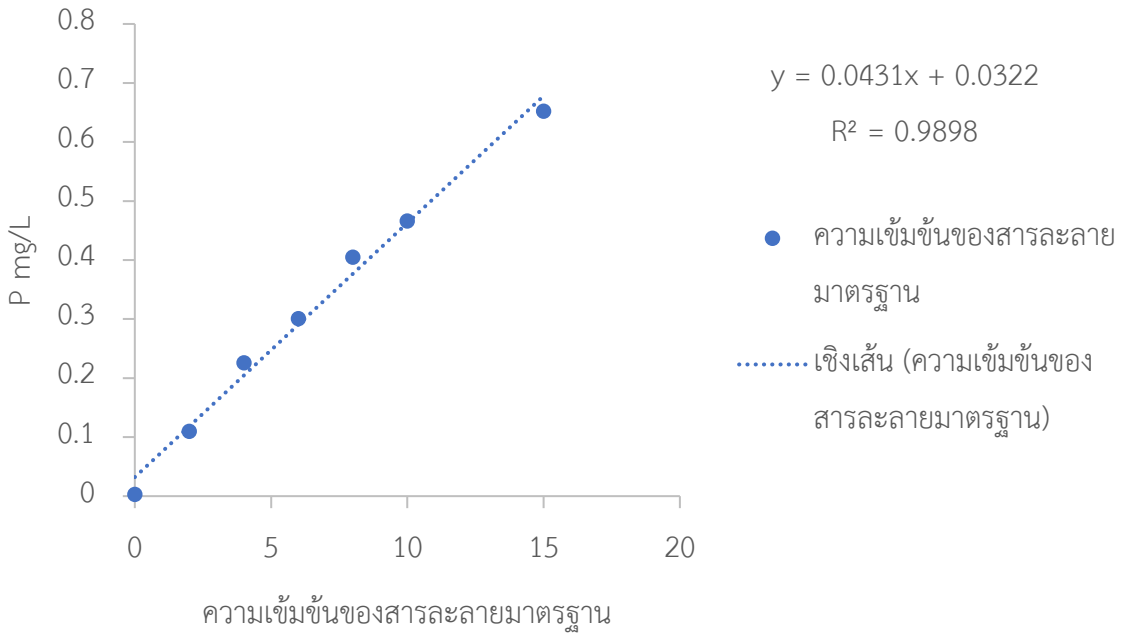
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

น้ำหนักดิน แปลงมากกว่า 15 ปี	Vol. N HCL (ml)	N (g)	%N
2.0136	1.35	0.00182665	0.09
2.0064	1.35	0.00182665	0.09
2.0009	1.30	0.00175900	0.09
2.0142	1.30	0.00175900	0.09
2.0155	1.60	0.00216492	0.11
2.0018	1.05	0.00142073	0.07
2.0044	1.00	0.00135308	0.07
2.0018	1.05	0.00142073	0.07
2.0012	1.30	0.00175900	0.09
2.0250	1.25	0.00169135	0.08
2.0124	1.15	0.00155604	0.08
2.0279	1.35	0.00182665	0.09
2.0145	0.85	0.00115011	0.06
2.0368	0.80	0.00108246	0.05
2.0189	0.75	0.00101481	0.05
2.0328	1.10	0.00148838	0.07
2.0100	0.80	0.00108246	0.05
2.0039	0.85	0.00115011	0.06
2.0067	0.90	0.00121777	0.06
2.0034	0.90	0.00121777	0.06
2.0088	0.70	0.00094715	0.05
2.0066	1.90	0.00257084	0.13
2.0162	2.05	0.00277381	0.14
2.0009	1.85	0.00250319	0.13
2.0113	2.05	0.00277381	0.14
2.0025	2.15	0.00290911	0.15
2.0087	1.80	0.00243554	0.12
2.0036	0.75	0.00101481	0.05
2.0046	0.95	0.00128542	0.06
2.0143	0.85	0.00115011	0.06

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ผลการวิเคราะห์ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน

standard	ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน
0	0.003
2	0.110
4	0.226
6	0.301
8	0.405
10	0.466
15	0.652



