สมบัติของดินบางประการและการสะสมคาร์บอนในดินของพื้นที่ ป่าธรรมชาติ ป่าฟื้นฟูและพื้นที่เกษตร ในจังหวัดน่าน

ราเชนทร์ โอฐงาม

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาปฐพีศาสตร์
มหาวิทยาลัยแม่โจ้
พ.ศ. 2567

สมบัติของดินบางประการและการสะสมคาร์บอนในดินของพื้นที่ ป่าธรรมชาติ ป่าฟื้นฟูและพื้นที่เกษตร ในจังหวัดน่าน

ราเชนทร์ โอฐงาม

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาปฐพีศาสตร์
สำนักบริหารและพัฒนาวิชาการ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
พ.ศ. 2567

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้

สมบัติของดินบางประการและการสะสมคาร์บอนในดินของพื้นที่ ป่าธรรมชาติ ป่าฟื้นฟูและพื้นที่เกษตร ในจังหวัดน่าน

ราเชนทร์ โอฐงาม

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาปฐพีศาสตร์

พิจารณาเห็นชอบโดย อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก .....
(อาจารย์ ดร.จักรพงษ์ ไชยวงศ์)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จีราภรณ์ อินทสาร)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วาสนา วิรุญรัตน์)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุธีระ เหิมฮึก)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

ประธานอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร .....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปฏิภาณ สุทธิกุลบุตร)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

สำนักบริหารและพัฒนาวิชาการรับรองแล้ว .....
(รองศาสตราจารย์ ดร.ชัยยศ สัมฤทธิ์สกุล)
รักษาการแทนรองอธิการบดี
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

ชื่อเรื่อง สมบัติของดินบางประการและการสะสมคาร์บอนในดินของพื้นที่ ป่าธรรมชาติ ป่าฟื้นฟูและพื้นที่เกษตร ในจังหวัดน่าน
ชื่อผู้เขียน นายราเชนทร์ โอฐงาม
ชื่อปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาปฐพีศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก อาจารย์ ดร.จักรพงษ์ ไชยวงศ์

บทคัดย่อ

การศึกษาสมบัติของดินบางประการและการสะสมคาร์บอนในดินของพื้นที่ ป่าธรรมชาติ (ป่าเบญจพรรณผสมเต็งรัง) ป่าฟื้นฟู และพื้นที่เกษตร (ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์) ในจังหวัดน่าน มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติของดินบางประการและการสะสมคาร์บอนในดิน ในพื้นที่อำเภอเวียงสา อำเภอปัว อำเภอท่าวังผาและอำเภอภูเพียง จังหวัดน่าน โดยเก็บตัวอย่างดินโดยวิธีรบกวนและไม่รบกวนโครงสร้างดิน การเก็บตัวอย่างที่ระดับความลึก 0-100 เซนติเมตร ตามการใช้ประโยชน์ที่ดินทั้งหมด 18 แปลง ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพบางประการของดินพบว่า เนื้อดินบนเป็นดินร่วนเหนียวถึงเหนียว ดินล่างเป็นดินเหนียวทุกประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน การแจกกระจายอนุภาคดินทราย พื้นที่เกษตรมีปริมาณมากที่สุด รองลงมาคือป่าฟื้นฟูและป่าธรรมชาติ ส่วนอนุภาคทรายแป้งและดินเหนียว ป่าธรรมชาติมีปริมาณมากที่สุด รองลงมาป่าฟื้นฟูและพื้นที่เกษตร ความหนาแน่นรวมของดิน ความหนาแน่นอนุภาคของดินและปริมาณกรวด พื้นที่เกษตรมีปริมาณมากที่สุด รองลงมาคือป่าฟื้นฟู และป่าธรรมชาติ สมบัติทางเคมีบางประการพบว่า ดินเป็นกรดปานกลางถึงกรดจัดมาก โดยพื้นที่เกษตรมีแนวโน้มดินเป็นกรดมากว่าทุกพื้นที่ ปริมาณอินทรียวัตถุในดินและความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน พื้นที่ป่าธรรมชาติมีค่ามากที่สุด รองลงมาคือป่าฟื้นฟูและพื้นที่เกษตร ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้และความอิ่มตัวเบส พื้นที่เกษตรมีปริมาณมากที่สุด รองลงมาคือป่าธรรมชาติและป่าฟื้นฟู ปริมาณแคลเซียม แมกนีเซียมและโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ ป่าธรรมชาติมีปริมาณมากที่สุด รองลงมาคือพื้นที่เกษตรและป่าฟื้นฟู การสะสมคาร์บอนในดินพบว่าพื้นที่ป่าธรรมชาติมีการสะสมมากที่สุด รองลงมาคือป่าฟื้นฟูและพื้นที่เกษตร การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินมีผลต่อสมบัติของดินบางประการและการสะสมคาร์บอนในดิน เนื่องจากการทำการเกษตรมีสูญเสียปริมาณอินทรียวัตถุจากการไถพรวน การเผาทำให้พื้นที่มีการกร่อนดิน ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งของการสูญเสียอนุภาคดินและธาตุอาหารในดิน

คำสำคัญ : ป่าธรรมชาติ, ป่าฟื้นฟู, พื้นที่เกษตร, สมบัติของดินบางประการ, การสะสมคาร์บอน

Title	SOME SOIL PROPERTIES AND SOIL CARBON STORAGE IN NATURAL FORESTS, RECOVERED FOREST AND AGRICULTURAL AREAS IN NAN PROVINCE
Author	Mr. Rachen Aotngam
Degree	Master of Science in Soil Science
Advisory Committee Chairperson	Dr. Chackapong Chaiwong

ABSTRACT

The objective of studying some soil properties and the accumulation of carbon in the soil of natural forests (Mixed deciduous forest and dry dipterocarp forest), reforestation and agricultural areas (feed corn) in Wiang Sa, Pua, Tha Wang Pha and Phu Phiang districts, Nan Province. Soil samples were taken using the disturbed and undisturbed soil method at a depth of 0-100 centimeters depending on land use in a total of 18 plots. The results of some soil physical properties showed that the texture of the topsoil is clay loam to clay and the subsoil is clayey in each land use. The trend in the distribution of sand particles is observed in both topsoil and subsoil; agricultural land has the highest percentage, followed by reforestation and natural forest areas. The trend in the distribution of sand particles in both the topsoil and subsoil is highest in agricultural areas, followed by reforestation and natural forests areas. The proportion of silt and clay is highest in natural forests, followed by reforestation and agriculture. Soil bulk density, soil particle density and gravel content of topsoil and subsoil were highest in agricultural areas, followed by reforestation and natural forests areas. Some soil chemical properties revealed that the topsoil is moderately acid to strongly acid and the subsoil is moderately acid to very strongly acid, with agricultural areas tending to have more acidic soils than all other areas. SOM and CEC of topsoil and subsoil were highest in natural forest, followed by reforestation and agricultural areas. Avail. P, exch. Ca, exch. Na, exch. Mg and %B.S. in the topsoil and subsoil of agricultural areas showed the highest values. The SOC content of soil in natural forest areas is the highest, followed by reforestation and agricultural areas. The assessment of soil fertility in natural forests, reforestation and agricultural areas shows low to medium fertility. Changes in land use affect some soil properties and soil

carbon accumulation, as agriculture has lost organic matter through ploughing, burning and soil erosion, leading to the loss of soil particles and soil nutrients.

Keywords : Natural forests, Restoration forest, Agricultural areas, Soil properties, Soil carbon storage

กิตติกรรมประกาศ

ในการทำการวิจัยเรื่อง การศึกษาสมบัติของดินบางประการและการสะสมคาร์บอนในดินของพื้นที่ ป่าธรรมชาติ ป่าฟื้นฟู และพื้นที่เกษตร ในจังหวัดน่าน ขอขอบคุณหน่วยวิจัยการฟื้นฟูป่า ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในเรื่องสถานที่รวมถึงข้อมูลพื้นฐานต่างๆ ขอขอบคุณอาจารย์ ดร.จักรพงษ์ ไชยวงศ์ ประธานกรรมการที่ปรึกษา ที่ให้ความอนุเคราะห์ในเรื่องของทุนการวิจัย ทุนการศึกษา ตลอดจนให้คำแนะนำตรวจสอบแก้ไขและช่วยตักเตือนในเรื่องของการทำงานวิจัยมาโดยตลอด อีกทั้งยังต้องขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จีราภรณ์ อินทสาร ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วาสนา วิรุญรัตน์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุธีระ เหิมฮึก กรรมการที่ปรึกษา ที่ให้คำแนะนำและช่วยเหลือในการวิจัยครั้งนี้ นักศึกษาสาขาปฐพีศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ ที่ให้ความช่วยเหลือในการลงพื้นที่เก็บข้อมูลมาวิจัย และหลักสูตรปฐพีศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในเรื่องสถานที่ ห้องปฏิบัติการ และอุปกรณ์ ทางผู้วิจัยขอขอบคุณมาไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ราเชนทร์ โอฐงาม

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ง
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ญ
สารบัญภาพ ..... ฎ
สารบัญตารางภาคผนวก ..... ฏ
บทที่ 1 บทนำ 1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2
ขอบเขตการศึกษา 2
บทที่ 2 ตรวจสอบเอกสาร 3
2.1 ความหมายของดิน 3
2.2 กระบวนการเกิดดิน 3
2.3 ปัจจัยการกำเนิดดิน 4
2.4 สมบัติดิน 6
2.5 การใช้ประโยชน์ที่ดินและสถานการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินภาคเหนือของประเทศไทย 10
2.6 ป่าไม้ของประเทศไทยและสถานการณ์ป่าไม้ในประเทศไทย 15
2.7 ป่าฟื้นฟู 17
2.7.1 เทคนิคการฟื้นฟูป่า 18
2.8 คาร์บอนการสะสมคาร์บอนในดิน 20

2.8.1 วัฏจักรคาร์บอน 21
2.8.2 คาร์บอนในดินและการสะสม 21
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 22
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีทดลอง 27
3.1 พื้นที่และขอบเขตการศึกษา 27
3.2 อุปกรณ์ในการวิจัย 36
3.3 วิธีดำเนินการศึกษา 37
3.4 การคำนวณปริมาณการสะสมคาร์บอนในดิน 41
3.5 สถิติที่ใช้ในการวิจัย 41
3.6 ระยะเวลาในการทำวิจัย 41
บทที่ 4 ผลการศึกษาและวิจารณ์ 42
4.1 ลักษณะดินในพื้นที่ศึกษา 43
4.2 สมบัติทางกายภาพและเคมีของดินบางประการ 51
4.2.1 สมบัติทางกายภาพของดิน 51
4.2.2 สมบัติทางเคมีของดิน 57
4.3 การสะสมคาร์บอนในดิน 65
บทที่ 5 สรุป 69
5.1 ลักษณะดินในพื้นที่ศึกษา 69
5.2 สมบัติทางกายภาพและเคมีของดินบางประการ 69
5.2.1 สมบัติทางกายภาพของดิน 69
5.2.2 สมบัติทางเคมีของดิน 70
5.3 การสะสมคาร์บอนในดิน 71
5.4 ข้อเสนอแนะ 71
บรรณานุกรม 72

ภาคผนวก 81
ภาคผนวก ก ข้อมูลพันธุ์ไม้ที่สำรวจในพื้นที่และข้อมูลการใช้ปุ๋ยของเกษตรกร 82
ภาคผนวก ข ค่าวิเคราะห์สมบัติของดินบางประการและการสะสมคาร์บอนในพื้นที่วิจัย 92
ภาคผนวก ค เกณฑ์มาตรฐานของค่าวิเคราะห์ดิน 108
ประวัติผู้วิจัย 114

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 ลักษณะของพื้นที่ศึกษา อำเภอเวียงสา 27
ตารางที่ 2 ลักษณะของพื้นที่ศึกษา อำเภอปัวและอำเภอท่าวังผา 30
ตารางที่ 3 ลักษณะของพื้นที่ศึกษา อำเภอภูเพียง 34
ตารางที่ 4 สมบัติทางกายภาพของดินบางประการ 55
ตารางที่ 5 สมบัติทางเคมีของดินบางประการ 61
ตารางที่ 6 การสะสมคาร์บอนในดิน 66

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 ป่าไม้ในประเทศไทย 17
ภาพที่ 2 แผนที่ธรณีในพื้นที่ ตำบลอ่ายนาไลย อำเภอเวียงสา จังหวัดน่าน 28
ภาพที่ 3 กราฟแสดงปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปี อำเภอเวียงสา จังหวัดน่าน 29
ภาพที่ 4 แผนที่ธรณีในพื้นที่ ตำบลอวน อำเภอปัว และตำบลจอมพระ อำเภอท่าวังผา จังหวัดน่าน 31
ภาพที่ 5 กราฟแสดงปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปี อำเภอปัว จังหวัดน่าน 32
ภาพที่ 6 กราฟแสดงปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปี อำเภอท่าวังผา จังหวัดน่าน 32
ภาพที่ 7 ลักษณะวัตถุต้นกำเนิดดินในพื้นที่ ตำบลเมืองจัง อำเภอภูเพียง จังหวัดน่าน 34
ภาพที่ 8 แผนที่ธรณีในพื้นที่ ตำบลน้ำเกี๋ยน อำเภอภูเพียง จังหวัดน่าน 35
ภาพที่ 9 กราฟแสดงปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปี อำเภอภูเพียง จังหวัดน่าน 36
ภาพที่ 10 แผนที่ตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่างดิน จังหวัดน่าน 42
ภาพที่ 11 ลักษณะดินในพื้นที่ป่าธรรมชาติ อำเภอเวียงสา (FNWS) 43
ภาพที่ 12 ลักษณะดินในพื้นที่ป่าฟื้นฟู อำเภอเวียงสา (RNWS) 44
ภาพที่ 13 ลักษณะดินในพื้นที่เกษตร อำเภอเวียงสา (ANWS) 45
ภาพที่ 14 ลักษณะดินในพื้นที่ป่าธรรมชาติ อำเภอปัว (FPUA) 46
ภาพที่ 15 ลักษณะดินในพื้นที่ป่าฟื้นฟู อำเภอท่าวังผา (RPUA) 47
ภาพที่ 16 ลักษณะดินในพื้นที่เกษตร อำเภอท่าวังผา (APUA) 48
ภาพที่ 17 ลักษณะดินในพื้นที่ป่าธรรมชาติ อำเภอภูเพียง (FPUP) 49
ภาพที่ 18 ลักษณะดินในพื้นที่ป่าฟื้นฟู อำเภอภูเพียง (RPUP) 50
ภาพที่ 19 ลักษณะดินในพื้นที่เกษตร อำเภอภูเพียง (APUP) 51
ภาพที่ 20 การกระจายขนาดอนุภาคและชั้นเนื้อดินหลัก 53

สารบัญตารางภาคผนวก

หน้า

ตารางภาคผนวกที่ 1 รายชื่อไม้ยืนต้นที่สำรวจพบในแปลงป่าชุมชน (ป่าธรรมชาติ) บ้านม่วงเนิ้ง ม.9 ต.อ่ายนาไลย อ.เวียงสา จ.น่าน.....83
ตารางภาคผนวกที่ 2 รายชื่อไม้ยืนต้นที่สำรวจพบในป่าชุมชนม่อนหินแก้ว (ป่าธรรมชาติ) บ้านทุ่งใหม่ ม.11 ต.อวน อ.ปัว จ.น่าน.....84
ตารางภาคผนวกที่ 3 รายชื่อไม้ยืนต้นที่สำรวจพบในแปลงศึกษาป่าต้นน้ำ น้ำแก่น – แม่สา (ป่าธรรมชาติ) บ้านใหม่สันติสุข ม.5 ต.น้ำเกี๋ยน อ.ภูเพียง จ.น่าน.....86
ตารางภาคผนวกที่ 4 รายชื่อไม้ยืนต้นในแปลงป่าฟื้นฟูและการใช้ประโยชน์ที่ดินก่อนปลูก.....89
ตารางภาคผนวกที่ 5 ข้อมูลการใช้ปุ๋ยของเกษตรกร.....91
ตารางภาคผนวกที่ 6 ผลวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของดินบางประการ.....93
ตารางภาคผนวกที่ 7 ผลวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดินบางประการ.....98
ตารางภาคผนวกที่ 8 การสะสมคาร์บอนในดิน.....103
ตารางภาคผนวกที่ 9 การแบ่งกลุ่มของเนื้อดิน.....109
ตารางภาคผนวกที่ 10 ความหนาแน่นรวมของดิน (Bulk density).....109
ตารางภาคผนวกที่ 11 ความเป็นกรดด่างของดิน (Soil reaction).....110
ตารางภาคผนวกที่ 12 อินทรียวัตถุในดิน (Soil organic matter).....110
ตารางภาคผนวกที่ 13 ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available Phosphorus).....111
ตารางภาคผนวกที่ 14 โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Potassium).....111
ตารางภาคผนวกที่ 15 แคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Calcium).....111
ตารางภาคผนวกที่ 16 แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Magnesium).....112
ตารางภาคผนวกที่ 17 โซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Sodium).....112
ตารางภาคผนวกที่ 18 ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (Cation Exchangeable Capacity).....112
ตารางภาคผนวกที่ 19 ความอิ่มตัวเบส (Base saturation).....113

บทที่ 1
บทนำ

คาร์บอนเป็นธาตุที่องค์ประกอบหลักในสารประกอบอินทรีย์ทุกชนิด คาร์บอนหมุนเวียนระหว่างสิ่งมีชีวิตและสิ่งไม่มีชีวิต และพบในชั้นหินต่าง ๆ ฟอสซิล มหาสมุทร ดิน ชั้นบรรยากาศ และพืชพรรณ โดยที่ในโลกใบนี้ มหาสมุทรกักเก็บได้ $3.8x10^{13}$ เมตริกตัน พื้นดินกักเก็บได้ $2.0x10^{12}$ เมตริกตัน ขณะที่บรรยากาศกักเก็บคาร์บอนได้ $7.2x10^{11}$ เมตริกตัน (จามร, 2556) การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเป็นสาเหตุหลักที่ส่งผลให้เกิดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศโดยเฉพาะอย่างยิ่งจากกิจกรรมของมนุษย์ ก๊าซเรือนกระจกมีหลายชนิดแต่ที่เป็นตัวการหลักๆ ที่ทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเฉลี่ยของโลกได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ก๊าซมีเทน (CH_4) และไนตรัสออกไซด์ (N_2O) (ชโลธร, 2555) ในทศวรรษที่ผ่านมาการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในชั้นบรรยากาศ ส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของโลก องค์กรสหประชาชาติได้เห็นถึงปัญหานี้และได้ตระหนักถึงการฟื้นฟูป่าเนื่องจากสามารถลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ในชั้นบรรยากาศได้โดยการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของป่าไม้ (Kavinchan et al., 2015) ป่าไม้อำนวยคุณประโยชน์อย่างมากต่อมนุษย์ ประโยชน์ทางตรง คือ ผลผลิตจากป่าที่เป็นผลผลิตที่เป็นเนื้อไม้และไม่ใช้เนื้อไม้ ประโยชน์ทางอ้อม ได้แก่ แหล่งซับน้ำ แหล่งปลดปล่อยก๊าซออกซิเจน (O_2) ถิ่นอยู่อาศัยของสัตว์ป่า ช่วยป้องกันการเซาะกร่อนหน้าดิน และการกักเก็บคาร์บอน (จตุรงค์ และคณะ, 2563) การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพและเคมีของดินบางประการ และส่งผลต่อความอุดมสมบูรณ์ของดิน โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีความลาดชันสูง พื้นที่การเกษตรดินจะถูกกร่อน มากกว่าพื้นที่ป่าธรรมชาติ ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งของการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน (อลงกรณ์ และคณะ, 2563) สถานณการณ์ปัจจุบันมักประสบปัญหาการใช้ประโยชน์ที่ดินที่เปลี่ยนจากป่าไม้เป็นพื้นที่เกษตรมักส่งผลโดยตรงต่อปริมาณอินทรีย์คาร์บอน เนื่องจากมีการกำจัดวัชพืชหรือพืชปกคลุมดินออกจนหมด นอกจากนั้นยังมีการเผาพื้นที่สำหรับเตรียมการเพาะปลูก อย่างไรก็ตามคาร์บอนสามารถฟื้นคืนกลับมาสู่พื้นที่ได้ในช่วงที่มีการฟื้นฟูของระบบนิเวศหรือช่วงพักฟื้นที่ที่ไม่มีการทำกิจกรรมการเกษตร (กอบศักดิ์ และพูลสถิตย์, 2555) จังหวัดน่าน เป็นจังหวัดที่มีพื้นที่ป่าไม้ที่สำคัญ โดยมีพื้นที่ของจังหวัดทั้งหมด 7,170,045 ไร่ พื้นที่ป่าไม้ 4,350,855 ไร่ พื้นที่เกษตร 2,598,313 ไร่ แหล่งน้ำ 52,798 ไร่ พื้นที่อยู่อาศัยและอื่น ๆ 168,079 ไร่ (กองนโยบายและแผนการใช้ที่ดิน, 2566) จังหวัดน่านมีประวัติการสูญเสียพื้นที่ป่าไม้มาอย่างยาวนาน สาเหตุหนึ่งมาจากการขยายพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ เนื่องจากมีความต้องการข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มากขึ้นทั้งตลาดในประเทศและ

ต่างประเทศ (สิทธิเดช และเขมรัฐ, 2558) ในช่วงปี พ.ศ. 2548-2554 สายบัว และศักดิ์ดา (2564) รายงานว่า พื้นที่ป่าไม้มีการลดลงประมาณ 48,600 ไร่/ต่อปี สอดคล้องกับรายงานของ สิทธิเดช และเขมรัฐ (2558) ที่พบว่าระหว่างปี พ.ศ. 2548-2552 พื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์จังหวัดน่านเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยในปี พ.ศ. 2548 พื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มีประมาณ 290,000 ไร่ และมีการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องกว่า 800,000 ไร่ในปี พ.ศ. 2552 การทำการเกษตรส่วนใหญ่มีเป็นเกษตรเชิงเดี่ยว โดยมีการเปลี่ยนป่าธรรมชาติให้เป็นพื้นที่เกษตร ทำให้มีการสูญเสียพื้นที่ต้นน้ำและพื้นที่ดูดซับคาร์บอน ในปัจจุบันมีการฟื้นฟูป่าในพื้นที่ทำให้กลับมามีความอุดมสมบูรณ์ตามเดิมและยังเป็นพื้นที่ต้นแบบในการฟื้นฟูระบบนิเวศในพื้นที่อีกด้วย

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาสมบัติของดินบางประการและการสะสมคาร์บอนในดินของพื้นที่ ป่าธรรมชาติ ป่าฟื้นฟูและพื้นที่เกษตร

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ปริมาณคาร์บอนสะสมในดินและแนวทางในการใช้ประโยชน์ที่ดิน เพื่อการจัดการที่ดินและป่าอย่างยั่งยืนในพื้นที่จังหวัดน่าน

ขอบเขตการศึกษา

ศึกษาสมบัติของดินบางประการ ปริมาณคาร์บอนสะสมในดิน การใช้ประโยชน์ที่ดิน ป่าธรรมชาติ ในสังคมป่าเบญจพรรณผสมเต็งรัง ป่าฟื้นฟูโดยการปลูกฟื้นฟู และพื้นที่เกษตร ที่เป็นเกษตรเชิงเดี่ยวปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ในพื้นที่ตำบลอ่ายนาไลย อำเภอเวียงสา ตำบลอวน อำเภอปัว ตำบลเมืองจัง และตำบลน้ำเกี๋ยน อำเภอภูเพียง จังหวัดน่าน

บทที่ 2
ตรวจสอบเอกสาร

2.1 ความหมายของดิน

ดิน (Soil) ในทางปฐพีวิทยา หมายถึง เทหวัตถุธรรมชาติ (Natural body) ที่เกิดจากการสลายตัวของหินและแร่ต่างๆ ผสมคลุกเคล้ากับอินทรียวัตถุ ซึ่งปกคลุมผิวโลกอยู่เป็นชั้นบางๆ เป็นวัตถุที่ค้ำจุนการเจริญเติบโตและทรงตัวของพืช ทรัพยากรดินเป็นส่วนสำคัญในระบบธรรมชาติที่เกี่ยวเนื่องกับวัฏจักรและกระบวนการต่างๆ นอกจากนี้ทรัพยากรดินยังถูกนำมาใช้เป็นพื้นฐานที่สำคัญในทางการเกษตรกรรม (กรมพัฒนาที่ดิน, 2558)

สำนักงานราชบัณฑิตยสภา (2562) ให้ความหมายไว้ว่า ดิน คือวัสดุธรรมชาติที่ปกคลุมผิวโลก เกิดจากการผุพังสลายตัวของหินและแร่ผสานกับอินทรียวัตถุทำหน้าที่เป็นฐานสำหรับการเจริญเติบโตของพืช

2.2 กระบวนการเกิดดิน

ดินมีการพัฒนาการตัวและเกิดขึ้นจากปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมต่างๆ ร่วมกัน ได้แก่ ภูมิอากาศ พืชพรรณไม้ สภาพภูมิอากาศ เป็นต้น ที่มีต่ออนินทรียสารที่เกิดการผุพังสลายตัว เมื่อพืชพรรณขึ้นปกคลุมจนพืชพรรณมีการเปลี่ยนแปลงของสังคมพืชไปตามกาลเวลาลักษณะดินจะมีการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย เริ่มจากการเกิดดินระยะแรกจนไปถึงดินที่มีการพัฒนาการตัวจนมีลักษณะชั้นดินปรากฏอย่างเห็นได้ชัน กระบวนการเกิดดินต่างๆ แบ่งออกเป็น 4 กระบวนการ (Brady and Weil, 2010) ดังนี้

1) Transformations เกิดขึ้นเมื่อส่วนประกอบของดินมีการเปลี่ยนแปลงทั้งทางกายภาพหรือทางเคมีหรือถูกทำลาย ในขณะที่ส่วนประกอบอื่น ๆ ถูกสังเคราะห์จากวัสดุตั้งต้น

2) Translocations เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนย้ายของวัสดุอินทรีย์และอินทรีย์ภายในชั้นดินหนึ่งลงไปยังชั้นดินหนึ่ง ซึ้งน้ำมีส่วนเกี่ยวข้องกับกระบวนการที่พบมากที่สุด

3) Additions คือกระบวนการเพิ่มวัสดุที่มีมาจากแหล่งภายนอกไปยังหน้าตัดดินที่กำลังพัฒนา เช่นการเพิ่มอินทรียวัตถุที่มาจากใบไม้ที่ร่วงหล่นและจากรากพืชที่ตายไปแล้ว

4) Losses กระบวนการสูญเสียเกิดจากการชะล้างลงไปยังน้ำใต้ดิน การกร่อนของดินบริเวณผิวดิน และการสูญเสียในรูปแบบอื่นๆ ซึ่งการกร่อนของดินเป็นการสูญเสียที่สำคัญที่สุดทำให้อนุภาคที่มีขนาดเล็กสูญเสียไปจากหน้าตัดดินและทำให้มีอนุภาคทรายเพิ่มขึ้น นอกจากนั้นยังทำให้ปริมาณอินทรียวัตถุที่ลดน้อยลง

2.3 ปัจจัยการกำเนิดดิน

ปัจจัยที่ควบคุมการสร้างตัวของดินมีปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องอยู่มากมาย แต่ที่มีความสำคัญต่อลักษณะและสมบัติต่าง ๆ ของดินนั้นมีอยู่ 5 ปัจจัยหลัก (Jenny, 1941) ได้แก่

1) ภูมิอากาศ (Climate) ภูมิอากาศเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลมากที่สุด เพราะเป็นตัวควบคุมการผุพังอยู่กับที่ที่จะเกิดขึ้น เช่น อุณหภูมิ และหยาดน้ำฟ้า (Precipitation) ได้แก่ ฝน หิมะ น้ำค้าง เมฆ และหมอก ซึ่งมีผลต่อกระบวนการทางเคมี ฟิสิกส์ และชีวภาพ ต่อพัฒนาการของหน้าตัดดิน อุณหภูมิสูงขึ้นทุกๆ 10 องศาเซลเซียส จะทำให้ปฏิกิริยาทางชีวเคมีเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า นอกจากนี้อุณหภูมิและความชื้นทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีโดยจุลินทรีย์ดิน อุณหภูมิและความชื่นมีผลต่อปริมาณอินทรียวัตถุในดิน ในเขตหนาวพัฒนาการของหน้าตัดดินจะน้อยและดินตื้น ส่วนเขตร้อนชื้นดินจะลึกและผ่านการผุพังอยู่กับที่มาสูง ภูมิอากาศมีอิทธิพลต่อชนิดของพืชพรรณที่ขึ้นตามธรรมชาติด้วย ในเขตชื้นปริมาณน้ำฝนที่มีมากจะทำให้ต้นไม้เจริญงอกงามได้ดี และดินบริเวณนั้นจะมีการพัฒนาการตัวดี ในทางตรงกันข้ามในเขตกึ่งแห้งแล้ง พืชพรรณธรรมชาติจะเป็นทุ่งหญ้าเขตแห้งแล้งจะเป็นไม้พุ่มเตี้ย และดินบริเวณนั้นจะมีการพัฒนาการตัวช้ากว่า (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) ภูมิอากาศของประเทศไทยแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภท โดยการแบ่งเขตภูมิอากาศแบบเคิพเพิน (Köppen climate classification) (Peel et al., 2007)

1.1) ภูมิอากาศแบบสะวันนา หรือภูมิอากาศแบบเขตร้อนมีฝนเฉพาะฤดู (Tropical savannah) ส่วนใหญ่อยู่บริเวณภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลาง ภาคตะวันออกตอนบนและภาคใต้เฉพาะจังหวัดสุราษฎร์ธานี และอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

1.2) ภูมิอากาศแบบมรสุมเขตร้อน (Tropical monsoon climate) พบบริเวณชายฝั่งภาคตะวันออก เช่น จังหวัดจันทบุรี ตราด และจังหวัดทางภาคใต้ตอนกลางลงไปจนถึงด้านล่างสุดทั้งสองฝั่งทะเล

1.3) ภูมิอากาศแบบฝนเขตร้อน (Tropical rainforest climate) พบเป็นส่วนน้อยบริเวณตอนใต้สุดของคาบสมุทรภาคใต้ และชายฝั่งทะเลตะวันออกเฉียงใต้

1.4) ภูมิอากาศแบบกึ่งร้อนชื้น (Humid subtropical climate) พบบริเวณเขตเทือกเขาสูงภาคเหนือที่อยู่ค่อนข้างสูงจากระดับทะเลปานกลาง

2) วัตถุต้นกำเนิดดิน (Parent Material) วัสดุดินต่าง ๆ ทั้งที่เป็นอินทรียสารและอนินทรียสาร ที่เกาะกันอยู่อย่างหลวม ๆ ซึ่งต่อไปจะเปลี่ยนแปลงไปเป็นดินหรือเกิดดินขึ้น (เอิบ, 2548)

อย่างไรก็ตามวัตถุต้นกำเนิดดินอาจเป็นวัตถุที่อยู่กับที่หรือถูกเคลื่อนย้ายจากบริเวณอื่นมาทับถมในพื้นที่หนึ่ง การจำแนกวัตถุต้นกำเนิดดินสามารถแบ่งออกได้ดังนี้ (Brady and Weil, 2010)

2.1) วัตถุต้นกำเนิดดินที่อยู่กับที่ (Residual parent material) เป็นวัตถุต้นกำเนิดดินที่เกิดจากการผุสลายตัวของหินและแร่ที่อยู่ในพื้นที่ เมื่อมีการพัฒนาการตัวของดินขึ้นลักษณะของแร่ธาตุในดินก็จะมีความสัมพันธ์กับชั้นหินที่อยู่ในดิน พื้นที่ที่มีสภาพอากาศอบอุ่นและชื้น วัตถุต้นกำเนิดดินอาจถูกชะล้างและออกซิไดซ์อย่างรุนแรงทำให้หน้าตัดดินมีสีแดง ในสภาพอากาศที่แห้งจะพบว่าวัตถุต้นกำเนิดดินมีการคงเหลืออยู่ในพื้นที่มากกว่า

2.2) วัตถุต้นกำเนิดดินที่ถูกเคลื่อนย้ายไปทับถมบริเวณอื่น (Transported parent material) เป็นวัตถุต้นกำเนิดดินที่เกิดจากการผุสลายตัวของหินและแร่บริเวณหนึ่งที่ถูกเคลื่อนย้ายหรือพัดพาไปทับถมบริเวรอื่นด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก โดยพัดพาไปกับน้ำ ธารน้ำแข็งและลม ตัวอย่างเช่น

- Colluvial debris หรือ Colluvium เป็นวัตถุต้นกำเนิดดินที่ถูกเคลื่อนย้ายโดยแรงโน้มถ่วงของโลกจากที่สูงลงมาที่ต่ำตามความลาดชัน จะพบว่าเป็นหินและกรวด บริเวณเชิงเขาจะพบ Colluvium สะสมมาก

- Alluvial deposits เป็นวัตถุต้นกำเนิดดินที่ถูกเคลื่อนย้ายโดยน้ำ ซึ่งจะพบบริเวณที่ราบน้ำท่วมถึง (Floodplain) การทับถมตามเชิงเขาด้วยร่องห้วย (Alluvial fan) และบริเวณปากแม่น้ำ (Deltas) ดินที่พบจะมีการแบ่งเป็นชั้นๆ ซึ่งเกิดจากน้ำเป็นตัวพัดพาตะกอนดินมายังบริเวณ ดินบริเวณที่ราบน้ำท่วมถึงจะเป็นตะกอนที่มีความละเอียดมากว่าพื้นที่อื่นๆ

2.3) วัตถุต้นกำเนิดดินที่เกิดจากการทับถมของซากพืชและซากสัตว์ (Organic parent material) เกิดจากการย่อยสลายของเศษซากพืช ซึ่งสามารถสลายตัวได้เร็วกว่าและในพื้นที่ไม่มีการผสมกับแร่ธาตุ เมื่อมีการสะสมเป็นชั้นที่หนามากดินจะถูกจัดอยู่ในอันดับ Histosols การสลายตัวเกี่ยวข้องกับ ปริมาณออกซิเจน ค่าความเป็นกรดด่าง อุณหภูมิ ความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพของพืช กิจกรรมของสิ่งมีชีวิต และเวลา (Schaetzl and Anderson, 2005)

3) สิ่งมีชีวิต (Organisms) หรือปัจจัยชีวภาพ (Biotic factor) สิ่งมีชีวิตต่าง ๆ ซึ่งประกอบด้วย พืช และสัตว์ พืชพรรณที่ขึ้นปกคลุมผิวดินมีอิทธิพลต่อความหนาของชั้นดินบน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2558) กิจกรรมของมนุษย์มีอิทธิพลต่อการเกิดดินอย่างมาก เช่นเดียวกับการทำลายพืชพรรณธรรมชาติทั้งต้นไม้ใหญ่และเล็ก และการไถพรวนเพื่อปลุกพืช รวมถึงการเผาพื้นที่ก่อนเพาะปลูก กิจกรรมเหล่านี้ จะทำให้ปัจจัยในการสร้างดินเปลี่ยนแปลงไปอย่างกะทันหัน หรือการ

ชลประทานในเขตแห้งแล้งจะมีผลต่อปัจจัยในการเกิดดินอย่างเห็นได้ชัด เช่นเดียวกับการใส่ปุ๋ยและปูนลงไปในดินกรด ที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ แม้ว่ากิจกรรมของมนุษย์จะเกิดขึ้นไม่นานในเวลาทางธรณี แต่ในบางพื้นที่มีผลอย่างมากต่อกระบวนการเกิดดิน (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548)

4) สภาพพื้นที่หรือสภาพภูมิประเทศ (Relief) สภาพภูมิประเทศ เป็นลักษณะทางกายภาพที่เกิดจากธรรมชาติและมีลักษณะที่แตกต่างกันออกไป ลักษณะภูมิประเทศจะควบคุมอุทกวิทยาในพื้นที่นั้นๆ โดยเฉพาะกระบวนการเคลื่อนย้ายซึ่งถูกควบคุมโดยลักษณะของสภาพภูมิประเทศของพื้นที่นั้นๆ (Lavelle and Spain, 2003) ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีสภาพภูมิประเทศส่วนใหญ่เป็นที่ราบสูง แต่ในภาคเหนือส่วนใหญ่เป็นภูเขาสูงต่ำสลับซับซ้อนและมีที่ราบระหว่างหุบเขาพื้นที่มีความสูงจากระดับน้ำทะเลแตกต่างกัน สำหรับพื้นที่ภูเขานั้นที่ดินจะมีความลาดเท (Slope) ทิศของพื้นที่ลาดเท (Slope aspect) และตำแหน่งของที่ดินบนพื้นที่ลาดเท (Slope position) แตกต่างกัน การพัฒนาของดินก็จะต่างกันไปตามพื้นที่และทำให้เกิดความผันแปรของลักษณะดินระหว่างพื้นที่ยอดเขาไหล่เขาและเชิงเขา

5) เวลา (Time) กระบวนการสร้างดินต้องใช้เวลาในการก่อตัวและพัฒนาการตัวของดินขึ้นมาเวลาจัดว่าเป็นปัจจัยที่สำคัญมาก ดินที่มีการพัฒนาการตัวเป็นเวลานานจะแตกต่างจากดินที่มีการพัฒนาการตัวน้อยทั้งทางกายภาพและทางเคมี ดินแรกเริ่มจะมีสิ่งชีวิตขนาดเล็กจำพวกมอสและไลเคนอยู่บนหิน สิ่งมีชีวิตเหล่านี้สามารถปล่อยกรดออกมาย่อยสลายหินได้แต่จะใช้เวลานาน เมื่อเวลาผ่านไปหินมีการผุพังสายตัวมากขึ้นจะเกิดชั้น A และ C หลังจากนั้นดินจะมีการพัฒนาการตัวมากขึ้น มีสะสมและการเคลื่อนย้ายอนุภาคดินเหนียวในดินชั้นล่างทำให้เกิดชั้น B และเกิดการพัฒนาโครงสร้างดินแบบก้อนเหลี่ยม (Blocky) (Brady and Weil, 2010)

2.4 สมบัติดิน

ดินแต่ละพื้นที่ล้วนมีความแตกต่างกันไปตามปัจจัยในการสร้างตัวของดิน ซึ่งส่งผลให้ดินมีลักษณะที่แตกต่างกัน ลักษณะของดินเกี่ยวข้องกับการเพาะปลูกพืช และการจัดการดิน ซึ่งสมบัติดินที่สำคัญ มี 2 สมบัติคือ สมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางเคมี (กรมพัฒนาที่ดิน, 2556)

1) สมบัติทางกายภาพดิน (Soil physical properties) สมบัติทางกายภาพดิน เป็นสมบัติที่มองเห็นได้ และสัมผัสได้ อาทิ เนื้อดิน (Soil texture) และโครงสร้างดิน (Soil structure) รวมทั้งสมบัติอื่นๆ ที่เป็นผลต่อเนื่องจากสมบัติพื้นฐาน 2 ประการข้างต้น เช่น ความหนาแน่นรวม (Bulk density) และความพรุน (Porosity) เป็นต้น (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548)

1.1) เนื้อดิน (Soil texture) เนื้อดินเป็นลักษณะที่รับรู้ได้จากการสัมผัสถึงความหยาบ ความเนียน ความเหนียว เป็นสมบัติที่ใช้ในการประเมินความสามารถในการอุ้มน้ำ การดูดซับธาตุอาหาร เนื้อดินเป็นผลมาจากการรวมตัวของอนุภาคดินขนาดต่างๆ กัน ในสัดส่วนที่แตกต่างกันไป โดยแบ่งออกเป็นประเภทตามขนาด ได้แก่ อนุภาคทรายมีขนาด 2.00-0.05 มิลลิเมตร อนุภาคทรายแป้งมีขนาด 0.05-0.002 มิลลิเมตร และอนุภาคดินเหนียว มีขนาดน้อยกว่า 0.002 มิลลิเมตร (อัญชลี, 2553) การประเมินชั้นของเนื้อดินมีทั้งหมด 12 เนื้อดิน มีรายละเอียดดังนี้ (เอิบ, 2548)

- ดินทราย (Sand)
- ดินทรายปนดินร่วน (Loamy sand)
- ดินร่วนปนทราย (Sandy loam)
- ดินร่วน (Loam)
- ดินร่วนปนทรายแป้ง (Silt Loam)
- ดินร่วนเหนียว (Clay loam)
- ดินร่วนเหนียวปนทราย (Sandy clay loam)
- ดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง (Silty clay loam)
- ดินเหนียวปนทราย (Sandy clay)
- ดินเหนียวปนทรายแป้ง (Silty clay)
- ดินเหนียว (Clay)
- ดินทรายแป้ง (Silt)

1.2) โครงสร้างดิน (Soil structure) หมายถึง การจัดเรียงและการยึดเกาะกันของอนุภาคของดินตามธรรมชาติ โดยเม็ดดินจะถูกแบ่งแยกโดยความพรุนและช่องว่างภายในดิน โครงสร้างดินมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช การหยั่งลึกของรากพืช การซึมน้ำของดิน เป็นต้น การอธิบายโครงสร้างดินควรอธิบายเมื่อดินแห้งหรือมีความชื้นเพียงเล็กน้อย และควรแยกดินที่มีขนาดใหญ่ออกจากหน้าตัดดินเพื่อทำการศึกษาและอธิบาย ประเภทของโครงสร้างดิน (FAO, 2006)

- โครงสร้างดินแบบก้อนเหลี่ยม (Blocky) มีลักษณะเป็นบล็อกหรือรูปทรงหลายเหลี่ยมเกือบเท่ากัน มีพื้นผิวที่เรียบหรือโค้งมนเพียงเล็กน้อย โครงสร้างแบบก้อนเหลี่ยม แบ่งเป็น 2 ชนิด ได้แก่ ก้อนเหลี่ยมมุมคม (Angular blocky) มีลักษณะเป็นเหลี่ยมมุมที่มีคมชัดเจน และ ก้อนเหลี่ยมมุนมน (Subangular blocky) มีลักษณะเป็นเหลี่ยมมุมที่ไม่มีคมชัดเจน

- โครงสร้างดินแบบก้อนกลม (Granular) มีลักษณะเป็นทรงกลม หรือเป็นรูปหลายเหลี่ยมที่มีผิวที่โค้ง มีรูปทรงไม่สม่ำเสมอ

- โครงสร้างแบบแผ่น (Platy structure) มีลักษณะเป็นแผ่นแบนเรียบ เรียงตัวกันในแนวระนาบมีการซ้อนทับกันหลายๆ ชั้น

- โครงสร้างแบบแท่งหัวเหลี่ยม (Prismatic) มีลักษณะเป็นแท่ง ยาวในแนวดิ่ง มีพื้นผิวแบนหรือกลมเล็กน้อย ส่วนใหญ่พื้นผิวมักมีมุมคมที่ชัดเจน

- โครงสร้างแบบแท่งหัวมน (Columnar) มีลักษณะเป็นท่งคล้ายโครงสร้างแบบแท่งหัวเหลี่ยม แต่ต่างกันตรงที่ด้านบนและด้านล่างจะมีลักษณะที่กลมมนกว่า

1.3) ความหนาแน่นและความพรุนของดิน (Soil density and porosity) ความหนาแน่น (Density) และความพรุน (Porosity) เป็นสมบัติของดินที่ได้รับผลกระทบบางส่วนจากชนิดของเนื้อดิน และอีกบางส่วนจากการเกิดเม็ดดิน (Aggregation) หรือการเกิดโครงสร้างดิน (Soil structure) (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) ความหนาแน่นของดิน หมายถึง สัดส่วนน้ำหนักดินแห้งกับปริมาตรของดิน ประมาณครึ่งหนึ่งของปริมาตรของดินจะเต็มไปด้วยอากาศและน้ำ ดินที่มีช่องว่างภายในดินมากอาจมีพื้นที่ว่างถึงสองในสามส่วน หากดินถูกอัดแน่นช่องว่าภายในดินก็จะลดลง ซึ่งช่องว่างภายในดินจะหมายถึงความพรุนของดิน ความพรุนของดินจะเกี่ยวข้องกับความหนาแน่นรวมของดิน โดยดินที่มีความพรุนน้อยจะมีความหนาแน่นของดินที่มาก ปัจจัยหลักที่เกี่ยวข้องกับความพรุนของดินคือสิ่งมีชีวิตภายในดิน โดยเฉพาะสิ่งมีชีวิตที่มองไม่เห็นด้วยตาเปล่า ความพรุนของดินจะมีแนวโน้มลดลงตามความลึกของดิน (Schaetzl and Anderson, 2005)

2) สมบัติทางเคมีดิน (Soil chemical properties) สมบัติทางเคมีดิน หมายถึง สมบัติของดินซึ่งเป็นสิ่งที่เราไม่สามารถจะตรวจสอบได้ด้วยความรู้สึก จากการเห็นด้วยตา และสัมผัสด้วยมือ แต่จะต้องอาศัยวิธีการวิเคราะห์ หรือกระบวนการทางเคมี เป็นเครื่องชี้บอก เช่น ความเป็นกรดด่างของดิน อินทรียวัตถุ ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน และธาตุอาหารต่าง ๆ ในดิน เป็นต้น

2.1) ความเป็นกรดด่างของดิน (Soil pH; pH) ความเป็นกรดด่างของดิน เป็นค่าที่วัดสภาพความเป็นกรดด่างของดิน ความเป็นกรดด่างของดินบอกเป็นตัวเลขตั้งแต่ 1 ถึง 14 ถ้าดินมีความเป็นกรดด่างของดินน้อยกว่า 7 แสดงว่าดินนั้นมีสภาพเป็นกรด ยิ่งมีค่าน้อยกว่า 7 มากก็จะเป็นกรดมาก แต่ถ้าดินมีความเป็นกรดด่างของดินมากกว่า 7 จะมีสภาพเป็นด่าง สำหรับดินที่มีค่าความเป็นกรดด่างของดินเท่ากับ 7 แสดงว่าดินมีสภาพเป็นกลาง ดินส่วนใหญ่มีความเป็นกรดด่างของดินในช่วง 5 ถึง 8 พืชแต่ละชนิดเจริญเติบโตได้ดีในดินที่มีช่วงความเป็นกรดด่างของดินที่แตกต่างกัน โดยสภาพความเป็นกรดด่างของดินมีความสำคัญต่อการปลูกพืชมาก เพราะเป็นตัวควบคุมการละลายธาตุอาหารในดินให้ออกมาอยู่ในสารละลายหรือน้ำในดิน ถ้าดินมีสภาพความเป็นกรดด่างไม่เหมาะสม

ธาตุอาหารในดินบางชนิดอาจละลายออกมาน้อยและไม่เพียงพอต่อความต้องการพืช (กรมพัฒนาที่ดิน, 2556)

2.2) อินทรียวัตถุในดิน (Soil organic matter; SOM) อินทรียวัตถุในดิน คือ สารประกอบอินทรีย์ที่ได้จากการสลายตัวจากพืชและสัตว์ ซึ่งเป็นผลจากการทำงานหรือกิจกรรมของจุลินทรีย์ดิน โดยสามารถพบได้ตามธรรมชาติทั่วไป (เกษมศรี, 2541) อินทรียวัตถุในดินอาจแบ่งได้เป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ ส่วนที่เป็นสารฮิวมิก (Humic substances) กับส่วนที่ไม่ใช่ฮิวมิก (Non-humic substances) ในส่วนของสารฮิวมิกนั้น เป็นส่วนที่มีโครงสร้างซับซ้อน และคงทนต่อการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์มาก และส่วนที่สองส่วนที่ไม่ใช่สารฮิวมิก เป็นส่วนที่มีโครงสร้างโมเลกุลไม่ซับซ้อน ย่อยสลายได้ง่ายกว่า โดยอินทรียวัตถุในดินเป็นองค์ประกอบสำคัญที่มีอิทธิพลอย่างมากต่อสมบัติต่างๆ ของดินทั้งเคมี กายภาพ และชีวภาพ รวมทั้งพัฒนาระบบนิเวศ (Ecosystem) ของแต่ละสภาพแวดล้อมโดยตรง (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548)

2.3) ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (Cation exchange capacity; CEC) ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนที่พื้นผิวคอลลอยด์ดิน เป็นสมบัติทางเคมีที่บ่งบอกถึงคุณภาพของดินที่มีความสำคัญมาก ปกติคอลลอยด์ดินจะมีทั้งประจุบวกประจุลบ แต่โดยทั่วไปมีประจุลบ ซึ่งประจุลบนี้จะดูดยึดประจุบวกหรือแคตไอออน โดยแคตไอออนที่ถูกดูดยึดจะสามารถแลกเปลี่ยนกับแคตไอออนที่อยู่ใกล้เคียง (รัตนชาติ และบุศรินทร์, 2562) ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนของ Soil colloids ที่ต่างชนิดกันจะแตกต่างกันเป็นอย่างมาก ตัวอย่างเช่น Humus, Hydrous mica, แร่ดินเหนียวประเภท 1:1 จำพวก Kaolinite และ แร่ดินเหนียวประเภท 2:1 จำพวก Montmorillonite, Vermiculite, Smectite, Chlorite และ Illite และ Hydrous oxides ของเหล็กและอลูมินัมจะมีค่าโดยเฉลี่ยแล้วจะแตกต่างกัน ซึ่งจะพบว่าดินที่มี Humus มากหรือมีพวก Montmorillonite เป็นองค์ประกอบอยู่ในแร่ดินเหนียวจะทำให้ CEC ของดินนั้นสูงขึ้นกว่าดินอีกชนิดหนึ่ง (จีราภรณ์, 2563)

2.4) ความอิ่มตัวเบส (Base saturation; BS) ความอิ่มตัวเบส หมายถึงสัดส่วนปริมาณเบสที่แลกเปลี่ยนได้ต่อความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน หรือผลรวมของเบสที่แลกเปลี่ยนได้กับกรดที่สกัดได้ โดยทั่วไปมักแสดงเป็นร้อยละ ค่านี้ได้มาจากการคำนวณ ซึ่งปริมาณแคตไอออนชนิดเบส (Basic cation) จะปรากฏในดินตามลำดับความมากน้อย คือ ธาตุแคลเซียม (Ca^{2+}) แมกนีเซียม (Mg^{2+}) โพแทสเซียม (K^{+}) และโซเดียม (Na^{+}) ความอิ่มตัวเบสมีความสัมพันธ์อยู่กับการกำเนิดดิน การพัฒนาของดิน ระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน และการชะละลายแร่ธาตุอาหารลงสู่ชั้นล่าง ดินที่มีการชะละลายสูงจะมีค่าความอิ่มตัวเบสต่ำ นอกจากนั้นยังมีความสัมพันธ์กับระดับความเป็น

กรดด่างของดินด้วย กล่าวคือเมื่อค่าความเป็นกรดด่างของดินสูงขึ้นความอิ่มตัวเบสก็จะสูงขึ้น (รัตนชาติ และบุศรินทร์, 2562)

2.5) ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช (Essential element) ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อพืชทั้ง 17 ธาตุแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ (จีราภรณ์, 2563)

- กลุ่มที่ไม่ใช้แร่ธาตุ ได้แก่ ไฮโดรเจน (H) ออกซิเจน (O) และคาร์บอน (C)

- กลุ่มแร่ธาตุในดิน ได้แก่ ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม (K) ซัลเฟอร์ (S) แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) เหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) โบรอน (B) คลอรีน (Cl) สังกะสี (Zn) ทองแดง (Cu) โมลิบินัม (Mo) และนิกเกิล (Ni) ซึ่งเป็นตัวล่าสุดที่ได้รับการยอมรับ

2.5 การใช้ประโยชน์ที่ดินและสถานการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินภาคเหนือของประเทศไทย

การใช้ประโยชน์ที่ดิน หมายถึง การใช้ประโยชน์ที่ดินในปัจจุบันหรืออนาคต เพื่อตอบสนองความต้องการของมนุษย์ในด้านต่าง ๆ เช่น เกษตรกรรม พาณิชยกรรม อุตสาหกรรม และที่อยู่อาศัย เป็นต้น ดังนั้นการใช้ประโยชน์ที่ดินจึงมีความเปลี่ยนแปลงจากรูปแบบของการใช้ประโยชน์ตามความต้องการของผู้ที่เป็นเจ้าของ หรือผู้ที่ใช้ประโยชน์ที่ดินนั้นๆ เช่น การเปลี่ยนพื้นที่ป่าไม้เป็นพื้นที่เกษตรกรรม หรือเป็นแหล่งน้ำ การเปลี่ยนแปลงพื้นที่เกษตรกรรมเป็นที่อยู่อาศัย หรือเป็นพื้นที่เกษตรกรรม โดยการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวขึ้นอยู่กับ 12 ปัจจัยที่หลากหลาย ได้แก่ ปัจจัยทางกายภาพ ชีวภาพ ปัจจัยทางด้านนโยบายของรัฐ และปัจจัยทางด้านเศรษฐกิจและสังคม เป็นต้น (นิกร, 2555)

การใช้ประโยชน์ที่ดินเกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางเศรษฐกิจและสังคมในชนบทโดยเฉพาะพื้นที่ภูเขา ประชากรที่อาศัยในบริเวณภูเขาได้ทำการบุกรุกพื้นที่ป่าเพื่อแปลงสภาพเป็นพื้นที่อย่างอื่นโดยเฉพาะการเปลี่ยนไปเป็นพื้นที่เกษตร (Göl et al., 2010) การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินหากไม่ได้มีการจัดการอย่างเหมาะสมจะส่งผลต่อสมบัติทางกายภาพ เคมี และชีวภาพอื่นๆ ของดิน และจะทำให้มีการกร่อนของดินที่เพิ่มมากขึ้น (Aghasi et al., 2010) เช่น ความหนาแน่นรวมของดิน และความพรุนรวมของดิน และสมบัติทางเคมี เช่น ความเป็นกรดด่างของดิน ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน และความจุในการแลกเปลี่ยนแคตไอออน จึงกล่าวได้ว่าสมบัติของดินได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินโดยตรง จากการศึกษา การใช้ประโยชน์ที่ดินที่เปลี่ยนแปลงต่อความอุดมสมบูรณ์ของดิน พบว่าพื้นที่ป่ามีปริมาณอินทรียวัตถุสูงกว่าพื้นที่เกษตร และยังมีปริมาณความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนในพื้นที่ป่าสูงกว่าพื้นที่เกษตร (อลงกรณ์ และคณะ, 2563) การวางแผนการใช้ประโยชน์ที่ดิน สามารถกำหนดเขตของที่ดินเพื่อการใช้ทรัพยากรและที่ดินเฉพาะอย่าง ในอันที่จะให้

เกิดผลตอบแทนอย่างยั่งยืน ซึ่งสามารถใช้เป็นรากฐานในการจัดการทัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมในอนาคต (ดลนภาวรรณ, 2557)

สถานการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินภาคเหนือของประเทศไทย ในปี 2564 ภาคเหนือของประเทศไทยประกอบไปด้วย 17 จังหวัด มีพื้นที่ทั้งหมด 106,027,680 ไร่ จำแนกเป็นพื้นที่ป่าไม้ 55,260,471 ไร่ พื้นที่ทำการเกษตร 42,960,774 ไร่ แหล่งน้ำ 1,883,960 ไร่ และพื้นที่ใช้ประโยชน์ที่ดินอื่นๆ 5,922,475 ไร่ สภาพดินเป็นดินร่วนปนดินเหนียวที่เกิดจากตะกอนลำน้ำ มีความอุดมสมบูรณ์ค่อนข้างสูง โดยเฉพาะดินบริเวณลุ่มแม่น้ำต่างๆ มีลุ่มน้ำขนาดใหญ่ 8 น้ำได้แก่ ลุ่มน้ำปิง ลุ่มน้ำวัง ลุ่มน้ำยม ลุ่มน้ำน่าน ลุ่มน้ำสาละวิน ลุ่มน้ำกก ลุ่มน้ำป่าสัก และลุ่มน้ำสะแกกรัง ลำน้ำหลักของภาค ได้แก่ แม่น้ำปิง แม่น้ำวัง แม่น้ำยม และแม่น้ำน่าน (กองนโยบายและแผนการใช้ที่ดิน, 2566)

การใช้ประโยชน์ที่ดินจังหวัดน่าน จังหวัดน่านเป็นจังหวัดที่มีพื้นที่ป่าไม้ที่สำคัญ โดยมีพื้นที่ของจังหวัดทั้งหมด จำนวน 7,170,045 ไร่ พื้นที่ป่าไม้ 4,350,855 ไร่ พื้นที่ทำการเกษตร 2,598,313 ไร่ แหล่งน้ำ 52,798 ไร่ พื้นที่อยู่อาศัยและอื่น ๆ 168,079 ไร่ (กองนโยบายและแผนการใช้ที่ดิน, 2566)

จังหวัดน่านมีประวัติการสูญเสียพื้นที่ป่าไม้มาอย่างยาวนาน สาเหตุหนึ่งมาจากการขยายพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ เนื่องจากมีความต้องการข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มากขึ้นทั้งตลาดในประเทศและต่างประเทศ จึงมีการส่งเสริมให้เกษตรกรจังหวัดน่านปลูกข้าวโพดเพื่อสร้างรายได้ ซึ่งเกษตรกรผู้ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในจังหวัดน่านเกือบทั้งหมดเป็นรายย่อย มีการปลูกในพื้นที่ราบและลาดชัน (สิทธิเดช และเขมรัฐ, 2558) จากการรายงานการสูญหายของพื้นที่ป่าไม้จังหวัดน่านของ สายบัว และศักดิ์ดา (2564) พบว่าจังหวัดน่านสูญเสียพื้นที่ป่าไม้ที่อยู่ในพื้นที่ป่าสงวนแห่งชาติ จากปี พ.ศ. 2507-2554 ประมาณ 1.2 ล้านไร่ คิดเป็น 18 % ของพื้นที่ป่าสงวนแห่งชาติ โดยระหว่างปี พ.ศ. 2530-2548 พบว่าจังหวัดน่านมีพื้นที่ป่าไม้ลดลงเฉลี่ยปีละ 20,300 ไร่ ในขณะระหว่างปี พ.ศ. 2548-2554 จังหวัดน่านมีการลดลงของพื้นที่ป่าไม้เฉลี่ยปีละ 48,600 ไร่ และผลวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงพื้นที่ป่าไม้ในระหว่างปี พ.ศ. 2554-2557 พบว่าพื้นที่ป่าไม้ของจังหวัดน่านยังคงมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องและมีการสูญเสียพื้นที่ป่าไม้มากขึ้นในระหว่างปี พ.ศ. 2557-2558 จากนั้นระหว่างปี พ.ศ. 2558-2561 พื้นที่ป่าไม้ค่อนข้างคงที่อยู่ในช่วง 4.56-4.65 ล้านไร่ หรือประมาณ 69.8-71.2 % ของพื้นที่ป่าสงวนแห่งชาติ ซึ่งการลดลงป่าไม้ในระหว่างปี พ.ศ. 2548-2552 สอดคล้องกับรายงานของ สิทธิเดช และเขมรัฐ (2558) ที่พบว่าในระหว่างปี พ.ศ. 2548-2552 มีการบุกรุกพื้นที่ป่าเพื่อทำการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์จังหวัดน่านเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยในปี พ.ศ. 2548 พื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มีประมาณ 290,000 ไร่ และมีการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องกว่า 800,000 ไร่ในปี พ.ศ. 2552 ในปัจจุบัน

ข้อมูลพื้นที่ปลูกข้าวโพดปี พ.ศ. 2566 มีพื้นที่ 938,899 ไร่ (กองนโยบายและแผนการใช้ที่ดิน, 2566) ในช่วงปี พ.ศ. 2552-2566 มีการเพิ่มขึ้นของพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ประมาณ 130,000 ไร่ ซึ่งเป็นช่วงเดียวกันกับการประชุมมนา “รักษ์ป่าน่าน” ครั้งที่ 1 ซึ่งจัดเมื่อปี พ.ศ. 2557 ปัจจุบันมีเป็นการจัดสัมมนาครั้งที่ 5 เมื่อปี พ.ศ. 2565 โดยส่งผลให้เกิดโครงการน่านแซนบ็อกซ์ (Nan Sandbox) ที่เริ่มขึ้นในปี พ.ศ. 2561 โครงการน่านแซนบ็อกซ์ เป็นโครงการที่รัฐบาลอนุมัติให้ร่วมกันแก้ไขปัญหาด้านทรัพยากรป่าไม้จังหวัดน่าน หากพิจารณาพื้นที่ป่าเมื่อปี พ.ศ. 2560-2565 พบว่ามีการลดลงของพื้นที่ป่าเฉลี่ยประมาณ 4,200 ไร่ต่อปี (กรมป่าไม้, 2565)

เนื่องจากจังหวัดน่านมีข้อจำกัดทางกายภาพ โดยพื้นที่ส่วนใหญ่ร้อยละ 85 ของพื้นที่ทั้งหมดเป็นที่ลาดชัน และแหล่งน้ำชลประทานมีเฉพาะที่ราบเท่านั้น ทำให้เกษตรกรไม่มีทางเลือกมากนัก ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เป็นพืชที่ต้องการน้ำน้อย สามารถปลูกในพื้นที่ลาดชัน และให้ผลผลิตค่อนข้างสูง อีกทั้งยังมีความต้องการของตลาด

1) รูปแบบการเกษตรในภาคเหนือ

1.1) การทำไร่เลื่อนลอย (Shifting cultivate) การทำไร่เลื่อนรอยเกิดจากการบุกรุกพื้นที่ป่า โดยทำการตัดและเผาพืชในพื้นที่ก่อนทำการเพาะปลูก การเผานั้นจะกำจัดพืชเดิมที่เหลืออยู่ในพื้นที่ไปจนหมด ซึ่งทำให้เดินเสื่อมความอุดมสมบูรณ์ จากการที่ประชากรในพื้นที่เพิ่มมากขึ้นความต้องการที่เพิ่มมากขึ้นทำให้มีการบุกรุกพื้นที่ป่าในพื้นที่สูงเพิ่มมากขึ้น (Brookfield, 2007) โดยเมื่อดินเสื่อมโทรมขาดความอุดมสมบูรณ์ เกษตรกรจะทำการย้ายที่ทำกินบุกรุกที่ใหม่เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ โดยขาดการดูแลรักษาพื้นที่ ปล่อยที่ดินเดิมให้รกร้างว่างเปล่า โดยพืชที่นิยมในการเกษตรระบบนี้มักเป็นพืชไร่ที่มีอายุสั้นและมีการจัดการง่าย โดยสามารถปลูกแล้วใช้ระบบน้ำฝนในการเพาะปลูกจนถึงระยะเก็บเกี่ยว เช่น ข้าวไร่ ข้าวโพดและถั่วต่างๆ โดยอาจมีการปลูกผักเพื่อเป็นอาหารและขายเพิ่มเติมอีกด้วย ในการเกษตรระบบนี้จะนิยมจัดการพื้นที่ด้วยการเผาเพื่อกำจัดวัชพืช นับเป็นการใช้ประโยชน์จากความอุดมสมบูรณ์ของธรรมชาติแต่ขาดหลักการในการบำรุงและอนุรักษ์ดิน ทำให้ความอุดมสมบูรณ์ของดินเสื่อมโทรมอย่างรวดเร็ว (จีราภรณ์, 2563)

1.2) ระบบไร่นาส่วนผสม (Mixed/Diversified polyculture farming system) เป็นระบบการเกษตรที่มีกิจกรรมการผลิตหลายๆ อย่าง โดยเฉพาะกิจกรรมในการผลิตพืชจะไม่เน้นการปลุกพืชชนิดเดียวเพื่อตอบสนองต่อการบริโภคหรือรายได้ของเกษตรกรที่มาจากภาคการเกษตร ซึ่งต้องการลดความเสี่ยงจากราคาผลิตผลที่มีความไม่แน่นอน โดยไม่ได้พิจารณาจากการจัดการผลผลิตอย่างเดียว แต่ยังมองถึงเหตุผลของการจัดการเพื่อลดต้นทุนการผลิต และคำนึงถึงสภาพแวดล้อม เช่นการเสื่อมของดินจากการกร่อนของดินการสูญเสียธาตุอาหารจากดิน แนวทางนี้ได้

เริ่มมีขึ้นตั้งแต่ศตวรรษที่ 19 และพัฒนาขึ้นมาเรื่อย ๆ จนอาจจะมีความคล้ายคลึงกับเกษตรผสมผสาน โดยระบบไร่นาสวนผสมนั้นสามารถพัฒนาความรู้ความสามารถของเกษตรกรเพื่อให้เกษตรกรสามารถสร้างกิจกรรมหลายอย่าง เพื่อสอดคล้องกับรายได้และลดต้นทุนในการผลิต (จีราภรณ์, 2563)

1.3) การเกษตรแบบผสมผสาน (Integrated farming system) คือ ระบบเกษตรที่มีการปลูกพืชและมีการเลี้ยงสัตว์หลายชนิดในพื้นที่เดียวกัน โดยกิจกรรมแต่ละชนิดจะต้องเกื้อกูลประโยชน์ต่อกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ เป็นการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ในไร่นา เช่น ดิน น้ำ แสงแดด อย่างเหมาะสมเพื่อก่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดมีความสมดุลของสภาพแวดล้อมและเพิ่มพูนความอุดมสมบูรณ์ของทรัพยากรธรรมชาติ นอกจากนั้นยังมีการเพิ่มพูนความอุดมสมบูรณ์ของทรัพยากรธรรมชาติ ลดลการทำลายสิ่งแวดล้อมทำให้เกษตรกรมีความเป็นอิสสระในการดำรงชีวิต ในมิติของการสร้างความหลากหลายเกษตรผสมผสานถือเป็นลักษณะพื้นฐานของการเกษตรยั่งยืนทุกรูปแบบ โดยเกษตรผสมผสานมีหลักการสำคัญ 2 หลักการ คือ (อาทิตยา, 2562)

- มีกิจกรรมการเกษตรตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป และกิจกรรมทั้งสองชนิดต้องทำในเวลาและสถานที่เดียวกัน มีวัตถุประสงค์เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดมากกว่าให้เกิดกำไรสูงสุด

- เกิดการเกื้อกูลกันอย่างต่อเนื่องระหว่างกิจกรรมพืชกับพืช พืชกับปลา สัตว์กับปลา พืชกับสัตว์ สัตว์กับสัตว์ ซึ่งลักษณะการเกื้อกูลกันของระบบเกษตรผสมผสานทำให้ต้นทันการผลิตลดลง หรือที่เรียกว่าเป็นการประหยัดทางขอบข่าย (Economy of scale) และลดการพึ่งพิงปัจจัยจากภายนอกในที่สุด

1.4) การเกษตรแบบปฏิวัติเขียว (Green revolution) การปฏิวัติเขียวเกิดในช่วง ค.ศ.1960 (พ.ศ. 2503) เข้าสู่ประเทศแถบเอเชียตั้งแต่สงครามโลกครั้งที่ 2 ยุติ โดยประเทศผู้ชนะสงครามได้นำการเกษตรกรรมที่ในยุคนั้นเรียกว่า “เกษตรกรรมแผนใหม่” ที่เน้นการใช้สารเคมีสังเคราะห์ โดยเข้ามาสู่ประเทศญี่ปุ่นก่อนได้แพร่ต่อไปยังประเทศพันธมิตร เช่นเกาหลีใต้ ฟิลิปปินส์ อินโดนีเซีย มาเลเซียและไทย เป็นต้น การปฏิวัติเขียวเป็นการใช้ความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์การเกษตรและเทคโนโลยีในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตสินค้า เช่น การใช้พันธุ์พืชและพันธุ์สัตว์ที่ให้ผลผลิตสูงหรือพันธุ์ลูกผสม (Hybrid variety) การใช้เครื่องมือจักรกลทางการเกษตร (Mechanization) เพื่อไถพรวนได้ลึกมากขึ้นทดแทนแรงงานจากสัตว์ การใช้สารเคมีทางการเกษตร จำพวกปุ๋ยเคมี สารเคมีกำจัดศัตรูพืชและฮอร์โมนพืชสังเคราะห์ ฯลฯ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้ผลผลิตที่สูงขึ้นในการลงทุนที่เท่าเดิมระยะเวลาเท่าเดิม (จีราภรณ์, 2563)

1.5) การเกษตรแบบครบวงจร (Integrated agriculture) ระบบเกษตรครบวงจร คือ การทำการเกษตรที่เมื่อได้ผลผลิตแล้ว สามารถจัดการนำผลผลิตออกขายหรือมีผู้ที่รับซื้อแน่นอน

โดยระบบการเกษตรแบบนี้เกษตรกรสามารถเริ่มกิจกรรมเองตั้งแต่ระยะเพาะกล้า จนกระทั่งได้ผลผลิต โดยอาศัยการจัดการที่ใช้เครื่องมือเครื่องจักรกลและเทคโนโลยีทันสมัยมาปรับเปลี่ยนวิธีการจัดการแบบดั้งเดิมในการประกอบกิจกรรมเพาะปลูก แล้วมีการจัดการทางการตลาดเพื่อการค้าเชิงพาณิชย์ มีการส่งออกทั้งในและต่างประเทศเป็นไปอย่างครบวงจรทั้งการผลิตและการขาย รวมถึงการแปรรูปผลผลิตที่ได้ (จีราภรณ์, 2563)

1.6) เกษตรธรรมชาติ (Nature farming) เกษตรธรรมชาติ เป็นระบบเกษตรที่คำนึงถึงระบบนิเวศและสภาพแวดล้อม มีหลายแนวคิดที่รู้จักกันอย่างพร่หลายเช่น แนวความคิดของมาซาโนบุ ฟุกูโอกะ แนวคิดเกษตรธรรมชาติคิวเซของโมกิจิ โดกาดะ และแนวคิดเกษตรธรรมชาติเกาหลีของฮาน คิว โช โดยส่วนใหญ่แนวคิดของเกษตรธรรมชาติจะมีหลักการที่คล้ายคลึงกันคือ การไม่ไถพรวนดิน ไม่ใส่ปุ๋ยเคมี ไม่กำจัดวัชพืช ใช้การคลุมดิน ใช้พลังงานจากสิ่งต่างๆ ที่มีอยู่ในธรรมชาติ และให้ความสำคัญกับดินเป็นอันดับแรกด้วยการปรับปรุงดินให้มีพลังในการเพาะปลูก เหมือนกับดินในป่าที่มีความอุดมสมบูรณ์ตามธรรมชาติ โดยการนำทรัพยากรที่มีอยู่มาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด ซึ่งเป็นวิธีการที่ไม่ก่อให้เกิดผลเสียต่อสภาพแวดล้อม โดยไม่เป็นอันตรายต่อเกษตรกรและผู้บริโภค สามารถให้ผลผลิตที่มีทั้งปริมาณและคุณภาพ ถือได้ว่าเป็นระบบเกษตรที่มีความยั่งยืนมั่งคง (อานัฐ, 2556)

1.7) เกษตรอินทรีย์ (Organic farming) เกษตรอินทรีย์ คือการทำการเกษตรด้วยหลักธรรมชาติ บนพื้นที่การเกษตรที่ไม่มีสารพิษ ตกค้างและหลีกเลี่ยงจากการปนเปื้อนของสารเคมีทางดิน ทางน้ำ และทางอากาศเพื่อส่งเสริมความอุดมสมบูรณ์ของดิน ความหลากหลายทางชีวภาพในระบบนิเวศน์และการฟื้นฟูสิ่งแวดล้อมให้กลับคืนสู่สมดุลธรรมชาติโดยไม่ใช้สารเคมีสังเคราะห์หรือสิ่งที่ได้มาจากการตัดต่อพันธุกรรม ใช้ปัจจัยการผลิตที่มีแผนการจัดการอย่างเป็นระบบในการผลิตภายใต้มาตรฐานการผลิตเกษตรอินทรีย์ให้ได้ผลผลิตสูงอุดมด้วยคุณค่าทางอาหารและปลอดสารพิษ โดยมีต้นทุนการผลิตต่ำเพื่อคุณภาพชีวิตและเศรษฐกิจพอเพียง (สมคิด และคณะ, 2556)

1.8) การเกษตรแบบยั่งยืน (Sustainable agricultural system) ระบบการเกษตรแบบยั่งยืนนั้นเป็นระบบการเกษตรที่มีหลักการหลายๆ ด้วนรวมกันเพื่อให้ได้ผลประโยชน์ต่อทุกส่วน ไม่ว่าจะเป็นเกษตรกร หรือผู้ผลิต ผู้บริโภค และสิ่งแวดล้อม โดยมองถึงสมดุลที่เกิดขึ้นในระบบระยะยาว ไม่ทำให้ทุกๆ ด้านมีผลกระทบทางด้านลบ บางครั้งจะพบว่ามีการเรียกระบบเกษตรแบบนี้ว่า ระบบเกษตรกรรมทางเลือก (Alternative agriculture) และระบบเกษตรถาวร (Permanent agriculture) ซึ่งในประเทศไทยมีการส่งเสริมมาไม่น้อยกว่า 30 ปี แล้ว ซึ่งระบบการเกษตรแบบยังยืนครอบคลุมระบบเกษตรเกือบทุกด้านไม่ว่าจะเป็นไร่เลื่อนลอย เกษตรผสมผสาน ไร่นาป่าผสม เกษตร

ธรรมชาติ เกษตรอินทรีย์ หรือการใช้เทคโนโลยีใหม่ๆ (Smart farming) เข้ามาพัฒนาเพื่อให้ได้ผลผลิตพืชที่เพิ่มมากขึ้น (จีราภรณ์, 2563)

1.9) การเกษตรด้านเทคโนโลยีชีวภาพ (Agricultural biotechnology) ระบบเกษตรในปัจจุบันได้ก้าวหน้าไปพร้อม ๆ กับการวิจัยและตอบสนองต่อการเปลี่ยนของโลกรวดเร็วมาก ทั้งนี้เพื่อตอบสนองความต้องการของอาหารที่มาควบคู่กับจำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้นของโลกในแต่ละปี ดังนั้นการพัฒนาระบบการผลิตอาหารของโลก ไม่ว่าจะเป็นการเริ่มนำเทคนิคการสร้างพันธุ์พืช สัตว์และจุลินทรีย์ด้วยวิธีการตัดแต่งพันธุกรรม (Genetically modified organism; GMO) เพื่อให้ได้สายพันธุ์ใหม่ที่ทนโรคและแมลง หรือให้ผลผลิตที่สูงขึ้นจึงเป็นแนวทางที่ทำกันมาไม่น้อยกว่า 30 ปี แล้ว ซึ่งการนำเทคโนโลยีดังกล่าวมาใช้ในการเกษตรมีทั้งข้อดีและข้อเสีย โดยมีการโต้แย้งไปมาระหว่างกลุ่มที่สนับสนุนและกลุ่มที่ต่อต้าน สำหรับประเทศไทยยังไม่มีกฎหมายหรืออนุญาตให้ใช้เทคโนโลยีการตัดแต่งพันธุกรรมในพืชและสัตว์กับการเกษตร (จีราภรณ์, 2563)

2.6 ป่าไม้ของประเทศไทยและสถานการณ์ป่าไม้ในประเทศไทย

ป่าไม้ คือ “พื้นที่ปกคลุมของพืชพรรณที่สามารถจำแนกได้ว่าเป็นไม้ยืนต้น ปกคลุมเป็นผืนต่อเนื่องขนาดไม่น้อยกว่า 3.125 ไร่ และรวมถึงทุ่งหญ้า และลานหินที่มีอยู่ตามธรรมชาติที่ปรากฏล้อมรอบด้วยพื้นที่ที่จำแนกได้ว่าเป็นพื้นที่ป่าไม้ โดยไม่รวมสวนยูคาลิปตัส พื้นที่วนเกษตร สวนผลไม้ สวนยางพารา และสวนปาล์ม” (มูลนิธิสืบนาคะเสถียร, 2565) ปัจจัยที่มีทธิพลก่อให้เกิดป่าและสังคมพืชชนิดต่างๆ ในประเทศไทย ไม่ได้เกิดจากปัจจัยใดปัจจัยหนึ่งโดยเฉพาะ แต่เกิดจาการปัจจัยหลายๆ ปัจจัย ซึ่งปัจจัยสำคัญที่ก่อให้เกิดป่าหรือสังคมพืชชนิดต่างๆ ในประเทศไทย (ธวัชชัย, 2549) มีดังนี้

1) ดินฟ้าอากาศ (Climatic) โดยเฉพะฤดูกาลและปริมาณของฝนเฉลี่ยรายปี ตลอดจนการกระจายของฝน ในแต่ละปี เนื่องจากประเทศไทยตั้งอยู่ในแนวเขตที่มีการแบ่งแยกฤดูกาลระหว่างฤดูฝนและฤดูแล้งชัดเจน (Seasonal) ทำให้ป่าส่วนใหญ่ของภาคกลาง ภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เป็นป่าชนิดที่ผลัดใบ (Deciduous forest) ในฤดูแล้ง แทบทั้งสิ้น ยกเว้นบริเวณพื้นที่หุบเขาชุ่มชื้น พื้นที่ริมธารน้ำ แม่น้ำที่มีความชุ่มชื่นตลอดทั้งปี ป่าที่ขึ้นจะเป็นป่าชนิด ป่าไม่ผลัดใบ (Evergreen forest) ส่วนพื้นที่ภาคใต้และภาคตะวันออกเฉียงใต้ จะเป็นป่าไม่ผลัดใบ (Evergreen forest) หากมีฝนตกชุกและมีช่วงฤดูแล้งสั้นจะเป็นป่าดิบชื้น (Tropical evergreen rain forest) หากมีฤดูแล้งชัดเจน จะมีไม้ผลัดใบ (Deciduous tree) ขึ้นแทรกกระจายอยู่ในไม้ไม่ผลัดใบ (Evergreen tree)

2) ชนิดของดินหิน (Edaphic) บริเวณที่ดินมีความอุดมสมบูรณ์ เก็บความชุ่มชื้นไว้ได้มากหรือน้อยตลอดทั้งปี จะเป็นปัจจัยกำหนดชนิดป่าที่ขึ้นอยู่แตกต่างไปได้อย่างมาก หากพื้นที่มีดินที่ค่อนข้างอุดมสมบูรณ์ก็จะเป็นป่าเบญจพรรณหรือป่าผลัดใบผสม (Mixed deciduous forest) โดยเฉพาะบริเวณที่พบหินปูน (Limestone) มักจะพบไม้สักขึ้นเป็นกลุ่มๆ บริเวณที่เป็นดินทราย ดินปนลูกรัง มักจะเป็นป่าเต็งรัง ป่าแดง หรือป่าแพะ (Deciduous dipterocarp forest)

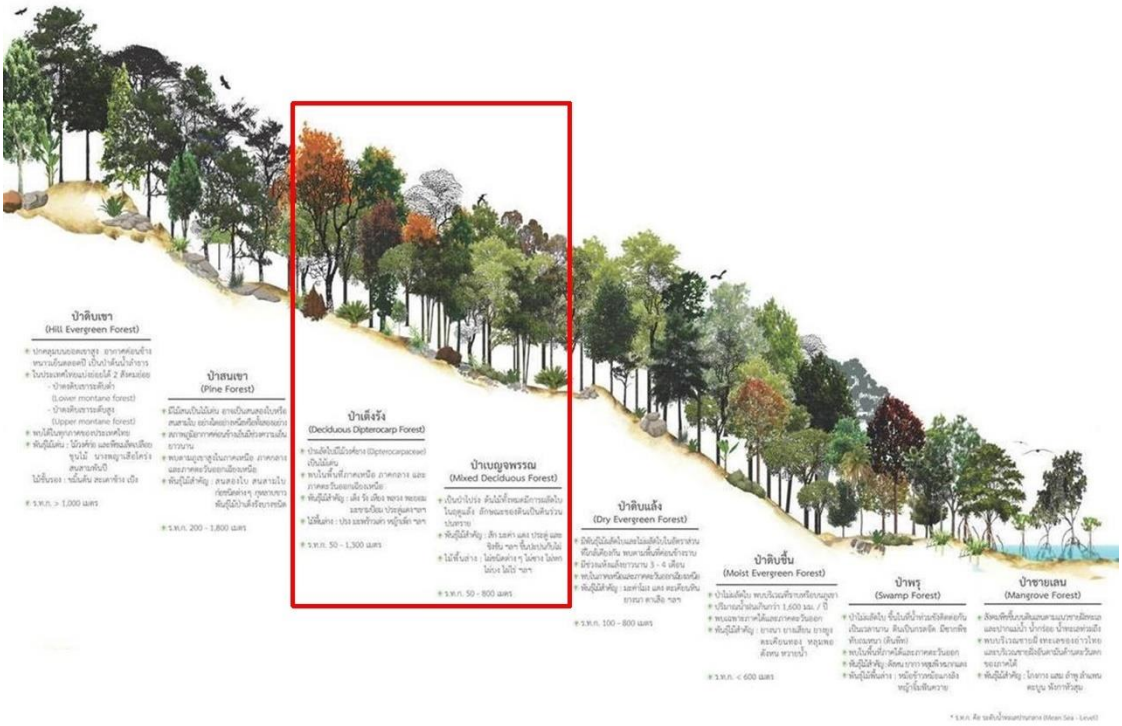
3) ระดับความสูง (Elevation) มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิ (Temperature) และความชุ่มในอากาศ (Atmospheric humidity) ภูเขาในเขตร้อนจะมีอุณหภูมิลดลง โดยเฉลี่ย 0.4-0.7 องศาเซลเซียส ต่อระดับความสูงที่เพิ่มขึ้น 100 เมตร ป่าบริเวณภูเขาสูงประมาณ 1,900-2,565 เมตร จะอยู่มนแนวเขตปกคลุมของเมฆหมอกเกือบตลอดปี บางครั้งเรียกป่าในเขตนี้ว่า “ป่าเมฆ” หรือ “Cloud forest” ป่าส่วนใหญ่จะเป็นป่าไม่ผลัดใบ (Evergreen forest)

4) ปัจจัยชีวภาพ (Biotic factors) ได้แก่ ป่าที่เกิดขึ้นจากมนุษย์ที่ก่อให้เกิดผลกระทบโดยตรงหรือทางอ้อม ไฟป่าที่เกิดขึ้นประจำปีในช่วงฤดูแล้งส่วนใหญ่เกิดจากการเผาไร่นา หรือจุดเผาพืชพื้นล่างในป่า ไฟป่าเกิดขึ้นโดยเฉพาะในป่าผลัดใบ ทำให้เกิดป่าผลัดใบผสมหรือป่าเบญจพรรณและป่าเต็งรังขึ้น ไฟป่าจัดเป็นปัจจัยที่สำคัญที่ทำให้ชนิดป่าและสังคมป่าเปลี่ยนแปลงได้ ถ้าหากป้องกันไฟป่าได้ติดต่อกันนานหลายปีชนิดพรรณไม้และลักษณะโครงสร้างในป่าผลัดใบดังกล่าวจะเปลี่ยนไป

ประเทศไทยประกอบด้วยป่าชนิดต่างๆ หลายชนิด จำแนกออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ ป่าไม่ผลัดใบ (Evergreen forest) และป่าผลัดใบ (Deciduous forest) (กรมป่าไม้, 2552)

1) ป่าไม่ผลัดใบ คือ ป่าที่มีเรือนยอดดูเขียวชอุ่มตลอดปี เนื่องจากต้นไม้แทบทั้งหมดที่ขึ้นเป็นประเภทไม่ผลัดใบ ได้แก่ ป่าดิบชื้น (Tropical rain forest) ป่าดิบแล้ง (Dry evergreen forest) ป่าดิบเขา (Hill evergreen forest) ป่าสน (Pine forest) ป่าพรุ (Fresh-water swamp forest) ป่าชายเลน (Mangrove forest) และป่าชายหาด (Beach forest)

2) ป่าผลัดใบ คือ เป็นป่าที่มีองค์ประกอบพืชพรรณเป็นพรรณไม้ผลับใบ พบทั่วไปในทุกภาคที่มีช่วงฤดูแล้งยาวนาน ได้แก่ ป่าเบญจพรรณหรือป่าผลัดใบผสม (Mixed deciduous forest) ป่าเต็งรัง ป่าแพะ ป่าแดง หรือป่าโคก (Dry dipterocarp forest) และป่าหญ้า (Savanna forest)



ภาพที่ 1 ป่าไม้ในประเทศไทย

ที่มา: สำนักวิจัยการอนุรักษ์ป่าไม้และพันธุ์พืช (2559)

สถานการณ์ป่าไม้ในประเทศไทยปี พ.ศ. 2565 ประเทศไทยมีพื้นที่ที่มีสภาพป่าไม้เพียงร้อยละ 31.57 ของพื้นที่ประเทศไทย หรือคิดเป็น 102,135,974.96 ไร่ ซึ่งลงจากปี พ.ศ. 2564 ประมาณร้อยละ 0.02 คิดเป็น 76,459.41 ไร่ อย่างไรก็ตามจากรายงานสถานการณ์ป่าไม้ของประเทศไทยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2556–2565 พบว่า มีอัตราการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ป่าไม้ค่อนข้างจะคงที่ และในช่วง 5 ปีที่ผ่านมาจนถึงปัจจุบันพื้นที่ป่าไม้ของไทยมีการลดลงต่อเนื่อง สาเหตุสำคัญที่ทำให้พื้นที่ป่าไม้ลดลง ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน (Land Use Change) การเกิดจากปัญหาไฟป่า (Forest Fire) หรือการบุกรุกทำลายป่า เป็นต้น (มูลนิธิสืบนาคะเสถียร, 2565)

2.7 ป่าฟื้นฟู

ป่าฟื้นฟู คือ ป่าที่ได้รับการฟื้นตัวของระบบนิเวศป่าไม้หลังจากได้รับการรบกวนจนเกิดความเสียหาย เมื่อเกิดการฟื้นตัวแล้วป่าจะกลับมาสมบูรณ์ดังเดิม การฟื้นฟูป่าส่วนใหญ่มักจะมีกระบวนการคล้ายคลึงกับกระบวนการทดแทนตามธรรมชาติ ดังนั้นชนิดไม้จะสามารถตั้งตัวได้ในพื้นที่ฟื้นฟูต้องสามารถทนทานต่อปัจจัยแวดล้อมที่รุนแรงของพื้นที่เสื่อมโทรมได้ เช่น สภาพภูมิอากาศ ความเข้มแสง และดินที่มีคุณภาพต่ำ ซึ่งความทนทานเหล่านี้เป็นเสมือนตัวกรองที่บ่งชี้ถึงความทนทานทางนิเวศของ

ไม้แต่ละชนิดที่จะนำไปใช้ในการฟื้นฟูป่า (อนุสรณ์, 2564) ในการฟื้นฟูป่าไม่สามารถที่จะปลูกพืชทุกชนิดหรือนำสัตว์ทุกชนิดที่เคยมีอยู่ในพื้นที่กลับมาพร้อม ๆ กันได้ทีเดียว เนื่องจากในพื้นที่ส่วนใหญ่ยังไม่มีข้อมูลที่สมบูรณ์เกี่ยวกับชนิดของพรรณไม้และสัตว์ต่าง ๆ ที่เคยอาศัยอยู่ การฟื้นฟูป่าจึงมุ่งเน้นที่จะสนับสนุนกระบวนการพัฒนาตัวเองของระบบนิเวศป่าด้วยการฟื้นฟูโครงสร้างและการทำงานของระบบนิเวศโดยการปลูกพืชของระบบนิเวศดั้งเดิม (หน่วยวิจัยการฟื้นฟูป่า, 2549)

2.7.1 เทคนิคการฟื้นฟูป่า

การฟื้นฟูป่าเกี่ยวข้องกับสภาพของป่าเดิม กล่าวคือพื้นที่ที่ต้องการฟื้นฟูเคยเป็นป่าแบบใดมาก่อนจะช่วยให้สามารถเลือกชนิดไม้ที่จะปลูกและวิธีการจัดการที่เหมาะสมได้ดีขึ้น อย่างไรก็ตามถ้าพื้นที่ดังกล่าวถูกทำลายมาหลายสิบปีแล้ว การดูว่าป่าดั้งเดิมเป็นป่าชนิดใดอาจทำได้ยาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้ามีไม้เหลืออยู่พียงไม่กี่ต้น โดยป่าแต่ละชนิดมีสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน บางครั้งจึงต้องปรับเปลี่ยนวิธีการจัดการ เพื่อให้การฟื้นฟูป่ามีประสิทธิภาพสูงสุด (หน่วยวิจัยการฟื้นฟูป่า, 2549) โดยเทคนิคการฟื้นฟูป่ามี 6 เทคนิคดังนี้ (อนุสรณ์, 2564)

1) การใช้แม่ไม้ที่เหลืออยู่ (Remnant adult trees) พื้นที่เกษตรจำนวนมากยังมีต้นไม้ใหญ่ขึ้นปกคลุมอาจเป็นต้นเดี่ยว ๆ เป็นแนวรั้ว หรือเป็นกลุ่ม บางส่วนของไม้เหล่านี้เหลือมาจากป่งดั้งเดิมที่ไม่ถูกตัดออกหรือหย่อมป่า (forest patches) หรือบางส่วนถูกปลูกโดยเกษตรกรเอง