น้ำหนักดิน แปลง 0-5 ปี	ค่า Y (ที่วัดได้)	x	B (ปริมาตรน้ำยาสกัด ml)	ปริมาณฟอสฟอรัสประโยชน์ mg/kg	ค่าในสมการ	
1.0075	0.271	5.541	10	54.99	0.0431	0.0322
1.0093	0.272	5.564	10	55.13	0.0431	0.0322
1.0084	0.271	5.541	10	54.94	0.0431	0.0322
1.0092	0.236	4.729	10	46.85	0.0431	0.0322
1.0004	0.248	5.007	10	50.05	0.0431	0.0322
1.0045	0.250	5.053	10	50.31	0.0431	0.0322
1.0050	0.274	5.610	10	55.82	0.0431	0.0322
1.0075	0.276	5.657	10	56.15	0.0431	0.0322
1.0063	0.274	5.610	10	55.75	0.0431	0.0322
1.0090	0.568	12.432	10	123.21	0.0431	0.0322
1.0084	0.568	12.432	10	123.28	0.0431	0.0322
1.0103	0.569	12.455	10	123.28	0.0431	0.0322
1.0121	0.379	8.046	10	79.50	0.0431	0.0322
1.0070	0.381	8.093	10	80.37	0.0431	0.0322
1.0078	0.380	8.070	10	80.07	0.0431	0.0322
1.0065	0.395	8.418	10	83.63	0.0431	0.0322
1.0089	0.398	8.487	10	84.12	0.0431	0.0322
1.0073	0.396	8.441	10	83.80	0.0431	0.0322
1.0080	0.364	7.698	10	76.37	0.0431	0.0322
1.0085	0.364	7.698	10	76.33	0.0431	0.0322
1.0094	0.365	7.722	10	76.50	0.0431	0.0322
1.0039	0.292	6.028	10	60.04	0.0431	0.0322
1.0048	0.335	7.026	10	69.92	0.0431	0.0322
1.0037	0.332	6.956	10	69.30	0.0431	0.0322
1.0018	0.405	8.650	10	86.34	0.0431	0.0322
1.0023	0.404	8.626	10	86.07	0.0431	0.0322
1.0052	0.405	8.650	10	86.05	0.0431	0.0322
1.0080	0.172	3.244	10	32.18	0.0431	0.0322
1.0089	0.172	3.244	10	32.15	0.0431	0.0322
1.0078	0.170	3.197	10	31.72	0.0431	0.0322
1.0025	0.142	2.548	10	25.41	0.0431	0.0322

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

น้ำหนักดิน แปลง 0-5 ปี	ค่า Y (ที่วัดได้)	x	B (ปริมาตรน้ำยาสกัด ml)	ปริมาณฟอสฟอรัสประโยชน์ mg/kg	ค่าในสมการ	
1.0045	0.143	2.571	10	25.59	0.0431	0.0322
1.0032	0.142	2.548	10	25.39	0.0431	0.0322
1.0060	0.123	2.107	10	20.94	0.0431	0.0322
1.0017	0.098	1.527	10	15.24	0.0431	0.0322
1.0054	0.119	2.014	10	20.03	0.0431	0.0322
1.0029	0.357	7.536	10	75.14	0.0431	0.0322
1.0034	0.358	7.559	10	75.34	0.0431	0.0322
1.0057	0.361	7.629	10	75.86	0.0431	0.0322
1.0065	0.390	8.302	10	82.48	0.0431	0.0322
1.0074	0.393	8.371	10	83.10	0.0431	0.0322
1.0084	0.397	8.464	10	83.94	0.0431	0.0322
1.0069	0.303	6.283	10	62.40	0.0431	0.0322
1.0069	0.301	6.237	10	61.94	0.0431	0.0322
1.0079	0.306	6.353	10	63.03	0.0431	0.0322