2) การปลูกด้วยเมล็ดโดยตรง (Direct seed planting) วิธีนี้เป็นการแก้ปัญหาอัตราการกระจายเมล็ดต่ำ โดยการนำเมล็ดไปปลูกโดยตรงอาจจะใช้การหว่าน ชนิดที่สามารถปลูกจากเมล็ดโดยตรงในพื้นที่ป่าเสื่อมโทรม ชนิดไม้ที่ถูกคัดเลือกควรมีลักษณะที่สำคัญ คือ การผลิตเมล็ดได้มาก โตเร็วในระยะแรก มีเมล็ดขนาดใหญ่ มีรากแก้วในระยะแรก และเมล็ดมีอัตราการงอกสูง

3) การปลูกเป็นหย่อม (Patched planting) ในการเร่งการทดแทนเพื่อเพิ่มลักษณะโครงสร้างของป่า การปลูกไม้เป็นหย่อมเล็ก ๆ ช่วยในการเกาะกลุ่มของหมู่ไม้ เมื่อไม้ยืนต้นโตสัตว์ต่างๆ เช่น นก ช่วยในการกระจายพันธุ์ตามธรรมชาติ

4) การปลูกเป็นผืนโดยใช้ไม้หลายชนิด (Mixed species planting) การปลูกไม้แบบนี้ต้องมีการปลูกอย่างประณีต โดยปลูกหลากหลายชนิดทั้งไม้ยืนต้นและไม้พื้นล่าง เพื่อเร่งการฟื้นฟู การทำงานของระบบนิเวศ ควรเลือกเป็นชนิดป่าโตเร็วที่สามารถช่วยควบคุมวัชพืชได้

5) การช่วยเหลือการเจริญทดแทนตามธรรมชาติ มีองค์ประกอบ 4 ส่วน คือ

5.1) การกำหนดตำแหน่งเพื่อสนับสนุนให้มีการเจริญทดแทน โดยเฉพาะบริเวณที่มีพืชหรือกล้าไม้บดบังโดยกลุ่มของหญ้า ซึ่งในพื้นที่ตรงนี้เราจำเป็นต้องทำการกำจัดหญ้าออก

5.2) การบำรุงรักษา อาจใช้วิธีการทางวนวัฒนวิทยาเข้ามาช่วย เช่น การกำจัดวัชพืชเป็นวงแหวน และเพิ่มธาตุอาหารในดินโดยใช้วัชพืชคุมดิน

5.3) การปลูกไม้เสริม ในกรณีที่มีพื้นที่ว่างขนาดใหญ่ระหว่างต้นไม้ตามธรรมชาติ เราควรปลูกเสริมเข้าไป อาจปลูกเป็นกลุ่ม หรือเป็นแถบ ตามลักษณะพื้นที่

5.4) การป้องกัน คือ ทำแนวกันไฟ ไม่นำสัตว์เลี้ยงเข้าไปรบกวน

6) การปลูกสร้างสวนป่า (Forest plantation) เป็นกลยุทธ์ทางวนวัฒนวิธีเพื่อฟื้นฟูป่าเสื่อมโทรม ซึ่งต้องมีการวางแผนที่ดีเกี่ยวกับการคัดเลือกพื้นที่ที่เหมาะสม มีสมบัติของดินที่เหมาะสมต้องมีเมล็ดเพียงพอ มีการออกแบบการปลูกและการจัดการที่ดี ซึ่งมีกลยุทธ์ดังนี้

6.1) การปลูกป่าเชิงเดี่ยว (Mono species planting) คือ การปลูกไม้ชนิดเดี่ยวเพื่อเพิ่มพูนโครงสร้าง มวลชีวภาพ ผลผลิตเนื้อไม้ โดยส่วนใหญ่เป็นไม้ที่มีค่าทางเศรษฐกิจ บางครั้งเป็นไม้ต่างถิ่นมากกว่าไม้ในท้องถิ่นและเป็นที่ต้องการของชุมชน โดยชนิดไม้โตเร็วต้องมีความทนทานต่อสภาพของพื้นที่ด้วย

6.2) การปลูกป่าผสมผสาน (Mixed species planting) คือ การปลูกไม้หลายชนิดในการปลูกไม้ผสมผสานหลายชนิดจะดีกว่าการปลูกไม้ชนิดเดียวแต่มักมีปัญหาในการแก่งแย่งกัน

2.7.2 การฟื้นฟูป่าด้วยวิธีพรรณไม้โครงสร้าง

วิธีพรรณไม้โครงสร้างเริ่มใช้ครั้งแรกในการฟื้นฟูป่าฝนเขตร้อนทางตอนเหนือของรัฐควีนส์แลนด์ (Goosem and Tucker, 1995) ในปัจจุบันได้ถูกปรับปรุงเพื่อนำมาใช้กับการฟื้นฟูป่าเขตร้อนซึ่งถูกทำลายในเขตอนุรักษ์ทางภาคเหนือของประเทศไทย (หน่วยวิจัยการฟื้นฟูป่า, 2549)

กลไกการทำงานของพรรณไม้โครงสร้าง ทำการคัดเลือกต้นไม้ 20-30 ชนิดแล้วนำมาปลูกลงในพื้นที่และได้รับการดูแลอย่างใกล้ชิดช่วง 2 ปีแรก ต้นไม้ที่ปลูกต้องสามารถเจริญเติบโตได้รวดเร็วและบดบังแสงทำให้วัชพืชไม่สามารถเติบโตได้ และทำให้เกิดโครงสร้างป่าที่ประกอบด้วยเรือนยอดหลายๆชั้น นอกจากนี้ต้นไม้เหล่านั้นจะต้องฟื้นฟูกระบวนการต่างๆ ในระบบนิเวศ เช่น วัฏจักรของธาตุอาหาร และทำให้สภาพพื้นที่มีความเหมาะสมต่อการงอกและการเจริญเติบโตของกล้าไม้ธรรมชาติ โดยทำให้พื้นที่ร่มและชื้นมากขึ้น ซึ่งพื้นที่ป่าที่ชื้นปกคลุมด้วยเศษซากใบไม้ที่อุดมไปด้วยสารอาหารและปราศจากวัชพืชนี้ เหมาะสมสำหรับกล้าไม้ธรรมชาติจะกลับมางอกและเจริญเติบโตใน

พื้นที่ ต้นไม้ 20-30 ชนิดที่ปลูกนั้นเป็นเพียงส่วนเล็กๆ ของสังคมพืชในป่าเขตร้อนเท่านั้น เพื่อให้พื้นที่ฟื้นฟูกลับมีความหลากหลายใกล้เคียงกับป่าดั้งเดิม สัตว์ป่าต้องนำเมล็ดพันธุ์ของต้นไม้ชนิดต่างๆ เข้ามา เมื่อสัตว์ป่านำเมล็ดเข้ามาในแปลงปลูก และกล้าไม้ในรุ่นสองที่สัตว์นำเข้ามาจะทำให้การฟื้นฟูป่าสมบูรณ์ และได้ป่าที่ใกล้เคียงกับสภาพเดิม

1) ลักษณะของพรรณไม้โครงสร้าง ต้นไม้ที่จะนำมาใช้เป็นพรรณไม้โครงสร้างนั้นต้องมีคุณลักษณะดังนี้

1.1) อัตรารอดตายสูง เมื่อปลูกในพื้นที่เสื่อมโทรม

1.2) โตเร็ว

1.3) มีทรงพุ่มที่หนา กว้าง สามารถบดบังแสงแดด ทำให้วัชพืชเติบโตไม่ได้

1.4) ออกดอกติดผล หรือให้ทรัพยากรที่ดึงดูดสัตว์ป่าได้ตั้งแต่อายุน้อยๆ พรรณไม้โครงสร้างยังต้องสามารถปลูกและดูแลได้ง่ายในเรือนเพาะชำ ต้นไม้ที่ไม่สามารถเพาะได้ไม่อาจนำมาใช้ในการปลูกป่าได้

2) การปลูกพรรณไม้โครงสร้าง การฟื้นฟูป่าด้วยพรรณไม้โครงสร้างแต่ละที่จะปลูกพรรณไม้ 20-30 ชนิด ปนกันแบบสุ่มไม่ต้องเป็นแถวด้วยระยะห่างระหว่างต้นเฉลี่ย 1.8 m จะได้ประมาณ 500 ต้นต่อไร่ ในพื้นที่ที่มีกล้าไม้ธรรมชาติอยู่บ้างแล้วจำนวนต้นไม้ที่ปลูกอาจจะลดลงตามสัดส่วน

3) การจัดการพื้นที่หลังการปลูก ในระยะแรกของการปลูกต้องมีการกำจัดวัชพืชเพื่อลดการแข่งขันระหว่างพืชกับต้นไม้ที่ปลูก ต้นไม้จะได้รับปุ๋ยเพื่อเร่งการเจริญเติบโตและรุ่นระยะเวลาสำหรับการสร้างเรือนยอดที่ปิดทึบและบดบังวัชพืชไม่ให้ได้รับแสง กล้าไม้ธรรมชาติในพื้นที่มีความสำคัญและต้องได้รับการดูแลเช่นเดียวกับไม้ที่ปลูก

4) ข้อจำกัดของวิธีพรรณไม้โครงสร้าง วิธีพรรณไม้โครงสร้างเป็นวิธีที่ต้องอาศัยปัจจัยเอื้ออำนวยหลายอย่าง ได้แก่ แหล่งเมล็ดพันธุ์จากพื้นที่ป่าธรรมชาติใกล้ๆ และสัตว์ที่ช่วยกระจายเมล็ด หากพื้นที่ที่ต้องการฟื้นฟูขาดปัจจัยสำคัญเหล่านี้ การฟื้นตัวตามธรรมชาติในแปลงปลูกพรรณไม้โครงสร้างย่อมไม่อาจเกิดขึ้นได้ และต้องปลูกต้นไม้บางชนิดเพิ่มเติม

2.8 คาร์บอนการสะสมคาร์บอนในดิน

คาร์บอนเป็นธาตุอันดับที่ 14 มีอิเล็กตรอนรวม 14 ตัว โดยเป็นอิเล็กตรอนวงนอกสุดหรือเวเลนซ์อิเล็กตรอนจำนวน 4 ตัว ซึ่งทำให้มันสามารถจับคู่กับอะตอมอื่นโดยใช้อิเล็กตรอนร่วมกันได้ 4 พันธะ คาร์บอนปรากฏในสิ่งมีชีวิตทุกชนิด และเป็นพื้นฐานของอินทรีย์เคมี นอกจากนี้ อโลหะนี้มีสมบัติทางเคมีที่น่าสนใจ คือ สามารถทำพันธะกับตัวเอง และธาตุอื่น ๆ เป็นจำนวนมาก เกิดได้เป็น

สารประกอบเกือบ 10 ล้านกว่าชนิด เมื่อรวมกับออกซิเจน จะเกิดเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งจำเป็นอย่างยิ่งต่อการเจริญเติบโตของพืช คาร์บอนพบมากที่สุดในชั้นหินต่างๆ รองลงมาคือ ตะกอนที่อยู่ในรูปฟอสซิล มหาสมุทรลึก ดิน บรรยากาศ พื้นผิวมหาสมุทร และพืชพรรณ ตามลำดับ มหาสมุทรกักเก็บได้ $3.8x10^{13}$ เมตริกตัน พื้นดินกักเก็บได้ $2.0x10^{12}$ เมตริกตัน ขณะที่บรรยากาศกักเก็บคาร์บอนได้ $7.2x10^{11}$ เมตริกตัน (จามร, 2556) การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเป็นสาเหตุหลักที่ส่งผลให้เกิดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งจากกิจกรรมของมนุษย์ ก๊าซเรือนกระจกมีหลายชนิดแต่ที่เป็นตัวการหลักๆ ที่ทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเฉลี่ยของโลก ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ก๊าซมีเทน (CH_4) และ ไนตรัสออกไซด์ (N_2O) (ชโลธร, 2555)

2.8.1 วัฏจักรคาร์บอน

ในระบบโลก คาร์บอนสะสมอยู่ในหิน ตะกอน มหาสมุทรและแหล่งน้ำน้ำจืด ดินและบรรยากาศ สิ่งมีชีวิตทุกชนิดล้วนมีธาตุคาร์บอน (C) เป็นองค์ประกอบหลัก การหมุนเวียนของธาตุคาร์บอนในระยะสั้น เริ่มจากการสังเคราะห์แสงของพืชบนบก และพืชในน้ำ เช่น สาหร่ายและแพลงก์ตอน เป็นต้น โดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นวัตถุดิบตั้งต้น ร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์ ผลผลิตที่ได้จะถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของพลังงานเคมี คือ คาร์โบไฮเดรต ในรูปของน้ำตาล การเคลื่อนย้ายของคาร์บอนและพลังงานเป็นตามห่วงโซ่อาหาร กล่าวคือ เมื่อสัตว์กินพืชและสัตว์กินสัตว์ ต่อเนื่องกันเป็นลำดับ เช่น กวางกินหญ้า และสิงโตกินกวาง เป็นต้น เมื่องสิ่งมีชีวิตมีการหายใจ ธาตุคาร์บอนที่อยู่ในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ก็จะถูกปลดปล่อยกลับสู่บรรยากาศอีกครั้ง นอกจากนี้เมื่อครั้งสิ่งมีชีวิตตายลงก็จะถูกราและแบคทีเรีย ย่อยสลายกลายเป็นดินในรูปของอินทรียวัตถุในดินต่อไป วัฏจักรคาร์บอนจึงเป็นกระบวน การถ่ายโอนคาร์บอนระหว่างสิ่งมีชีวิตทั้งพืชและสัตว์ บรรยากาศ ดิน และน้ำและมหาสมุทร คาร์บอนจึงเป็นพื้นฐานสำคัญของทุกชีวิต (วัฒนา, 2554)

2.8.2 คาร์บอนในดินและการสะสม

คาร์บอนในดินมีการกำเนิดมาจากมวลชีวภาพของพืชผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสงในการเปลี่ยน รูปอินทรีย์คาร์บอนในบรรยากาศมาเก็บไว้ในรูปของอินทรีย์คาร์บอนในมวลชีวภาพ เมื่อส่วนต่างๆ ของพืชร่วงหล่นและถูกย่อยสลายโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินจะกลายเป็นอินทรีย์คาร์บอนสะสมไว้ในดิน ซึ่งรวมไปถึงสารอินทรีย์ที่พืชปลดปล่อยออกมาทางรากพืช เซลล์ของจุลินทรีย์ที่ตายแล้วและสารที่จุลินทรีย์สังเคราะห์ขึ้นมาใหม่ การกักเก็บคาร์บอนไว้ในดินดังกล่าวเรียกว่า “การกักเก็บคาร์บอน” (Carbon sequestration) ซึ่งจัดว่าเป็นหนึ่งในแนวทางการจัดการคาร์บอนเพื่อลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศโดยเก็บสะสมไว้ในดินในรูปของอินทรีย์

คาร์บอนที่สลายตัวยาก จากการศึกษาคาร์บอนในดินส่วนใหญ่ในช่วงเวลาที่ผ่านมา พบว่า การศึกษาเน้นหนักในการนำคาร์บอนไปใช้ประโยชน์ด้านความอุดมสมบูรณ์ของดินและการปรับปรุงดินเป็นหลัก คาร์บอนในดินส่วนใหญ่อยู่ในรูปของสารประกอบฮิวมัสซึ่งเป็นคาร์บอนที่เสถียรเนื่องจากมีโครงสร้างที่ซับซ้อนจึงย่อยสลายยาก และส่วนน้อยที่พบในรูปคาร์บอนอนินทรีย์ เช่น สารประกอบคาร์บอเนต คาร์บอนอินทรีย์ในดินเป็นส่วนที่เกิดการเปลี่ยนรูปได้ง่ายกว่าคาร์บอนในรูปสารอินทรีย์ทำให้คาร์บอนอินทรีย์ในดินเปรียบเสมือนตัวควบคุมสมดุลการเปลี่ยนแปลงคาร์บอนในดิน (ปัทมา, 2561) ปริมาณคาร์บอนในดิน เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อคุณภาพดิน ได้แก่ทางกายภาพของดินผ่านการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของดิน การเกิดเม็ดดิน ความพรุนรวมของดิน การหยั่งลึกของรากพืช และเป็นส่วนสำคัญในการควบคุมการกร่อนของดิน นอกจากนั้นยังมีความสามารถในการกักเก็บและปลดปล่อยธาตุอาหารมาอย่างช้า ๆ และควบคุมการหมุนเวียนของธาตุอาหารในดิน (Lal, 2002)

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ป่าธรรมชาติมีการสะสมคาร์บอนในดินจากเศษซากพืชหรือใบไม้ที่ร่วงหล่นลงมาโดย สนธยา และนันทนา (2547) ศึกษาการประเมินการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน และผลผลิตเศษซากพืชในป่าเบญจพรรณ ในอุทยานแห่งชาติแก่งกระจาน ประเทศไทย ผลการศึกษาการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินมีปริมาณ 79.34-250.24 t/ha และผลผลิตซากพืชมีปริมาณ 7.65-7.99 t/ha/year โสภณ และอรทัย (2544) ศึกษาลักษณะการหมุนเวียนธาตุอาหารของป่าบ้านโป่ง ลุ่มน้ำเชิงเขาห้วยโจ้ อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ ทำการศึกษาปริมาณการร่วงหล่นของใบไม้ในประเภทป่าต่าง ๆ ดังนี้ ป่าเบจพรรณ ป่าเบญจพรรณชื้น เต็งรังแคระ เต็งรังแคระ เต็งรังพัฒนา และเต็งรังรุ่นสอง พบการร่วงหล่นของใบไม้มีปริมาณ 36.55, 45.40, 24.80, 49.37 และ 32.61 t/ha/year ตามลำดับ นอกจากนั้นเมื่อใบไม้ในพื้นที่มีการร่วงหล่นลงมาแล้ว จะมีการย่อยสลายกลายเป็นอินทรียวัตถุและมีการสะสมคาร์บอนในดินต่อไป และ พงษ์เทพ (2557) ศึกษาอัตราการย่อยสลายของซากพืชในป่าไม้ที่สำคัญในประเทศไทย จากชนิดของป่าดังนี้ ป่าดิบชื้น ป่าดิบแล้ง ป่าดิบเขา ป่าเบจพรรณ ป่าดิบแล้ง และป่าดิบเขา มีอัตราการย่อยสลายเท่ากับ 5.86, 7.44, 2.80, 2.63, 5.58 และ 4.14 t/ha/year ตามลำดับ

ป่าฟื้นฟูมีปริมาณการสะสมคาร์บอนจากเศษซากพืชหรือใบไม้ที่ร่วงหล่นลงมา เช่นเดียวกันกับป่าธรรมชาติ แต่จะมีปริมาณมากหรือน้อยกว่าขึ้นอยู่กับความสมบูรณ์ของป่าฟื้นฟูและการเลือกพันธุ์ไม้ในการฟื้นฟูโดย Kavinchan (2013) ศึกษาการสะสมปริมาณเศษซากพืชที่ร่วงหล่นในพื้นที่ศึกษา โดยทำการศึกษาในแปลง ป่าธรรมชาติ ป่าฟื้นฟูควบคุม ป่าฟื้นฟูอายุ 2 ปี ป่าฟื้นฟูอายุ 7 ปี และป่าฟื้นฟูอายุ 11 ปี ผลการศึกษาพบว่า ระยะเวลาทำการศึกษา 32 เดือน ผลการศึกษาพบว่าป่า

ธรรมชาติมีปริมาณการสะสมปริมาณเศษซากพืชที่ร่วงหล่นมากที่สุด รองลงมาคือป่าฟื้นฟูอายุ 11 ปี 7 ปี แปลงควบคุม และป่าฟื้นฟู 2 ปี มีปริมาณ 17.61 t/ha, 13.98 t/ha, 13.18 t/ha, 6.24 t/ha และ 1.54 t/ha ตามลำดับ โดยป่าฟื้นฟูที่อายุมากจะมีแนวโน้มของเศษซากพืชและปริมาณคาร์บอนที่สะสมในเศษซากพืชมากกว่าแปลงที่อายุน้อย ฐิตารีย์ และคณะ (2564) ศึกษาการฟื้นฟูป่าเบญจพรรณ ในพื้นที่หน่วยศึกษาการพัฒนาการอนุรักษ์ต้นน้ำแม่ถาง จังหวัดแพร่ โดยศึกษา 3 สังคมพืช ได้แก่ ป่าเบญจพรรณ แปลงปลูกป่าฟื้นฟู อายุ 30 ปี และ 15 ปี ผลการศึกษาปริมาณมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน พบว่า ป่าเบญจพรรณ แปลงปลูกป่าฟื้นฟู อายุ 30 ปี และ 15 ปี มีปริมาณ 128.58 t/ha, 150.39 t/ha และ 100.77 t/ha ตามลำดับ มวลชีวภาพเหนือพื้นดินของแปลงป่าฟื้นฟูอายุ 30 ปีมีค่ามากที่สุด รองลงมาคือ ป่าเบญจพรรณและแปลงป่าฟื้นฟูอายุ 15 ปี จึงสรุปได้ว่าภายหลังจากการฟื้นฟูและปล่อยให้มีการเจริญทดแทน แปลงป่าฟื้นฟูอายุ 30 ปีนั้น มีการเจริญทดแทนเข้าใกล้ความเป็นธรรมชาติเมื่อเปรียบเทียบกับป่าเบญจพรรณในพื้นที่ใกล้เคียง พฤติพงษ์ และคณะ (2559) ศึกษาปริมาณซากพืชที่ร่วงหล่นของสังคมพืชป่าไม้ที่เกิดจากการฟื้นฟู ในรูปแบบที่แตกต่างกัน ณ จังหวัดลำปาง ดำเนินการฟื้นฟูมาแล้ว 15 ปี ผลการศึกษาพบว่า การฟื้นฟูระบบนิเวศป่ามีปริมาณการร่วงหล่นของซากพืช 8.43-7.99 t/ha/year ในส่วนการฟื้นฟูแบบเพิ่มผลผลิตมีปริมาณการร่วงหล่นของซากพืช 5.12 t/ha/year ความแตกต่างของปริมาณการร่วงหล่นของซากพืช ระหว่างการฟื้นฟูแบบฟื้นฟูระบบนิเวศและการฟื้นฟูแบบเพิ่มผลผลิต คือความหลากหลายของพันธุ์ไม้ ความหนาแน่นของพันธุ์ไม้ การฟื้นฟูแบบเพิ่มผลผลิตมีน้อยกว่าเนื่องจากระบบการปลูกป่าไม้มีค่าทางเศรษฐกิจเพียงชนิดเดียว และ กฤษฎา และเสวียน (2566) ศึกษาการกักเก็บคาร์บอนในพันธุ์พืชในพื้นที่ปลูกกาแฟจากพื้นที่เสื่อมโทรมจากการปลูกข้าวโพดในจังหวัดน่าน พบว่า จากการประเมินการกักเก็บเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพมีค่า 14.90-50.40 t/ha ซึ่งหากเปรียบเทียบกับการกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่ทำไร่ข้าวโพดของ สาวิตรี และคณะ (2564) พบว่าการทำไร่ข้าวโพด 1 ไร่ มีการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพ 0.48 $kgCO_2$ eq/rai หรือ 0.003 $kgCO2_{eq}$/ha ซึ่งต่ำกว่าการกักเก็บคาร์บอนในแปลงที่ทำการฟื้นฟูอย่างมาก

พื้นที่เกษตรมีปริมาณการสะสมคาร์บอนในดินจากการย่อยสลายของพืชที่ปลูก แต่การทำการเกษตรส่วนใหญ่โดยเฉพาะข้าวโพดมีการเผาเศษวัสดุออกจากพื้นที่ ทำให้ในพื้นที่มีปริมาณคาร์บอนในดินที่น้อยตาม ซึ่งแหล่งที่มาของคาร์บอนในดินมาจากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ย่อยสลายในพื้นที่โดย นงนุช (2564) ศึกษาปริมาณคาร์บอนที่สะสมในข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ มีปริมาณ 8.80-10.17 t/ha นอกจากนั้นยังมีการคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการทำการเกษตรที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ มีปริมาณ 6.26 $kgCO_2$ eq/rai หรือ 0.039 tCO_2 eq/ha พื้นที่เกษตรจะมีการสูญเสียคาร์บอนออกจากพื้นที่เกิดจากการเตรียมพื้นที่ก่อนการทำการเกษตร โดยการเตรียมพื้นที่ส่วนใหญ่มา

จากการไถพรวนในพื้นที่ โดยการไถพรวนที่มากเกินความจำเป็นจะเป็นการเร่งให้อินทรียวัตถุในดินสลายตัวอย่างรวดเร็วก่อให้เกิดแผ่นแข็งที่ผิวหน้าดิน และชั้นดานไถพรวน ส่งผลให้ดินเกิดความเสื่อมโทรมทั้งทางด้านกายภาพและความอุดมสมบูรณ์ สุนิสา และธวัชชัย (2561) ทดลองผลของการไถพรวนที่มีผลต่อปริมาณคาร์บอนในดิน ที่ระดับความลึก 0-15 และ 15-30 เซนติเมตร ทำการไถพรวนที่แตกต่างกัน 4 รูปแบบ คือ การไม่ไถพรวนดิน การไถแปรครั้งเดียว การไถพรวนซ้ำ 1 ครั้ง และการไถพรวนซ้ำ 2 ครั้ง ผลการศึกษา การไม่ไถพรวนดินมีปริมาณคาร์บอนในดินมากที่สุด รองลงมาคือ การไถแปรครั้งเดียว การไถพรวนซ้ำ 1 ครั้ง และการไถพรวนซ้ำ 2 ครั้ง มีปริมาณ 1.95-3.83 %, 1.77-3.70 %, 1.59-3.47 %, 1.54-3.14 % ตามลำดับ จากผลศึกษาพบว่าการไถพรวนดินที่มากขึ้นทำให้ปริมาณการสะสมคาร์บอนของดินลดน้อยลง นอกจากนั้นในการเตรียมพื้นที่ ก่อนการไถพรวนเกษตรกรยังมีการเผาพื้นที่เพื่อง่ายต่อการจัดการ สถาพร และคณะ (2556) ศึกษาการไถกลบตอซังข้างโพดต่อการสะสมคาร์บอนในดิน ทำการทดลอง 3 กรรมวิธี ได้แก่ การถอนตอซัง ไถกลบตอซัง และเผาตอซัง ผลการศึกษาพบว่า การไถกลบตอซัง ทำให้ดินมีการสะสมคาร์บอนมากที่สุด การไถพรวนและการเผาตอซังทำให้การสะสมคาร์บอนในดินลดลง นอกจากนั้นยังทำการศึกษาปริมาณมวลชีวภาพของข้าวโพดซึ่งมีปริมาณ 2.77-4.69 t/ha และ กอบศักดิ์ และพูลสถิตย์ (2555) ศึกษาผลกระทบของการเผาไร่หมุนเวียนบนพื้นที่สูงต่อการกักเก็บคาร์บอนในไร่หมุนเวียน 3 รูปแบบ ไร่หมุนเวียนรอบยาว (ทำการเกษตรทุก 5 ปี) ไร่หมุนเวียนรอบสั้น (ทำการเกษตรทุก 2 ปี) และไร่ร้าง (ไม่มีทำการเกษตรมาแล้ว 7 ปี) ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในดินก่อนทำการเผาในพื้นที่ ไร่หมุนเวียนรอบยาว ไร่หมุนเวียนรอบ และไร่ร้าง มีปริมาณ 52.77 t/ha, 32.36 t/ha และ 31.30 t/ha ตามลำดับ เมื่อหลังทำการเผา 1 เดือน พบมีปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในดินพื้นที่ไร่หมุนเวียนรอบยาว ไร่หมุนเวียนรอบ และไร่ร้าง มีปริมาณ 23.62 t/ha, 28.46 t/ha และ 16.14 t/ha ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าการเผาพื้นที่ก่อนการเพาะปลูกทำให้มีการสูญเสียคาร์บอนในพื้นที่

จากการศึกษาคาร์บอนสะสมในดินในพื้นที่ป่าธรรมชาติของนักวิชาการหลายท่านทำให้ทราบปริมาณการสะสมคาร์บอนในดินโดย จักรพงษ์ และคณะ (2563) ได้ทำการศึกษาลักษณะของดินและการสะสมคาร์บอนในดินที่เกิดจากวัตถุต้นกำเนิดดินต่างกันภายใต้ระบบนิเวศป่าเบญจพรรณ ณ ห้วยฮ่องไคร้ ฯ จังหวัดเชียงใหม่ ศึกษาการกักเก็บคาร์บอนถึงความลึก 1 เมตร ผลการศึกษาพบว่ามีปริมาณ 53.02-152.73 t/ha ณัฐลักษณ์ (2552) ศึกษาความหลากหลายของชนิดพันธุไม้ ลักษณะดินและการสะสมคารบอนในป่าชนิดต่างๆ บริเวณอุทยานแห่งชาติดอยสุเทพ-ปุย จังหวัดเชียงใหม่ ศึกษาการกักเก็บคาร์บอนถึงความลึก 1 เมตร ผลการศึกษาพบว่า มีปริมาณ 67.99-139.01 t/ha ตฤณ และคณะ (2555) ศึกษาสมบัติดินกับการสะสมคาร์บอนและธาตุอาหารในป่าสนธรรมชาติ อำเภอกัลยาณิวัฒนา จังหวัดเชียงใหม่ ศึกษาการกักเก็บคาร์บอนถึงความลึก 1 เมตร ผลการศึกษา

พบว่า มีปริมาณ 47.1-85.0 t/ha ดนัย (2548) ศึกษาความหลากหลายของชนิดพันธุ์ไม้กับลักษณะดินในสังคมพืชป่าไม้พื้นที่อำเภอปางมะผ้า จังหวัดแม่ฮ่องสอน ศึกษาการกักเก็บคาร์บอนถึงความลึก 1 เมตร ผลการศึกษาพบว่า มีปริมาณ 33.20-201.65 t/ha ภาคภูมิ (2564) ศึกษาศักยภาพการสะสมคาร์บอนในดินป่าดิบแล้ง บริเวณมอสิงโต อุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ จังหวัดนครราชสีมา ศึกษาการกักเก็บคาร์บอนถึงความลึก 1 เมตร ผลการศึกษาพบว่า มีปริมาณ 72.45-147.69 t/ha

การรวบรวมงานวิจัยพื้นที่ป่าฟื้นฟู-ป่าปลูกของ จตุรงค์ และคณะ (2563) ได้ทำการศึกษาศักยภาพการกักเก็บคาร์บอน ธาตุอาหารและน้ำในป่าปลูกไม้สักอายุ 29 ปีบริเวณดอยตุง จังหวัดเชียงใหม่ ศึกษาการกักเก็บคาร์บอนถึงความลึก 1 เมตร ผลการศึกษาพบว่า มีปริมาณ 224.27 t/ha ชโลธร (2555) ศึกษาการประเมินการกักเก็บคาร์บอนในสวนป่าสัก จังหวัดพะเยา ศึกษาการกักเก็บคาร์บอนถึงความลึก 1 เมตร ผลการศึกษาพบว่า มีปริมาณ 33.46-104.95 t/ha สมชาย และคณะ (2555) ศึกษาการสะสมคาร์บอนและธาตุอาหารในดินสวนป่าสนสามใบ ที่หน่วยจัดการจ้นน้ำบ่อแก้ว จังหวัดเชียงใหม่ ศึกษาการกักเก็บคาร์บอนถึงความลึก 1.60 เมตร ผลการศึกษาพบว่า มีปริมาณ 138.7-306.3 t/ha Tangsinmankong et al. (2007) ศึกษาปริมาณคาร์บอนในดินสวนป่าสัก อำเภอลานสัก จังหวัดอุทัยธานี ศึกษาการกักเก็บคาร์บอนถึงความลึก 1 เมตร ผลการศึกษาพบว่า มีปริมาณ 78.78-157.03 t/ha และ Saengruksawong et al. (2012) ศึกษาการเจริญเติบโตและการสะสมคาร์บอนในป่าปลูกยางพารา จังหวัดหนองคาย ศึกษาการกักเก็บคาร์บอนถึงความลึก 1 เมตร ผลการศึกษาพบว่า มีปริมาณ 13.37-18.52 t/ha

การรวบรวมงานวิจัยพื้นที่เกษตร นงนุช (2564) ศึกษาการสะสมคาร์บอนในพื้นที่เกษตรปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ อำเภอแม่แจ่ม จังหวัดเชียงใหม่ ศึกษาการกักเก็บคาร์บอนถึงความลึก 1 เมตร ผลการศึกษาพบว่า มีปริมาณ 15.56-72.21 t/ha กอบศักดิ์ และพูลสถิตย์ (2555) ศึกษาผลกระทบการเผาไร่หมุนเวียนบนพื้นที่สูงต่อการกักเก็บคาร์บอนในดิน อุทยานแห่งชาติดอยภูคา จังหวัดน่าน ศึกษาการกักเก็บคาร์บอนถึงความลึก 30 เซนติเมตร ผลการศึกษาพบว่า มีปริมาณ 15.40-25.30 t/ha อุเทน และภูวดล (2559) ศึกษาปริมาณคาร์บอนสะสมในดินในพื้นที่เกษตร ลุ่มน้ำชีตอนกลาง จังหวัดมหาสารคาม ศึกษาการกักเก็บคาร์บอนถึงความลึก 25 เซนติเมตร ผลการศึกษาพบว่า มีปริมาณ 7.39-16.69 t/ha และ ศุภกาญจน์ (2560) ศึกษาการจัดการดินละปุ๋ยต่อการกักเก็บคาร์บอนในดินในระบบผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ จังหวัดลพบุรี ศึกษาการกักเก็บคาร์บอนถึงความลึก 1 เมตร ผลการศึกษาพบว่า มีปริมาณ 29.61-54.24 t/ha

ในส่วนการศึกษาการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินแบบต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อปริมาณคาร์บอนสะสมในดิน ซึ่ง Pibumrung et al. (2008) ศึกษาปริมาณคาร์บอนสะสมในดิน ป่าธรรมชาติ

ป่าฟื้นฟู และพื้นที่เกษตร ในพื้นที่จังหวัดน่าน ศึกษาการกักเก็บคาร์บอนถึงความลึก 1 เมตร ผลการศึกษาพบว่า ป่าธรรมชาติมีปริมาณ 196.24 t/ha ป่าฟื้นฟูมีปริมาณ 146.83 t/ha และพื้นที่เกษตรมีปริมาณ 95.09 t/ha Kavinchan et al. (2015) ศึกษาปริมาณคาร์บอนในป่าฟื้นฟูและป่าธรรมชาติ ในพื้นที่ดอยสุเทพ-ปุย จังหวัดเชียงใหม่ ศึกษาการกักเก็บคาร์บอนถึงความลึก 1 เมตร ผลการศึกษาพบว่า ป่าธรรมชาติมีปริมาณ 172.99 t/ha ป่าฟื้นฟูมีปริมาณ 127.41-168.12 t/ha Arunrat et al. (2022) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินต่อการสะสมคาร์บอนในดินในพื้นที่ตำบลบ้านทับ อำเภอแม่แจ่ม จังหวัดเชียงใหม่ ศึกษาการกักเก็บคาร์บอนถึงความลึก 1 เมตร ผลการศึกษาพบว่า ป่าธรรมชาติมีปริมาณ 174.4 t/ha พื้นที่เกษตรมีปริมาณ 56.1-184.8 t/ha พุทธรักษ์ และคณะ (2562) ศึกษาผลของการใช้ประโยชน์ที่ดินต่อการกักเก็บคาร์บอนในดินบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยห้วยหินดาด จังหวัดระยอง ศึกษาการกักเก็บคาร์บอนถึงความลึก 50 เซนติเมตร ผลการศึกษาพบว่า ป่าธรรมชาติมีปริมาณ 128.17 t/ha ป่าฟื้นฟูมีปริมาณ 86.17 t/ha และพื้นที่เกษตรมีปริมาณ 48.42 t/ha และ อำนาจ และณัฐพล (2548) ศึกษาการกักเก็บและปลดปล่อยคาร บอนในดินปาดิบแลง ดินป่าปลูก และดินทำการเกษตร ศึกษาการกักเก็บคาร์บอนถึงความลึก 50 เซนติเมตร ผลการศึกษาพบว่า ป่าธรรมชาติมีปริมาณ 118 t/ha ป่าปลูกมีปริมาณ 66 t/ha และพื้นที่เกษตรมีปริมาณ 60 t/ha

บทที่ 3
อุปกรณ์และวิธีทดลอง

3.1 พื้นที่และขอบเขตการศึกษา

1) อำเภอเวียงสา

1.1) ที่ตั้งและลักษณะภูมิประเทศ

พื้นที่ศึกษาตำบลอ่ายนาไลย อำเภอเวียงสา จังหวัดน่าน ศึกษาการใช้ประโยชน์ที่ดิน 3 รูปแบบคือ ป่าธรรมชาติ (FNW01,02) ป่าฟื้นฟู (RNWS01,02) และพื้นที่เกษตร (ANWS01,02) มีความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง 233-309 เมตร ระดับความลาดชัน 12-20 20-35 และ >35 สภาพพื้นที่โดยทั่วไป เป็นภูเขาสลับกับที่ราบแคบ ๆ มีหุบเขาเป็นหย่อมเล็กๆกระจายตัวอยู่ทั่วไป (องค์การบริหารส่วนตำบลอ่ายนาไลย, 2565) (ตารางที่ 1)

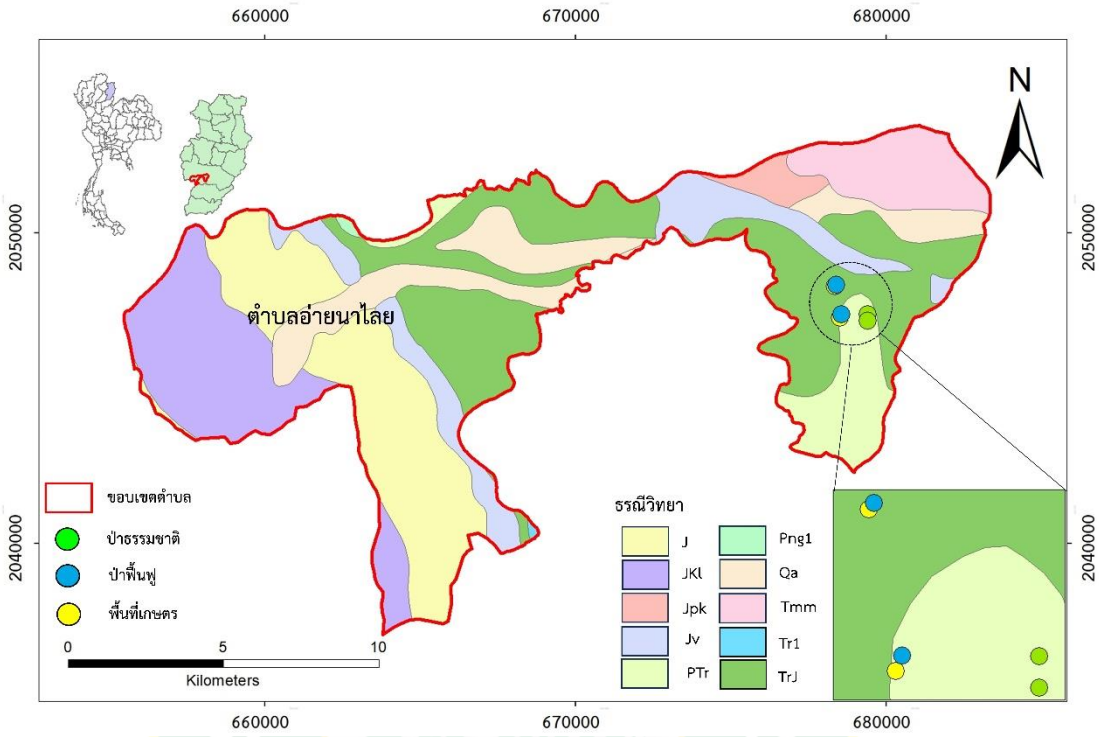
ทิศเหนือ	ติดต่อกับ	ตำบลยาบหัวนา และตำบลแม่สา อำเภอเวียงสา จังหวัดน่าน
ทิศใต้	ติดต่อกับ	ตำบลแม่สาคร อำเภอเวียงสา จังหวัดน่าน
ทิศตะวันออก	ติดต่อกับ	ตำบลกลางเวียง ตำบลส้าน อำเภอเวียงสา จังหวัดน่าน
ทิศตะวันตก	ติดต่อกับ	ตำบลห้วงโรง อำเภอร้องกวาง จังหวัดแพร่

ตารางที่ 1 ลักษณะของพื้นที่ศึกษา อำเภอเวียงสา

ลำดับ	พื้นที่ศึกษา	พิกัด		ความสูงจากระดับน้ำทะเล	ความลาดชัน
1	FNWS01	679418 E	2047368 N	309 m	>35 %
2	FNWS02	679420 E	2047173 N	306 m	20-35 %
3	RNWS01	678569 E	2047372 N	233 m	12-20 %
4	RNWS02	678396 E	2048319 N	269 m	20-35 %
5	ANWS01	678529 E	2047278 N	259 m	12-20 %
6	ANWS02	678366 E	2048276 N	274 m	20-35 %

1.2) ลักษณะทางธรณี (กรมทรัพยากรธรณี, 2558)

พื้นที่จุดเก็บตัวอย่างดินตำบลอ่ายนาไลย อำเภอเวียงสา จังหวัดน่าน มีลักษณะวัตถุต้นกำเนิดดินเป็นหินกรวดมนสีแดง (J) หินโคลน (JKl) หินทรายแป้งเนื้อปนปูน (Jpk) หินไรโอไลต์ (Jv) หินทรายแป้ง (PTr) หินทรายเนื้อภูเขาไฟ (Png1) ตะกอนธารน้ำพา (Qa) หินทรายแป้งสีแดง (Tmm) หินกรวดมน (Tr1) และหินทราย (TrJ) (ภาพที่ 2)



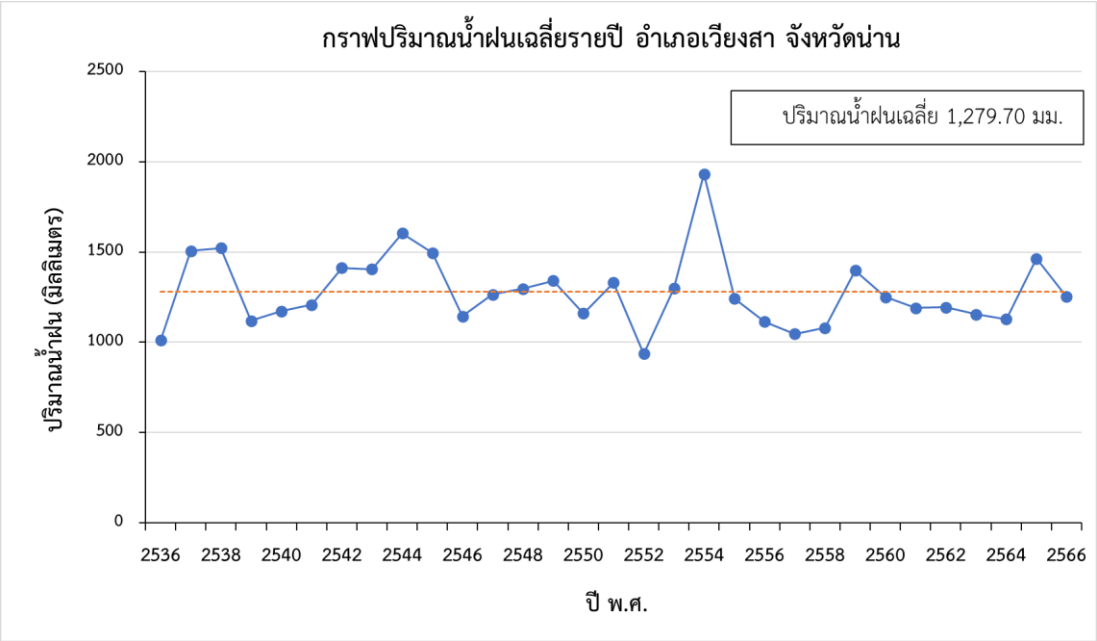
ภาพที่ 2 แผนที่ธรณีในพื้นที่ ตำบลอ่ายนาไลย อำเภอเวียงสา จังหวัดน่าน

1.3) ลักษณะภูมิอากาศ

พื้นที่ตำบลอ่ายนาไลย อำเภอเวียงสา จังหวัดน่าน ฤดูร้อน เริ่มตั้งแต่ต้นเดือนมีนาคมถึงปลายเดือนเมษายน อุณหภูมิอยู่ระหว่าง 18-36 องศาเซลเซียส ฤดูฝน เริ่มตั้งแต่ต้นเดือนพฤษภาคมถึงปลายเดือนตุลาคม อุณหภูมิอยู่ระหว่าง 21-34 องศาเซลเซียส ฤดูหนาว เริ่มตั้งแต่ต้นเดือนพฤศจิกายนถึงปลายเดือนกุมภาพันธ์ อุณหภูมิอยู่ระหว่าง 13-30 องศาเซลเซียส