น้ำหนักดิน แปลง 6-15 ปี	ค่า Y (ที่วัดได้)	ค่า X	B (ปริมาตรน้ำยาสกัด ml)	ปริมาณฟอสฟอรัสที่ประโยชน์ mg/kg	ค่าในสมการ	
1.0026	0.104	3.160	10	31.52	0.0431	0.0322
1.0056	0.110	3.299	10	32.81	0.0431	0.0322
1.0048	0.109	3.276	10	32.60	0.0431	0.0322
1.0037	0.088	2.789	10	27.79	0.0431	0.0322
1.0045	0.090	2.835	10	28.23	0.0431	0.0322
1.0043	0.089	2.812	10	28.00	0.0431	0.0322
1.0036	0.060	2.139	10	21.32	0.0431	0.0322
1.0039	0.061	2.162	10	21.54	0.0431	0.0322
1.0043	0.064	2.232	10	22.22	0.0431	0.0322
1.0086	0.108	3.253	10	32.25	0.0431	0.0322
1.0079	0.107	3.230	10	32.04	0.0431	0.0322
1.0083	0.108	3.253	10	32.26	0.0431	0.0322
1.0074	0.041	1.698	10	16.86	0.0431	0.0322

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

น้ำหนักดิน แปลง 6-15 ปี	ค่า Y (ที่วัดได้)	ค่า X	B (ปริมาตรน้ำยาสกัด ml)	ปริมาณฟอสฟอรัสที่ประโยชน์ mg/kg	ค่าในสมการ	
1.0087	0.047	1.838	10	18.22	0.0431	0.0322
1.0083	0.044	1.768	10	17.53	0.0431	0.0322
1.0009	0.038	1.629	10	16.27	0.0431	0.0322
1.0030	0.057	2.070	10	20.63	0.0431	0.0322
1.0039	0.058	2.093	10	20.85	0.0431	0.0322
1.0051	0.055	2.023	10	20.13	0.0431	0.0322
1.0062	0.060	2.139	10	21.26	0.0431	0.0322
1.0068	0.069	2.348	10	23.32	0.0431	0.0322
1.0095	0.048	1.861	10	18.43	0.0431	0.0322
1.0084	0.043	1.745	10	17.30	0.0431	0.0322
1.0087	0.045	1.791	10	17.76	0.0431	0.0322
1.0070	0.038	1.629	10	16.17	0.0431	0.0322
1.0098	0.043	1.745	10	17.28	0.0431	0.0322
1.0069	0.038	1.629	10	16.18	0.0431	0.0322
1.0079	0.035	1.559	10	15.47	0.0431	0.0322
1.0084	0.037	1.606	10	15.92	0.0431	0.0322
1.0083	0.036	1.582	10	15.69	0.0431	0.0322
1.0065	0.036	1.582	10	15.72	0.0431	0.0322
1.0078	0.040	1.675	10	16.62	0.0431	0.0322
1.0094	0.051	1.930	10	19.12	0.0431	0.0322
1.0085	0.040	1.675	10	16.61	0.0431	0.0322
1.0101	0.056	2.046	10	20.26	0.0431	0.0322
1.0980	0.054	2.000	10	18.21	0.0431	0.0322
1.0097	0.112	3.346	10	33.14	0.0431	0.0322
1.0084	0.109	3.276	10	32.49	0.0431	0.0322
1.0093	0.110	3.299	10	32.69	0.0431	0.0322
1.0036	0.067	2.302	10	22.93	0.0431	0.0322
1.0076	0.083	2.673	10	26.53	0.0431	0.0322
1.0053	0.075	2.487	10	24.74	0.0431	0.0322
1.0031	0.058	2.093	10	20.86	0.0431	0.0322
1.0054	0.065	2.255	10	22.43	0.0431	0.0322

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

น้ำหนักดิน แปลง 6-15 ปี	ค่า Y (ที่วัดได้)	ค่า X	B (ปริมาตรน้ำยาสกัด ml)	ปริมาณฟอสฟอรัสที่ประโยชน์ mg/kg	ค่าในสมการ	
1.0043	0.062	2.186	10	21.76	0.0431	0.0322