1.4) ปริมาณน้ำฝน (สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ 2566)

ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปีย้อนหลัง 30 ปีในพื้นที่ อำเภอเวียงสา จังหวัดน่าน มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 1,279.70 มิลลิเมตร/ปี (ภาพที่ 3)



ภาพที่ 3 กราฟแสดงปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปี อำเภอเวียงสา จังหวัดน่าน

2) อำเภอปัวและอำเภอท่าวังผา

2.1) ที่ตั้งและลักษณะภูมิประเทศ

พื้นที่ศึกษาตำบลอวน อำเภอปัว จังหวัดน่าน ศึกษาการใช้ประโยชน์ที่ดิน 1 รูปแบบคือ ป่าธรรมชาติ (FPUA01,02) มีความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง 366-384 เมตร ระดับความลาดชัน >35 สภาพพื้นที่โดยทั่วไป เป็นเทือกเขาและภูเขาสูงที่สลับซับซ้อนทอดตัวยาวตามแนวเหนือถึงใต้ (องค์การบริหารส่วนตำบลอวน, 2565) (ตารางที่ 2)

ทิศเหนือ	ติดต่อกับ	ตำบลยม อำเภอท่าวังผา จังหวัดน่าน
ทิศใต้	ติดต่อกับ	ตำบลป่าแลวหลวง อำเภอสันติสุข จังหวัดน่าน
ทิศตะวันออก	ติดต่อกับ	ตำบลบ่อเกลือใต้ อำเภอบ่อเกลือ จังหวัดน่าน
ทิศตะวันตก	ติดต่อกับ	ตำบลตาลชุม อำเภอท่าวังผา จังหวัดน่าน

พื้นที่ศึกษาตำบลจอมพระ อำเภอท่าวังผา จังหวัดน่าน ศึกษาการใช้ประโยชน์ที่ดิน 2 รูปแบบคือ ป่าฟื้นฟู (RPUA01,02) และพื้นที่เกษตร (APUA01,02) มีความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง 272-360 เมตร ระดับความลาดชัน 12-20 20-35 และ >35 สภาพพื้นที่โดยทั่วไปเป็นที่ราบสลับภูเขา (องค์การบริหารส่วนตำบลจอมพระ, 2565) (ตารางที่ 2)

ทิศเหนือ	ติดต่อกับ	ตำบลเจดีย์ ตำบลป่ากลาง อำเภอปัว จังหวัดน่าน
ทิศใต้	ติดต่อกับ	ตำบลตาลชุม อำเภอท่าวังผา จังหวัดน่าน
ทิศตะวันออก	ติดต่อกับ	ตำบลท่าวังผา อำเภอท่าวังผา จังหวัดน่าน
ทิศตะวันตก	ติดต่อกับ	ตำบลยมอำเภอท่าวังผา จังหวัดน่าน

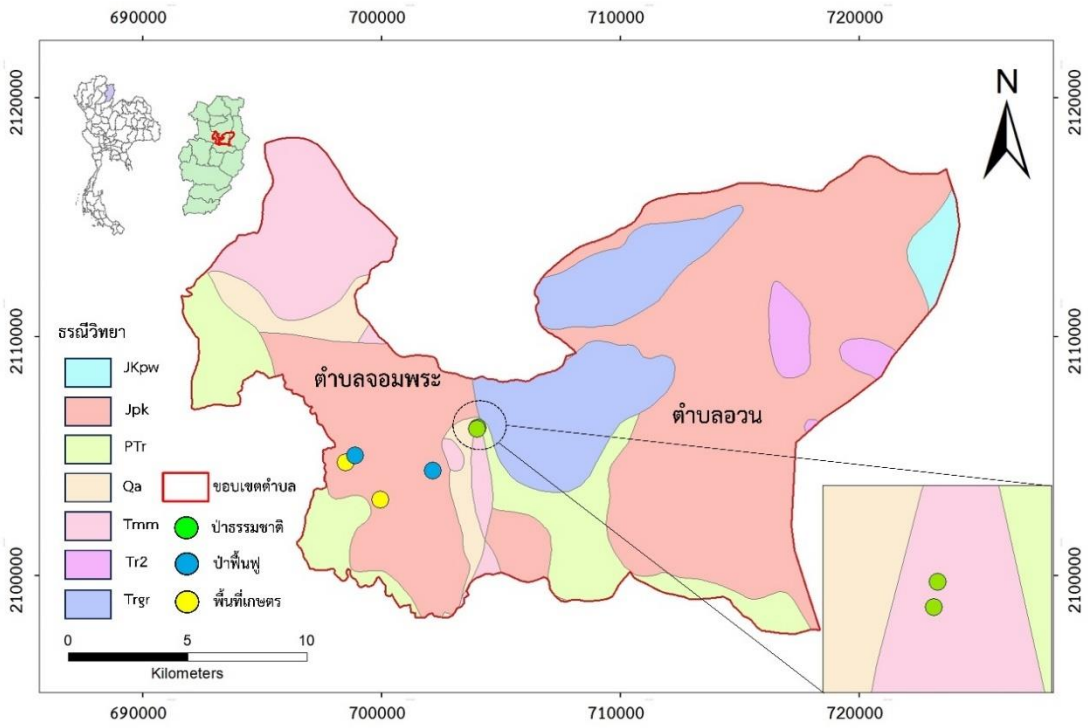
ตารางที่ 2 ลักษณะของพื้นที่ศึกษา อำเภอปัวและอำเภอท่าวังผา

ลำดับ	พื้นที่ศึกษา	พิกัด		ความสูงจากระดับน้ำทะเล	ความลาดชัน
1	FPUA01	704006 E	2106142 N	366 m	>35 %
2	FPUA02	704013 E	2106195 N	384 m	>35 %
3	RPUA01	698897 E	2105024 N	327 m	20-35 %
4	RPUA02	702145 E	2104387 N	272 m	>35 %
5	APUA01	698487 E	2104743 N	325 m	12-20 %
6	APUA02	699951 E	2103189 N	360 m	20-35 %

2.2) ลักษณะทางธรณี (กรมทรัพยากรธรณี, 2558)

พื้นที่จุดเก็บตัวอย่างดินตำบลอวน อำเภอปัว จังหวัดน่าน มีลักษณะวัตถุต้นกำเนิดดินเป็นหินทรายเนื้อควอตซ์ (JKpw) หินทรายแป้งเนื้อปนปูน (JpK) หินทรายแป้ง (PTr) ตะกอนธารน้ำพา (Qa) หินทรายแป้งสีแดง (Tmm) หินดินดาน (Tr2) และหินไบโอไทต์แกรนิต (Trgr) (ภาพที่ 4)

พื้นที่จุดเก็บตัวอย่างดินตำบลจอมพระ อำเภอท่าวังผา จังหวัดน่าน มีลักษณะวัตถุต้นกำเนิดดินเป็นหินทรายแป้งเนื้อปนปูน (JpK) หินทรายแป้ง (PTr) ตะกอนธารน้ำพา (Qa) หินทรายแป้งสีแดง (Tmm) และหินไบโอไทต์แกรนิต (Trgr) (ภาพที่ 4)



ภาพที่ 4 แผนที่ธรณีในพื้นที่ ตำบลอวน อำเภอปัว และตำบลจอมพระ อำเภอท่าวังผา จังหวัดน่าน

2.3) ลักษณะภูมิอากาศ

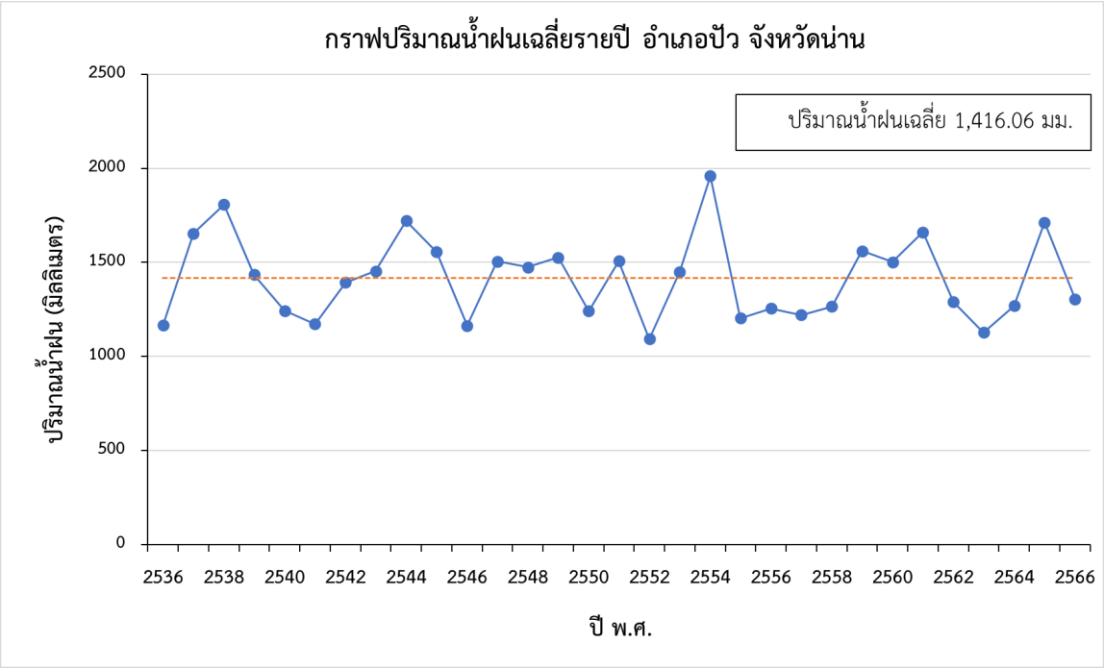
พื้นที่ตำบลอวน อำเภอปัว จังหวัดน่าน ฤดูร้อน เริ่มตั้งแต่ต้นเดือนมีนาคมถึงปลายเดือนพฤษภาคม อุณหภูมิอยู่ระหว่าง 12-30 องศาเซลเซียส ฤดูฝน เริ่มตั้งแต่ต้นเดือนมิถุนายนถึงปลายเดือนกันยายน อุณหภูมิอยู่ระหว่าง 17-26 องศาเซลเซียส ฤดูหนาว เริ่มตั้งแต่ต้นเดือนตุลาคมถึงปลายเดือนกุมภาพันธ์ อุณหภูมิอยู่ระหว่าง 8-26 องศาเซลเซียส

พื้นที่ตำบลจอมพระ อำเภอท่าวังผา จังหวัดน่าน ฤดูร้อน เริ่มตั้งแต่ต้นเดือนกุมภาพันธ์ถึงปลายเดือนเมษายน อุณหภูมิอยู่ระหว่าง 14-35 องศาเซลเซียส ฤดูฝน เริ่มตั้งแต่ต้นเดือนพฤษภาคมถึงปลายเดือนกันยายน อุณหภูมิอยู่ระหว่าง 22-33 องศาเซลเซียส ฤดูหนาว เริ่มตั้งแต่ต้นเดือนตุลาคมถึงปลายเดือนมกราคม อุณหภูมิอยู่ระหว่าง 13-31 องศาเซลเซียส

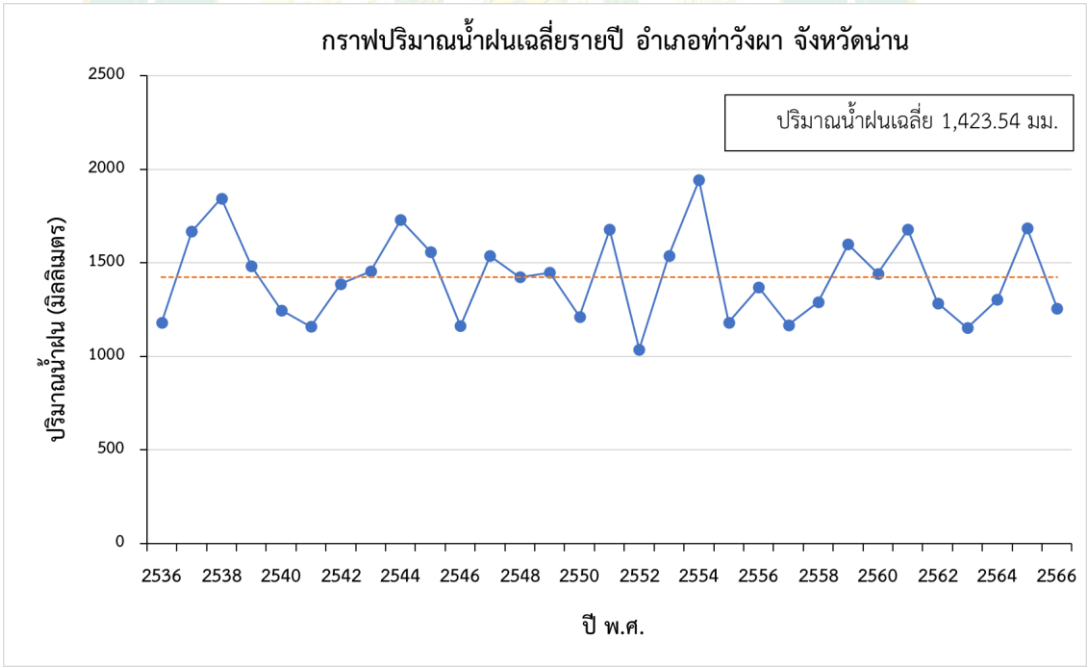
2.4) ปริมาณน้ำฝน (สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ 2566)

ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปีย้อนหลัง 30 ปีในพื้นที่ อำเภอปัว จังหวัดน่าน มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 1,416.06 มิลลิเมตร/ปี (ภาพที่ 5)

ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปีย้อนหลัง 30 ปีในพื้นที่ อำเภอท่าวังผา จังหวัดน่าน มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย มิลลิเมตร/ปี (ภาพที่ 6)



ภาพที่ 5 กราฟแสดงปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปี อำเภอปัว จังหวัดน่าน



ภาพที่ 6 กราฟแสดงปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปี อำเภอท่าวังผา จังหวัดน่าน

3) อำเภอภูเพียง

3.1) ที่ตั้งและลักษณะภูมิประเทศ

พื้นที่ตั้งอยู่ที่ตำบลเมืองจัง อำเภอภูเพียง จังหวัดน่าน ศึกษาการใช้ประโยชน์ที่ดิน 2 รูปแบบคือ ป่าฟื้นฟู (RPUP01) และพื้นที่เกษตร (APUP01) มีความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง 285-309 เมตร ระดับความลาดชัน 20-35 และ >35 สภาพพื้นที่โดยทั่วไปเป็นที่ราบสูง ตั้งอยู่ซ้ายและขวาของแม่น้ำน่าน สภาพพื้นที่มีทั้งเป็นพื้นที่ราบ ที่ลาดเชิงเขาและภูเขาและมีที่ราบลุ่มแม่น้ำน่าน (องค์การบริหารส่วนตำบลเมืองจัง 2566) (ตารางที่ 3)

ทิศเหนือ	ติดต่อกับ	ตำบลบ่อ อำเภอเมืองน่าน และตำบลดู่พงษ์ อำเภอสันติสุข จังหวัดน่าน
ทิศใต้	ติดต่อกับ	ตำบลฝายแก้ว อำเภอภูเพียง จังหวัดน่าน
ทิศตะวันออก	ติดต่อกับ	ตำบลดู่พงษ์ ตำบลพงษ์ อำเภอสันติสุข และตำบลฝายแก้ว อำเภอภูเพียง จังหวัดน่าน
ทิศตะวันตก	ติดต่อกับ	ตำบลผาสิงค์ อำเภอเมืองน่าน จังหวัดน่าน

พื้นที่ตั้งอยู่ที่ตำบลน้ำเกี๋ยน อำเภอภูเพียง จังหวัดน่าน ศึกษาการใช้ประโยชน์ที่ดิน 3 รูปแบบคือ ป่าธรรมชาติ (FPUP01,02) ป่าฟื้นฟู (RPUP02) และพื้นที่เกษตร (APUP02) มีความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง 433 เมตร ระดับความลาดชัน 20-35 และ >35 สภาพพื้นที่โดยทั่วไป เป็นที่ราบเชิงเขาสลับภูเขา (องค์การบริหารส่วนตำบลน้ำเกี๋ยน, 2564) (ตารางที่ 3)

ทิศเหนือ	ติดต่อกับ	ตำบลฝายแก้ว อำเภอภูเพียง จังหวัดน่าน
ทิศใต้	ติดต่อกับ	ตำบลน้ำแก่น อำเภอภูเพียง จังหวัดน่าน
ทิศตะวันออก	ติดต่อกับ	ตำบลหนองแดง อำเภอแม่จริม จังหวัดน่าน
ทิศตะวันตก	ติดต่อกับ	ตำบลม่วงตึ๊ด อำเภอภูเพียง จังหวัดน่าน

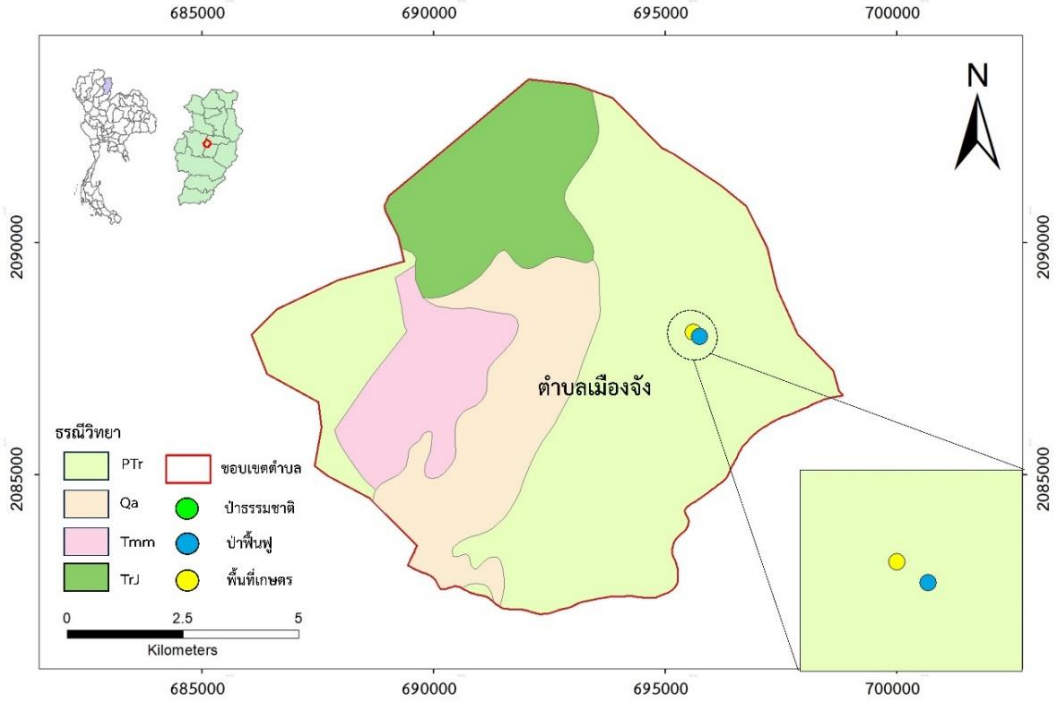
ตารางที่ 3 ลักษณะของพื้นที่ศึกษา อำเภอภูเพียง

ลำดับ	พื้นที่ศึกษา	พิกัด		ความสูงจากระดับน้ำทะเล	ความลาดชัน
1	FPUP01	698066 E	2071913 N	396 m	>35 %
2	FPUP02	697974 E	2072217 N	421 m	>35 %
3	RPUP01	695747 E	2087979 N	309 m	>35 %
4	RPUP02	698095 E	2072948 N	433 m	>35 %
5	APUP01	695612 E	2088071 N	285 m	20-35 %
6	APUP02	697974 E	2072462 N	433 m	20-35 %

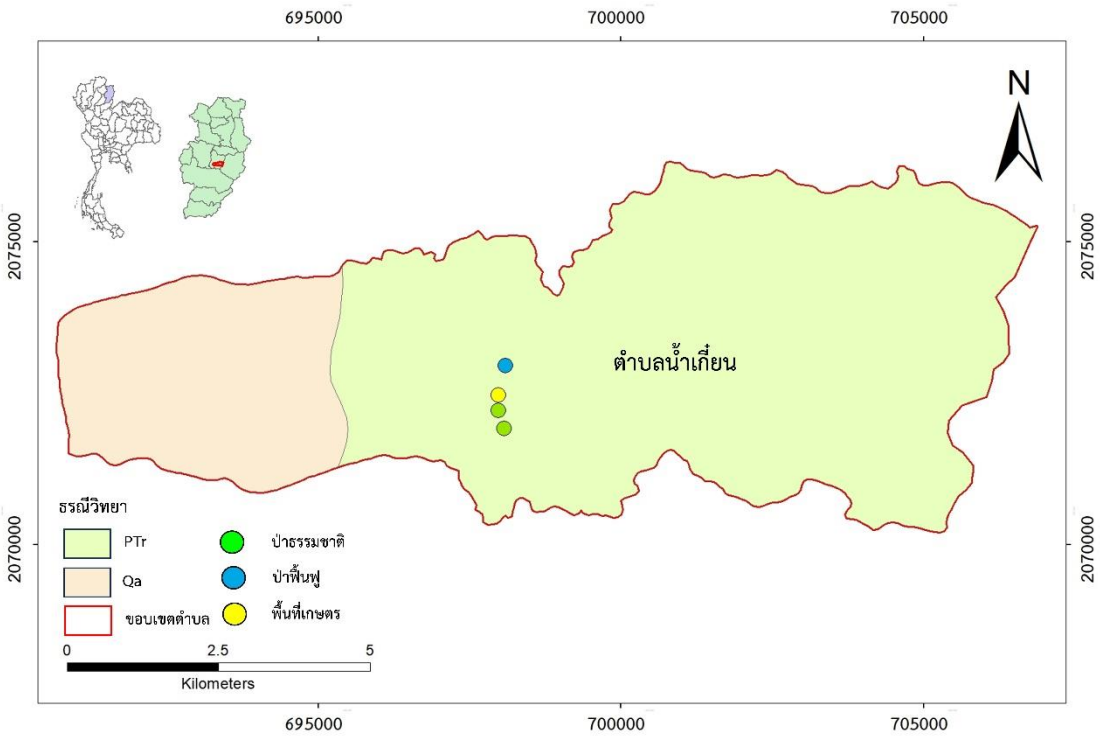
3.2) ลักษณะทางธรณี (กรมทรัพยากรธรณี, 2558)

พื้นที่จุดเก็บตัวอย่างดินตำบลเมืองจัง อำเภอภูเพียง จังหวัดน่าน มีลักษณะวัตถุต้นกำเนิดดินเป็นหินทรายแป้ง (PTr) ตะกอนธารน้ำพา (Qa) หินทรายแป้งสีแดง (Tmm) หินดินดาน และหินทราย (TrJ) (ภาพที่ 7)

พื้นที่จุดเก็บตัวอย่างดินตำบลน้ำเกี๋ยน อำเภอภูเพียง จังหวัดน่าน มีลักษณะวัตถุต้นกำเนิดดินเป็นหินทรายแป้ง (PTr) และตะกอนธารน้ำพา (Qa) (ภาพที่ 8)



ภาพที่ 7 ลักษณะวัตถุต้นกำเนิดดินในพื้นที่ ตำบลเมืองจัง อำเภอภูเพียง จังหวัดน่าน



ภาพที่ 8 แผนที่ธรณีในพื้นที่ ตำบลน้ำเกี๋ยน อำเภอภูเพียง จังหวัดน่าน

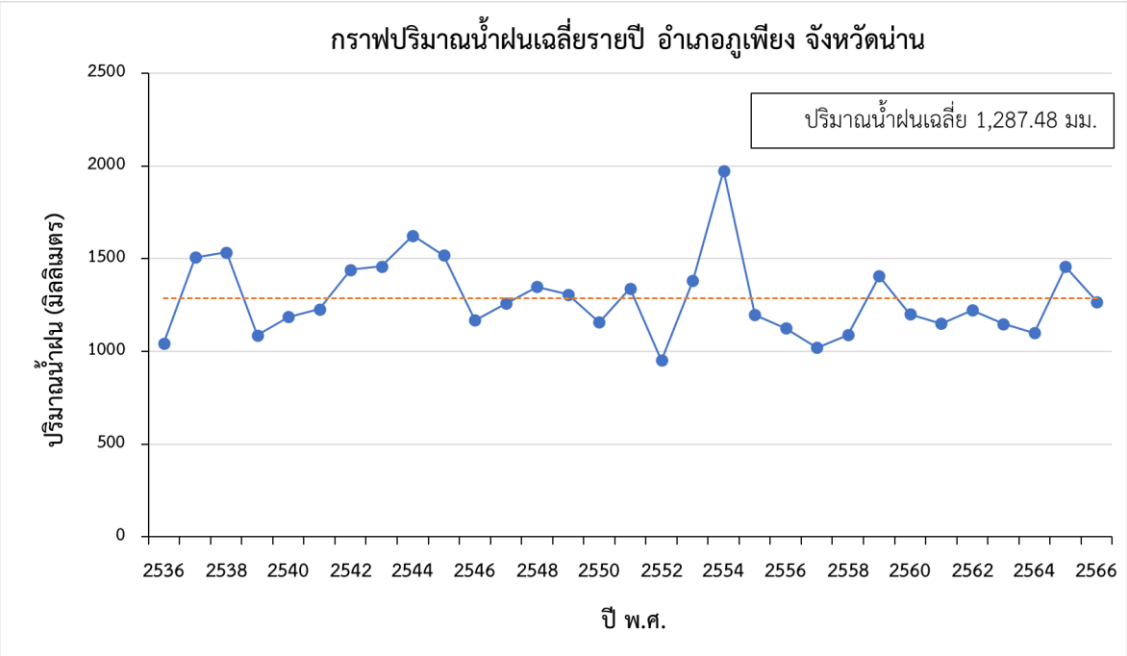
3.3) ลักษณะภูมิอากาศ

พื้นที่ตำบลเมืองจัง อำเภอภูเพียง จังหวัดน่าน ฤดูร้อน เริ่มตั้งแต่กลางเดือนกุมภาพันธ์ถึงกลางเดือนพฤษภาคม อุณหภูมิอยู่ระหว่าง 16-37 องศาเซลเซียส ฤดูฝน เริ่มตั้งแต่กลางเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคม อุณหภูมิอยู่ระหว่าง 23-35 องศาเซลเซียส และฤดูหนาว เริ่มตั้งแต่กลางเดือนตุลาคมถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์ อุณหภูมิอยู่ระหว่าง 15-33 องศาเซลเซียส

พื้นที่ตำบลน้ำเกี๋ยน อำเภอภูเพียง จังหวัดน่าน ฤดูร้อน เริ่มตั้งแต่ต้นเดือนมีนาคมถึงปลายเดือนพฤษภาคม อุณหภูมิอยู่ระหว่าง 18-36 องศาเซลเซียส ฤดูฝน เริ่มตั้งแต่ต้นเดือนมิถุนายนถึงปลายเดือนตุลาคม อุณหภูมิอยู่ระหว่าง 22-31 องศาเซลเซียส ฤดูหนาว เริ่มตั้งแต่ต้นเดือนพฤษจิกายนถึงปลายเดือนกุมภาพันธ์ อุณหภูมิอยู่ระหว่าง 13-32 องศาเซลเซียส

3.4) ปริมาณน้ำฝน (สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ 2566)

ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปีย้อนหลัง 30 ปีในพื้นที่ อำเภอภูเพียง จังหวัดน่าน มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 1,287.48 มิลลิเมตร/ปี (ภาพที่ 9)



ภาพที่ 9 กราฟแสดงปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปี อำเภอภูเพียง จังหวัดน่าน

พื้นที่ศึกษาเป็นการใช้ประโยชน์ที่ดิน 3 รูปแบบคือ ป่าธรรมชาติ ป่าฟื้นฟู และพื้นที่เกษตร วัตถุต้นกำเนิดดินจัดอยู่ในหมวด หินทรายแป้ง หินทรายแป้งสีแดง หินทราย หินทรายแป้งเนื้อปนปูน ป่าธรรมชาติจัดอยู่ในสังคมป่าเบญจพรรณผสมเต็งรัง มีประดู่ แดง และเต็ง เป็นไม้เด่น ป่าฟื้นฟูอายุ 3 ปี เป็นแปลงทดลองปลูกแบบเต็มพื้นที่ขนาด 40x40 เมตร ทำการปลูกกล้าไม้เมื่อปี 2562 พันธุ์ไม้ที่ปลูกได้แก่ มะเดื่อปล้อง ประดู่ เหมือด มอก หาดหนุน ตีนนก มะเดื่อ ปี้จั่น มะกอก น้ำเย้ย อ้อยช้าง เป๋ย ค่าหด ส้มเห็ด ตาลเหลือง ติ้วแดง เพกา ยอป่า ตับเต่า หวดเหล้า ใบหมี่ หมูหมัน ส้าน มะกอก มะตาเสือ มะเยื้อย มะเม่า มะติ่ง สะแก สาน เส้า ปุย แก ผาเสี้ยน แดง ตะเคียน เก็ดดำ และหม่าน้อด พื้นที่ทำการเกษตรเป็นการทำเกษตรเชิงเดี่ยวปลูกข้าวโพดลี้ยงสัตว์ โดยทำงานร่วมกับหน่วยวิจัยการฟื้นฟูป่า (Forest Restoration Unit; FORRU) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

3.2 อุปกรณ์ในการวิจัย

1) แผนที่ และภาพถ่ายระยะไกล

1.1) แผนที่แสดงลักษณะภูมิประเทศ (Topographic map) ของกรมแผนที่ทหาร

1.2) แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน (Land use map)

1.3) แผนที่ธรณีวิทยา (Geologic map)

1.4) ภาพถ่ายทางอากาศ (Aerial photo) จากอากาศยานไร้คนขับ (Drone) DJI Phantom 4 multispectral

2) อุปกรณ์สำรวจและเก็บตัวอย่างดิน

2.1) อุปกรณ์ที่ใช้ในการขุด ถาก เจาะดิน ได้แก่ ใบมีด พลั่ว และจอบ

2.2) อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างแบบรบกวนดิน เจาะดิน ได้แก่ สว่านเจาะดิน กระบอกตอกดิน (Core) และวงแหวน (Ring) เก็บตัวอย่างดิน

2.3) อุปกรณ์ที่ใช้ในการกำหนดทิศทางและวัดระยะ ได้แก่ เข็มทิศแบบต่าง ๆ ตลับเมตร เทปวัดระยะ และเทปวัดความลึกของดิน

2.4) อุปกรณ์ที่ใช้ในการบันทึกข้อมูลภาคสนาม

3) อุปกรณ์ที่ใช้ในการระบุตำแหน่งของจุดหรือพื้นที่สำรวจพิกัด และนำทาง ที่อ้างอิงจากระบบพิกัดทางภูมิศาสตร์ของพื้นผิวโลก (GPS; Global positioning system)

3.3 วิธีดำเนินการศึกษา

1) การศึกษาภาคสนาม

1.1) การเก็บตัวอย่างดิน เลือกตัวแทนดินในพื้นที่ตามการใช้ประโยชน์ที่ดินทั้ง 3 รูปแบบได้แก่ ป่าธรรมชาติ ป่าฟื้นฟู และพื้นที่เกษตร ทั้งหมด 18 แปลง ศึกษาลักษณะของดินด้วยการทำหลุมศึกษาลักษณะของดินขนาด 50 เซนติเมตร ยาว 50 เซนติเมตร ลึก 50 เซนติเมตร หรือจนพบชั้นหิน ผันแปรไปตามลักษณะของดิน และหิน จัดทำคำอธิบายหน้าตัดดินและบรรยายลักษณะของดินตามคู่มือการเก็บตัวอย่างและอธิบายลักษณะของดินภาคสนามตาม คู่มือการศึกษาดินภาคสนามกระทรวงเกษตรประเทศสหรัฐอเมริกา (Schoeneberger et al., 2002; เอิบ, 2548) และเก็บดินตามลักษณะและขอบเขตของชั้นดินที่แบ่งโดยใช้ความแตกต่างที่ได้จากการสังเกตุและทดสอบเบื้องต้นในสนาม โดยที่ความลึกของชั้นดินนั้นจะขึ้นอยู่ลักษณะ และความแตกต่างของดินที่กล่าวมาข้างต้น โดยทำการเก็บตัวอย่างดิน 2 รูปแบบ คือ การเก็บตัวอย่างแบบรบกวนดิน และการเก็บตัวอย่างดินแบบไม่รบกวนดิน โดยใช้กระบอกเหล็กและแหวนเก็บตัวอย่างดินที่ทราบปริมาตรที่แน่นอน เก็บตัวอย่างที่ระดับความลึก 0-5, 5-10, 10-15, 15-30, 30-45, 45-60, 60-80 และ80-100 เซนติเมตร ตามลำดับจำนวน 3 ซ้ำต่อหนึ่งชั้นความลึก สำหรับการศึกษาสมบัติของดินทางกายภาพและเคมีบางประการใช้ข้อมูลที่ระดับความลึก 0-5, 5-10, 10-15, 15-30 เซนติเมตร เนื่องจากดินที่ระดับความลึก 0-30 เซนติเมตร เป็นดินบนจะมีความผันแปรของดินมากกว่าดินล่าง การสะสมคาร์บอนใช้ข้อมูลที่ระดับความลึก 0-30 เซนติเมตร และ 30-100 เซนติเมตร การแบ่งระดับความลึกที่ระดับดินบน 0-30 เซนติเมตร และดินล่าง 30-100 เซนติเมตร เนื่องจากปริมาณคาร์บอนในดินบนมี

แนวโน้มจะมีการเปลี่ยนแปลงจากการใช้ประโยชน์ที่ดินและการรบกวนอื่น ๆ มากกว่าดินล่าง (Veldkamp et al., 2003)

2) การวิเคราะห์ดินในห้องปฏิบัติการ

2.1) การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของดิน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2565)

2.1.1) การกระจายขนาดของอนุภาคดิน (Soil particle size distribution) ทำการย่อยอินทรียวัตถุ หลังจากนั้นทำให้อนุภาคดินเกิดสภาพแขวนลอยในน้ำด้วยการใส่สารละลาย 5% Calgon และน้ำกลั่น นำไปปั่นด้วยเครื่องปั่น หาปริมาณของอนุภาค Sand Silt และ Clay โดยวิธี Hydrometer วัดความหนาแน่นของสารแขวนลอยดินภายหลังจากการตกตะกอนของอนุภาคในระยะเวลาต่าง ๆ กันในขนาดอนุภาคทรายแป้งและอนุภาคดินเหนียว ผลที่ได้รับจากการวิเคราะห์นำมาแจกแจงประเภทของเนื้อดิน (Soil texture class) โดยการเปรียบเทียบกับชั้นดินตามเกณฑ์ของกระทรวงเกษตรประเทศสหรัฐอเมริกา (USDA textural class)

2.1.2) ความหนาแน่นรวมของดิน (Bulk density; BD) ใช้กระบอกเก็บตัวอย่างดินโดยไม่ทำลายโครงสร้าง (Core method) มาหาปริมาตรของดิน นำตัวอย่างไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำมาชั่งน้ำหนักหาน้ำหนักแห้งและคำนวณความหนาแน่นรวมของดิน ตามสมการ 1

$$\text{ความหนาแน่นรวมของดิน } (Mg/m^3) = W_s / V_s \quad (1)$$

เมื่อ W_s = น้ำหนักดินแห้ง (g)

V_s = ปริมาตร Core (cm^3)

2.1.3) ความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน (Water holding capacity; WHC) ใช้วิธีวิเคราะห์โดยน้ำหนัก (Gravimetric method) โดยนำตัวอย่างดินที่เก็บด้วยวิธีไม่รบกวนดิน มาแช่น้ำจนดินอิ่มตัวด้วยน้ำ จากนั้นนำตัวอย่างดินไปชั่งน้ำหนัก และนำไปอบอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส อย่างน้อย 24 ชั่วโมง นำตัวอย่างดินที่แห้งมาชั่งน้ำหนักและคำนวณค่าความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน (วันเพ็ญ และชนิดา, 2559) ตามสมการ 2

ความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน (%) = $[(W_{sw} - W_s) / W_s] * 100$ _____(2)

เมื่อ W_{sw} = น้ำหนักดินเปียก (g)
W_s = น้ำหนักดินแห้ง (g)
W_a = น้ำหนัก Core (g)

2.1.4) ปริมาณหินและกรวด (Gravel) โดยการนำตัวอย่างดินที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอนมาละลายน้ำผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร จากนั้นแยกตัวอย่างที่ค้างบนตะแกรงไปอบให้แห้งและชั่งน้ำหนักคำนวณปริมาณกรวด (วันเพ็ญ และชนิดา, 2559) ตามสมการ 3

ปริมาณกรวด (%) = $(W_g / W_s) \times 100$ _____(3)

เมื่อ W_g = น้ำหนักกรวด (%)
W_s = น้ำหนักดินแห้ง (g)

2.1.5) ความหนาแน่นอนุภาคของดิน (Particle density; PD) โดยการแทนที่วัตถุด้วยของเหลว (Liquid displacement method) เติมดินแห้งสนิทในขวดปรับปริมาตร ทำการเติมน้ำ จากนั้นทำการต้มดินเพื่อไล่อากาศเมื่อฟองอากาศหมด พักไว้ให้เย็นแล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำ ชั่งน้ำหนักและคำนวณค่าความหนาแน่นอนุภาค ตามสมการ 4

ความหนาแน่นอนุภาคของดิน (Mg/m^3) = $W_s / [(W_w - W_a) - (W_{sw} - W_s - W_a)]$ _____(4)

เมื่อ W_s = น้ำหนักดินแห้ง (g)
W_w = น้ำหนักดินแห้ง (g)
W_a = น้ำหนักขวดปรับปริมาตร (g)
W_{sw} = น้ำหนักขวดปรับปริมาตร ดิน และน้ำหลังปรับปริมาตรจนถึงขีดปริมาตร 100 ml (g)

2.1.6) ความพรุนรวมของดิน (Total soil porosity; TP) คือสัดส่วนของปริมาตรของส่วนที่เป็นช่องว่างต่อปริมาตรทั้งหมดของดิน ซึ่งทำการคำนวณจากความหนาแน่นรวมของดินและความหนาแน่นอนุภาคของดิน ตามสมการ 5

ความพรุนรวมของดิน (%) = [1 - (BD / PD)] x 100_____(5)

เมื่อ BD = ความหนาแน่นรวมของดิน (Mg/m^3)

PD = ความหนาแน่นอนุภาคของดิน (Mg/m^3)

2.2) การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดิน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553)

2.2.1) ความเป็นกรดด่างของดิน (Soil pH; pH) โดยใช้เครื่องมือวัดความเป็นกรดด่างของดิน (pH meter) ใช้อัตราส่วนดินต่อน้ำกลั่น เท่ากับ 1:1 โดยชั่งดิน 10 กรัมต่อน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร คนให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 5 นาที ทำซ้ำอีก 2 ครั้ง ครั้งที่ 3 ตั้งทิ้งไว้ 15 นาที แล้วนำไปวัดค่าโดยใช้เครื่องมือ pH-meter

2.2.2) ปริมาณอินทรียคาร์บอนในดิน (Soil organic carbon; SOC) โดยวิธี Walkley and Black ชั่งดิน 1 กรัม เติมสารละลาย $K_2Cr_2O_7$ และ H_2SO_4 เข้มข้น แล้วไทเทรตด้วย Ferrous sulphate 0.5N โดยมี O-phenantholine เป็น Indicater

2.2.3) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available phosphorus; Avail. P) โดยวิธี Bray II สกัดตัวอย่างดินหนัก 2.5 กรัม ด้วยน้ำยา Bray II จำนวน 25 มิลลิลิตร เขย่านาน 1 นาที กรองสารละลายด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 แล้วนำสารละลายไปพัฒนาสีให้เป็นสีน้ำเงินแกมฟ้าด้วยวิธี Molybdenum blue โดยมี Ascorbic acid เป็นสารรีดิวซ์ แล้ววัดปริมาณฟอสฟอรัสด้วยเครื่อง Spectrophotometer

2.2.4) ปริมาณด่างรวมที่แลกเปลี่ยนได้ (Total exchangeable bases) ได้แก่ โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable potassium; Exch. K) แคลเซียมแลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable calcium; Exch. Ca) แมกนีเซียมแลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable magnesium Exch. Mg) และโซเดียมแลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable sodium; Exch. Na) โดยใช้ตัวอย่างดิน 5 กรัม สารละลาย 1 N NH_4OAc ที่เป็นกลาง (pH 7.0) จำนวน 25 มิลลิลิตร เขย่าเป็นเวลา 30 นาที แล้วกรองตัวอย่างสารเพื่อนำเอาสารละลายที่ได้ นำไปวัดค่าหาปริมาณด้วยเครื่อง Atomic absorption spectrophotometer

2.2.5) ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (Cation exchange capacity; CEC) โดยใช้การชะล้างไอออนบวกด้วยสารละลาย 1N NH_4OAc ที่เป็นกลาง (pH 7.0) และแทนที่ไอออนบวกของแอมโมเนียมไอออนด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (10 %) ในสภาพที่เป็นกรดกลั่นหาแอมโมเนียมไอออนแล้วคำนวณหาความจุแลกเปลี่ยนไอออนบวกของดิน

2.2.6) ความอิ่มตัวเบส (Base Saturation; BS) โดยคำนวณจากผลรวมของปริมาณเบสที่แลกเปลี่ยนได้หารด้วยค่า CEC ของดิน ตามสมการ 6

ความอิ่มตัวเบส (%) = (Sum Bases / CEC) * 100 _____(6)

เมื่อ Sum Bases = ผลรวมของประจุบวกที่แลกเปลี่ยนได้ ($cmol^+/kg$)
CEC = ค่าความจุแลกเปลี่ยนไอออนบวก ($cmol^+/kg$)

3.4 การคำนวณปริมาณการสะสมคาร์บอนในดิน

การสะสมคาร์บอนในดินสามารถหาได้โดยการคำนวณจากปริมาณของคาร์บอนในดินกับมวลของดินแต่ละชั้นความลึกต่อหน่วยพื้นที่เป็น (t/ha) (จักรพงษ์ และคณะ, 2563) ตามสมการ 7 และ 8

Soil carbon storage (t/ha) = SOC * Soil mass in each soil horizon _____(7)

เมื่อ SOC = ความหนาแน่นรวมของดิน (Mg/m^3)
Soil mass = ความหนาแน่นอนุภาคของดิน (Mg/m^3)

Soil mass (t/ha) = BD * Depth * Area _____(8)

เมื่อ BD = ความหนาแน่นรวมของดิน (Mg/m^3)
Depth = ความลึกของดิน (m)
Area = ขนาดพื้นที่ (ha)

3.5 สถิติที่ใช้ในการวิจัย

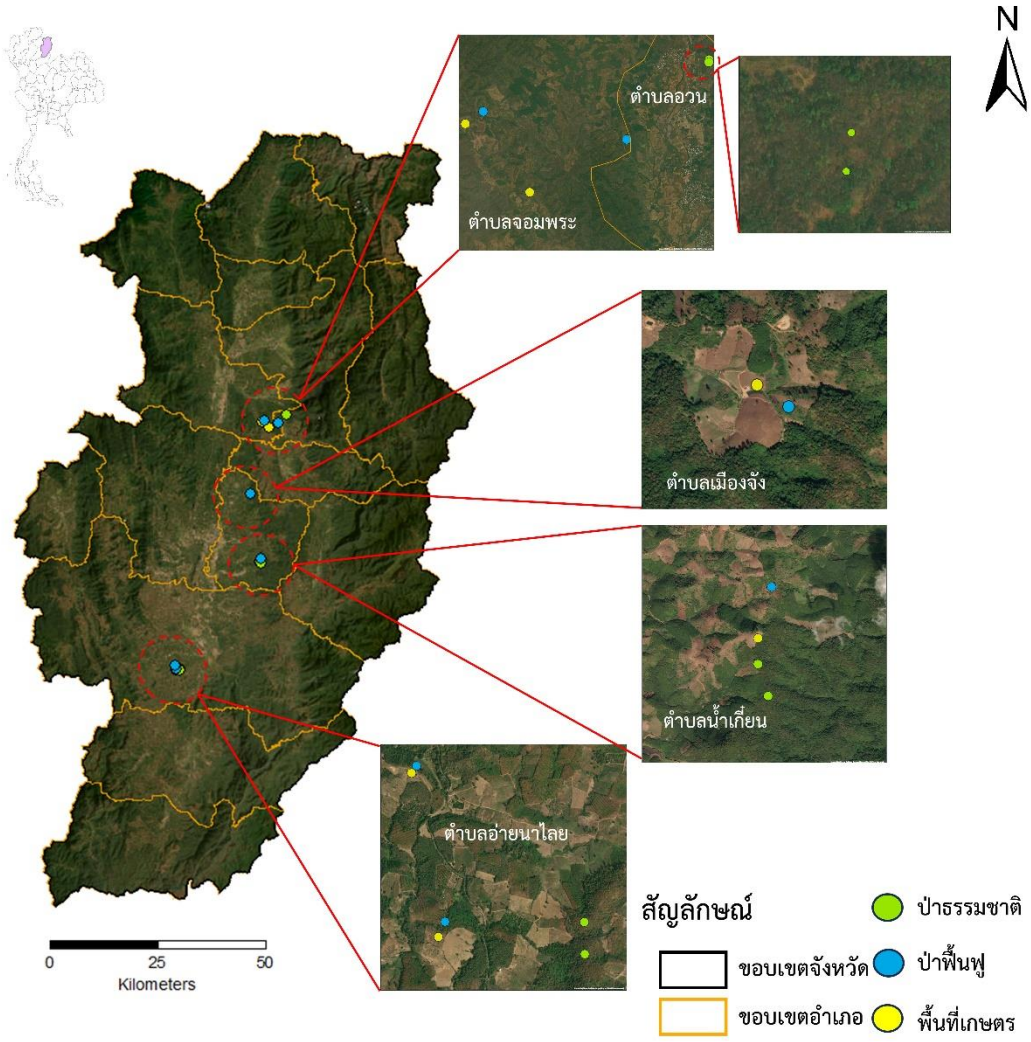
วิเคราะห์ผลทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS statistics version 26 (Statistics Package for Social Sciences, USA) ภายใต้แผนการทดลองแบบบล็อกสมบูรณ (Randomized Complete Block Design; RCBD) วิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ย (Analysis of variance, F-test) ของสมบัติของดินบางประการและการสะสมคาร์บอนในแต่ละความลึกดินที่ทำการเก็บตัวอย่าง และเปรียบเทียบความแตกต่างด้วยวิธี Least Significant Difference; LSD

3.6 ระยะเวลาในการทำวิจัย

การศึกษาครั้งนี้ใช้ระยะเวลาศึกษาตั้งแต่ เดือนมิถุนายน 2565 ถึง เดือนมิถุนายน 2566 ในพื้นที่ป่าธรรมชาติ ป่าฟื้นฟู และพื้นที่เกษตร อำเภอเวียงสา ปัว ท่าวังผา และภูเพียง จังหวัดน่าน และห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ดิน คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่

บทที่ 4
ผลการศึกษาและวิจารณ์

การวิจัยในครั้งนี้ทำการศึกษาสมบัติของดินบางประการและการสะสมคาร์บอนในดินในป่าธรรมชาติสังคมป่าเบญจพรรณผสมเต็งรัง ป่าฟื้นฟูอายุ 3 ปี ทำการปลูกกล้าไม้เมื่อปี 2562 พื้นที่เกษตรเป็นเกษตรเชิงเดี่ยวปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พื้นที่ทำการเกษตรมากกว่า 30 ปี โดยมีผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางเคมี และการสะสมคาร์บอนในดิน ใน 3 รูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดินในตำบลอ่ายนาไลย อำเภอเวียงสา ตำบลอวน อำเภอปัว ตำบลจอมพระ อำเภอท่าวังผา ตำบลเมืองจัง และตำบลน้ำเกี๋ยน อำเภอภูเพียง จังหวัดน่าน (ภาพที่ 10)



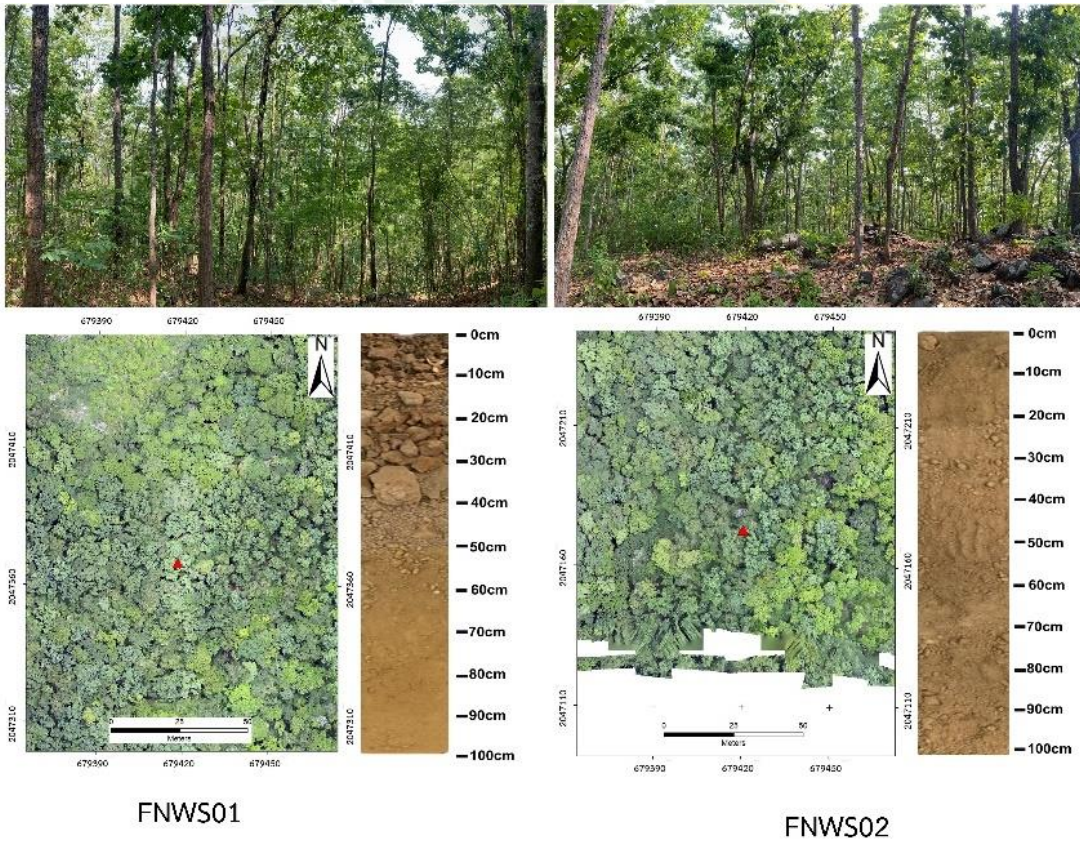
ภาพที่ 10 แผนที่ตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่างดิน จังหวัดน่าน

4.1 ลักษณะดินในพื้นที่ศึกษา

1) อำเภอเวียงสา

1.1) ป่าธรรมชาติ

พื้นที่เก็บตัวอย่างดิน ในป่าธรรมชาติทั้ง 2 บริเวณ มีลักษณะองค์ประกอบของชนิดป่าเป็นป่าเบญจพรรณผสมเต็งรัง (ตารางภาคผนวกที่ 1) ตั้งอยู่ ตำบลอ่ายนาไลย อำเภอเวียงสา อยู่สูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง อยู่ในช่วง 300-309 เมตร ความลาดชันอยู่ในช่วง 20 - >35 % ลักษณะวัตถุต้นกำเนิดดินเป็นหินทรายแป้ง (PTr) ลักษณะของดินเป็นดินลึกมีการจัดเรียงตัวของชั้นดิน A-Bt_1-Bt_2 เนื้อดินบนเป็นดินร่วนเหนียวถึงเหนียว ดินล่างเป็นดินเหนียว และดินมีการระบายน้ำดี (ภาพที่ 11)

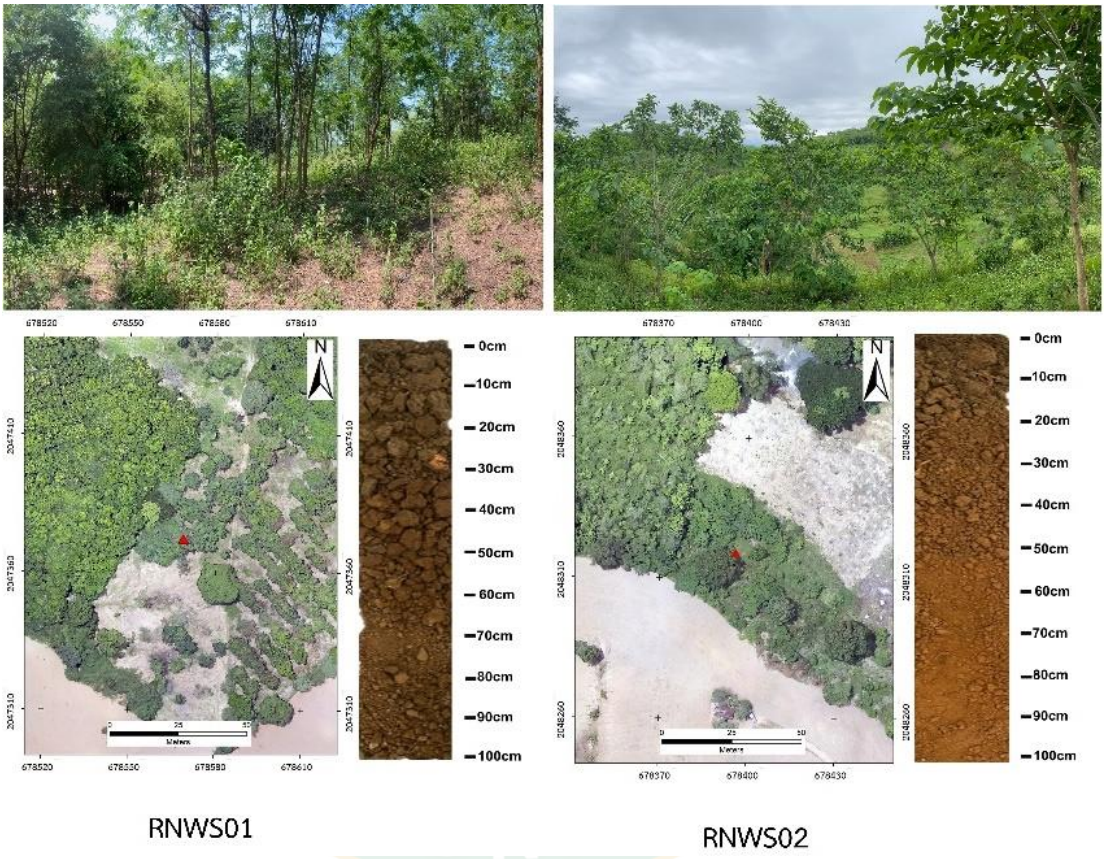


ภาพที่ 11 ลักษณะดินในพื้นที่ป่าธรรมชาติ อำเภอเวียงสา (FNWS)

1.2) ป่าฟื้นฟู

พื้นที่เก็บตัวอย่างดิน ในป่าฟื้นฟูทั้ง 2 บริเวณ ในอดีตเป็นพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ หลังจากนั้นมีการพักพื้นที่ก่อนการฟื้นฟูเป็นเวลา 6 เดือน ได้รับการฟื้นฟูตั้งแต่ปี พ.ศ. 2562 จนถึงวันเก็บข้อมูลปี พ.ศ. 2565 เป็นระยะเวลา 3 ปี โดยระยะเวลาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2562-2564

มีการดูแลโดยการกำจัดเศษวัชพืช และใส่ปุ๋ยอินทรีย์มูลค้าวคาว อัตรา 50 กรัมต่อต้น ใส่ช่วงหน้าฝนปีละ 3 ครั้ง (ตารางภาคผนวกที่ 4) ทั้ง 2 บริเวณตั้งอยู่ ตำบลอ่ายนาไลย อำเภอเวียงสา อยู่สูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง อยู่ในช่วง 233-269 เมตร ความลาดชันอยู่ในช่วง 12-35 % ลักษณะวัตถุต้นกำเนิดดินเป็นหินทรายแป้ง (PTr) และหินทราย (TrJ) ลักษณะของดินเป็นดินลึกมีการจัดเรียงตัวของชั้นดิน A-Bt_1-Bt_2-C เนื้อดินบนเป็นดินร่วนเหนียว ดินล่างเป็นดินเหนียว และดินมีการระบายน้ำดี (ภาพที่ 12)

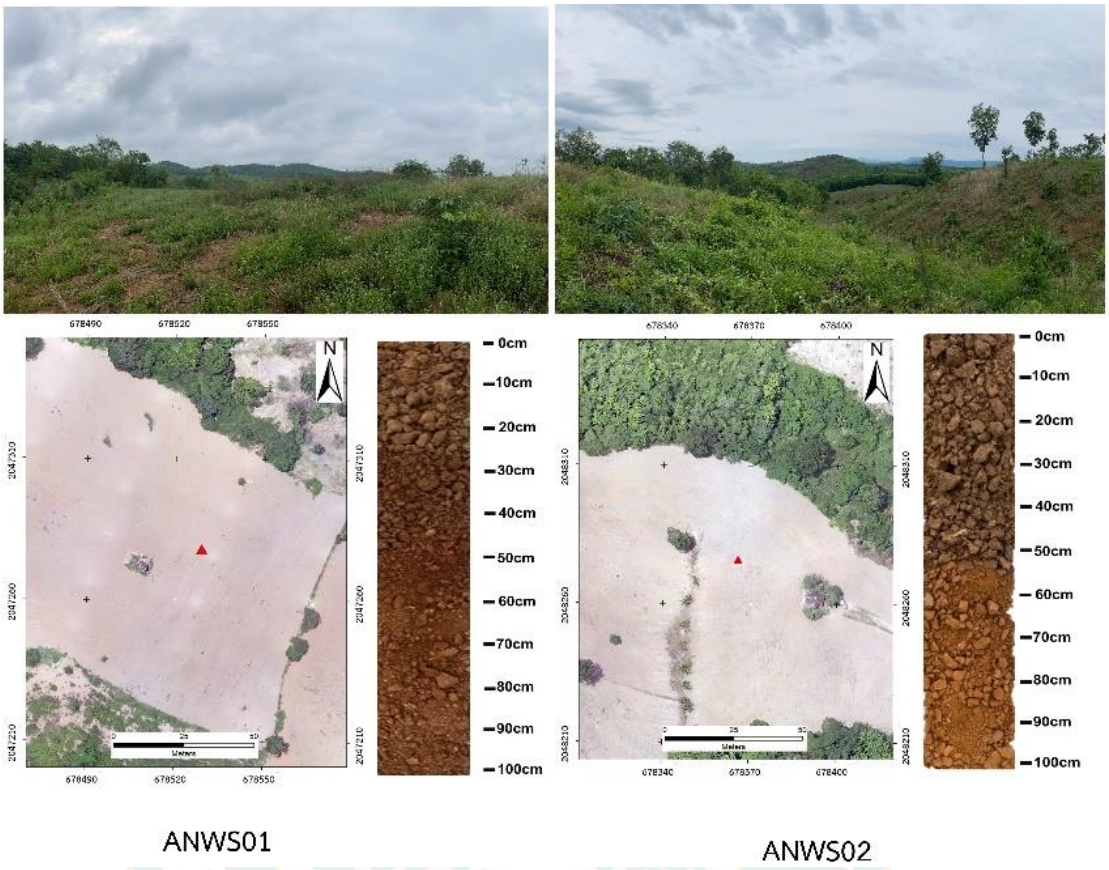


ภาพที่ 12 ลักษณะดินในพื้นที่ป่าฟื้นฟู อำเภอเวียงสา (RNWS)

1.3) พื้นที่เกษตร

พื้นที่เก็บตัวอย่างดิน ในพื้นที่เกษตรทั้ง 2 บริเวณ เป็นพื้นที่เกษตรเชิงเดี่ยว ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ การจัดการในบริเวณ ANWS01 และ ANWS02 มีการใช้ปุ๋ยเคมีสูตร 16-20-0 อัตรา 50 kg/rai เป็นปุ๋ยรองพื้น เมื่อต้นข้าวโพดอายุ 1 เดือนจึงใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0+15-15-15 อัตราผสม 1:1 ใส่ในอัตรา 25 kg/rai (ตารางภาคผนวกที่ 5) ทั้ง 2 บริเวณตั้งอยู่ ตำบลอ่ายนาไลย อำเภอเวียงสา อยู่สูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง อยู่ในช่วง 248-274 เมตร ความลาดชันอยู่ในช่วง 12-35 % ลักษณะวัตถุต้นกำเนิดดินเป็นหินทรายแป้ง (PTr) และหินทราย (TrJ) ลักษณะของดินเป็น

ดินลึกมีการจัดเรียงตัวของชั้นดิน A-Bt_1-Bt_2-C เนื้อดินบนเป็นดินร่วนเหนียวถึงเหนียว ดินล่างเป็นดินเหนียวและดินมีการระบายน้ำดี (ภาพที่ 13)

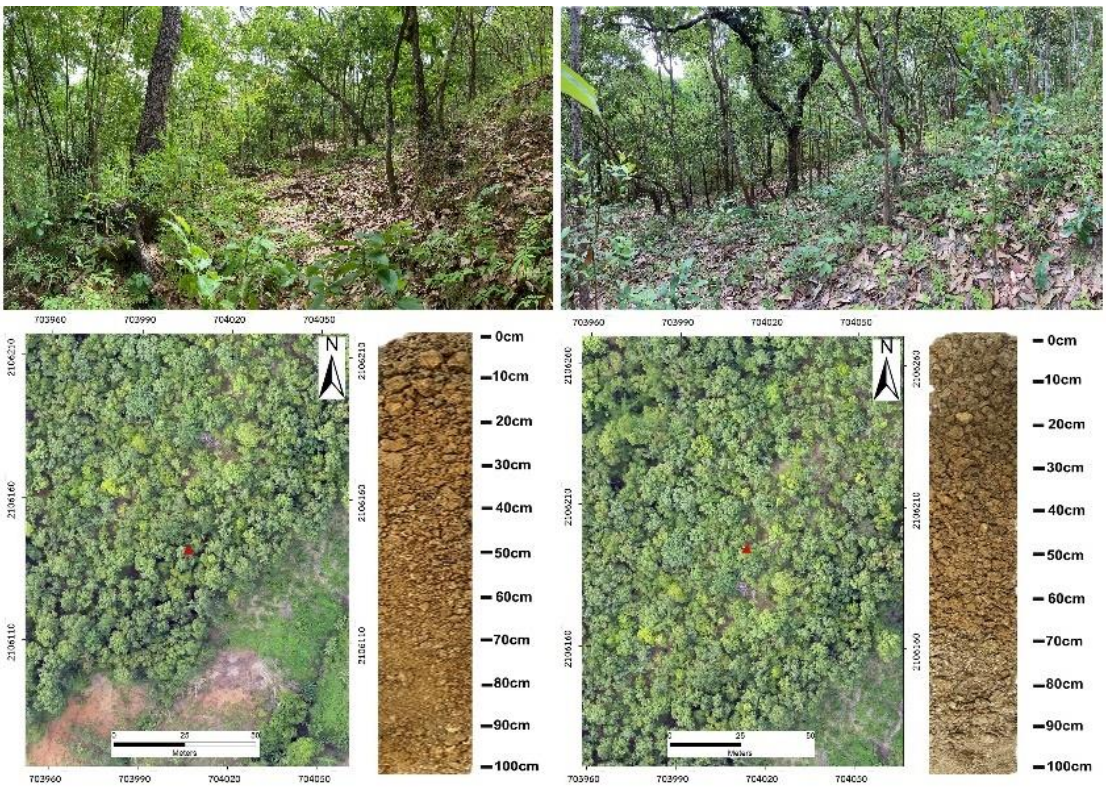


ภาพที่ 13 ลักษณะดินในพื้นที่เกษตร อำเภอเวียงสา (ANWS)

2) อำเภอปัวและอำเภอท่าวังผา

2.1) ป่าธรรมชาติ

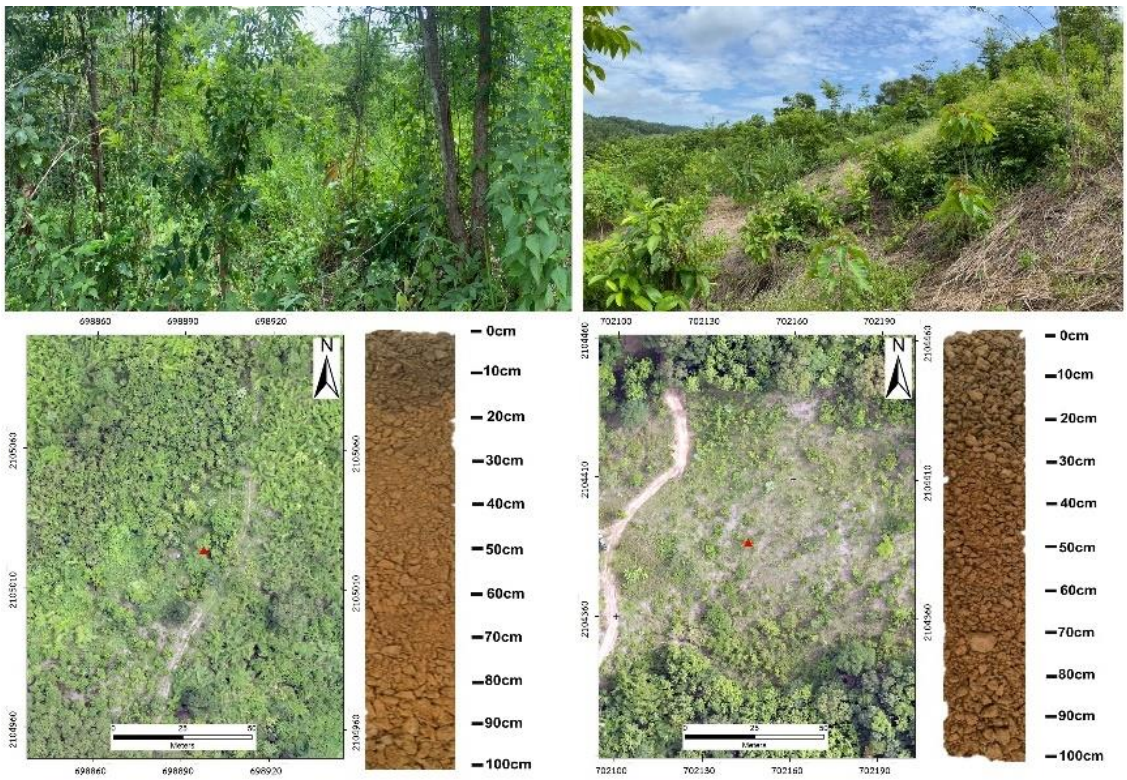
พื้นที่เก็บตัวอย่างดิน ในป่าธรรมชาติทั้ง 2 บริเวณ มีลักษณะองค์ประกอบของชนิดป่าเป็นป่าเบญจพรรณผสมเต็งรัง (ตารางภาคผนวกที่ 2) ตั้งอยู่ ตำบลอวน อำเภอปัว อยู่สูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง อยู่ในช่วง 366-384 เมตร ความลาดชัน >35 % ลักษณะวัตถุต้นกำเนิดดินเป็นหินทรายแป้งสีแดง (Tmm) ลักษณะของดินเป็นดินลึกมีการจัดเรียงตัวของชั้นดิน A-Bt_1-Bt_2 เนื้อดินบนเป็นดินร่วนเหนียวถึงเหนียว ดินล่างเป็นดินเหนียว และดินมีการระบายน้ำดี (ภาพที่ 14)



ภาพที่ 14 ลักษณะดินในพื้นที่ป่าธรรมชาติ อำเภอปัว (FPUA)

2.2) ป่าฟื้นฟู

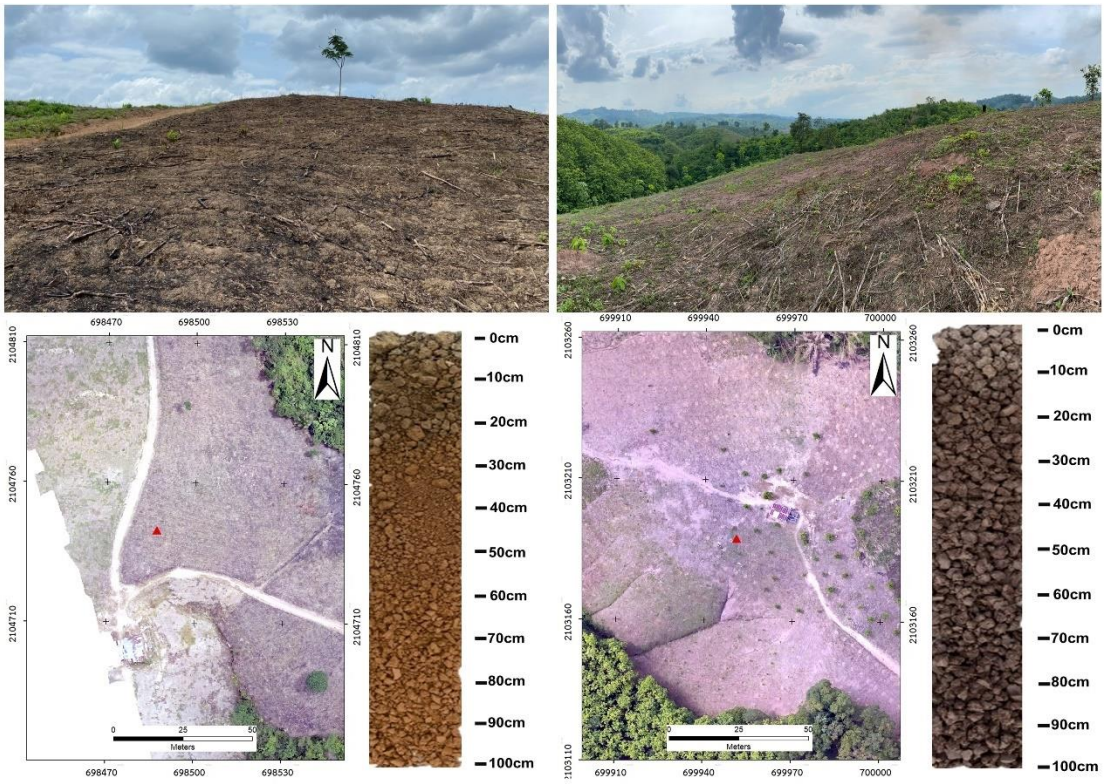
พื้นที่เก็บตัวอย่างดิน ในป่าฟื้นฟูทั้ง 2 บริเวณ ในอดีตเป็นพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ หลังจากนั้นมีการพักพื้นที่ก่อนการฟื้นฟูเป็นเวลา 1 และ 3 ปี ได้รับการฟื้นฟูตั้งแต่ปี พ.ศ. 2562 จนถึงวันเก็บข้อมูลปี พ.ศ. 2565 เป็นระยะเวลา 3 ปี โดยระยะเวลาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2562-2564 มีการดูแลโดยการกำจัดเศษวัชพืช และใส่ปุ๋ยอินทรีย์มูลค้าวคาว อัตรา 50 กรัมต่อต้น ใส่ช่วงหน้าฝนปีละ 3 ครั้ง (ตารางภาคผนวกที่ 4) ทั้ง 2 บริเวณตั้งอยู่ ตำบลจอมพระ อำเภอท่าวังผา อยู่สูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง อยู่ในช่วง 272-327 เมตร ความลาดชันอยู่ในช่วง 20 - >35 % ลักษณะวัตถุต้นกำเนิดดินเป็นหินทรายแป้งเนื้อปนปูน (JpK) ลักษณะของดินเป็นดินลึกมีการจัดเรียงตัวของชั้นดิน A-Bt_1-Bt_2-C เนื้อดินบนเป็นดินร่วนเหนียวถึงเหนียว ดินล่างเป็นดินเหนียว และดินมีการระบายน้ำดี (ภาพที่ 15)



ภาพที่ 15 ลักษณะดินในพื้นที่ป่าฟื้นฟู อำเภอท่าวังผา (RPUA)

2.3) พื้นที่เกษตร

พื้นที่เก็บตัวอย่างดิน ในพื้นที่เกษตรทั้ง 2 บริเวณ เป็นพื้นที่เกษตรเชิงเดี่ยว ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ การจัดการในบริเวณ APUA01 เมื่อต้นข้าวโพดอายุ 1 เดือนจึงใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0+15-15-15 อัตราผสม 1:1 ใส่ในอัตรา 16 kg/rai เพียงอย่างเดียว บริเวณ APUA02 เมื่อต้นข้าวโพดอายุ 1 เดือนจึงใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0 อัตรา 100 kg/rai และก่อนออกฟัก ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 อัตรา 100 kg/rai (ตารางภาคผนวกที่ 5) ทั้ง 2 บริเวณตั้งอยู่ ตำบลจอมพระ อำเภอท่าวังผา อยู่สูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง อยู่ในช่วง 325-360 เมตร ความลาดชันอยู่ในช่วง 12-35 % ลักษณะวัตถุต้นกำเนิดดินเป็นหินทรายแป้งเนื้อปนปูน (JpK) ลักษณะของดินเป็นดินลึกมีการจัดเรียงตัวของชั้นดิน A-Bt_1-Bt_2 เนื้อดินบนเป็นดินร่วนเหนียวถึงเหนียว ดินล่างเป็นดินเหนียว และดินมีการระบายน้ำดีปานกลางถึงดี (ภาพที่ 16)

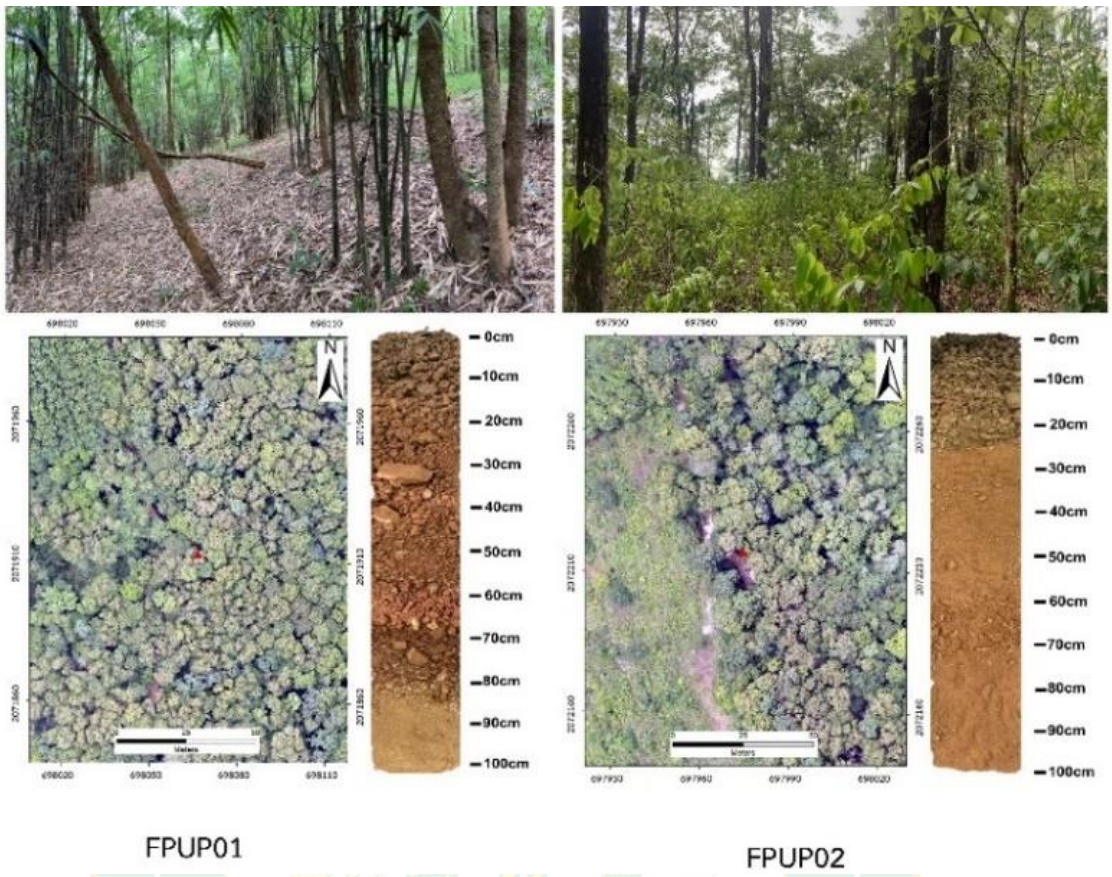


ภาพที่ 16 ลักษณะดินในพื้นที่เกษตร อำเภอท่าวังผา (APUA)

3) อำเภอภูเพียง

3.1) ป่าธรรมชาติ

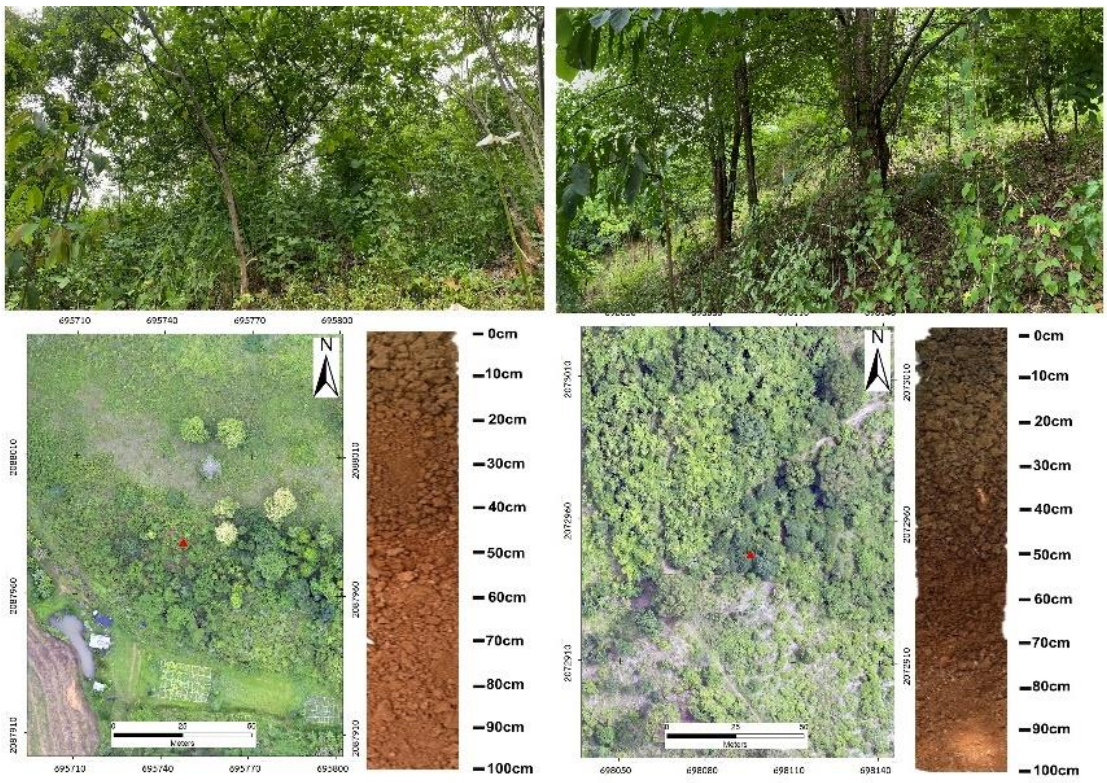
พื้นที่เก็บตัวอย่างดิน ในป่าธรรมชาติทั้ง 2 บริเวณ มีลักษณะองค์ประกอบของชนิดป่าเป็นป่าเบญจพรรณผสมเต็งรัง (ตารางภาคผนวกที่ 3) ตั้งอยู่ ตำบลน้ำเกี๋ยน อำเภอภูเพียง อยู่สูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง อยู่ในช่วง 304-421 เมตร ความลาดชัน >35 % ลักษณะวัตถุต้นกำเนิดดินเป็นดินเป็นหินทรายแป้ง (PTr) ลักษณะของดินเป็นดินลึกมีการจัดเรียงตัวของชั้นดิน A-Bt_1-Bt_2 เนื้อดินบนเป็นดินร่วนเหนียวถึงเหนียว ดินล่างเป็นดินเหนียว และดินมีการระบายน้ำดี (ภาพที่ 17)



ภาพที่ 17 ลักษณะดินในพื้นที่ป่าธรรมชาติ อำเภอภูเพียง (FPUP)

3.2) ป่าฟื้นฟู

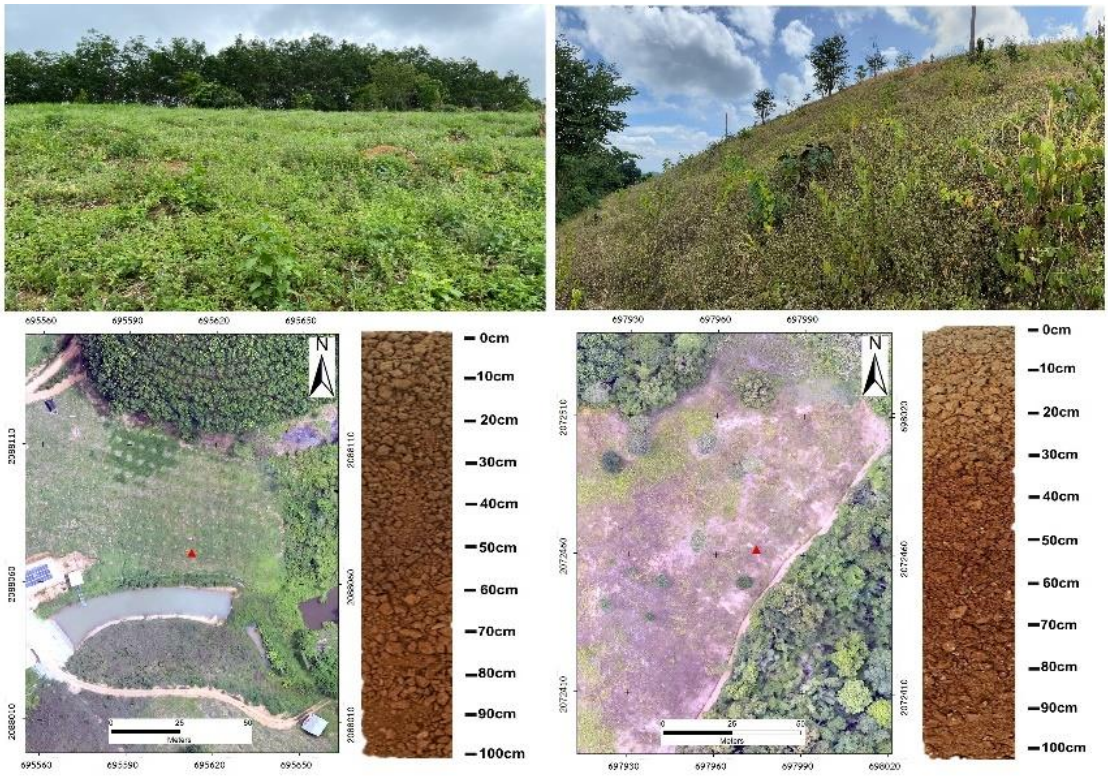
พื้นที่เก็บตัวอย่างดิน ในป่าฟื้นฟูทั้ง 2 บริเวณ ในอดีตเป็นพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ หลังจากนั้นมีการพักพื้นที่ก่อนการฟื้นฟูเป็นเวลา 6 เดือน และ 2 ปี ได้รับการฟื้นฟูตั้งแต่ปี พ.ศ. 2562 จนถึงวันเก็บข้อมูลปี พ.ศ. 2565 เป็นระยะเวลา 3 ปี โดยระยะเวลาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2562-2564 มีการดูแลโดยการกำจัดเศษวัชพืช และใส่ปุ๋ยอินทรีย์มูลค้าวคาว อัตรา 50 กรัมต่อต้น ใส่ช่วงหน้าฝนปีละ 3 ครั้ง (ตารางภาคผนวกที่ 4) ทั้ง 2 บริเวณตั้งอยู่ ตำบลเมืองจัง และตำบลน้ำเกี๋ยน อำเภอภูเพียง อยู่สูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง อยู่ในช่วง 309-433 เมตร ความลาดชัน >35 % ลักษณะวัตถุต้นกำเนิดดินเป็นดินเป็นหินทรายแป้ง (PTr) ลักษณะของดินเป็นดินลึกมีการจัดเรียงตัวของชั้นดิน A-Bt_1-Bt_2 เนื้อดินบนเป็นดินร่วนเหนียวถึงเหนียว ดินล่างเป็นดินเหนียว และดินมีการระบายน้ำดี (ภาพที่ 18)



ภาพที่ 18 ลักษณะดินในพื้นที่ป่าฟื้นฟู อำเภอภูเพียง (RPUP)

3.3) พื้นที่เกษตร

พื้นที่เก็บตัวอย่างดิน ในพื้นที่เกษตรทั้ง 2 บริเวณ เป็นพื้นที่เกษตรเชิงเดี่ยว ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ การจัดการในบริเวณ APUP01 มีการใช้ปุ๋ยเคมีสูตร 16-20-0 อัตรา 50 kg/rai เป็นปุ๋ยรองพื้น เมื่อต้นข้าวโพดอายุ 1 เดือนจึงใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0 อัตรา 50 kg/rai บริเวณ APUP02 เมื่อต้นข้าวโพดอายุ 1 เดือนจึงใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0+15-15-15 อัตราผสม 1:1 ใส่ในอัตรา 25 kg/rai เพียงอย่างเดียว (ตารางภาคผนวกที่ 5) ทั้ง 2 บริเวณตั้งอยู่ ตำบลเมืองจัง และตำบลน้ำเกี๋ยน อำเภอภูเพียง อยู่สูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง อยู่ในช่วง 285-433 เมตร ความลาดชันอยู่ในช่วง 20-35 % ลักษณะวัตถุต้นกำเนิดดินเป็นดินเป็นหินทรายแป้ง (PTr) ลักษณะของดินเป็นดินลึก มีการจัดเรียงตัวของชั้นดิน A-Bt_1-Bt_2-C เนื้อดินบนเป็นดินร่วนเหนียวถึงเหนียว ดินล่างเป็นดินเหนียว และดินมีการระบายน้ำดี (ภาพที่ 19)



ภาพที่ 19 ลักษณะดินในพื้นที่เกษตร อำเภอภูเพียง (APUP)

4.2 สมบัติทางกายภาพและเคมีของดินบางประการ

4.2.1 สมบัติทางกายภาพของดิน

1) การกระจายขนาดอนุภาคและชั้นเนื้อดินหลัก

1.1) การแจกกระจายอนุภาคดินทราย

ป่าธรรมชาติ ป่าฟื้นฟู และพื้นที่เกษตร ความลึก 0-5 เซนติเมตร การแจกกระจายอนุภาคดินทรายมีค่า 30.69±3.22 %, 35.33±1.74 % และ 37.60±1.95 % ตามลำดับ ความลึก 5-10 เซนติเมตร การแจกกระจายอนุภาคดินทรายมีค่า 29.03±3.01 %, 33.66±3.03 % และ 35.27±3.48 % ตามลำดับ ความลึก 10-15 เซนติเมตร การแจกกระจายอนุภาคดินทรายมีค่า 27.69±3.68 %, 32.66±2.47 % และ 35.27±3.49 % ตามลำดับ และความลึก 15-30 เซนติเมตร การแจกกระจายอนุภาคดินทรายมีค่า 27.36±3.90 %, 32.66±2.48 % และ 35.27±3.50 % ตามลำดับ โดยการแจกกระจายอนุภาคดินทรายทุกระดับความลึกมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P \leq 0.01$) (ตารางที่ 4)

1.2) การแจกกระจายอนุภาคดินทรายแป้ง

ป่าธรรมชาติ ป่าฟื้นฟู และพื้นที่เกษตร ความลึก 0-5 เซนติเมตร การแจกกระจายอนุภาคดินทรายแป้งมีค่า 32.06±2.87 %, 29.61±2.80 % และ 29.39±1.97 % ตามลำดับ ความลึก 5-10 เซนติเมตร การแจกกระจายอนุภาคดินทรายแป้งมีค่า 31.12±3.38 %, 29.88±3.50 % และ 29.06±3.31 % ตามลำดับ ความลึก 10-15 เซนติเมตร การแจกกระจายอนุภาคดินทรายแป้งมีค่า 30.45±4.20 %, 28.67±4.25 % และ 28.39±2.77 % ตามลำดับ และความลึก 15-30 เซนติเมตร การแจกกระจายอนุภาคดินทรายแป้งมีค่า 28.06±3.34 %, 26.73±4.76 % และ 21.06±2.54 % ตามลำดับ โดยการแจกกระจายอนุภาคดินทรายแป้งความลึก 0-5 และ 15-30 เซนติเมตร มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P \leq 0.01$) และความลึก 5-10 และ 10-15 เซนติเมตร ไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \geq 0.05$) (ตารางที่ 4)