น้ำหนักดิน แปลงมากกว่า 15 ปี	ค่า Y (ที่วัดได้)	ค่า X	B (ปริมาตรน้ำยาสกัด ml)	ปริมาณฟอสฟอรัสประโยชน์ mg/kg	ค่าในสมการ	
1.0037	0.092	2.882	10	28.71	0.0431	0.0322
1.0058	0.092	2.882	10	28.65	0.0431	0.0322
1.0039	0.092	2.882	10	28.70	0.0431	0.0322
1.0100	0.118	3.485	10	34.50	0.0431	0.0322
1.0078	0.118	3.485	10	34.58	0.0431	0.0322
1.0093	0.118	3.485	10	34.53	0.0431	0.0322
1.0082	0.082	2.650	10	26.28	0.0431	0.0322
1.0087	0.085	2.719	10	26.96	0.0431	0.0322
1.0079	0.082	2.650	10	26.29	0.0431	0.0322
1.0068	0.072	2.418	10	24.01	0.0431	0.0322
1.0057	0.070	2.371	10	23.58	0.0431	0.0322
1.0063	0.070	2.371	10	23.56	0.0431	0.0322
1.0017	0.146	4.135	10	41.28	0.0431	0.0322
1.0043	0.167	4.622	10	46.02	0.0431	0.0322
1.0038	0.154	4.320	10	43.04	0.0431	0.0322
1.0053	0.048	1.861	10	18.51	0.0431	0.0322
1.0065	0.057	2.070	10	20.56	0.0431	0.0322
1.0048	0.051	1.930	10	19.21	0.0431	0.0322
1.0089	0.075	2.487	10	24.65	0.0431	0.0322
1.0074	0.070	2.371	10	23.54	0.0431	0.0322
1.0083	0.073	2.441	10	24.21	0.0431	0.0322
1.0101	0.183	4.993	10	49.43	0.0431	0.0322
1.0087	0.175	4.807	10	47.66	0.0431	0.0322
1.0079	0.169	4.668	10	46.32	0.0431	0.0322
1.0089	0.075	2.487	10	24.65	0.0431	0.0322
1.0098	0.081	2.626	10	26.01	0.0431	0.0322

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

น้ำหนักดิน แปลงมากกว่า 15 ปี	ค่า Y (ที่วัดได้)	ค่า X	B (ปริมาตรน้ำยาสกัด ml)	ปริมาณฟอสฟอรัสประโยชน์ mg/kg	ค่าในสมการ	
1.0093	0.079	2.580	10	25.56	0.0431	0.0322
1.0063	0.039	1.652	10	16.42	0.0431	0.0322
1.0076	0.043	1.745	10	17.32	0.0431	0.0322
1.0073	0.041	1.698	10	16.86	0.0431	0.0322
1.0043	0.036	1.582	10	15.76	0.0431	0.0322
1.0093	0.053	1.977	10	19.59	0.0431	0.0322
1.0047	0.038	1.629	10	16.21	0.0431	0.0322
1.0072	0.083	2.673	10	26.54	0.0431	0.0322
1.0075	0.083	2.673	10	26.53	0.0431	0.0322
1.0082	0.086	2.742	10	27.20	0.0431	0.0322
1.0104	0.109	3.276	10	32.42	0.0431	0.0322
1.0097	0.107	3.230	10	31.99	0.0431	0.0322
1.0093	0.104	3.160	10	31.31	0.0431	0.0322
1.0014	0.239	6.292	10	62.84	0.0431	0.0322
1.0002	0.227	6.014	10	60.13	0.0431	0.0322
1.0037	0.274	7.104	10	70.78	0.0431	0.0322
1.0079	0.030	1.443	10	14.32	0.0431	0.0322
1.0049	0.019	1.188	10	11.82	0.0431	0.0322
1.0068	0.029	1.420	10	14.10	0.0431	0.0322

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ผลการวิเคราะห์จุลินทรีย์ดิน

ปริมาณแบคทีเรีย แปลงฟื้นฟูป่าอายุ 0-5 ปี ที่ความเข้มข้น 10^{-4}				
ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3	ค่าเฉลี่ย	ผล CFU/g
36	43	39	39	39,333
115	123	119	119	119,000
27	34	29	30	30,000
138	150	143	144	143,667
42	57	48	49	49,000
43	47	43	44	44,333