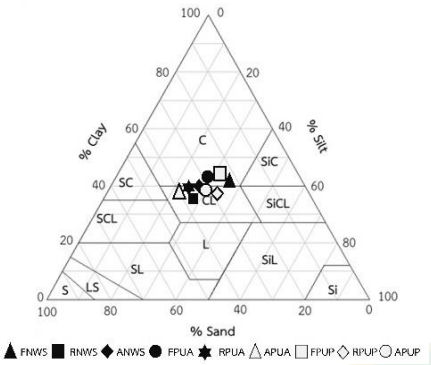
1.3) การแจกกระจายอนุภาคดินเหนียว

ป่าธรรมชาติ ป่าฟื้นฟู และพื้นที่เกษตร ความลึก 0-5 เซนติเมตร การแจกกระจายอนุภาคดินเหนียวมีค่า 38.52±0.92 %, 33.79±3.02 % และ 33.01±2.57 % ตามลำดับ ความลึก 5-10 เซนติเมตร การแจกกระจายอนุภาคดินเหนียวมีค่า 39.85±1.51 %, 36.46±2.70 % และ 35.67±2.18 % ตามลำดับ ความลึก 10-15 เซนติเมตร การแจกกระจายอนุภาคดินเหนียวมีค่า 41.85±1.51 %, 38.67±3.28 % และ 38.01±2.10 % ตามลำดับ และความลึก 15-30 เซนติเมตร การแจกกระจายอนุภาคดินเหนียวมีค่า 46.52±3.82 %, 43.34±4.65 % และ 43.28±2.42 % ตามลำดับ โดยการแจกกระจายอนุภาคดินเหนียวทุกระดับความลึกมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P \leq 0.01$) (ตารางที่ 4)

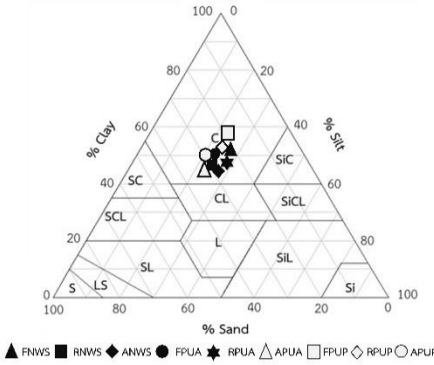
1.4) การจำแนกเนื้อดินหลัก

ป่าธรรมชาติ (FNWS, FPUA และFPUP) มีเนื้อดินบนเป็นดินร่วนเหนียวถึงเหนียว และดินล่างเหนียว ป่าฟื้นฟู (RNWS, RPUA และRPUP) มีเนื้อดินบนเป็นดินร่วนเหนียวถึงเหนียว และดินล่างเป็นดินเหนียว และพื้นที่เกษตร (ANWS, APUA และAPUP) มีเนื้อดินบนเป็นดินร่วนเหนียวถึงเหนียว และดินล่างเป็นดินเหนียว (ภาพที่ 20)

Topsoil



Subsoil



S=Sand, LS=Loamy sand, SL=Sandy loam, Si=Silt, SiL=Silt loam, L=Loam, SiCL=Silty clay loam, SCL=Sandy clay loam, CL=Clay loam, SC=Sandy clay, SiC=Silty clay และ C=Clay

ภาพที่ 20 การกระจายขนาดอนุภาคและชั้นเนื้อดินหลัก

2) ความหนาแน่นรวมของดิน

ป่าธรรมชาติ ป่าฟื้นฟู และพื้นที่เกษตร ความลึก 0-5 เซนติเมตร มีความหนาแน่นรวมของดินต่ำถึงค่อนข้างต่ำมีค่า 1.10±0.09 Mg/m^3, 1.18±0.10 Mg/m^3 และ 1.25±0.07 Mg/m^3 ตามลำดับ ความลึก 5-10 เซนติเมตร มีความหนาแน่นรวมของดินต่ำถึงค่อนข้างต่ำมีค่า 1.17±0.09 Mg/m^3, 1.22±0.11 Mg/m^3 และ 1.27±0.07 Mg/m^3 ตามลำดับ ความลึก 10-15 เซนติเมตร มีความหนาแน่นรวมของดินค่อนข้างต่ำมีค่า 1.21±0.09 Mg/m^3, 1.30±0.10 Mg/m^3 และ 1.30±0.08 Mg/m^3 ตามลำดับ และความลึก 15-30 เซนติเมตร มีความหนาแน่นรวมของดินค่อนข้างต่ำมีค่า 1.28±0.12 Mg/m^3, 1.37±0.10 Mg/m^3 และ 1.38±0.08 Mg/m^3 ตามลำดับ โดยความหนาแน่นรวมของดินทุกระดับความลึกมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (P≤0.01) (ตารางที่ 4)

3) ความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน

ป่าธรรมชาติ ป่าฟื้นฟู และพื้นที่เกษตร ความลึก 0-5 เซนติเมตร ความสามารถในการอุ้มน้ำของดินมีค่า 57.83±6.60 %, 51.04±6.73 % และ 47.35±3.33 % ตามลำดับ ความลึก 5-10 เซนติเมตรความสามารถในการอุ้มน้ำของดินมีค่า 52.65±4.82 %, 46.9±7.63 % และ 43.39±3.69 % ตามลำดับ ความลึก 10-15 เซนติเมตร ความสามารถในการอุ้มน้ำของดินมีค่า 47.66±4.59 %, 44.19±6.53 % และ 40.55±3.17 % ตามลำดับ และความลึก 15-30 เซนติเมตร ความสามารถในการอุ้มน้ำของดินมีค่า 45.03±4.77 %, 40.47±5.52 % และ

39.37±3.04 % ตามลำดับ โดยความสามารถในการอุ้มน้ำของดินทุกระดับความลึกมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P \leq 0.01$) (ตารางที่ 4)

4) ปริมาณหินและกรวด

ป่าธรรมชาติ ป่าฟื้นฟู และพื้นที่เกษตร ความลึก 0-5 เซนติเมตร ปริมาณหินและกรวดมีค่า 1.88±1.22 %, 5.39±4.42 % และ 7.02±5.40 % ตามลำดับ ความลึก 5-10 เซนติเมตร ปริมาณหินและกรวดมีค่า 2.32±1.84 %, 6.97±3.83 % และ 7.18±4.14 % ตามลำดับ ความลึก 10-15 เซนติเมตร ปริมาณหินและกรวดมีค่า 3.52±2.09 %, 5.94±3.32 % และ 6.84±5.47 % ตามลำดับ และความลึก 15-30 เซนติเมตร ปริมาณหินและกรวดมีค่า 4.09±3.26 %, 5.13±3.37 % และ 7.70±6.81 % ตามลำดับ โดยปริมาณหินและกรวดความลึก 0-5 และ 5-10 เซนติเมตรมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P \leq 0.01$) ความลึก 10-15 เซนติเมตรมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) และ ความลึก 15-30 เซนติเมตรไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \geq 0.05$) (ตารางที่ 4)

5) ความหนาแน่นอนุภาคของดิน

ป่าธรรมชาติ ป่าฟื้นฟู และพื้นที่เกษตร ความลึก 0-5 เซนติเมตร ความหนาแน่นอนุภาคของดินมีค่า 2.25±0.08 Mg/m^3, 2.28±0.11 Mg/m^3 และ 2.28±0.06 Mg/m^3 ตามลำดับ ความลึก 5-10 เซนติเมตร ความหนาแน่นอนุภาคของดินมีค่า 2.27±0.12 Mg/m^3, 2.28±0.09 Mg/m^3 และ 2.29±0.08 Mg/m^3 ตามลำดับ ความลึก 10-15 เซนติเมตร ความหนาแน่นอนุภาคของดินมีค่า 2.27±0.08 Mg/m^3, 2.32±0.09 Mg/m^3 และ 2.33±0.07 Mg/m^3 ตามลำดับ และความลึก 15-30 เซนติเมตร ความหนาแน่นอนุภาคของดินมีค่า 2.29±0.07 Mg/m^3, Mg/m^3 และ Mg/m^3 ตามลำดับ โดยความหนาแน่นอนุภาคของดินทุกระดับความลึกไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \geq 0.05$) (ตารางที่ 4)

6) ความพรุนรวมของดิน

ป่าธรรมชาติ ป่าฟื้นฟู และพื้นที่เกษตร ความลึก 0-5 เซนติเมตร ความพรุนรวมของดินมีค่า 51.75±2.59 %, 47.49±3.82 % และ 45.43±2.55 % ตามลำดับ ความลึก 5-10 เซนติเมตร ความพรุนรวมของดินมีค่า 49.04±3.43 %, 46.00 ±4.30% และ 43.60±3.18 % ตามลำดับ ความลึก 10-15 เซนติเมตร ความพรุนรวมของดินมีค่า 46.58±2.91 %, 43.58±3.63 % และ 42.48±4.27 % ตามลำดับ และความลึก 15-30 เซนติเมตร ความพรุนรวมของดินมีค่า

44.41±4.04 %, 40.82±3.63 % และ 39.19±4.79 % ตามลำดับ โดยความพรุนรวมของดินทุกระดับความลึกมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P \leq 0.01$) (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 สมบัติทางกายภาพของดินบางประการ

พารามิเตอร์	ความลึก (cm)	ป่าธรรมชาติ	ป่าฟื้นฟู	พื้นที่เกษตร	F-test
Sand (%)	0-5	30.69±3.22^{c}	35.33±1.74^{b}	37.60±1.95^{a}	**
	5-10	29.03±3.01^{b}	33.66±3.03^{a}	35.27±3.48^{a}	**
	10-15	27.69±3.68^{b}	32.66±2.47^{a}	35.27±3.49^{a}	**
	15-30	27.36±3.90^{b}	32.66±2.48^{a}	35.27±3.50^{a}	**
Silt (%)	0-5	32.06±2.87^{a}	29.61±2.80^{b}	29.39±1.97^{b}	**
	5-10	31.12±3.38	29.88±3.50	29.06±3.31	ns
	10-15	30.45±4.20	28.67±4.25	28.39±2.77	ns
	15-30	28.06±3.34^{a}	26.73±4.76^{a}	21.06±2.54^{b}	**
Clay (%)	0-5	38.52±0.92^{a}	33.79±3.02^{b}	33.01±2.57^{b}	**
	5-10	39.85±1.51^{a}	36.46±2.70^{b}	35.67±2.18^{b}	**
	10-15	41.85±1.51^{a}	38.67±3.28^{b}	38.01±2.10^{b}	**
	15-30	46.52±3.82^{a}	43.34±4.65^{b}	43.28±2.42^{b}	**
BD (Mg/m^3)	0-5	1.10±0.09^{c}	1.18±0.10^{b}	1.25±0.07^{a}	**
	5-10	1.17±0.09^{b}	1.22±0.11^{ab}	1.27±0.07^{a}	**
	10-15	1.21±0.09^{b}	1.30±0.10^{a}	1.30±0.08^{a}	**
	15-30	1.28±0.12^{b}	1.37±0.10^{a}	1.38±0.08^{a}	**
WHC (%)	0-5	57.83±6.60^{a}	51.04±6.73^{b}	47.35±3.33^{c}	**
	5-10	52.65±4.82^{a}	46.9±7.63^{b}	43.39±3.69^{c}	**
	10-15	47.66±4.59^{a}	44.19±6.53^{b}	40.55±3.17^{c}	**
	15-30	45.03±4.77^{a}	40.47±5.52^{b}	39.37±3.04^{b}	**
Gravel (%)	0-5	1.88±1.22^{b}	5.39±4.42^{a}	7.02±5.40^{a}	**
	5-10	2.32±1.84^{b}	6.97±3.83^{a}	7.18±4.14^{a}	**
	10-15	3.52±2.09^{b}	5.94±3.32^{ab}	6.84±5.47^{a}	*
	15-30	4.09±3.26	5.13±3.37	7.70±6.81	ns
PD (Mg/m^3)	0-5	2.25±0.08	2.28±0.11	2.28±0.06	ns
	5-10	2.27±0.12	2.28±0.09	2.29±0.08	ns
	10-15	2.27±0.08	2.32±0.09	2.33±0.07	ns
	15-30	2.29±0.07	2.33±0.11	2.34±0.06	ns
TP (%)	0-5	51.75±2.59^{a}	47.49±3.82^{b}	45.43±2.55^{c}	**
	5-10	49.04±3.43^{a}	46±4.30^{b}	43.6±3.18^{c}	**
	10-15	46.58±2.91^{a}	43.58±3.63^{b}	42.48±4.27^{b}	**
	15-30	44.41±4.04^{a}	40.82±3.63^{b}	39.19±4.79^{b}	**
n		18	18	18	

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, * มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$), ** มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P \leq 0.01$) และ ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P \geq 0.05$)

จากผลการศึกษาพบอนุภาคดินทรายในพื้นที่ทำการเกษตรในดินบนมีปริมาณมากกว่าการใช้ประโยชน์ที่ดินอื่น ๆ เนื่องจากการทำการเกษตรมีการเปิดพื้นที่หน้าดินทำให้เกิดการชะล้างนำพาอนุภาคอื่น ๆ ไปจากดิน เนื่องจากไม่มีวัสดุและพืชคลุมดินเหมือนสภาพป่าธรรมชาติ โดยเฉพาะที่ระดับความลึก 0-5 เซนติเมตร พื้นที่เกษตรจะพบการแจกกระจายอนุภาคทรายมากกว่าพื้นที่อื่น ๆ ในป่าฟื้นฟูพบอนุภาคดินทรายมีปริมาณใกล้เคียงพื้นที่เกษตรเนื่องจากป่าฟื้นฟูในอดีตเป็นพื้นที่เกษตรมาก่อน อนุภาคทรายแป้งและดินเหนียวพบมากในป่าธรรมชาติ โดยทั้ง 3 การใช้ประโยชน์ที่ดินแสดงการเคลื่อนย้ายเชิงกล ของอนุภาคขนาดเล็ก และกระบวนการเคลื่อนย้ายวัสดุจากดินบน (Eluviation) ไปสะสมในดินล่าง ทำให้ดินบนมีอนุภาคขนาดใหญ่เหลืออยู่มาก และมีแนวโน้มการเพิ่มของอนุภาคดินเหนียวตามความลึกของดิน (Soil Survey Staff, 1975; คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548; ณัฐวุฒิ และคณะ, 2564) สอดคล้องกับรายงานของ อำนาจ และณัฐพล (2548) ที่รายงานว่าป่าธรรมชาติจะมีปริมาณดินเหนียวมากกว่าดินภายใต้การเกษตร โดยป่าปลูกจะมีสมบัติอยู่กึ่งกลางระหว่างดินภายใต้การเกษตร และดินป่าธรรมชาติ ซึ่งอาจบ่งชี้ถึงการฟื้นตัวของดินจากสภาพที่มีการรบกวนจากกิจกรรมการเกษตรกลับสู่สภาพที่ไม่ถูกรบกวน การที่ดินทำการเกษตรมีปริมาณอนุภาคทรายมากอาจเป็นผลมาจากการชะล้าง ที่นำพาเอาอนุภาคอื่น ๆ ไปจากดิน เนื่องจากไม่มีวัสดุและพืชคลุมดินเหมือนสภาพที่เป็นป่า

ความหนาแน่นรวมของดิน ป่าธรรมชาติ ป่าฟื้นฟู และพื้นที่เกษตร มีค่าต่ำถึงค่อนข้างต่ำ พื้นที่เกษตรที่ระดับความลึก 0-5 และ 5-10 เซนติเมตร มีปริมาณมากกว่าการใช้ประโยชน์ที่ดินอื่น ๆ เนื่องจากดินที่ทำการเพาะปลูกติดต่อกันเป็นเวลานาน ความหนาแน่นรวมของดินจะมากขึ้นโดยเฉพาะอย่างยิ่งในดินบน ป่าฟื้นฟูมีปริมาณความหนาแน่นรวมของดินน้อยกว่าพื้นที่เกษตรแต่จะมากกว่าป่าธรรมชาติ และจะมีปริมาณใกล้เคียงกับพื้นที่เกษตรที่ระดับความลึก 10-15 และ 15-30 เซนติเมตร เกิดจากการฟื้นฟูป่าทำให้ปริมาณอินทรียวัตถุเพิ่มมากขึ้นทำให้ความหนาแน่นรวมของดินป่าฟื้นฟูเริ่มมีปริมาณที่ลดน้อยลง ส่วนป่าธรรมชาติความหนาแน่นรวมจะมีปริมาณน้อยที่สุดทุกระดับความลึก เนื่องจากป่าธรรมชาติเป็นพื้นที่ที่ไม่ถูกรบกวน และมีปริมาณอินทรียวัตถุที่มากทำให้ดินมีความหนาแน่นรวมที่น้อยกว่า นอกจากนี้ระบบรากของพืชสามารถเพิ่มความพรุนของดินได้ 30 % ทำให้ดินป่าธรรมชาติมีความหนาแน่นรวมที่น้อยกว่าพื้นที่อื่นๆ (Bodner et al., 2014) ความหนาแน่นรวมของดินมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความลึกของดิน ส่วนความหนาแน่นอนุภาคมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความลึก เนื่องจากดินล่างมีปริมาณอินทรียวัตถุที่น้อยกว่า และดินมีการอัดแน่น ซึ่งสอดคล้องกับ พิณทิพย์ และคณะ (2541) ที่รายงานว่าการเปลี่ยนแปลงสภาพป่าไปเป็นพื้นที่เกษตรจะทำให้ความหนาแน่นรวมของดินเพิ่มมากขึ้น ซึ่งเกิดจากปริมาณอินทรียวัตถุที่น้อยลง อิทธิพลของน้ำหนักเครื่องมือเกษตรกรรม และการเหยียบย่ำของมนุษย์ นอกจากนั้นการฟื้นฟูพื้นที่โดยการปล่อยทิ้งร้าง หรือปลูกสนสามใบ จะทำให้ความหนาแน่นรวมของดินลดน้อยลง

ปริมาณหินและกรวด พื้นที่เกษตรมีปริมาณหินและกรวดมากกว่าการใช้ประโยชน์ที่ดินแบบอื่น ๆ ซึ่งจะพบว่าพื้นที่เกษตรมีการแจกกระจายของอนุภาคทรายที่มากกว่า เนื่องจากวัตถุต้นกำเนิดในพื้นที่มีการพัฒนาการตัวจากหินทราย มีแร่องค์ประกอบส่วนใหญ่เป็น ควอตซ์ คงทนต่อการผุพังสลายตัวทำให้เศษชิ้นส่วนที่เหลือมีขนาดใหญ่ (จักรพงษ์ และคณะ, 2563) โดยปริมาณหินและกรวดจะแปรผันตามลักษณะดิน เกี่ยวข้องกับการผุพังสลายของวัตถุต้นกำเนิด (Seeloy-ounkaew and Khamyong, 2016)

ความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน และความพรุนรวมของดิน ป่าธรรมชาติมีปริมาณมากที่สุดที่ระดับความลึก 0-30 เซนติเมตร เนื่องจากความหนาแน่นรวมของดินที่น้อย และมีค่าความพรุนรวมที่มากกว่าพื้นที่เกษตร ทำให้มีช่องว่างของดินมากกว่าทำให้ดินมีความสามารถในการอุ้มน้ำที่มากกว่า นอกจากนี้ความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน และความพรุนรวมยังมีแนวโน้มลดลงตามความลึก สอดคล้องกับรายงานของ รัชนีกร และคณะ (2565) ที่รายงานว่าป่าเบญจพรรณมีมีความสามารถในการอุ้มน้ำที่มากกว่าพื้นที่ปลูกข้าวโพด เนื่องจากป่าเบญจพรรณมีความหนาแน่นรวมที่ต่ำกว่าความพรุนรวมของดินและปริมาณอินทรียวัตถุที่มากกว่าทำให้ดินมีช่องว่างอากาศที่มาก ส่งผลให้พื้นที่ป่าเบญจพรรณมีความสามารถในการอุ้มน้ำที่มากกว่าพื้นที่ปลูกข้าวโพด

4.2.2 สมบัติทางเคมีของดิน

1) ความเป็นกรดด่างของดิน

ป่าธรรมชาติ ป่าฟื้นฟู และพื้นที่เกษตร ความลึก 0-5 เซนติเมตร เป็นดินกรดปานกลางถึงกรดจัดมากมีค่า 5.80±0.34, 5.08±0.27 และ 4.80±0.52 ตามลำดับ ความลึก 5-10 เซนติเมตร เป็นดินกรดปานกลางถึงกรดจัดมากมีค่า 5.71±0.31, 5.07±0.41 และ 4.77±0.41 ตามลำดับ ความลึก 10-15 เซนติเมตร เป็นดินกรดปานกลางถึงกรดจัดมากมีค่า 5.76±0.30, 5.15±0.58 และ 4.76±0.47 ตามลำดับ และความลึก 15-30 เซนติเมตร เป็นดินกรดปานกลางถึงกรดจัดมากมีค่า 5.67±0.33, 5.13±0.54 และ 4.74±0.51 ตามลำดับ โดยความเป็นกรดด่างของดินทุกระดับความลึกมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P \leq 0.01$) (ตารางที่ 5)

2) ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน

ป่าธรรมชาติ ป่าฟื้นฟู และพื้นที่เกษตร ความลึก 0-5 เซนติเมตร มีปริมาณอินทรียวัตถุในดินปานกลางถึงสูงมากมีค่า 5.08±0.77 %, 3.43±1.10 % และ 2.11±0.51 % ตามลำดับ ความลึก 5-10 เซนติเมตร มีปริมาณอินทรียวัตถุในดินปานกลางถึงสูงมีค่า 3.58±0.54 %, 2.88±1.01 % และ 1.91±0.42 % ความลึก 10-15 เซนติเมตร มีปริมาณอินทรียวัตถุในดินค่อนข้างต่ำถึงปานกลางมีค่า 2.43±0.34 %, 1.76±0.77 % และ 1.31±0.31 % และความลึก 15-30

เซนติเมตร มีปริมาณอินทรียวัตถุในดินต่ำถึงค่อนข้างต่ำมีค่า 1.40±0.30 %, 1.06±0.37 % และ 0.83±0.32 % โดยปริมาณอินทรียวัตถุในดินทุกระดับความลึกมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P \leq 0.01$) (ตารางที่ 5)

3) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์

ป่าธรรมชาติ ป่าฟื้นฟู และพื้นที่เกษตร ความลึก 0-5 เซนติเมตร มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ค่อนข้างต่ำถึงปานกลางมีค่า 10.11±5.15 mg/kg, 7.91±1.93 mg/kg และ 12.71±4.69 mg/kg ตามลำดับ ความลึก 5-10 เซนติเมตร มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่ำถึงค่อนข้างต่ำมีค่า 6.77±3.17 mg/kg, 6.28±1.71 mg/kg และ 9.19±4.35 mg/kg ความลึก 10-15 เซนติเมตร มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่ำถึงค่อนข้างต่ำมีค่า 5.40±2.53 mg/kg, 4.78±1.62 mg/kg และ 6.88±3.15 mg/kg และความลึก 15-30 เซนติเมตร มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่ำมีค่า 4.12±1.82 mg/kg, 3.59±1.01 mg/kg และ 5.16±1.84 mg/kg โดยปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ความลึก 0-5 เซนติเมตรมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P \leq 0.01$) และความลึก 5-10, 10-15 และ 15-30 เซนติเมตรมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) (ตารางที่ 5)

4) ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้

ป่าธรรมชาติ ป่าฟื้นฟู และพื้นที่เกษตร ความลึก 0-5 เซนติเมตร มีปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ปานกลางถึงสูงมากมีค่า 134.09±44.94 mg/kg, 79.48±22.76 mg/kg และ 141.69±86.26 mg/kg ตามลำดับ ความลึก 5-10 เซนติเมตร มีปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ปานกลางถึงสูงมากมีค่า 117.03±34.58 mg/kg, 74.34±22.70 mg/kg และ 132.34±81.47 mg/kg ความลึก 10-15 เซนติเมตร มีปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ต่ำถึงสูงมีค่า 101.37±39.21 mg/kg, 55.57±11.76 mg/kg และ 110.15±77.17 mg/kg และความลึก 15-30 เซนติเมตร มีปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ต่ำถึงปานกลางมีค่า 68.74±27.23 mg/kg, 41.47±11.38 mg/kg และ 76.87±44.12 mg/kg โดยปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ทุกระดับความลึกมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P \leq 0.01$) (ตารางที่ 5)

5) ปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้

ป่าธรรมชาติ ป่าฟื้นฟู และพื้นที่เกษตร ความลึก 0-5 เซนติเมตร มีปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ต่ำมีค่า 819.50±272.77 mg/kg, 666.44±384.96 mg/kg และ 756.61±368.76 mg/kg ตามลำดับ ความลึก 5-10 เซนติเมตร มีปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ต่ำ

มีค่า 715.86±189.45 mg/kg, 572.78±351.93 mg/kg และ 656.82±340.31 mg/kg ความลึก 10-15 เซนติเมตร มีปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ต่ำมีค่า 530.11±136.54 mg/kg, 503.83±327.93 mg/kg และ 510.45±306.13 mg/kg และความลึก 15-30 เซนติเมตร มีปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ต่ำมีค่า 503.67±151.26 mg/kg, 413.10±321.68 mg/kg และ 489.75±278.12 mg/kg โดยปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ทุกระดับความลึกไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \geq 0.05$) (ตารางที่ 5)

6) ปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้

ป่าธรรมชาติ ป่าฟื้นฟู และพื้นที่เกษตร ความลึก 0-5 เซนติเมตร มีปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ปานกลางมีค่า 238.67±153.93 mg/kg, 152.44±100.32 mg/kg และ 159.75±68.93 mg/kg ตามลำดับ ความลึก 5-10 เซนติเมตร มีปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ปานกลางมีค่า 167.25±107.42 mg/kg, 145.38±95.17 mg/kg และ 157.71±70.59 mg/kg ความลึก 10-15 เซนติเมตร มีปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ต่ำถึงปานกลางมีค่า 158.50±107.87 mg/kg, 112.73±70.46 mg/kg และ 131.99±57.76 mg/kg และความลึก 15-30 เซนติเมตร มีปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ต่ำถึงปานกลางมีค่า 124.56±74.25 mg/kg, 91.20±53.28 mg/kg และ 109.42±49.28 mg/kg โดยปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ความลึก 0-5 เซนติเมตร มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P \leq 0.01$) และความลึก 5-10, 10-15 และ 15-30 เซนติเมตรไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \geq 0.05$) (ตารางที่ 5)

7) ปริมาณโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้

ป่าธรรมชาติ ป่าฟื้นฟู และพื้นที่เกษตร ความลึก 0-5 เซนติเมตร มีปริมาณโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ต่ำมีค่า 48.13±25.12 mg/kg, 32.00±19.11 mg/kg และ 39.66±22.96 mg/kg ตามลำดับต่ำความลึก 5-10 เซนติเมตร มีปริมาณโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ มีค่า 34.68±16.44 mg/kg, 27.41±17.30 mg/kg และ 30.09±20.27 mg/kg ความลึก 10-15 เซนติเมตร มีปริมาณโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ต่ำมากถึงต่ำมีค่า 26.91±14.75 mg/kg, 20.19±12.74 mg/kg และ 24.58±13.55 mg/kg และความลึก 15-30 เซนติเมตร มีปริมาณโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ต่ำมากถึงต่ำมีค่า 24.85±6.05 mg/kg, 18.51±9.78 mg/kg และ 22.99±8.81 mg/kg โดยปริมาณโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ความลึก 0-5 เซนติเมตร มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P \leq 0.01$) และความลึก 5-10, 10-15 และ 15-30 เซนติเมตรไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \geq 0.05$) (ตารางที่ 5)

8) ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน

ป่าธรรมชาติ ป่าฟื้นฟู และพื้นที่เกษตร ความลึก 0-5 เซนติเมตร มีความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนค่อนข้างต่ำถึงปานกลางมีค่า 11.34±2.19 $cmol^+/kg$, 9.88±2.91 $cmol^+/kg$ และ 8.33±2.15 $cmol^+/kg$ ตามลำดับ ความลึก 5-10 เซนติเมตร มีความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนค่อนข้างต่ำถึงปานกลางมีค่า 10.43±1.76 $cmol^+/kg$, 9.37±2.88 $cmol^+/kg$ และ 8.53±2.02 $cmol^+/kg$ ตามลำดับ ความลึก 10-15 เซนติเมตร มีความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนค่อนข้างต่ำมีค่า 9.94±1.37 $cmol^+/kg$, 9.03±2.90 $cmol^+/kg$ และ 8.68±1.88 $cmol^+/kg$ ตามลำดับ และความลึก 15-30 เซนติเมตร มีความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนค่อนข้างต่ำมีค่า 9.96±1.28 $cmol^+/kg$, 9.40±2.34 $cmol^+/kg$ และ 9.07±1.78 $cmol^+/kg$ ตามลำดับ โดยความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนความลึก 0-5 เซนติเมตรมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P \leq 0.01$) ความลึก 5-10 เซนติเมตรมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) และความลึก 10-15 และ 15-30 เซนติเมตรไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \geq 0.05$) (ตารางที่ 5)

9) ความอิ่มตัวเบส

ป่าธรรมชาติ ป่าฟื้นฟู และพื้นที่เกษตร ความลึก 0-5 เซนติเมตร มีความอิ่มตัวเบสต่ำถึงปานกลางมีค่า 32.88±10.28 %, 29.05±15.73 % และ 39.91±16.58 % ตามลำดับ ความลึก 5-10 เซนติเมตร มีความอิ่มตัวเบสต่ำมีค่า 28.78±5.75 %, 27.16±14.56 % และ 34.66±14.75 % ตามลำดับ ความลึก 10-15 เซนติเมตร มีความอิ่มตัวเบสต่ำมีค่า 24.78±9.19 %, 23.68±13.76 % และ 27.22±12.68 % ตามลำดับ และความลึก 15-30 เซนติเมตร มีความอิ่มตัวเบสต่ำมีค่า 21.26±6.85 %, 18.27±11.79 % และ 22.85±9.86 % ตามลำดับ โดยความอิ่มตัวเบสทุกระดับความลึกไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \geq 0.05$) (ตารางที่ 5)

ตารางที่ 5 สมบัติทางเคมีของดินบางประการ

พารามิเตอร์	ความลึก (cm)	ป่าธรรมชาติ	ป่าฟื้นฟู	พื้นที่เกษตร	F-test
pH	0-5	5.80±0.34^{a}	5.08±0.27^{b}	4.80±0.52^{c}	**
	5-10	5.71±0.31^{a}	5.07±0.41^{b}	4.77±0.41^{c}	**
	10-15	5.76±0.30^{a}	5.15±0.58^{b}	4.76±0.47^{c}	**
	15-30	5.67±0.33^{a}	5.13±0.54^{b}	4.74±0.51^{c}	**
SOM (%)	0-5	5.08±0.77^{a}	3.43±1.10^{b}	2.11±0.51^{c}	**
	5-10	3.58±0.54^{a}	2.88±1.01^{b}	1.91±0.42^{c}	**
	10-15	2.43±0.34^{a}	1.76±0.77^{b}	1.31±0.31^{c}	**
	15-30	1.40±0.30^{a}	1.06±0.37^{b}	0.83±0.32^{c}	**
Avail. P (mg/kg)	0-5	10.11±5.15^{ab}	7.91±1.93^{b}	12.71±4.69^{a}	**
	5-10	6.77±3.17^{ab}	6.28±1.71^{b}	9.19±4.35^{a}	*
	10-15	5.40±2.53^{ab}	4.78±1.62^{b}	6.88±3.15^{a}	*
	15-30	4.12±1.82^{ab}	3.59±1.01^{b}	5.16±1.84^{a}	*
Exch. K (mg/kg)	0-5	134.09±44.94^{a}	79.48±22.76^{b}	141.69±86.26^{a}	**
	5-10	117.03±34.58^{a}	74.34±22.70^{b}	132.34±81.47^{a}	**
	10-15	101.37±39.21^{a}	55.57±11.76^{b}	110.15±77.17^{a}	**
	15-30	68.74±27.23^{a}	41.47±11.38^{b}	76.87±44.12^{a}	**
Exch. Ca (mg/kg)	0-5	819.5±272.77	666.44±384.96	756.61±368.76	ns
	5-10	715.86±189.45	572.78±351.93	656.82±340.31	ns
	10-15	530.11±136.54	503.83±327.93	510.45±306.13	ns
	15-30	503.67±151.26	413.10±321.68	489.75±278.12	ns
Exch. Mg (mg/kg)	0-5	238.67±153.93^{a}	152.44±100.32^{b}	159.75±68.93^{b}	**
	5-10	167.25±107.42	145.38±95.17	157.71±70.59	ns
	10-15	158.50±107.87	112.73±70.46	131.99±57.76	ns
	15-30	124.56±74.25	91.20±53.28	109.42±49.28	ns
Exch. Na (mg/kg)	0-5	48.13±25.12^{a}	32.00±19.11^{b}	39.66±22.96^{ab}	**
	5-10	34.68±16.44	27.41±17.30	30.09±20.27	ns
	10-15	26.91±14.75	20.19±12.74	24.58±13.55	ns
	15-30	24.85±6.05	18.51±9.78	22.99±8.81	ns
CEC ($cmol^{+}/kg$)	0-5	11.34±2.19^{a}	9.88±2.91^{a}	8.33±2.15^{b}	**
	5-10	10.43±1.76^{a}	9.37±2.88^{ab}	8.53±2.02^{b}	*
	10-15	9.94±1.37	9.03±2.90	8.68±1.88	ns
	15-30	9.96±1.28	9.40±2.34	9.07±1.78	ns
BS (%)	0-5	32.88±10.28	29.05±15.73	39.91±16.58	ns
	5-10	28.78±5.75	27.16±14.56	34.66±14.75	ns
	10-15	24.78±9.19	23.68±13.76	27.22±12.68	ns
	15-30	21.26±6.85	18.27±11.79	22.85±9.86	ns
n		18	18	18	

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, * มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$), ** มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P \leq 0.01$) และ ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P \geq 0.05$)

ความเป็นกรดด่างของดิน ป่าธรรมชาติเป็นดินกรดปานกลาง ป่าฟื้นฟูเป็นดินกรดจัดมากถึงกรดจัด และพื้นที่เกษตรเป็นดินกรดจัดมาก ป่าธรรมชาติทุกระดับความลึกมีปริมาณมากที่สุด รองลงมาคือป่าฟื้นฟู และพื้นที่เกษตร เนื่องจากป่าธรรมชาติและป่าฟื้นฟูมีปริมาณอินทรียวัตถุในดินมีประจุลบเป็นจำนวนมากทำให้ดินมีการความต้านทานการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดด่างของดินได้ดี (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) ในส่วนพื้นที่เกษตรเกิดจากเกษตรกรมีการใส่ปุ๋ยเคมีลงไปในดิน ปุ๋ยบางชนิดเมื่อใส่ลงไปในดินจะทำให้ดินเป็นกรด เช่นปุ๋ยยูเรีย (ตารางภาคผนวกที่ 5) ซึ่งการเปลี่ยนรูปของปุ๋ยยูเรียจะเปลี่ยนไปอย่างรวดเร็วจากกระบวนการไฮโดรไลซิส เอนไซม์ยูริเอส เพื่อเปลี่ยนรูปไปเป็นแอมโมเนียมและคาร์บอเนตไอออน โดยในระยะแรกจะทำให้ค่าความเป็นกรดด่างของดินเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และลดลงจนสภาพเป็นกรด (จีราภรณ์, 2563) ซึ่งเป็นลักษณะเด่นของดินเขตร้อนที่มีพัฒนาการสูงเกิดจากกระบวนการชะละลาย เบสต่างๆ จึงเคลื่อนย้ายไปจากหน้าตัดดิน (Brady and Weil, 2010) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ สมชาย และคณะ (2542) ที่รายงานว่าการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของดินหลังการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ป่าไปเป็นพื้นที่เกษตร พบว่าพื้นที่เกษตรดินเป็นกรดมากกว่าพื้นที่อื่น ๆ เนื่องจากอิทธิพลของการชะล้างร่วมกับการสูญเสียธาตุอาหารไปกับการเก็บเกี่ยวผลผลิต และการศึกษาของ ธงชัย และคณะ (2556) ทำการทดลองใส่ปุ๋ยยูเรียในอัตราส่วนที่แตกต่างกันต่อสมบัติของดินบางประการ พบว่าการใส่ปุ๋ยยูเรียทำให้ค่าความเป็นกรดด่างของดินลดลงและการเพิ่มปริมาณปุ๋ยยังทำให้ความเป็นกรดด่างของดินลดลง

ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน ป่าธรรมชาติมีค่าค่อนข้างต่ำถึงสูงมาก ป่าฟื้นฟูมีค่าต่ำถึงค่อนข้างสูง และพื้นที่เกษตรมีค่าต่ำถึงปานกลาง ป่าธรรมชาติทุกระดับความลึกมีปริมาณมากที่สุด รองลงมาคือป่าฟื้นฟู และพื้นที่เกษตร ป่าธรรมชาติและป่าฟื้นฟูได้รับอินทรียวัตถุจากซากพืชที่ร่วงหล่นและมีการทับถมของเศษซากพืชซากสัตว์ (ผการัตน์, 2535) นอกจากนี้ยังมีพืชพรรณที่มีชั้นเรือนยอดพื้นล่างยังเต็มไปด้วยสิ่งผุพังซึ่งเป็นแหล่งของอินทรียวัตถุในดินทำให้มีการสูญเสียจากการกร่อนของดินน้อยกว่าพื้นที่เกษตร การฟื้นฟูป่าทำให้ดินมีปริมาณอินทรียวัตถุเพิ่มมากขึ้นจากเศษซากพืชซากสัตว์ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Kavinchan (2013) ที่รายงานว่าป่าที่ได้รับการฟื้นฟูจะทำให้มีปริมาณอินทรียวัตถุที่เพิ่มมากขึ้นจากพืชที่ทำการฟื้นฟูในพื้นที่ โดยป่าฟื้นฟูที่อายุมากจะมีแนวโน้มของเศษซากพืชและปริมาณคาร์บอนที่สะสมในเศษซากพืชมากกว่าแปลงฟื้นฟูที่อายุน้อย พื้นที่เกษตรมีการไถพรวนและยังสูญเสียอินทรียวัตถุจากการเก็บเกี่ยวผลผลิต และยังมีการใช้พื้นที่อย่างต่อเนื่องทำให้มีปริมาณอินทรียวัตถุน้อยกว่าพื้นที่ป่าธรรมชาติ รวมถึงขาดสิ่งปกคลุมดินทำให้อินทรียวัตถุถูกชะละลายสูญเสียไปกับฝน (อลงกรณ์ และคณะ, 2563) อินทรียวัตถุมีการสะสมมากในดินบนและมีแนวโน้มลดลงในดินชั้นล่าง ปริมาณอินทรียวัตถุในพื้นที่เกษตรยังสอดคล้องกับรายงานของ สุนิสา และธวัชชัย (2561) ที่รายงานว่าการไถพรวนส่งผลให้ปริมาณอินทรียวัตถุลดน้อยลงเกิดจากการไถพรวนที่มากครั้งเป็นการเร่งให้อินทรียวัตถุในดินสลายตัวอย่างรวดเร็ว

ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ป่าธรรมชาติมีค่าค่อนข้างต่ำถึงปานกลาง ป่าฟื้นฟูมีค่าต่ำถึงค่อนข้างต่ำ และพื้นที่เกษตรมีค่าต่ำถึงปานกลาง พื้นที่เกษตรทุกระดับความลึกมีปริมาณมากที่สุด รองลงมาคือป่าธรรมชาติ และป่าฟื้นฟู พื้นที่เกษตร พื้นที่เกษตรมีการปลูกพืชและใช้ปุ๋ยเคมีอย่างต่อเนื่องทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสตกค้างในดิน ภาณุวัชร และคณะ (2561) โดยในพื้นที่ศึกษาพบว่าเกษตรกรมีการใช้ปุ๋ยรองพื้นทำให้เกิดการสะสมมากขึ้นทุก ๆ ปี (ตารางภาคผนวกที่ 5) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ ทศพร (2553) ที่รายงานว่าพื้นที่เกษตรมีปริมาณฟอสฟอรัสในดินสูงกว่าพื้นที่ป่าไม้ เนื่องจากพื้นที่เกษตรจะมีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสที่เกินความต้องการของพืช จึงเกิดการสะสมขึ้นทุก ๆ ปี อีกส่วนหนึ่งเกิดจากการเตรียมพื้นที่โดยเกษตรกรจะใช้ปุ๋ยคอกรองก้นหลุมปลูกพืชทุกครั้ง ป่าธรรมชาติและป่าฟื้นฟูมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์จากอินทรียวัตถุที่ย่อยสลายแล้ว (Patle et al., 2021) ในส่วนป่าฟื้นฟูมีปริมาณฟอสฟอรัสน้อยที่สุดอาจเกิดจากพื้นที่ได้รับการฟื้นฟูมาเป็นระยะเวลาเพียง 3 ปี และมีการดูแลพื้นที่โดยการใส่เพียงปุ๋ยอินทรีย์เท่านั้น (ตารางภาคผนวกที่ 4) โดยดินในพื้นที่ศึกษาเป็นดินกรด ฟอสเฟตจะถูกตรึงโดยไอออนบวกที่ละลายจำพวก ไฮดรัสออกไซด์ของเหล็ก อะลูมินัม และแมงกานีส เกิดเป็นสารประกอบที่ละลายน้ำยากของสารประกอบเหล็กฟอสเฟตและสารประกอบอะลูมินัมฟอสเฟต ซึ่งส่งผลให้ความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินลดลง นอกจากนี้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ยังความสัมพันธ์กับปริมาณอินทรียวัตถุในดิน โดยอยู่ในรูปฟอสเฟตอินทรีย์ และการที่มีปริมาณดินเหนียวที่เพิ่มขึ้นในดินล่างทำให้ความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสลดลง (บรรณพิชญ์, 2551) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์มีแนวโน้มลดลงตามความลึกของดิน

ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ ป่าธรรมชาติมีค่าปานกลางถึงสูงมาก ป่าฟื้นฟูมีค่าต่ำถึงปานกลาง และพื้นที่เกษตรมีค่าปานกลางถึงสูงมาก พื้นที่เกษตรทุกระดับความลึกมีปริมาณมากที่สุด ซึ่งมีปริมาณใกล้เคียงกับป่าธรรมชาติ และป่าฟื้นฟูมีปริมาณน้อยที่สุด พื้นที่เกษตรมีการใส่ปุ๋ยส่งผลให้มีปริมาณโพแทสเซียมมากกว่าพื้นที่อื่น ๆ (ตารางภาคผนวกที่ 5) ซึ่งสอดคล้องกับ รายงานของ พิณทิพย์ และคณะ (2541) ที่รายงานว่าการทำลายป่าเพื่อทำการเกษตรส่งผลให้ปริมาณ โพแทสเซียมในดินสูงขึ้นโดยเกิดจากการใส่ปุ๋ยของเกษตรกรเพื่อเพิ่มผลผลิต ดินป่าธรรมชาติซึ่งไม่ถูกรบกวนจะมีปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ทั่วไปจะอยู่ในช่วง 50-200 mg/kg (อาจิน และคณะ, 2540) นอกจากนั้น โพแทสเซียมยังได้มากจากการสลายตัวของอินทรียวัตถุในดิน ในพื้นที่ป่าธรรมชาติมีการสูญเสียธาตุอาหารไปกับการกร่อนของดินน้อยกว่าพื้นที่เกษตรทำให้มีปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ใกล้เคียงกัน ในส่วนป่าฟื้นฟูมีปริมาณโพแทสเซียมน้อยที่สุดอาจเกิดจากพื้นที่ได้รับการฟื้นฟูมาเป็นระยะเวลาเพียง 3 ปี และมีการดูแลพื้นที่โดยการใส่เพียงปุ๋ยอินทรีย์เท่านั้น (ตารางภาคผนวกที่ 4) ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มีแนวโน้มลดลงตามความลึกดิน

เนื่องจากกระบวนการชะละลายทำให้ธาตุอาหารที่มีประจุบวกหายออกไปจากหน้าตัดดินได้ (วีคำ และคณะ, 2563)

ปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ ป่าธรรมชาติ ป่าฟื้นฟู และพื้นที่เกษตรมีค่าต่ำ ปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ ป่าธรรมชาติมีค่าปานกลาง ป่าฟื้นฟูและพื้นที่เกษตรมีค่าต่ำถึงปานกลาง ปริมาณโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ ป่าธรรมชาติมีค่าต่ำ ป่าฟื้นฟูและพื้นที่เกษตรมีค่าต่ำมากถึงต่ำ ปริมาณแคลเซียม แมกนีเซียม และโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ ป่าธรรมชาติทุกระดับความลึกมีแนวโน้มมากที่สุด รองลงคือพื้นที่เกษตร และป่าฟื้นฟู ปริมาณแคลเซียม แมกนีเซียม และโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ ในพื้นที่ป่าธรรมชาติและป่าฟื้นฟูส่วนหนึ่งได้มากจากการสลายตัวของซากสิ่งมีชีวิตบนดินและในดินโดยเฉพาะซากพืช (สุนทร, 2558) พื้นที่เกษตรมีปริมาณน้อย ส่วนหนึ่งเกิดจากปริมาณอินทรียวัตถุที่มีอยู่น้อย เนื่องจากอินทรียวัตถุมีความสามารถในการดูดซับประจุบวกได้มาก นอกจากนั้นยังพบว่าอาจมีการสูญเสียไปกับการกร่อนของดิน ปริมาณของแคลเซียม แมกนีเซียม และโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินมีปริมาณที่น้อย เนื่องจากดินมีวัตถุต้นกำเนิดเป็นหินทรายซึ่งเมื่อสลายตัวจะให้ดินที่มีธาตุอาหารพืชต่ำ (จีรณัทย์ และคณะ, 2554) และได้รับอิทธิพลจากการชะละลายที่รุนแรงพอที่จะเคลื่อนย้ายประจุบวกบางส่วนออกไปจากหน้าตัดดิน (วีคำ และคณะ, 2563) และมีแนวโน้มลดลงตามความลึกของดิน

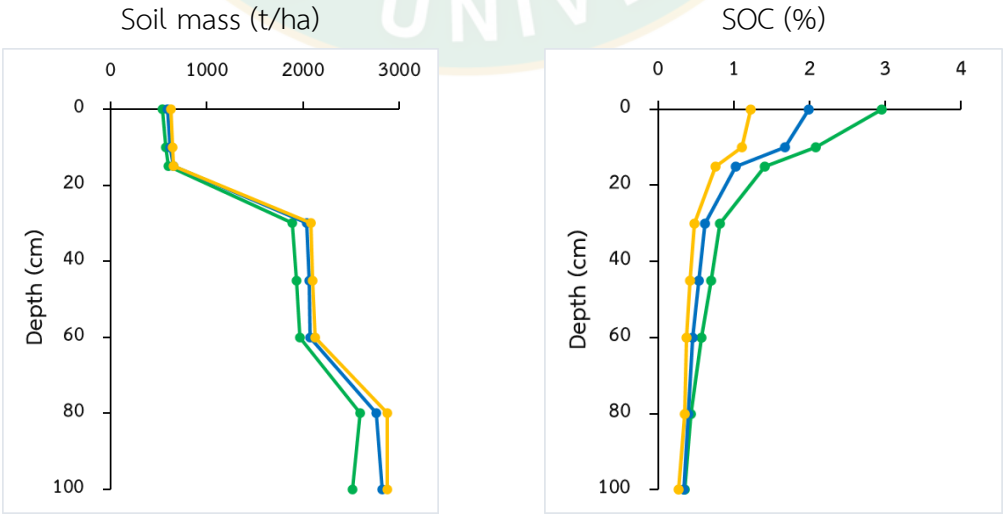
ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน ป่าธรรมชาติมีค่าค่อนข้างต่ำถึงปานกลาง ป่าฟื้นฟูและพื้นที่เกษตรมีค่าค่อนข้างต่ำ ป่าธรรมชาติที่ระดับความลึก 0-5 และ 5-10 เซนติเมตร มีปริมาณมากที่สุดซึ่งใกล้เคียงกับป่าฟื้นฟู รองลงมาคือพื้นที่เกษตร ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนในป่าธรรมชาติมีแนวโน้มมากกว่าป่าฟื้นฟูและพื้นที่เกษตรในระดับความลึกที่เพิ่มขึ้น ป่าธรรมชาติและป่าฟื้นฟูมีการความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนมาก เนื่องจากดินบนมีปริมาณอินทรียวัตถุสูง (อลงกรณ์ และคณะ, 2563) พื้นที่เกษตรมีปริมาณที่สุด เนื่องจากมีปริมาณอินทรียวัตถุที่น้อยกว่าป่าธรรมชาติและป่าฟื้นฟู นอกจากนั้นยังมีปริมาณดินเหนียวที่น้อยกว่า อินทรียวัตถุมีส่วนประกอบคือฮิวมัส ซึ่งมีความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนสูงมากและดินล่างมีปริมาณดินเหนียวสูง โดยปกติดินนั้นมีเนื้อละเอียดจะมีความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนสูงกว่าดินเนื้อหยาบ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) จากผลการศึกษาพบว่าความลึกที่เพิ่มมากขึ้นมีแนวโน้มปริมาณความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนได้รับอิทธิพลจากปริมาณดินเหนียวมากกว่าอินทรียวัตถุ (วรางคณา, 2550) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ ณัฐวุฒิ และคณะ (2564) ที่รายงานว่าค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน เป็นผลมาจากชนิดแร่ดินเหนียวและอินทรียวัตถุในดินซึ่งมีประจุลบเป็นจำนวนมาก ทำให้ค่าความจุแลกเปลี่ยนไอออนสูงตามไปด้วย

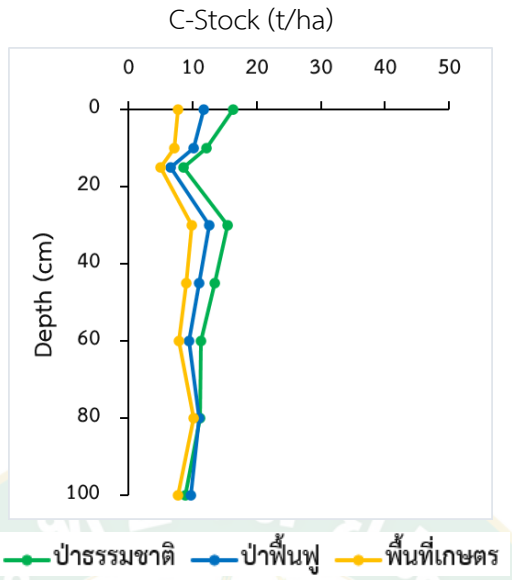
ความอิ่มตัวเบส ป่าธรรมชาติและป่าฟื้นฟูมีค่าต่ำ พื้นที่เกษตรมีค่าต่ำถึงปานกลาง พื้นที่เกษตรทุกระดับความลึกมีแนวโน้มมากที่สุด รองลงคือป่าธรรมชาติ และป่าฟื้นฟู พื้นที่เกษตรมี

ปริมาณความอิ่มตัวเบสส่วนหนึ่งมาจากการใส่ปุ๋ยของเกษตรกร (ตารางภาคผนวกที่ 5) ป่าธรรมชาติและป่าฟื้นฟูได้ธาตุอาหารจากการย่อยสลายตัวของเศษซากพืชซากสัตว์ (สุนทร, 2558) ในส่วนป่าฟื้นฟูมีปริมาณความอิ่มตัวเบสน้อยที่สุดอาจเกิดจากพื้นที่ได้รับการฟื้นฟูมาเป็นระยะเวลาเพียง 3 ปี และมีการดูแลพื้นที่โดยการใส่เพียงปุ๋ยอินทรีย์เท่านั้น (ตารางภาคผนวกที่ 4) ความอิ่มตัวเบสมีความสัมพันธ์อยู่กับการกำเนิดดิน การพัฒนาของดิน ระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน และการชะละลายธาตุอาหารลงสู่ชั้นล่าง ดินที่มีการชะละลายสูงจะมีค่าความอิ่มตัวเบสต่ำ นอกจากนั้นยังมีความสัมพันธ์กับระดับพีเอชของดินด้วย กล่าวคือเมื่อค่าพีเอชของดินสูงขึ้นความอิ่มตัวเบสก็จะสูงขึ้น (รัตนชาติ และบุศรินทร์, 2562) ส่วนพื้นที่มีความอิ่มตัวเบสมากกว่า 35 % แสดงว่ามีการชะล้างไม่เต็มที่ทำให้ดินยังคงมีธาตุอาหารที่เป็นด่างเหลืออยู่มาก (กนกนิภา และคณะ, 2562) ความอิ่มตัวเบสมีแนวโน้มลดลงตามระดับความลึกของดิน เนื่องจากดินมีวัตถุต้นกำเนิดเป็นหินทรายซึ่งเมื่อสลายตัวจะให้ดินที่มีธาตุอาหารพืชต่ำ (จีรณัทย์ และคณะ, 2554)

4.3 การสะสมคาร์บอนในดิน

ป่าธรรมชาติ ป่าฟื้นฟู และพื้นที่เกษตร ความลึก 0-30 เซนติเมตร การสะสมคาร์บอนในดินมีค่า 52.32±3.75 t/ha, 40.96±10.14 t/ha และ 29.61±4.90 t/ha ตามลำดับ ความลึก 30-100 เซนติเมตร การสะสมคาร์บอนในดินมีค่า 44.71±7.63 t/ha, 41.08±8.44 t/ha และ 34.70±10.23 t/ha ตามลำดับ ชั้นความลึก 1 เมตร มีการสะสมเท่ากับ 97.02±7.80 t/ha, 82.03±14.63 t/ha และ 64.31±13.78 t/ha ตามลำดับ โดยการสะสมคาร์บอนในดินทุกระดับความลึกมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P \leq 0.01$) (ภาพที่ 21) (ตารางที่ 6)





ภาพที่ 21 การสะสมคาร์บอนในดิน

ตารางที่ 6 การสะสมคาร์บอนในดิน

พารามิเตอร์	ความลึก (cm)	ป่าธรรมชาติ	ป่าฟื้นฟู	พื้นที่เกษตร	F-test
Soil mass (t/ha)	0-30	3,655.75±300.63^{b}	3,902.19±288.82^{a}	3,984.58±202.06^{a}	**
	30-100	9,013.69±652.41^{b}	9,713.55±573.44^{a}	9,969.54±789.49^{a}	**
SOC (%)	0-30	1.44±0.12^{a}	1.05±0.27^{b}	0.74±0.12^{c}	**
	30-100	0.50±0.10^{a}	0.42±0.09^{b}	0.35±0.11^{c}	**
C-Stock (t/ha)	0-30	52.32±3.75^{a}	40.96±10.14^{b}	29.61±4.90^{c}	**
	30-100	44.71±7.63^{a}	41.08±8.44^{a}	34.70±10.23^{b}	**
	0-100	97.02±7.80^{a}	82.03±14.63^{b}	64.31±13.78^{c}	**
n		18	18	18	

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, * มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$), ** มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P \leq 0.01$) และ ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P \geq 0.05$)

จากการศึกษาพบว่าการสะสมคาร์บอนในดินป่าธรรมชาติสังคมในป่าเบญจพรรณผสมเต็งรังป่าฟื้นฟูอายุ 3 ปี และพื้นที่เกษตร ที่ระดับความลึก 1 เมตร มีปริมาณ 97.02±7.80 t/ha, 82.03±14.63 t/ha และ 64.31±13.78 t/ha ตามลำดับ ป่าธรรมชาติมีการสะสมคาร์บอนในดินมากที่สุด รองลงมาคือป่าฟื้นฟูและพื้นที่เกษตร เนื่องจากป่าธรรมชาติและป่าฟื้นฟูมีปริมาณอินทรีย์

คาร์บอนจากเศษซากพืชซากสัตว์ที่ร่วงหลนและทับถมกันอย่างต่อเนื่อง (ผการัตน์, 2535) นอกจากนี้ยังมีโครงสร้างของพืชพรรณที่มีชั้นเรือนยอดหลายชั้นเรือนยอด พื้นล่างของป่ายังเต็มไปด้วยสิ่งผุพังซึ่งเป็นแหล่งของอินทรียวัตถุในดินทำให้มีการสูญเสียจากการกร่อนของดินน้อย กว่าพื้นที่เกษตร (อลงกรณ์ และคณะ, 2563) มีการรายงานว่าการฟื้นฟูป่าส่งผลต่อการสะสมปริมาณคาร์บอนในดินเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด (Xu et al., 2018) โดยเมื่อพื้นที่ได้รับการฟื้นฟูทำให้มีพืชพรรณปกคลุมเพิ่มมากขึ้นทำให้มีอินทรียวัตถุเพิ่มมากขึ้น ซึ่งส่งผลต่อการกักเก็บคาร์บอนในดิน (Damptey et al., 2020) ทำให้ป่าฟื้นฟูมีการสะสมคาร์บอนมากกว่าเดิมจากที่เคยเป็นพื้นที่เกษตรมาก่อน อีกทั้งอินทรียวัตถุยังช่วยให้ดินมีการอุ้มน้ำมากขึ้นและเป็นวัสดุคลุมดินทำให้ช่วยลดการกร่อนของดิน นอกจากนั้นยังพบว่าการฟื้นฟูป่าในช่วง 2-3 ปี มีปริมาณการสะสมคาร์บอนใกล้เคียงกับป่าธรรมชาติ เนื่องจากช่วง 2-3 ปี จะมีการกำจัดวัชพืชและมีการดูแลพันธุ์ไม้ที่ทำการปลูก (หน่วยวิจัยการฟื้นฟูป่า, 2549) ลักษณะทั่วไปของพื้นที่เกษตรเกิดจากการแผ้วถางป่าธรรมชาติให้โล่งเตียนและมีการเผาเศษซากพืช (เบญจพร และคณะ, 2562) นอกจากนั้นยังมีการไถพรวนในพื้นที่ ซึ่งไปเร่งกระบวนการย่อยสลายของอินทรียวัตถุ (สุนิสา และธวัชชัย, 2561) รวมถึงพื้นดินที่ขาดสิ่งคลุมดิน ทำให้อินทรียวัตถุหน้าดินถูกชะละลายสูญเสียไปกับฝน ถึงแม้ว่าพื้นที่เกษตรจะมีมวลดินมากกว่าพื้นที่ป่าธรรมชาติ แต่เมื่อมีการกำจัดเศษซากพืชออกไปจากผิวหน้าดินทำให้ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินมีน้อยเป็นผลให้การสะสมคาร์บอนในพื้นที่เกษตรมีปริมาณน้อยเช่นเดียวกัน จากรายงานของ สถาพร และคณะ (2556) รายงานว่าการไถกลบตอซัง ทำให้ดินมีการสะสมคาร์บอนมากที่สุด การไถพรวนและการเผาตอซังทำให้การสะสมคาร์บอนในดินลดลง อีกปัจจัยหนึ่งหากพื้นที่มีลักษณะที่ความลาดชัน อาจทำให้เกิดการกร่อนดินรวดเร็วในพื้นที่นั้น ๆ และปัจจัยด้านภูมิอากาศกล่าวคือปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่มีค่าสูงในดินบนและลดลงในดินล่างเนื่องจากในภูมิอากาศเขตร้อนอัตราการย่อยสลายของอินทรียวัตถุมีสูง (Kimmins, 2004) แต่การสะสมคาร์บอนดินล่างกลับมีการสะสมมากกว่าดินบน เนื่องจากปริมาณการสะสมคาร์บอนมีค่าผันแปรโดยตรงกับมวลดิน โดยปัจจัยที่ส่งผลต่อมวลดินคือ ความหนาแน่น ปริมาณกรวด และการพัฒนาการตัวของดิน โดยดินที่มีการพัฒนาการตัวมาก ดินจะมีมวลดินมากกว่าดินที่มีการพัฒนาการตัวน้อย ซึ่งส่งผลต่อมวลของดินในแต่ละความลึกมีค่าไม่เท่ากัน (จักรพงษ์ และคณะ, 2563)

เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยในพื้นที่อื่น พบว่าการสะสมคาร์บอนที่ระดับความลึก 1 เมตรในดินป่าธรรมชาติมากกว่าป่าเบญจพรรณ ในอำเภอลานสัก จังหวัดอุทัยธานี โดยมีปริมาณ 70.96 t/ha (Tangsinmankong et al., 2007) มีค่าน้อยกว่าสังคมป่าเบญจพรรณ ในศูนย์ศึกษาการพัฒนาห้วยฮ่องไคร้อันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดเชียงใหม่ โดยมีปริมาณ 53.02-152.73 t/ha (จักรพงษ์ และคณะ, 2563) มีค่าน้อยกว่าสังคมป่าเบญจพรรณ ในอำเภอปางมะผ้า จังหวัดแม่ฮ่องสอน

โดยมีปริมาณ 136.36 t/ha (ดนัย, 2548) มีค่าน้อยกว่าการสะสมคาร์บอนในดินป่าธรรมชาติสังคมป่าเบญจพรรณ ในดอยสุเทพ-ปุย เชียงใหม่ โดยมีปริมาณ 136.57 t/ha (ณัฐลักษณ์, 2552) และมีค่าน้อยกว่าป่าเบญจพรรณ ในลุ่มน้ำกลอง จังหวัดกาญจนบุรี โดยมีปริมาณ 223.91 t/ha (สิริรัตน์ และคณะ, 2547) การสะสมคาร์บอนในดินที่ระดับความลึก 1 เมตรในดินป่าฟื้นฟูน้อยกว่าป่าฟื้นฟูอายุ 2 ปี 7 ปี และ 11 ปี ในดอยสุเทพ-ปุย จังหวัดเชียงใหม่ โดยมีปริมาณ 168.12 t/ha, 160.16 t/ha และ 127.41 t/ha ตามลำดับ (Kavinchan et al., 2015) มีค่าน้อยกว่าป่าฟื้นฟูอายุ 29 ปี ในหน่วยจัดการต้นน้ำน้ำแหน จังหวัดน่าน โดยมีปริมาณ 146.83 t/ha (Pibumrung et al., 2008) มีค่าน้อยกว่าป่าปลูกอายุ 16 ปี ในสถานีวิจัยสิ่งแวดล้อมสะแกราช จังหวัดนครราชสีมา ที่ระดับความลึก 50 เซนติเมตร โดยมีปริมาณ 66.00 t/ha (อำนาจ และณัฐพล, 2548) และมีค่าน้อยกว่าป่าฟื้นฟูอายุ 20-30 ปี ในลุ่มน้ำย่อยห้วยหินดาด จังหวัดระยอง ที่ระดับความลึก 50 เซนติเมตร โดยมีปริมาณ 86.17 t/ha (พุทธรักษ์ และคณะ, 2562) การสะสมคาร์บอนในดินที่ระดับความลึก 1 เมตรในดินพื้นที่เกษตรน้อยกว่าพื้นที่เกษตร ในหน่วยจัดการต้นน้ำน้ำแหน จังหวัดน่าน โดยมีปริมาณ 95.09 t/ha ตามลำดับ (Pibumrung et al., 2008) มีค่าน้อยกว่าพื้นที่เกษตร ในอำเภอแม่แจ่ม จังหวัดเชียงใหม่ โดยมีปริมาณ 96.10 t/ha (Arunrat et al., 2022) มีค่าน้อยกว่าพื้นที่เกษตร ในลุ่มน้ำย่อยห้วยหินดาด จังหวัดระยอง ที่ระดับความลึก 50 เซนติเมตร โดยมีปริมาณ 48.42 t/ha (พุทธรักษ์ และคณะ, 2562) และมีค่าน้อยกว่าพื้นที่เกษตร ในสถานีวิจัยสิ่งแวดล้อมสะแกราช จังหวัดนครราชสีมา ที่ระดับความลึก 50 เซนติเมตร โดยมีปริมาณ 60.00 t/ha (อำนาจ และณัฐพล, 2548)

จากการศึกษาการสะสมคาร์บอนในดิน ป่าธรรมชาติ ป่าฟื้นฟู และพื้นที่เกษตรกรรมในประเทศไทยพบว่า การใช้ประโยชน์ที่ดินมีผลโดยตรงต่อปริมาณคาร์บอน (Bogunovic et al., 2020; Ussiri et al., 2006) การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินจากป่าธรรมชาติเป็นพื้นที่เกษตรโดยทั่วไปทำให้ปริมาณการสะสมคาร์บอนในดินลดลง อย่างไรก็ตามอัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณการสะสมคาร์บอนในดินยังขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น วิธีการเปลี่ยนแปลง ลักษณะการใช้ที่ดินภายหลังที่มีการเปลี่ยนแปลง สภาพภูมิอากาศ สมบัติทางเคมี ฟิสิกส์และชีวภาพของดินนั้น ๆ (อำนาจ และณัฐพล, 2548)

บทที่ 5
สรุป

5.1 ลักษณะดินในพื้นที่ศึกษา

ลักษณะดินในพื้นที่ป่าธรรมชาติ ป่าฟื้นฟู และพื้นที่เกษตร จังหวัดน่าน โดยทำการศึกษาการใช้ประโยชน์ที่ดินที่แตกต่างกัน 3 รูปแบบ ทั้งหมด 18 แปลง พื้นที่มีความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง 233-433 เมตร ความลาดชันตั้งแต่ 12 % ถึง >35% มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปี 1,279.70-1,423.54 มิลลิเมตร/ปี วัตถุต้นกำเนิดดินจัดอยู่ในหมวด หินทรายแป้ง หินทรายสีแดง หินทราย และหินทรายแป้งเนื้อปนปูน ดินในพื้นที่เป็นดินลึกมีการพัฒนาการตัวสูง และมีการระบายน้ำดีปานกลางถึงดี

5.2 สมบัติทางกายภาพและเคมีของดินบางประการ

5.2.1 สมบัติทางกายภาพของดิน

การแจกกระจายของอนุภาคและชั้นเนื้อดินหลัก เนื้อดินบนเป็นดินร่วนเหนียวถึงเหนียว ดินล่างเป็นดินเหนียว การแจกกระจายอนุภาคดินทรายในความลึก 0-30 เซนติเมตร พื้นที่เกษตรมีปริมาณมากที่สุด รองลงมาคือป่าฟื้นฟู และป่าธรรมชาติ โดยการแจกกระจายอนุภาคทรายทุกระดับความลึกมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P \leq 0.01$) การแจกกระจายอนุภาคดินทรายแป้งในความลึก 0-30 เซนติเมตร ป่าธรรมชาติมีปริมาณมากที่สุด รองลงมาคือป่าฟื้นฟู และพื้นที่เกษตร โดยการแจกกระจายอนุภาคทรายแป้งความลึก 0-5 และ 15-30 เซนติเมตร มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P \leq 0.01$) และความลึก 5-10 และ 10-15 เซนติเมตร ไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \geq 0.05$) การแจกกระจายอนุภาคเหนียวในความลึก 0-30 เซนติเมตร ป่าธรรมชาติมีปริมาณมากที่สุด รองลงมาคือป่าฟื้นฟู และพื้นที่เกษตร โดยการแจกกระจายอนุภาคเหนียวทุกระดับความลึกมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P \leq 0.01$) ด้านความหนาแน่นรวมของดินในความลึก 0-30 เซนติเมตร พื้นที่เกษตรมีปริมาณมากที่สุด รองลงมาคือป่าฟื้นฟู และป่าธรรมชาติ โดยความหนาแน่นรวมของดินทุกระดับความลึกมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P \leq 0.01$) ปริมาณหินและกรวดในความลึก 0-30 เซนติเมตร พื้นที่เกษตรมีปริมาณมากที่สุด รองลงมาคือป่าฟื้นฟู และป่าธรรมชาติ โดยปริมาณหินและกรวดความลึก 0-5 และ 5-10 เซนติเมตร มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P \leq 0.01$) ความลึก 10-15 เซนติเมตร มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) และความลึก 15-30 เซนติเมตร ไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \geq 0.05$) ความหนาแน่นอนุภาคของดินในความลึก 0-30

เซนติเมตร พื้นที่เกษตรมีแนวโน้มมากที่สุด รองลงมาคือป่าฟื้นฟู และป่าธรรมชาติ โดยความหนาแน่นอนุภาคของดินทุกระดับความลึกไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \geq 0.05$) ความสามารถในการอุ้มน้ำของดินและความพรุนรวมของดินในความลึก 0-30 เซนติเมตร ป่าธรรมชาติมีปริมาณมากที่สุด รองลงมาคือป่าฟื้นฟู และพื้นที่เกษตร โดยความสามารถในการอุ้มน้ำของดินและความพรุนรวมของดินทุกระดับความลึกมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P \leq 0.01$)

5.2.2 สมบัติทางเคมีของดิน

ความเป็นกรดด่างของดินและปริมาณอินทรียวัตถุในดินในความลึก 0-30 เซนติเมตร ป่าธรรมชาติมีปริมาณมากที่สุด รองลงมาคือป่าฟื้นฟู และพื้นที่เกษตร โดยความเป็นกรดด่างของดินและปริมาณอินทรียวัตถุในดินทุกระดับความลึกมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P \leq 0.01$) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในความลึก 0-30 เซนติเมตร พื้นที่เกษตรมีปริมาณมากที่สุด รองลงมาคือป่าธรรมชาติ และป่าฟื้นฟู โดยปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ความลึก 0-5 เซนติเมตรมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P \leq 0.01$) และความลึก 5-10 10-15 และ 15-30 เซนติเมตร มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในความลึก 0-30 เซนติเมตร พื้นที่เกษตรมีปริมาณมากที่สุด รองลงมาคือป่าธรรมชาติ และป่าฟื้นฟู โดยปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินทุกระดับความลึกมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P \leq 0.01$) ปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในความลึก 0-30 เซนติเมตร ป่าธรรมชาติมีปริมาณมากที่สุด รองลงมาคือพื้นที่เกษตร และป่าฟื้นฟู โดยปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ทุกระดับความลึกไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \geq 0.05$) ปริมาณแมกนีเซียมและโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ในความลึก 0-30 เซนติเมตร ป่าธรรมชาติมีปริมาณมากที่สุด รองลงมาคือพื้นที่เกษตร และป่าฟื้นฟู โดยปริมาณแมกนีเซียมและโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ความลึก 0-5 เซนติเมตรมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P \leq 0.01$) และความลึก 5-10 10-15 15-30 เซนติเมตรไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \geq 0.05$) ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนในความลึก 0-30 เซนติเมตร ป่าธรรมชาติมีปริมาณมากที่สุด รองลงมาคือป่าฟื้นฟู และพื้นที่เกษตร โดยความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนความลึก 0-5 เซนติเมตรมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P \leq 0.01$) ความลึก 5-10 เซนติเมตรมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) และความลึก 10-15 และ 15-30 เซนติเมตรไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \geq 0.05$) ความอิ่มตัวเบสในความลึก 0-30 เซนติเมตร พื้นที่เกษตรมีแนวโน้มมากที่สุด รองลงมาคือป่าธรรมชาติ และป่าฟื้นฟู โดยความอิ่มตัวเบสทุกระดับความลึกไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \geq 0.05$)

5.3 การสะสมคาร์บอนในดิน

การศึกษาพบว่าการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินมีผลต่อการสะสมคาร์บอนในดิน การสะสมคาร์บอนในดินบนและดินล่าง ป่าธรรมชาติมีปริมาณมากที่สุด รองลงมาคือป่าฟื้นฟู และพื้นที่เกษตร โดยการสะสมคาร์บอนในดินบนและดินล่างมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P \leq 0.01$)

5.4 ข้อเสนอแนะ

ป่าธรรมชาติควรมีการประเมินคาร์บอนในส่วนเหนือดินและใต้ดิน เพื่อเป็นการศึกษาการสะสมอาหารและการหมุนเวียนธาตุในพื้นที่เพิ่มเติม ป่าฟื้นฟูควรมีการติดตามการเจริญเติบโตและประเมินการสะสมคาร์บอนทั้งเหนือดินและใต้ดินเป็นระยะเวลาต่อเนื่อง 10-20 ปี เพื่อที่จะทราบว่าการฟื้นฟูป่าใช้ระยะเวลาเท่าไหร่จึงทำให้ป่ามีสภาพกลับมาสมบูรณ์ใกล้เคียงกับป่าธรรมชาติ ในส่วนพื้นที่เกษตรควรมีการให้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินเนื่องจากพื้นที่เกษตรตั้งอยู่บนพื้นที่สูงเมื่อมีฝนตกลงมาธาตุอาหารบางส่วนจะสูญเสียไปกับน้ำ ทำให้ทั้งปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์เมื่อใส่ลงไปในดินอาจจะก่อให้เกิดมลพิษในแหล่งน้ำได้ เนื่องจากเป็นการเพิ่มธาตุอาหารลงในน้ำ และการชะล้างไนเทรตลงสู่น้ำใต้ดิน ส่งผลแหล่งน้ำเน่าเสีย หากเป็นการนำธาตุอาหารพืชลงสู่แหล่งน้ำมากเกินไป และควรมีมาตรการอนุรักษ์ดิน เนื่องจากพื้นที่เกษตรขาดวัสดุคลุมดินทำให้เกิดกร่อนดินในพื้นที่ เกษตรกรควรหาพืชชนิดอื่นมาทดแทนข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ หรือควรเปลี่ยนระบบการเกษตรจากเกษตรเชิงเดี่ยวเป็นระบบวนเกษตร เพื่อช่วยการในการอนุรักษ์ดินในพื้นที่

บรรณานุกรม

กนกนิภา อ่ำสวัสดิ์, เสาวนุช ถาวรพฤกษ์ และณัฐพล จิตมาตย์. 2562. สมบัติและศักยภาพทางการเกษตรของดินปนกรวด ในอำเภอเนินมะปราง จังหวัดพิษณุโลก. **วารสารเกษตรพระจอมเกล้า**, 37(1), 78-87.

กรมทรัพยากรธรณี. 2558. **การจำแนกเขตเพื่อการจัดการด้านธรณีวิทยาและทรัพยากรธรณีจังหวัดน่าน**. กรุงเทพฯ: กรมทรัพยากรธรณี.

กรมป่าไม้. 2565. **โครงการจัดทำข้อมูลสภาพพื้นที่ป่าไม้**. กรุงเทพฯ: กรมป่าไม้.

กรมพัฒนาที่ดิน. 2553. **คู่มือการปฏิบัติงานกระบวนการวิเคราะห์ตรวจสอบดินทางเคมี**. กรุงเทพฯ: กรมพัฒนาที่ดิน.

---. 2556. **ดินของประเทศไทย**. กรุงเทพฯ: กรมพัฒนาที่ดิน.

---. 2558. **สถานภาพทรัพยากรดินและที่ดินของประเทศไทย**. กรุงเทพฯ: กรมพัฒนาที่ดิน.

---. 2565. **คู่มือปฏิบัติงานวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของดิน**. กรุงเทพฯ: กรมพัฒนาที่ดิน.

กฤษฎา ภาณุมนต์วาที และเสวียน เปรมประสิทธิ์. 2566. การกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่ปลูกกาแฟจากพื้นที่เสื่อมโทรมจากการปลูกข้าวโพดในจังหวัดน่าน. **วารสารวิทยาศาตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์**, 15(21), 71-82.

กองนโยบายและแผนการใช้ที่ดิน. 2566. **สรุปสภาพการใช้ที่ดินรายจังหวัด (ภาคเหนือ)**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www1.ldd.go.th/web_OLP/report_research_N.html (1 มีนาคม 2567).

กอบศักดิ์ วันธงไชย และพูลสถิตย์ วงศ์สวัสดิ์. 2555. ผลกระทบของการเผาไร่หมุนเวียนบนพื้นที่สูงต่อการเก็บกักและปลดปล่อยคาร์บอนสู่บรรยากาศ. **วารสารวนศาสตร์**, 31(3), 25-35.

เกษมศรี ซับซ้อน. 2541. **ปฐพีวิทยา**. พิมพ์ครั้งที่ 3. ปทุมธานี: ศูนย์ฝึกอบรมวิศวกรรมเกษตร บางพูน.

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2548. **ปฐพีวิทยาเบื้องต้น**. พิมพ์ครั้งที่ 10. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จตุรงค์ วุฒิ, นิวัติ อนงค์รักษ์, สุนทร คำยอง และปณิดา กาจีนะ. 2563. ศักยภาพการกักเก็บคาร์บอน ธาตุอาหารและน้ำในป่าปลูกไม้สักอายุ 29 ปี เพื่อการฟื้นฟูพื้นที่ต้นน้ำบริเวณดอยตุง จังหวัดเชียงราย. **วารสารวิจัยและพัฒนามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี**, 43(4), 457-472.

จักรพงษ์ ไชยวงศ์, สุนทร คำยอง, นิวัติ อนงค์รักษ์, ประสิทธิ์ วังภคพัฒนวงศ์ และสุภาพ ปารมี. 2563. ลักษณะของดินและการสะสมคาร์บอนในดินที่เกิดจากวัตถุต้นกำเนิดดินต่างกันภายใต้ระบบนิเวศป่าเบญจพรรณ ณ ศูนย์ศึกษาการพัฒนาห้วยฮ่องไคร้อันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัด

เชียงใหม่. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม**, 5(1), 41-51.

จามร อยู่เย็น. 2556. **การใช้ถ่านชีวภาพในพื้นที่เพาะปลูกถั่วเหลืองเพื่อการเพิ่มผลผลิตและกักเก็บคาร์บอน**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

จีรณัทย์ หงษ์จาตุรัตน์, ศุภิฌา ธนะจิตต์, สมชัย อนุสนธิ์พรเพิ่ม และอัญชลี สุทธิประการ. 2554. ศักยภาพของดินทางการเกษตรบนลำดับภูมิประเทศที่เกิดมาจากหินทราย. **วารสารแก่นเกษตร**, 39, (321-332).

จีราภรณ์ อินทสาร. 2563. **ความอุดมสมบูรณ์ของดิน**. พิมพ์ครั้งที่ 2. เชียงใหม่: ดีไซน์ปริ้นมีเดีย.

ชโลธร ชุมภูกุล. 2555. **การประเมินปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในสวนป่าสักจังหวัดพะเยา**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยพะเยา.

ฐิตารีย์ สุขปรุง, สมพร แม่ลิ่ม และสคาร ทีจันทึก. 2564. การปลูกฟื้นฟูป่าเบญจพรรณ ในพื้นที่หน่วยศึกษาการพัฒนาการอนุรักษ์ต้นน้ำแม่ถาง จังหวัดแพร่. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีไทย**, 10(2), 208-222.

ณัฐลักษณ์ คำยอง. 2552. **ความหลากหลายของชนิดพันธุ์ไม้ ลักษณะดินและการสะสมคาร์บอนในป่าชนิดต่าง ๆ บริเวณอุทยานแห่งชาติดอยสุเทพ-ปุย จังหวัดเชียงใหม่**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ณัฐวุฒิ ลือศักดิ์, นิวัติ อนงค์รักษ์, ฟ้าไพลิน ไชยวรรณ และสุนทร คำยอง. 2564. สมบัติของดินในระบบวนเกษตรที่มีกาแฟเป็นพืชหลักในจังหวัดเชียงใหม่. **วารสารแก่นเกษตร**, 49(1), 49-63.

ดนัย แสนจันทอง. 2548. **ความหลากหลายของชนิดพันธุ์ไม้กับลักษณะดินในสังคมพืชป่าไม้พื้นที่อำเภอปางมะผ้า จังหวัดแม่ฮ่องสอน**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ดลนภาวรรณ เรืองณรงค์. 2557. **การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินและบริบททางเศรษฐสังคม**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ตฤณ เสรเมธากุล, สุนทร คำยอง, นิวัติ อนงค์รักษ์ และธนูชัย กองแก้ว. 2555. สมบัติของดินกับการสะสมคาร์บอนและธาตุอาหารในป่าสนธรรมชาติ อำเภอกัลยาณิวัฒนา จังหวัดเชียงใหม่. **วารสารเกษตร**, 28(3), 217-228.

ทศพร สุริวงศ์. 2553. **ความอุดมสมบูรณ์ของดินภายใต้การใช้ที่ดินเพาะปลูกแบบเข้มข้น ในพื้นที่ลุ่มน้ำขนาดย่อยของลุ่มน้ำแม่แปะตอนบน อำเภอจอมทอง จังหวัดเชียงใหม่**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

ธงชัย มาลา, อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์, ศุภชัย อำคา, สิรินภา ช่วงโอภาส, ดุสิต จิตตนูนท์ และไชยา บุญเลิศ. 2556. ผลของปุ๋ยไนโตรเจนละลายช้าที่มีต่อสมบัติบางประการของดินและการเจริญเติบโตของกล้ามะเขือเทศ. **วารสารแก่นเกษตร**, 41(2), 121-134.

ธวัชชัย สันติสุข. 2549. **ป่าของประเทศไทย**. กรุงเทพฯ: กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช.

นงนุช พูลสวัสดิ์. 2564. **การประเมินปริมาณก๊าซเรือนกระจกของระบบเกษตรกรรมเชิงพื้นที่ กรณีศึกษา อำเภอแม่แจ่ม จังหวัดเชียงใหม่**. ปทุมธานี: สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สวทช).

นิกร ศิรโรจนานนท์. 2555. **ปัจจัยทางด้านเศรษฐกิจ-สังคมที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน: กรณีศึกษา พื้นที่ลุ่มน้ำ ท้องที่ตำบลป่าหุ่ง อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย**. กรุงเทพฯ: สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้ กรมป่าไม้.

บรรณพิชญ์ สัมฤทธิ์. 2551. **ลักษณะและสมรรถนะความอุดมสมบูรณ์ของดินที่สูง ในบริเวณเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เบญจพร พรมเสนวงศ์, สุนทร คำยอง, นิวัติ อนงค์รักษ์ และพันธุ์ลพ หัตถโกศล. 2562. ลักษณะดินที่เกิดจากหินปูนระหว่างพื้นที่เกษตรกรรมและป่าไม้ในลุ่มน้ำแม่ตาว อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก. **วารสารเกษตร**, 35(2), 239-251.

ปัทมา ศรีน้ำเงิน. 2561. **การศึกษาบทบาทของคาร์บอนสีน้ำเงินในหญ้าทะเลบริเวณชายฝั่งตะวันออกของประเทศไทย**. จันทบุรี: มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตจันทบุรี.

ผการัตน์ รัฐเขตต์. 2535. **ดินป่าไม้**. ขอนแก่น: ภาควิชาปฐพีศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

พงษ์เทพ หาญพัฒนากิจ. 2557. การทบทวนวิธีการศึกษาผลผลิตและการย่อยสลายเศษซากชีวมวลในวัฏจักรคาร์บอนต่อการปลดปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในป่าเขตเส้นศูนย์สูตร. **วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี)**, 6(12), 134-146.

พฤติพงษ์ พุ่มวิเศษ, สคาร ทีจันทึก และจงรัก วัชรินทร์รัตน์. 2559. ปริมาณซากพืชที่ร่วงหล่นของสังคมพืชป่าไม้ที่เกิดจากการฟื้นฟู ในรูปแบบที่แตกต่างกัน ณ จังหวัดลำปาง. **วารสารวนศาสตร์**, 35(1), 45-61.

พิณทิพย์ ธิติโรจนะวัฒน์, ธรรมนูญ แก้วอำพุท และบุญมา ดีแสง. 2541. **สมบัติทางกายภาพและเคมีของดินในพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินต่างๆ บริเวณลุ่มนำคอง อ.เชียงดาว จ.เชียงใหม่**. กรุงเทพฯ: กรมป่าไม้.

พุทธรักษ์ วงศ์สิริชัย, สุภัทรา ถึกสถิตย์, นฤมล แก้วจำปา และรจนา ตั้งกุลบริบูรณ์. 2562. ผลของการใช้ประโยชน์ที่ดินต่อการกักเก็บคาร์บอนในดินบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยห้วยหินดาด จังหวัดระยอง. **วารสารวนศาสตร์**, 38(2), 83-97.

ภาคภูมิ วงศ์แสนไชย. 2564. **ลักษณะของดินและศักยภาพการสะสมคาร์บอนในดินป่าดิบแล้ง บริเวณมอสิงโต อุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ จังหวัดนครราชสีมา**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

ภาณุวัชร อุปถัมภานนท์, ณัฐพล จิตมาตย์ และทิมทอง ดรุณสนธยา. 2561. สมรรถนะความอุดม

สมบูรณ์ของดินเนื้อปูนในประเทศไทย. **วารสารเกษตร**, 34(3), 411-423.

มูลนิธิสืบนาคะเสถียร. 2565. **สถานการณ์ป่าไม้ไทย 2565**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา https://www.seub.or.th/document/สถานการณ์ป่าไม้ไทย/2023-235/.com (1 เมษายน 2566).

รัชนีกร เล็กประเสริฐ, วีนัส ต่วนเครือ และยุทธพงษ์ คีรีมังคละ. 2565. สมบัติของดินทางกายภาพบางประการและความสามารถในการกักเก็บน้ำของดิน บริเวณป่าเบญจพรรณและพื้นที่ปลูกข้าวโพด ลุ่มน้ำย่อยนาหลวง จังหวัดน่าน. **วารสารวนศาสตร์ไทย**, 41(1), 90-101.

รัตนชาติ ช่วยบุดดา และบุศรินทร์ แสวงลาภ. 2562. **คู่มือวิเคราะห์ดินทางเคมีเพื่อประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน**. กรุงเทพฯ: กรมพัฒนาที่ดิน.

วรางคณา รักทองสุข. 2550. **ความสัมพันธ์เชิงปริมาณระหว่างคาร์บอนอินทรีย์ สัดส่วนดินเหนียว ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก และจุลธาตุอาหารของดินสวนผลไม้ในจังหวัดนครปฐม สมุทรสาคร และสมุทรสงคราม**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยศิลปากร.

วัฒนา พัฒนถาวร. 2554. **การศึกษาปริมาณคาร์บอนในดินของประเทศไทย**. กรุงเทพฯ: กรมพัฒนาที่ดิน.

วันเพ็ญ วิริยะกิจนทีกุล และชนิดา เกิดชนะ. 2559. **คู่มือการวิเคราะห์ดินทางกายภาพและการแปลผลเพื่อการสำรวจและจำแนกดิน.** กรุงเทพฯ: กรมพัฒนาที่ดิน.

วีคำ เมฆตระกูล, เสาวนุช ถาวรพฤกษ์, ณัฐพล จิตมาตย์ และเอิบ เขียวรื่นรมย์. 2563. ศักยภาพของดิน และความเหมาะสมของที่ดินทางการเกษตรในพื้นที่น้ำมังเมืองท่าพระบาท แขวงบอลิคำไซ สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว (สปป.ลาว). **วารสารเกษตรพระจอมเกล้า**, 38(3), 332-341.

ศุภกาญจน์ ล้วนมณี. 2560. **การสร้างธนาคารคาร์บอนในพื้นที่ปลูกพืชไร่และพืชทดแทนพลังงาน.** กรุงเทพฯ: กรมวิชาการเกษตร.

สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ. 2566. **สถิติข้อมูลน้ำรายจังหวัด**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา https://tiservice.hii.or.th/WRMOC/web/V2/yRainAmp2.html (1 เมษายน 2567).

สถาพร ใจอารีย์, กิตติมา ศิวอาทิตย์กุล และชินพัฒน์ธนา สุขวิบูลย์. 2556. **พลวัตรของคาร์บอนในดินภายใต้การไถกลบตอซังข้าวโพดของประเทศไทย**. กรุงเทพฯ: กรมพัฒนาที่ดิน.

สนธยา จำปานิล และนันทนา คชเสนี. 2547. การประเมินการกักเก็บคาร์บอน ผลผลิตและการย่อยสลายของเศษซากพืช ในอุทยานแห่งชาติแก่งกระจาน ประเทศไทย. น. 1-15. **ใน รายงานการประชุมวิชาการการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศทางด้านป่าไม้ "ป่าไม้กับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ".** 16-17 สิงหาคม 2547. ณ โรงแรมมารวย การ์เด้น กรุงเทพฯ.

สมคิด แก้วทิพย์, เยาวลักษณ์ ศรีคำภา และพงศกร กาวิชัย. 2556. **เกษตรอินทรีย์: ข้อจำกัดของการมี**

ตลาดรองรับผลิตภัณฑ์เกษตรอินทรีย์อย่างเพียงพอในจังหวัดเชียงใหม่ และลำพูน. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

สมชาย นองเนือง, สุนทร คำยอง, นิวัติ อนงค์รักษ์ และเกรียงศักดิ์ ศรีเงินยวง. 2555. การสะสมคาร์บอนในดินป่าสนสามใบ หน่วยจัดการต้นน้ำบ่อแก้ว จังหวัดเชียงใหม่. **วารสารเกษตร**, 28(1), 31-40.