ปริมาณแบคทีเรีย แปลงฟื้นฟูป่าอายุ 0-5 ปี ที่ความเข้มข้น 10^{-4}				
ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3	ค่าเฉลี่ย	ผล CFU/g
105	110	107	107	107,333
58	64	60	61	60,667
280	295	285	287	286,667
96	103	93	97	97,333
47	51	49	49	49,000
45	48	45	46	46,000
49	57	53	53	53,000
47	59	46	51	50,667
29	35	32	32	32,000

ปริมาณรา แปลงฟื้นฟูป่าอายุ 0-5 ปี ที่ความเข้มข้น 10^{-2}				
ซ้ำ 1	**ซ้ำ 2**	**ซ้ำ 3**	**ค่าเฉลี่ย**	**ผล CFU/g**
2	5	2	3	30
3	3	1	2	23
7	10	9	9	87
107	110	114	110	1103
4	7	5	5	53
13	21	11	15	150
6	9	5	7	67
118	131	126	125	1250
33	40	41	38	380
88	93	97	93	927
88	84	89	87	870
134	141	139	138	1380
16	20	23	20	197
1	2	1	1	13
110	119	121	117	1167

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ปริมาณแอคติโนมัยซีท แปลงฟื้นฟูป่าอายุ 0-5 ปี ที่ความเข้มข้น 10^{-2}				
ซ้ำ 1	**ซ้ำ 2**	**ซ้ำ 3**	**ค่าเฉลี่ย**	**ผล CFU/g**
149	154	151	151	1513
145	149	142	145	1453
169	175	171	172	1717
257	263	247	256	2557
197	201	210	203	2027
125	132	133	130	1300
152	163	158	158	1577
234	242	236	237	2373
308	312	329	316	3163
516	553	521	530	5300
324	339	342	335	3350
257	248	250	252	2517
260	269	265	265	2647
70	74	73	72	723
548	552	547	549	5490

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปริมาณแบคทีเรีย แปลงฟื้นฟูป่าอายุ 6-15 ปี ที่ความเข้มข้น 10^{-5}				
ซ้ำ 1	**ซ้ำ 2**	**ซ้ำ 3**	**ค่าเฉลี่ย**	**ผล CFU/g**
12	15	13	13	133333
103	110	107	107	1066667
623	650	635	636	6360000
658	649	668	658	6583333
10	14	12	12	120000
24	27	25	25	253333
1272	980	1002	1085	10846667
101	108	105	105	1046667

ปริมาณแบคทีเรีย แปลงฟื้นฟูป่าอายุ 6-15 ปี ที่ความเข้มข้น 10^{-5}				
ซ้ำ 1	**ซ้ำ 2**	**ซ้ำ 3**	**ค่าเฉลี่ย**	**ผล CFU/g**
35	32	35	34	340000
60	71	68	66	663333
45	50	47	47	473333
37	40	43	40	400000
788	689	701	726	7260000
92	87	95	91	913333
100	110	108	106	1060000

ปริมาณรา แปลงฟื้นฟูป่าอายุ 6-15 ปี ที่ความเข้มข้น 10^{-3}				
ซ้ำ 1	**ซ้ำ 2**	**ซ้ำ 3**	**ค่าเฉลี่ย**	**ผล CFU/g**
21	24	21	22	2200
46	50	52	49	4933
36	40	38	38	3800
3	3	5	4	367
11	13	11	12	1167
4	7	5	5	533
7	8	8	8	767
12	10	15	12	1233
0	1	0	0	33
14	17	12	14	1433
286	301	292	293	29300
2	2	1	2	167
22	25	23	23	2333
2	5	3	3	333
9	12	10	10	1033

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ปริมาณแอคติโนมัยซีท แปลงฟื้นฟูป่าอายุ 6-15 ปี ที่ความเข้มข้น 10^{-3}				
ซ้ำ 1	**ซ้ำ 2**	**ซ้ำ 3**	**ค่าเฉลี่ย**	**ผล CFU/g**
94	111	103	103	10267
223	243	232	233	23267
245	257	237	246	24633
128	140	135	134	13433
61	70	73	68	6800
30	36	32	33	3267
86	90	93	90	8967
104	110	109	108	10767
49	53	58	53	5333
48	56	53	52	5233
442	450	445	446	44567
44	52	58	51	5133
128	132	133	131	13100
29	35	32	32	3200
56	63	59	59	5933

ปริมาณแบคทีเรีย แปลงฟื้นฟูป่าอายุมากกว่า 15 ปี ที่ความเข้มข้น 10^{-6}				
ซ้ำ 1	**ซ้ำ 2**	**ซ้ำ 3**	**ค่าเฉลี่ย**	**ผล CFU/g**
29	33	32	31	3133333
51	54	52	52	5233333
37	41	37	38	3833333
76	82	78	79	7866667
340	343	338	340	34033333
75	80	83	79	7933333
28	67	53	49	4933333
21	29	25	25	2500000
43	50	47	47	4666667

CHULALONGKORN UNIVERSITY

ปริมาณแบคทีเรีย แปลงฟื้นฟูป่าอายุมากกว่า 15 ปี ที่ความเข้มข้น 10^{-6}				
ซ้ำ 1	**ซ้ำ 2**	**ซ้ำ 3**	**ค่าเฉลี่ย**	**ผล CFU/g**
49	55	53	52	5233333
31	39	37	36	3566667
22	25	23	23	2333333
15	17	13	15	1500000
84	90	91	88	8833333
211	119	194	175	17466667

ปริมาณรา แปลงฟื้นฟูป่าอายุมากกว่า 15 ปี ที่ความเข้มข้น 10^{-4}				
ซ้ำ 1	**ซ้ำ 2**	**ซ้ำ 3**	**ค่าเฉลี่ย**	**ผล CFU/g**
11	13	11	12	11667
2	4	4	3	3333
1	4	2	2	2333
1	2	2	2	1667
2	7	5	5	4667
1	8	7	5	5333
3	7	5	5	5000
0	3	2	2	1667
4	10	13	9	9000
0	11	10	7	7000
2	3	2	2	2333
1	2	1	1	1333
2	11	10	8	7667
4	7	5	5	5333
2	3	2	2	2333

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ปริมาณแอคติโนมัยซีท แปลงฟื้นฟูป่าอายุมากกว่า 15 ปี ที่ความเข้มข้น 10^{-4}				
ซ้ำ 1	**ซ้ำ 2**	**ซ้ำ 3**	**ค่าเฉลี่ย**	**ผล CFU/g**
12	14	14	13	13333
21	21	23	22	21667
20	25	23	23	22667
63	67	65	65	65000
25	33	29	29	29000
19	23	21	21	21000
39	45	41	42	41667
22	38	39	33	33000
47	53	51	50	50333
15	18	14	16	15667
14	19	13	15	15333
44	53	49	49	48667
18	21	19	19	19333
15	17	14	15	15333
7	11	10	9	9333

ผลการวิเคราะห์ความชื้นในดิน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

แปลงฟื้นฟูป่าอายุ 0-5 ปี					
น้ำหนักกระป๋องอบแล้ว	**น้ำหนักกระป๋อง+ดินก่อนอบ**	**น้ำหนักกระป๋อง+ดินหลังอบ ครั้งที่ 1**	**น้ำหนักกระป๋อง+ดินหลังอบ ครั้งที่ 2**	**น้ำหนักกระป๋อง+ดินหลังอบ ครั้งที่ 3**	**ความชื้นในดิน**
21.45	197.36	164.99	164.61	164.57	22.91
23.16	185.96	157.47	156.94	156.07	22.49
23.18	201.30	168.05	167.54	167.54	23.39
23.28	174.79	142.00	141.57	141.57	28.08
21.50	189.70	168.00	167.42	167.42	15.27
23.06	177.72	157.22	156.71	156.70	15.73

แปลงฟื้นฟูป่าอายุ 0-5 ปี					
น้ำหนักกระป๋องอบแล้ว	น้ำหนักกระป๋อง+ดินก่อนอบ	น้ำหนักกระป๋อง+ดินหลังอบ ครั้งที่ 1	น้ำหนักกระป๋อง+ดินหลังอบ ครั้งที่ 2	น้ำหนักกระป๋อง+ดินหลังอบ ครั้งที่ 3	ความชื้นในดิน
23.02	221.12	188.69	187.76	187.74	20.26
23.15	217.98	184.51	184.11	184.11	21.04
23.27	211.81	181.69	181.31	181.28	19.32
21.55	200.86	171.99	171.29	171.29	19.75
23.20	193.49	169.68	169.19	169.05	16.76
22.25	195.22	168.77	168.08	168.07	18.62
21.55	192.01	162.87	162.58	162.48	20.95
21.42	218.07	178.03	177.71	177.65	25.87
21.54	212.15	182.65	180.96	180.88	19.62

แปลงฟื้นฟูป่าอายุ 6-15 ปี					
น้ำหนักกระป๋องอบแล้ว	น้ำหนักกระป๋อง+ดินก่อนอบ	น้ำหนักกระป๋อง+ดินหลังอบ ครั้งที่ 1	น้ำหนักกระป๋อง+ดินหลังอบ ครั้งที่ 2	น้ำหนักกระป๋อง+ดินหลังอบ ครั้งที่ 3	ความชื้นในดิน
23.18	234.62	195.20	194.14	194.12	23.69
21.47	253.21	199.47	198.53	198.38	30.99
23.21	212.09	184.38	183.88	183.79	17.62
23.28	218.22	182.36	181.67	181.62	23.11
23.21	200.28	170.20	169.45	169.45	21.08
21.46	223.42	191.40	190.86	190.86	19.22
21.36	199.32	173.30	172.70	172.63	17.64
22.98	206.76	181.04	180.37	180.53	16.65
21.51	209.66	187.51	186.99	186.90	13.76
23.19	241.99	203.87	203.15	203.12	21.60

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

แปลงฟื้นฟูป่าอายุ 6-15 ปี					
น้ำหนักกระป๋องอบแล้ว	น้ำหนักกระป๋อง+ดินก่อนอบ	น้ำหนักกระป๋อง+ดินหลังอบ ครั้งที่ 1	น้ำหนักกระป๋อง+ดินหลังอบ ครั้งที่ 2	น้ำหนักกระป๋อง+ดินหลังอบ ครั้งที่ 3	ความชื้นในดิน
23.13	217.62	187.08	186.55	186.53	19.03
21.70	206.17	175.73	174.99	174.05	21.08
21.61	225.30	192.24	191.68	191.57	19.85
21.76	205.60	177.30	176.71	176.71	18.64
23.08	233.92	199.55	199.03	198.99	19.86

แปลงฟื้นฟูป่าอายุมากกว่า 15 ปี					
น้ำหนักกระป๋องอบแล้ว	น้ำหนักกระป๋อง+ดินก่อนอบ	น้ำหนักกระป๋อง+ดินหลังอบ ครั้งที่ 1	น้ำหนักกระป๋อง+ดินหลังอบ ครั้งที่ 2	น้ำหนักกระป๋อง+ดินหลังอบ ครั้งที่ 3	ความชื้นในดิน
23.21	218.07	190.52	190.06	190.05	16.79
23.15	221.40	196.76	196.12	196.12	14.62
22.97	217.26	189.97	189.37	189.36	16.77
23.41	219.58	191.54	191.11	190.96	17.08
23.22	194.82	169.30	168.75	168.67	17.98
23.29	233.10	208.41	208.17	208.11	13.52
21.52	194.62	181.64	181.49	181.49	8.21
23.20	216.75	194.41	194.19	194.05	13.29
23.23	215.17	200.50	200.31	200.31	8.39
21.55	243.35	215.83	215.67	215.67	14.26
21.51	254.45	223.28	223.06	223.06	15.57
22.98	210.64	194.74	194.65	194.65	9.31
22.77	212.45	192.75	192.50	192.32	11.87
23.23	180.66	166.85	166.69	166.66	9.76
23.35	212.73	197.36	197.21	197.15	8.96

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ผลการวิเคราะห์ความหนาแน่น pH และอุณหภูมิในดิน

น้ำหนักกระป๋องอบแล้ว	น้ำหนักกระป๋อง+ดินหลังอบ	ปริมาตรทรงกระบอก	ความหนาแน่น (g/m2)	pH	อุณหภูมิ
21.45	164.57	603.51	0.27	6.9	25
23.16	156.07	603.51	0.26	6.9	25
23.18	167.54	603.51	0.28	6.8	25
23.28	141.57	603.51	0.23	6.9	25
21.50	167.42	603.51	0.28	7.0	27
23.06	156.70	603.51	0.26	6.9	27
23.02	187.74	603.51	0.31	6.8	26
23.15	184.11	603.51	0.31	6.8	25
23.27	181.28	603.51	0.30	6.7	26
21.55	171.29	603.51	0.28	6.9	26
23.20	169.05	603.51	0.28	7.0	27
22.25	168.07	603.51	0.28	7.2	26
21.55	162.48	603.51	0.27	6.8	25.5
21.42	177.65	603.51	0.29	6.8	25.5
21.54	180.88	603.51	0.30	6.8	26

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

แปลงฟื้นฟูป่าอายุ 6-15 ปี					
น้ำหนักกระป๋องอบแล้ว	น้ำหนักกระป๋อง+ดินหลังอบ	ปริมาตรทรงกระบอก	ความหนาแน่น (g/m2)	pH	อุณหภูมิ
23.18	194.12	603.51	0.32	7.6	25
21.47	198.38	603.51	0.33	7.7	25
23.21	183.79	603.51	0.30	7.7	25
23.28	181.62	603.51	0.30	7.6	25
23.21	169.45	603.51	0.28	7.5	26
21.46	190.86	603.51	0.32	7.6	25
21.36	172.63	603.51	0.29	7.7	26

แปลงฟื้นฟูป่าอายุ 6-15 ปี					
น้ำหนักกระป๋องอบแล้ว	น้ำหนักกระป๋อง+ดินหลังอบ	ปริมาตรทรงกระบอก	ความหนาแน่น (g/m2)	pH	อุณหภูมิ
22.98	180.53	603.51	0.30	7.5	25
21.51	186.90	603.51	0.31	7.7	25
23.19	203.12	603.51	0.34	7.2	26
23.13	186.53	603.51	0.31	7.2	26
21.70	174.05	603.51	0.29	7.3	26
21.61	191.57	603.51	0.32	7.3	25
21.76	176.71	603.51	0.29	7.4	25
23.08	198.99	603.51	0.33	7.3	26

แปลงฟื้นฟูป่าอายุมากกว่า 15 ปี					
น้ำหนักกระป๋องอบแล้ว	น้ำหนักกระป๋อง+ดินหลังอบ	ปริมาตรทรงกระบอก	ความหนาแน่น (g/m2)	pH	อุณหภูมิ
23.21	190.05	603.51	0.31	7.4	24
23.15	196.12	603.51	0.32	7.2	25
22.97	189.36	603.51	0.31	7.4	24
23.41	190.96	603.51	0.32	7.4	25
23.22	168.67	603.51	0.28	7.4	24
23.29	208.11	603.51	0.34	7.3	25
21.52	181.49	603.51	0.30	7.2	24
23.20	194.05	603.51	0.32	7.1	25
23.23	200.31	603.51	0.33	7.2	25
21.55	215.67	603.51	0.36	7.3	24
21.51	223.06	603.51	0.37	7.3	24

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

แปลงฟื้นฟูป่าอายุมากกว่า 15 ปี					
น้ำหนักกระป๋องอบแล้ว	**น้ำหนักกระป๋อง+ดินหลังอบ**	**ปริมาตรทรงกระบอก**	**ความหนาแน่น (g/m2)**	**pH**	**อุณหภูมิ**
22.98	194.65	603.51	0.32	7.3	24
22.77	192.32	603.51	0.32	6.9	24
23.23	166.66	603.51	0.28	6.9	25
23.35	197.15	603.51	0.33	7.1	24

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บรรณานุกรม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	ชุติมา กันตรง
วัน เดือน ปี เกิด	26 มกราคม 2533
สถานที่เกิด	จังหวัดปราจีนบุรี
วุฒิการศึกษา	ปริญญาตรีวิทยาศาตรบัณฑิต คณะเทคโนโลยีทางทะเล มหาวิทยาลัยบูรพา
ที่อยู่ปัจจุบัน	10/2 หมู่ 2 ต.รอบเมือง อ.เมือง จ.ปราจีนบุรี 25000

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University