สมชาย อ่อนอาษา, ชลดา เต็มคุณธรรม, บุญมา ดีแสง และแสงจันทร์ ศรีสายเชื้อ. 2542. การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของดินภายหลังการทำลายป่าเพื่อใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทต่าง ๆ ในพื้นที่ต้นน้ำ อ.เขาค้อ จ.เพชรบูรณ์. น. 303-309. **ใน การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 37**. 3-5 กุมภาพันธ์ 2542. กรุงเทพฯ.

สายบัว เข็มเพชร และศักดิ์ดา จงแก้วพัฒนา. 2564. การสูญหายของพื้นที่ป่าไม้จังหวัดน่าน. **วารสารแก่นเกษตร**, 49, (312-322).

สาวิตรี ม่วงศรี, สุภาวดี ผลประเสริฐ, ธนกฤต เนียมหอม และวิธิดา พัฒนอิสรานุกูล. 2564. การปลดปล่อยคาร์บอนจากการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ในฤดูแล้งของประเทศไทย. **วารสารวิทยาศาตร์และเทคโนโลยี**, 29(6), 950-965.

สำนักงานราชบัณฑิตยสภา. 2562. พ**จนานุกรมศัพท์ปฐพีศาสตร์ ฉบับราชบัณฑิตสภา**. กรุงเทพฯ: สำนักงานราชบัณฑิตสภา.

สำนักวิจัยการอนุรักษ์ป่าไม้และพันธุ์พืช. 2559. **ประเภทของป่าไม้ในประเทศไทย - รุกขกรรม**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา https://www.th-arbor.com/blog/forest-in-thailand (15 มีนาคม 2566).

สิทธิเดช พงศ์กิจวรสิน และเขมรัฐ เถลิงศรี. 2558. **ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์กับการสูญเสียป่า: ปัญหาและทางออก**. กรุงเทพฯ: สถาบันคลังสมองของชาติ.

สิริรัตน์ จันทร์มหเสถียร, ศิริภา โพธิ์พินิจ และวิลาวัณย์ วิเชียรนพรัตน์. 2547. การศึกษาปริมาณคาร์บอนในดินของระบบนิเวศป่าดิบแล้งและป่าเบญจพรรณ. น. 1-15. **ใน รายงานการประชุมวิชาการการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศทางด้านป่าไม้ "ป่าไม้กับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ"**. 16-17 สิงหาคม 2547. ณ โรงแรมมารวย การ์เด้น กรุงเทพฯ.

สุนทร คำยอง. 2558. **ดินป่าไม้**: ธรรมชาติของดินป่าไม้ในประเทศไทย. เชียงใหม่: คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

สุนิสา จันสารี และธวัชชัย ศุภดิษฐ์. 2561. ผลของการไถพรวนที่มีต่อปริมาณคาร์บอนที่เก็บสะสมในดิน และผลผลิตข้าวโพด กรณีศึกษาพื้นที่เกษตรกรรม จังหวัดลพบุรี. **วารสารมหาวิทยาลัยนเรศวร: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**, 26(2), 86-95.

โสภณ มงคลวัจน์ และอรทัย มิ่งธิพล. 2544. **ลักษณะการหมุนเวียนธาตุอาหารของป่าบ้านโปง ลุ่มน้ำเชิงเขาห้วยโจ้ อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่**. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

หน่วยวิจัยการฟื้นฟูป่า. 2549. **ปลูกป่าให้เป็นป่า: แนวคิดและแนวปฏิบัติสำหรับการฟื้นฟูป่าเขตร้อน**. เชียงใหม่: ภาควิชาชีววิทยา มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

องค์การบริหารส่วนตำบลจอมพระ. 2565. **แผนพัฒนาท้องถิ่น (พ.ศ.2566-2570)**. น่าน: องค์กรบริหารส่วนตำบลจอมพระ.

องค์การบริหารส่วนตำบลน้ำเกี๋ยน. 2564. **แผนพัฒนาท้องถิ่น (พ.ศ.2566-2570)**. น่าน: องค์กรบริหารส่วนตำบลน้ำเกี๋ยน.

องค์การบริหารส่วนตำบลเมืองจัง. 2566. **แผนพัฒนาท้องถิ่น (พ.ศ.2566-2570)**. น่าน: องค์กรบริหารส่วนตำบลเมืองจัง.

องค์การบริหารส่วนตำบลอวน. 2565. **แผนพัฒนาท้องถิ่น (พ.ศ.2566-2570).** น่าน: องค์กรบริหารส่วนตำบลอวน.

องค์การบริหารส่วนตำบลอ่ายนาไลย. 2565. **แผนพัฒนาท้องถิ่น (พ.ศ.2566-2570)**. น่าน: องค์กรบริหารส่วนตำบลอ่ายนาไลย.

อนุสรณ์ สะสันติ. 2564. **การเจริญทดแทนของไม้ต้นในแปลงปลูกป่าฟื้นฟูด้วยไม้สักเศรษฐกิจบริเวณต้นน้ำน่าน จังหวัดน่าน**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

อลงกรณ์ ขุนไกร, สุรชาติ เพชรแก้ว และเชาวน์ ยงเฉลิมชัย. 2563. ผลของรูปแบบการใช้ที่ดินและสภาพภูมิประเทศต่อความอุดมสมบูรณ์ของดิน บริเวณลุ่มน้ำทุ่งใหญ่ จังหวัดสงขลา. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**, 28(7), 1175-1184.

อัญชลี สุทธิประการ. 2553. **แร่ในอนุภาคขนาดดินเหนียวของดินเขตร้อน**. กรุงเทพฯ: เท็กซ์ แอนด์ เจอร์นัล พิบลิเคชั่น จำกัด.

อาจิน หนูประสิทธิ์, บุญมา ดีแสง, พิณทิพย์ ธิติโรจนะวัฒน์ และแสงจันทร์ ศรีสายเชื้อ. 2540. **สมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน บริเวณสถานีวิจัยลุ่มน้ำปากพนัง อำเภอลานสกา จังหวัดนครราชสีมา**. กรุงเทพฯ: กรมป่าไม้.

อาทิตยา พองพรหม. 2562. **หลักการและรูปแบบเกษตรกรรมยั่งยืน**. กรุงเทพฯ: สำนักงานปฏิรูปที่ดินเพื่อเกษตรกรรม.

อานัฐ ตันโช. 2556. **เกษตรธรรมชาติประยุกต์ แนวคิด หลักการ เทคนิคปฏิบัติในประเทศไทย**. พิมพ์ครั้งที่ 3. เชียงใหม่ : สำนักพิมพ์ทรีโอแอดเวอร์ไทซิ่ง แอนด์มีเดีย.

อำนาจ ชิดไธสง และณัฐพล ลิไชยกุล. 2548. การกักเก็บและปลดปล่อยคาร์บอนในดินป่าดิบแล้ง ดินป่าปลูก และดินทำการเกษตร. น. 95-105. **ใน การประชุมวิชาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศทางด้านป่าไม้ "ศักยภาพของป่าไม้ในการสนับสนุนพิธีสารเกียวโต"**. 4-5 สิงหาคม 2548. ณ โรงแรมการ์เด้น กรุงเทพฯ.

อุเทน จันละบุตร และภูวดล โกมณเฑียร. 2559. ปริมาณคาร์บอนสะสมในดินในพื้นที่เกษตรกรรมใน

ลุ่มน้ำชีตอนกลาง จังหวัดมหาสารคาม. **วารสารเกษตรพระจอมเกล้า**, 34(79-88).

เอิบ เขียวรื่นรมย์. 2548. **การสำรวจดิน**. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Aghasi, B., Jalalian, A. and Honarjoo, N. 2010. The comparison of some soil quality indexes in different land use of Ghareh Aghaj watershed of Semirom, Isfahan, Iran. **International Journal of Environmental and Earth Sciences**, 1(2), 76-80.

Arunrat, N., Sereenonchai, S., Kongsurakan, P. and Hatano, R. 2022. Soil organic carbon and soil erodibility response to various land-use change in northern Thailand. **Catena**, 219(106595).

Bodner, G., Leitner, D. and Kaul, H. P. 2014. Coarse and fine root plants affect pore size distributions differently. **Plat Soil**, 380, 133-151.

Bogunovic, I., Viduka, A., Magdic, I., Telak, L. J., Francos, M. and Pereira, P. 2020. Agricultural and Forest Land-Use Impact on Soil Properties in Zagreb Periurban Area (Croatia). **Agronomy**, 10(1331).

Brady, J. A. and Weil, R. R. 2010. **Elements of the Nature And Properties of Soils**. 3rd ed. New Jersey: Prentice Hall.

Brookfield, H. 2007. Working with and for Plants: Indigenous Fallow Management in Perspective. In M. Cairns (Ed.). **Voices from the Forest: Integrating Indigenous Knowledge into Sustainable Upland Farming** (pp. 8-15). Washington DC: Resources for the Future.

Damptey, F. G., Birkhofer, K., Nsiah, P. K. and de la Riva, E. 2020. Soil Properties and Biomass Attributes in a Former Gravel Mine Aera affer Two Decades of Forest Restoration. **Land**, 9(209).

FAO. 2006. **Guidelines for soil description**. 4th ed. Italy: Rome.

Göl, C., Çakir, M., Ediş, S. and Yılmaz, H. 2010. The effects of land use/land cover change and demographic processes (1950 - 2008) on soil properties in the Gökçay catchment, Turkey. **African Journal of Agricultural Research**, 4(13), 1670-1677.

Goosem, S. P. and Tucker, N. I. J. 1995. **Repairing the rainforest-theory and practice of rainforest re-establishment in North Queensland's wet tropics**. Cairns: Wet Tropics Management Authority.

Jenny, H. 1941. **Factors of soil formation: a system of quantitative pedology**. New York: McGraw-Hill.

Kanchanaprasert, N. 1986. **A Study on vital diagnostic features in soil development and land potential evaluation of alfisols and inceptisols in Mae Klong drainage basin**. Doctoral Dissertation. Kasetsart University.

Kavinchan, N. 2013. **Soil carbon sequestration and dynamics of natural forest ecosystems and forest restoration plots in Mae Rim District, Chiang Mai Province**. Doctoral Dissertation. Chiang Mai University.

Kavinchan, N., Wangpakapattanawong, P., Elliott, S., Chairuangsri, S. and Pinthong, J. 2015. Soil Organic Carbon Stock in Restored and Natural Forests in Northern Thailand. **Korn Kean University Research Journal**, 20(3), 294-304.

Kimmins, J. P. 2004. **Forest Ecology: A Foundation for Sustainable Forest Management and Environmental Ethics in Forestry**. New Jersey: Prentice Hall.

Lal, R. 2002. Why Carbon Sequestration in Agricultural Soils. In J. M. Kimble, R. Lal, and R. F. Follett (Eds.). **Agricultural Pratices and Policies for Carbon Sequestration in Soil** (pp. 21-30). Washington DC: Lewis

Lavelle, P. and Spain, A. V. 2003. **Soil Ecology**. New York: Kluwer Academic Publisher.

Patle, T., Khaddar, V. K. and Sharmar, S. K. 2021. **Phosphorus Fixation Capacity of Soils**. Lambert publications.

Peel, M. C., Finlayson, B. L. and McMahon, T. A. 2007. Updated world map of the Koppen-Geiger climate classification. **Hydrol. Earth Syst. Sci.**, 11, 1633-1644.

Pibumrung, P., Gajaseni, N. and Popan, A. 2008. Profile of carbon stocks in forest, reforestation and agricultural land, Northern Thailand. **Journal of Forestry Reseach**, 19, 11-18.

Saengruksawong, C., Khamyong, S., Anongrak, N. and Pinthong, J. 2012. Growths and carbon stocks in rubber plantations on chakkarat soil series, Northeastern Thailand. **Suranaree Journal of Science and Technology**, 19(4), 271-278.

Schaetzl, R. and Anderson, S. 2005. **Soil Genesis and Geomorphology**. New York: Cambridge University.

Schoeneberger, P. J., Wysocki, D. A., Benham, E. C. and Brodeson, W. D. 2002. **Field Book for Describing and Sampling Soils**. Lincoln: Natural Resoures

Canservation Sevice National Soil Survey Center.

Seeloy-ounkaew, T. and Khamyong, S. 2016. Properties and Carbon and Nutrient Storage Potential of Forest Soils in a Highland Community Forest, Chiang Mai Province. **Journal of Science & Technology, Ubon Ratchathani University**, 18, 39-51.

Soil Survey Staff. 1975. **Soil Taxonomy A Basic System of soil Classification of Making and Interpreting Soil Surveys**. Washington D.C.: United States Department of Agriculture.

---. 1993. **Soil Survey Manual. Handbook No. 18**. Washington D.C.: United States Department of Agriculture.

Tangsinmankong, W., Pumijumnong, N., Moncharoen, Lek. and Janmahasatien, S. 2007. Carbon stocks in soil of mixed deciduous forest and teak plantation. **Environment and Natural Resources Journal**, 5(1), 80-86.

Ussiri, D., Lal, R. and Jacinthe, P. A. 2006. Soil properties and carbon sequestration of afforested pasture in reclaimed minesoils of Ohio. **Soil Science Society of America**, 70, 1797-1806.

Veldkamp, E., Becker, A., Schwendenmann, L., Clark, D.A. and Schulte-Bisping, H. 2003. Substantial labile carbon stocks and microbial activity in deeply weathered soils below a tropical wet forest. **Global Change Biol**, 9, 1171-1184.

Xu, C., Xiang, W., Gou, M., Chen, L., Lei, P., Fang, X., Deng, X. and Ouyang, S. 2018. Effects of Forest Restoration on Soil Carbon, Nitrogen, Phosphorus, and Their Stoichiometry in Hunan, Southern China. **Sustainability**, 10(1874).

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
ข้อมูลพันธุ์ไม้ที่สำรวจในพื้นที่และข้อมูลการใช้ปุ๋ยของเกษตรกร

ตารางภาคผนวกที่ 1 รายชื่อไม้ยืนต้นที่สำรวจพบในแปลงป่าชุมชน (ป่าธรรมชาติ) บ้านม่วงเนิ้ง ม.9 ต.อ่ายนาไลย อ.เวียงสา จ.น่าน

ลำดับที่	ชื่อท้องถิ่น	ชื่อวิทยาศาสตร์	ชื่อวงศ์
1	เจเลม	*Albizia* sp.	Fabaceae
2	เหมียด	*Wlbizia odoratissima* (L.f.) Benth.	Phyllanthaceae
3	งิ้ว	*Bombax insigne* Wall.	Bombacaceae
4	เต็งหนาม	*Bridelia retusa* (L.) A.Juss.	Phyllanthaceae
5	บะจิ้ม	*Canarium subulatum* Guillaumin	Burseraceae
6	หนามเท่ง	*Catunaregam* sp.	Rubiaceae
7	ดิกเดียม	*Ceriscoides turgida* (Roxb.) Tirveng. Rubiaceae	Rubiaceae
8	ยมหิน	*Chukrasia tabularis* A. Juss.	Melliaceae
9	ติ้ว	*Cratoxylum* sp.	Hypericaceae
10	แกพันชั้น	*Dalbergia* sp.1	fabaceae
11	เก็ด	*Dalbergia* sp.2	fabaceae
12	เหียง	*Dipterocarpus obtusifolius* Teism.ex Mig.	Dipterocarpaceae
13	มะคังแดง	*Dioecrescis erythroclada* (Kurz) Tirveng.	Rubiaceae
14	มอก	*Clusia* sp.	Clusiaceae
15	ค้ำ	*Garuga pinnata* Roxb.	Burseraceae
16	ฮัก	*Gluta* sp.	Anacardiaceae
17	ซ้อ	*Gmelina arborea* Roxb. ex Sm.	Lamiaceae
18	ยาบ	*Grewia eriocarpa* Juss.	Malvaceae
19	ส้มกบ	*Hymenodictyon orixense* (Roxb.) Mabb.	Rubiaceae
20	บะมื่น	*Irvingia malayana* Oliv. Ex A.W.Benn.	Irvingiaceae
21	เข็มป่า	*Ixora* sp.	Rubiaceae
22	เปื๋อย	*Lagerstroemia* sp.	Lythraceae
23	กอกกุ๊ก	*Lannea coromandelica* (Houtt.) Merr.	Anacardiaceae
24	แคป่า	*Markhamia stipulata* (Wall.) Seem.	Bignoniaccae
25	ผักหวาน	*Melientha suavis* Pierre.	Opiliaceae
26	กว้าว	*Mitragyna* sp.	Rubiaceae
27	สะกึย (ยอป่า)	*Morinda citrifolia* L.	Rubiaceae
28	ช้างน้าว	*Ochna integerrima* (Lour.) Merr.	Ochnaceae
29	มะขามป้อม	*Phyllanthus emblica* L.	Phyllanthaceae
30	ประดู่	*Pierocarpus macrocarpus* Kurz.	Fabaceae

ตารางภาคผนวก 1 ต่อ

ลำดับที่	ชื่อท้องถิ่น	ชื่อวิทยาศาสตร์	ชื่อวงศ์
31	ก่อใบจัก	*Quercus* sp.1	Fagaccae
32	ก่อใบจัก2 (ก่อดำ)	*Quercus* sp.2	Fagaceae
33	บะเคาะ	*Schleichera oleosa* (Lour.) Oken	Sapindaceae
34	ฮักขี้หมู	*Semecarpus* sp.	Anacardiaceae
35	แงะ	*Shorea obtusa* Wall. Ex Blume	Dipterocarpaceae
36	เปา	*Shorea siamensis* Miq.	Dipterocarpaccae
37	ปอแดง	*Sterculia* sp.	Malvaceae
38	ขี้หนยอน	*Symplocos sumuntia* Buch.-Ham. Ex D.Don	Symplocaceae
39	บะนะ	*Terminalia chebula* Retz.	Combretaceae
40	ไก๋	*Ternstroemia* sp.	Pentaphylacaceae
41	ตีนนก	*Vitex* sp.	Lamiaceac
42	ลำไยป่า	*Walsura trichostemon* Mig.	Melliaceae
43	แข้งกวาง	*Cocculus* sp.	Menispermaceae
44	แดง	*Xylia xylocarpa* (Roxb.) W.Theob.	Fabaccae

ตารางภาคผนวกที่ 2 รายชื่อไม้ยืนต้นที่สำรวจพบในป่าชุมชนม่อนหินแก้ว (ป่าธรรมชาติ) บ้านทุ่งใหม่ ม.11 ต.อวน อ.ปัว จ.น่าน

ลำดับที่	ชื่อท้องถิ่น	ชื่อวิทยาศาสตร์	ชื่อวงศ์
1	กาง	*Albizia odoratissima* (L.f.) Benth.	Fabaceae
2	เหมือด	*Aporosa villosa* (Wall). ex Lindi.Baill.	Phyllanthaceae
3	มะหาด	*Artocarpus lacucha* Buch.-Ham.	Moraceae
4	งิ้วขาว	*Bombax anceps* Pierre	Malvaceae
5	งิ้ว	*Bombax ceiba* L.	Malvaceae
6	เต็งหนาม	*Bridelia retusa* (L.) A.Juss.	Phyllanthaceae
7	มะม่วงหัวแมลงวัน	*Buchanania* sp.	Anacardiaceae
8	หนามแท่ง	*Catunaregam tomentosa* (Blume ex (DC.) Tirveng.	Rubiaceae
9	ยางหนู	unknown1	Celastraceae
10	ติ้วเกลี้ยง	*Cratoxvlum cochinchinense* (Lour.) Blume	Hypericaceae
11	ติ้ว	*Cratoxylum formosum* (Jacq.) Benth. & Hook.f. ex Dyer	Hypericaceae
12	กระพี้	*Dalbergia cultrata* Graham ex Benth.	Fabaceae

ตารางภาคผนวกที่ 2 ต่อ

ลำดับที่	ชื่อท้องถิ่น	ชื่อวิทยาศาสตร์	ชื่อวงศ์
13	เกล็ด	*Dalbergia* sp.	Fabaceae
14	ส้าน	*Dillenia* sp.	Dilleniaceae
15	มะคังแดง	*Dioecrescis erythroclada* (Kurz) Tirveng.	Rubiaceae
16	คำมอก	*Gardenia sootepensis* Hutch.	Rubiaccac
17	บะมื่น	*Irvingia malayana* Oliv. ex A.W.Benn.	Irvingiaceae
18	หลองเลาะ (กระทุ่ม)	*Mitragyna rotundifolia* (Roxb.) Kuntze	Rubiaceae
19	สะกี๋ย (ยอป่า)	*Morinda tomentosa* B.Heyne ex Roth	Rubiaceae
20	ตานเหลือง	*Ochna integerrima* (Lour.) Merr.	Ochnaceae
21	ประดู่	*Pterocarpus macrocarpus* Kurz	Fabaceae
22	ก่อตาหมู	*Quercus* sp.	Fagaceae
23	ฮักกอก	*Rhus* sp.	Anacardiaceae
24	เคาะ (มะโจ๊ก)	*Schleichera oleosa* (Lour.) Merr.	Sapindaceae
25	พะยอม	*Shorea roxburghit* G.Don	Dipterocarpaceae
26	เปา	*Shorea siamensis* Miq.	Dipterocarpaceae
27	แคฝอย	*Stereospermum* sp.	Bignoniaceae
28	หว้า (ไม้ห้า)	*Syzygium* sp.	Myrtaceae
29	บะนะ	*Terminalia chebula* Retz.	Combretaceae
30	น่าน	*Tristaniopsis burmanica* (Griff.) Peter G.Wilson & J.T. Waterh.	Myrtaceae
31	ตีนนก	*Vitex* sp.	Lamiaceae
32	กว๋าว (แข้งกวาง)	*Wendlandia tinctoria* (Roxb.) DC.	Rubiaceae
33	ปอแฮด	unknown2	-

ตารางภาคผนวกที่ 3 รายชื่อไม้ยืนต้นที่สำรวจพบในแปลงศึกษาป่าต้นน้ำ น้ำแก่น - แม่สา (ป่าธรรมชาติ) บ้านใหม่สันติสุข ม.5 ต.น้ำเกี๋ยน อ.ภูเพียง จ.น่าน

ลำดับที่	ชื่อท้องถิ่น	ชื่อวิทยาศาสตร์	ชื่อวงศ์
1	มะค่าโมง	*Afzelia xylocarpa* (Kurz) Craib	Fabaceae
2	กางขี้มอด	*Albizia odoratissima* (L.f.) Benth.	Fabaceae
3	สาน	*Albizia* sp.	Fabaceae
4	เม่าสาย	*Antidesma acidum* Retz.	Phyllanthaceae
5	เหมือด	*Aporosa* sp.	Phyllanthaceae
6	มะหาดใบขน	*Artocarpus lacucha* Buch.-Ham.	Moraceae
7	งิ้ว	*Bombax ceiba* L.	Malvaccae
8	บะเกิ้ม	*Canarium subulatum* Guillaumin	Burseraceae
9	ปุย	*Careya arborea* Roxb.	Lecythidaceae
10	สีเสื้อ	*Casearia grewiifolia* Vent.	Salicaccae
11	หนามแท่ง	*Catunaregam* sp.	Rubiaceae
12	ยมหิน	*Chukrasia* sp.	Meliaceae
13	ยาบ	*Colona* sp.	Malvaceae
14	ติ้ว	*Cratoxylum formosum* (Jacq.) Benth. & Hook.f. ex Dyer	Hypericaceae
15	เปล้าหลวง	*Croton mangelong* Y.T.Chang	Euphorbiaceae
16	ปี้ (กระพี้)	*Dalbergia cultrata* Graham ex Benth	Fabaceae
17	เก็ด	*Dalbergia* sp.	Fabaceae
18	ส้าน	*Dillenia* sp.	Dilleniaceae
19	ลำไยป่า	*Walsura* sp.	Meliaceae
20	มะเกลือ	*Diospyros mollis* Griff.	Ebenaceae
21	แคป่า	*Dolichandrone* sp.	Bignoniaceae
22	ค่าหด	*Engelhardtia* sp.	Juglandaceae
23	ปอเลี้ยง/เลี้ยงฝ้าย	*Eriolaena candollei* Wall	Malvaceae
24	แคหางค่าง	*Fernandoa adenophylla* (Wall. Ex G.Don) Steenis	Bignoniaceae
25	บะเกว๋น	*Flacourtia inaica* (Burm.f.) Merr.	Salicaceae
26	ส้มป่อง	*Garcinia* sp.	Clusiaceae
27	คำมอก	*Gardenia soothepensis*	Rubiaceae
28	ค้ำ	*Garuga pinnata* Roxb.	Burseraceae
29	ซ้อ	*Gmeline arborea* Roxb.	Lamiaceae
30	อ้อยช้าง	*Heteropanax fragrans* (Roxd. Ex DC.) Seem.	Araliaceae

ตารางภาคผนวกที่ 3 ต่อ

ลำดับที่	ชื่อท้องถิ่น	ชื่อวิทยาศาสตร์	ชื่อวงศ์
31	กระเบา	*Hydnocarpus* sp.	Achariaceae
32	ส้มกบ	*Hymenodictyon orixense* (Roxb.) Mabb.	Rubiaceae
33	เป้ย	*Lagerstroemia* sp.	Lythraceae
34	กอกหมอง	*Lannea coromandeliac* (Houtt.) Merr.	Anacardiaceae
35	เต้า	*Mallotus barbatus* Mull.Arg	Euphorbiaceae
36	มะม่วงป่า	*Mangifera* sp.	Anacardiaceae
37	เลี่ยน	*Melia azedarach* L.	Meliaceae
38	บะกอม (1)	*Microcos paniculate* L.	Malvaceae
39	บะกอม (2)	*Microcos* sp.	Malvaceae
40	ขางหัวหมู	*Miliusa velutina* (Dunal) Hook.f. &	Annonaceae
41	หลองเลาะ	*Mitragyna* sp.	Rubiaceae
42	ยอป่า	*Morinda tomentosa* B.Heyne ex Roth	Rubiaceae
43	ก้านเหลือง	*Nauclea orientalis* (L.) L.	Rubiaceae
44	บะคอแลน	*Nephelium hypoleucum* Kurz	Sapindaceae
45	บะลิดไม้	*Oroxvlum indicum* (L.) Benth. ex Kurz	Bignoniaceae
46	ข้าวสารป่า	*Pavetta tomentosa* Roxb. ex Sm.	Rubiaceae
47	อะราง	*Peltophorum dasyrrhachis* (Miq.) Kurz	Fabaceae
48	นนทรี	*Peltophorum pterocarpum* (DC.) Backer ex K.Heyne	Fabaceae
49	มะขามป้อม	*Phullanthus emblica* L.	Phyllanthaceae
50	ประดู่	*Pterocarpus macrocarpus* Kurz	Fabaceae
51	ก่อตาหมู	*Quercus* sp.1	Fabaceae
52	ก่อใบจักร	*Quercus* sp.2	Fabaceae
53	ก่อ	*Ouercus* sp.3	Fabaceae
54	นมแมวต้น	*Uvaria siamensis* (Scheff.) L.L.Zhou, Y.C.F.Su & R.M.K.Saunders	Annonaceae
55	ไม้เคาะ	*Schleichera oleosa* (Lour.) Merr.	Sapindaceae
56	สีเสียด	*Senegalia catechu* (L.f.) P.J.H.Hurter & Mabb.	Fabaceae
57	แงะ	*Shorea obtusa* Wall. ex Blume	Dipterocarpaceae
58	พะยอม	*Shorea roxburghii* G.Don	Dipterocarpaceae
59	เปา	*Shorea siamensis* Miq.	Dipterocarpaceae
60	มะกอก	*Spondias pinnata* (L.f.) Kurz	Anacardiaceae

ตารางภาคผนวกที่ 3 ต่อ

ลำดับที่	ชื่อท้องถิ่น	ชื่อวิทยาศาสตร์	ชื่อวงศ์
61	แหน (สมอพิเภก)	*Terminalia bellirica* (Gaertn.) Roxb.	Combretaceae
62	-	Unknown1	Anacardiaceae
63	-	Unknown2	Arecaceae
64	แค	Unknown3	Bignoniaceae
65	-	Unknown4	Dipterocarpaceae
66	นางดำ (แคบ)	Unknown5	Annonaceae
67	นางดำ (กว้าง)	Unknown6	Annonaceae
68	ไม้ปู่เจ้า	Unknown7	-
69	ผาเสี้ยน	*Vitex* sp.	Lamiaceae
70	โมก	*Wrightia* sp.	Apocynaceae
71	แดง	*Xylia xylocarpa* (Roxb.) W.Theob.	Fabaceae

ตารางภาคผนวกที่ 4 รายชื่อไม้ยืนต้นในแปลงป่าฟื้นฟูและการใช้ประโยชน์ที่ดินก่อนปลูก

แปลง	พืชที่ปลูก (ชื่อท้องถิ่น)	การใช้ประโยชน์ที่ดินก่อนปลูก	การดูแล	ระยะเวลาการฟื้นฟู
แปลงป่าฟื้นฟู อำเภอเวียงสา 1 (RNWS01)	1) หมูหมัน 2) สาน 3) มะกอก 4) มะตาเสือ 5) มะเยื้อย 6) มะเม่า 7) มะตึ่ง 8) สะแก	ปลูกข้าวโพดจากนั้นเว้นว่าง 6 เดือน	- กำจัดเศษวัชพืช - ใส่ปุ๋ยอินทรีย์มูลค้าวคาวอัตรา 50 กรัมต่อต้น ช่วงหน้าฝนปีละ 3 ครั้ง - ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2562-2564 เป็นเวลา 2 ปี	- เริ่มปลูกกล้าเมื่อปี พ.ศ. 2562 เก็บข้อมูล ปี พ.ศ. 2565 - อายุ 3 ปี
แปลงป่าฟื้นฟู อำเภอเวียงสา 2 (RNWS02)	1) แดง 2) มะเยื้อย 3) ไม้เส้า 4) ไม้ปุย 5) ไม้แก 6) ไม้ผาเสี้ยน	ปลูกข้าวโพดจากนั้นเว้นว่าง 6 เดือน	- กำจัดเศษวัชพืช - ใส่ปุ๋ยอินทรีย์มูลค้าวคาวอัตรา 50 กรัมต่อต้น ช่วงหน้าฝนปีละ 3 ครั้ง - ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2562-2564 เป็นเวลา 2 ปี	- เริ่มปลูกกล้าเมื่อปี พ.ศ. 2562 เก็บข้อมูล ปี พ.ศ. 2565 - อายุ 3 ปี
แปลงป่าฟื้นฟู อำเภอท่าวังผา 1 (RPUA01)	1) มะเดื่อปล้อง 2) ประดู่ 3) เหมือด 4) มอก 5) หาดหนุน 6) ตีนนก 7) มะเดื่อ 8) ปี้จั่น 9) มะกอก	ปลูกข้าวโพดจากนั้นเว้นว่าง 3 ปี	- กำจัดเศษวัชพืช - ใส่ปุ๋ยอินทรีย์มูลค้าวคาวอัตรา 50 กรัมต่อต้น ช่วงหน้าฝนปีละ 3 ครั้ง - ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2562-2564 เป็นเวลา 2 ปี	- เริ่มปลูกกล้าเมื่อปี พ.ศ. 2562 เก็บข้อมูล ปี พ.ศ.2565 - อายุ 3 ปี

ตารางภาคผนวกที่ 4 ต่อ

แปลง	พืชที่ปลูก (ชื่อท้องถิ่น)	การใช้ประโยชน์ที่ดินก่อนปลูก	การดูแล	ระยะเวลาการฟื้นฟู
แปลงป่าฟื้นฟู อำเภอท่าวังผา 2 (RPUA02)	1) ประดู่ 2) น้ำเย้ย 3) อ้อยช้าง 4) เป๋ย 5) ค่าหด 6) ส้มเห็ด 7) เหมือด 8) ตาลเหลือง 9) ติ้วแดง 10) เพกา	ปลูกข้าวโพดจากนั้นเว้นว่าง 1 ปี	- กำจัดเศษวัชพืช - ใส่ปุ๋ยอินทรีย์มูลค้าวคาว อัตรา 50 กรัมต่อต้น ช่วงหน้าฝนปีละ 3 ครั้ง - ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2562-2564 เป็นเวลา 2 ปี	- เริ่มปลูกกล้าเมื่อปี พ.ศ. 2562 เก็บข้อมูล ปี พ.ศ. 2565 - อายุ 3 ปี
แปลงป่าฟื้นฟู อำเภอ ภูเพียง 1 (RPUP01)	1) ตับเต่า 2) ส้มเห็ด 3) หวดเหล้า 4) เป๋ย 5) ใบหมี่ 6) เหมือด	ปลูกข้าวโพดจากนั้นเว้นว่าง 2 ปี	- กำจัดเศษวัชพืช - ใส่ปุ๋ยอินทรีย์มูลค้าวคาว อัตรา 50 กรัมต่อต้น ช่วงหน้าฝนปีละ 3 ครั้ง - ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2562-2564 เป็นเวลา 2 ปี	- เริ่มปลูกกล้าเมื่อปี พ.ศ. 2562 เก็บข้อมูล ปี พ.ศ. 2565 - อายุ 3 ปี
แปลงป่าฟื้นฟู อำเภอ ภูเพียง 2 (RPUP02)	1) หาดหนุน 2) ยอป่า 3) ประดู่ 4) เหมือดเกลี้ยง 5) เหมือดขน	ปลูกข้าวโพดจากนั้นเว้นว่าง 6 เดือน	- กำจัดเศษวัชพืช - ใส่ปุ๋ยอินทรีย์มูลค้าวคาว อัตรา 50 กรัมต่อต้น ช่วงหน้าฝนปีละ 3 ครั้ง - ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2562-2564 เป็นเวลา 2 ปี	- เริ่มปลูกกล้าเมื่อปี พ.ศ. 2562 เก็บข้อมูล ปี พ.ศ. 2565 - อายุ 3 ปี

ตารางภาคผนวกที่ 5 ข้อมูลการใช้ปุ๋ยของเกษตรกร

แปลง	พืชที่ปลูก	การใช้ปุ๋ย					
		รองพื้น (ครั้งที่ 1)	อัตรา (กก./ไร่)	อายุ 1 เดือน (ครั้งที่ 2)	อัตรา (กก./ไร่)	ก่อนออกฟัก (ครั้งที่ 3)	อัตรา (กก./ไร่)
พื้นที่เกษตร อำเภอเวียงสา 1 (ANWS01)	ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์	ปุ๋ยเคมีสูตร 16-20-0	50	ปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0+ 15-15-15 (1:1)	25	-	-
พื้นที่เกษตร อำเภอเวียงสา 2 (ANWS02)	ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์	ปุ๋ยเคมีสูตร 16-20-0	50	ปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0+ 15-15-15 (1:1)	25	-	-
พื้นที่เกษตร อำเภอท่าวังผา 1 (APUA01)	ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์	-	-	ปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0+ 15-15-15 (1:1)	16	-	-
แปลงป่าฟื้นฟู อำเภอท่าวังผา 2 (APUA02)	ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์	-	-	ปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0	100	ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15	100
แปลงป่าฟื้นฟู อำเภอ ภูเพียง 1 (APUP01)	ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์	ปุ๋ยเคมีสูตร 16-20-0	50	ปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0	50	-	-
แปลงป่าฟื้นฟู อำเภอ ภูเพียง 2 (APUP02)	ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์	-	-	ปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0+ 15-15-15 (1:1)	25	-	-

ภาคผนวก ข

ค่าวิเคราะห์สมบัติของดินบางประการและการสะสมคาร์บอนในพื้นที่วิจัย

ตารางภาคผนวกที่ 6 ผลวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของดินบางประการ

Depth (cm)	Particle size distribution				Texture class	BD (Mg/m^3)	WHC (%)	PD (Mg/m^3)	TP (%)
	Gravel	Sand	Silt	Clay					
	(----------%----------)								
FNWS01									
0-5	1.06	27.88	34.36	37.76	CL	1.19	57.99	2.33	48.96
5-10	1.23	27.88	34.36	37.76	CL	1.34	50.38	2.32	42.00
10-15	4.03	25.88	34.36	39.76	CL	1.35	44.36	2.36	42.62
15-30	4.16	25.88	32.36	41.76	C	1.44	40.35	2.37	38.79
30-45	4.89	24.88	30.36	44.76	C	1.42	40.33	2.39	40.66
45-60	5.61	23.88	28.36	47.76	C	1.40	40.31	2.42	42.53
60-80	6.13	21.88	28.36	49.76	C	1.31	40.07	2.30	42.88
80-100	7.06	19.88	28.36	51.76	C	1.30	38.59	2.42	46.28
FNWS02									
0-5	1.54	26.88	35.36	37.76	CL	1.06	54.62	2.22	52.54
5-10	1.53	24.88	35.36	39.76	CL	1.10	51.47	2.23	51.15
10-15	4.96	23.88	33.36	42.76	C	1.20	45.12	2.28	47.70
15-30	4.26	22.88	31.36	45.76	C	1.30	42.41	2.31	43.95
30-45	5.19	22.88	31.36	45.76	C	1.30	41.21	2.34	44.39
45-60	6.12	20.88	31.36	47.76	C	1.30	40.00	2.37	44.83
60-80	5.17	20.88	27.36	51.76	C	1.31	37.00	2.38	45.04
80-100	7.02	16.88	29.36	53.76	C	1.30	36.45	2.28	42.22
RNWS01									
0-5	4.47	37.52	34.00	28.48	CL	1.29	42.77	2.44	43.12
5-10	11.10	35.52	26.00	38.48	CL	1.32	38.98	2.38	40.95
10-15	8.23	35.52	26.00	38.48	CL	1.42	37.50	2.35	39.18
15-30	6.42	33.52	28.00	38.48	CL	1.51	35.01	2.34	35.25
30-45	8.33	31.52	25.00	43.48	C	1.43	34.62	2.34	39.06
45-60	10.24	29.52	22.00	48.48	C	1.35	34.23	2.35	42.87
60-80	11.48	29.52	26.00	44.48	C	1.28	33.16	2.28	43.87
80-100	24.56	33.52	26.00	40.48	C	1.23	31.18	2.38	48.78
RNWS02									
0-5	2.97	33.68	34.36	31.96	CL	1.25	51.98	2.11	45.97
5-10	3.96	33.68	34.36	31.96	CL	1.26	44.23	2.28	46.10
10-15	2.05	31.68	34.36	33.96	CL	1.40	41.11	2.27	40.74
15-30	2.15	29.68	32.36	37.96	CL	1.45	38.26	2.24	38.46
30-45	4.15	28.68	29.36	41.96	C	1.42	36.67	2.30	39.73
45-60	6.14	27.68	26.36	45.96	C	1.39	35.07	2.36	41.01
60-80	7.50	23.68	28.36	47.96	C	1.38	36.11	2.38	42.60
80-100	8.71	19.68	28.36	51.96	C	1.47	36.88	2.36	37.23

ตารางภาคผนวกที่ 6 ต่อ

Depth (cm)	Particle size distribution				Texture class	BD (Mg/m^3)	WHC (%)	PD (Mg/m^3)	TP (%)
	Gravel	Sand	Silt	Clay					
	(----------%----------)								
ANWS01									
0-5	6.03	39.52	30.00	30.48	CL	1.29	43.95	2.27	45.87
5-10	4.37	37.52	30.00	32.48	CL	1.30	42.40	2.23	45.48
10-15	4.31	35.52	30.00	34.48	CL	1.31	40.40	2.32	44.64
15-30	3.30	35.52	20.00	44.48	C	1.42	39.39	2.33	39.26
30-45	6.72	34.52	18.00	47.48	C	1.40	37.88	2.36	40.66
45-60	10.14	33.52	16.00	50.48	C	1.38	36.38	2.39	42.05
60-80	32.37	31.52	20.00	48.48	C	1.37	32.38	2.37	41.63
80-100	31.29	29.52	26.00	44.48	C	1.40	30.82	2.48	43.26
ANWS02									
0-5	1.86	37.68	32.36	29.96	CL	1.34	50.19	2.30	40.45
5-10	3.00	34.68	34.36	30.96	CL	1.35	42.37	2.35	37.88
10-15	1.86	33.68	32.36	34.26	CL	1.41	38.37	2.36	36.80
15-30	2.41	30.68	22.36	46.96	C	1.48	36.36	2.37	34.00
30-45	6.27	27.68	24.36	47.96	C	1.47	34.32	2.37	36.46
45-60	10.13	27.68	26.36	45.96	C	1.45	32.28	2.37	38.91
60-80	27.40	29.68	26.36	43.96	C	1.42	34.40	2.34	39.70
80-100	16.02	29.52	26.00	44.48	C	1.41	27.92	2.32	37.83
FPUA01									
0-5	1.50	31.52	30.00	38.48	CL	1.14	54.42	2.30	50.76
5-10	3.82	29.52	32.00	38.48	CL	1.19	50.40	2.47	52.07
10-15	4.02	27.52	32.00	40.48	C	1.25	44.00	2.36	46.79
15-30	5.76	29.52	28.00	42.48	C	1.34	41.00	2.36	43.20
30-45	4.52	28.52	28.00	43.48	C	1.38	36.18	2.33	40.89
45-60	3.27	27.52	28.00	44.48	C	1.43	31.35	2.30	38.57
60-80	2.54	27.52	26.00	46.48	C	1.40	35.91	2.34	40.23
80-100	0.59	25.52	26.00	48.48	C	1.36	32.17	2.37	42.85
FPUA02									
0-5	3.30	31.52	28.00	40.48	C	1.10	48.66	2.31	52.71
5-10	4.00	29.52	28.00	42.48	C	1.13	47.03	2.26	50.17
10-15	4.10	29.52	26.00	44.48	C	1.20	46.23	2.21	45.99
15-30	6.95	29.52	24.00	46.48	C	1.24	45.00	2.24	44.87
30-45	6.19	28.52	24.00	47.48	C	1.32	42.13	2.25	41.28
45-60	5.42	27.52	24.00	48.48	C	1.40	39.26	2.25	37.69
60-80	2.47	25.52	24.00	50.48	C	1.37	33.54	2.24	38.81
80-100	4.32	21.52	24.00	54.48	C	1.31	35.80	2.34	44.22

ตารางภาคผนวกที่ 6 ต่อ

Depth (cm)	Particle size distribution				Texture class	BD (Mg/m^3)	WHC (%)	PD (Mg/m^3)	TP (%)
	Gravel	Sand	Silt	Clay					
	(----------%----------)								
RPUA01									
0-5	3.28	35.88	29.64	34.48	CL	1.05	48.17	2.33	53.26
5-10	5.30	35.88	29.64	34.48	CL	1.08	45.89	2.32	52.88
10-15	6.22	33.88	30.36	35.76	CL	1.19	43.68	2.36	49.33
15-30	7.34	33.88	26.36	39.76	CL	1.33	43.39	2.41	44.16
30-45	7.72	32.88	24.00	43.12	C	1.42	38.12	2.39	39.75
45-60	8.10	31.88	21.64	46.48	C	1.52	32.86	2.36	35.34
60-80	12.07	25.88	26.36	47.76	C	1.54	32.45	2.38	35.50
80-100	8.07	25.88	24.36	49.76	C	1.60	30.60	2.36	31.40
RPUA02									
0-5	6.41	37.52	27.28	35.20	CL	1.27	48.82	2.33	43.54
5-10	3.57	37.52	25.28	37.20	CL	1.30	42.67	2.30	42.70
10-15	3.93	35.52	21.28	43.20	C	1.34	42.17	2.31	41.56
15-30	5.45	33.52	19.28	47.20	C	1.35	38.26	2.31	42.02
30-45	3.67	32.52	19.92	47.56	C	1.38	36.31	2.28	39.58
45-60	1.89	31.52	20.56	47.92	C	1.41	34.36	2.24	37.15
60-80	1.80	29.52	24.56	45.92	C	1.40	33.80	2.33	39.57
80-100	7.67	31.52	26.00	42.48	C	1.35	31.73	2.29	40.73
APUA01									
0-5	7.47	39.52	28.00	32.48	CL	1.23	45.41	2.30	47.33
5-10	8.31	39.52	26.00	34.48	CL	1.23	43.40	2.35	46.13
10-15	8.00	37.52	26.00	36.48	CL	1.19	41.39	2.36	48.83
15-30	2.91	35.52	24.00	40.48	C	1.36	41.38	2.37	43.70
30-45	6.51	34.52	24.00	41.48	C	1.35	39.65	2.40	44.50
45-60	10.11	33.52	24.00	42.48	C	1.34	37.93	2.44	45.30
60-80	18.23	31.52	24.00	44.48	C	1.46	34.34	2.35	37.81
80-100	10.26	29.52	24.00	46.48	C	1.53	33.65	2.40	36.07
APUA02									
0-5	5.43	37.52	26.00	36.48	CL	1.26	45.70	2.26	45.70
5-10	6.17	37.52	24.00	38.48	CL	1.33	39.33	2.27	41.79
10-15	3.06	35.52	24.00	40.48	C	1.36	37.33	2.29	40.59
15-30	1.51	35.52	22.00	42.48	C	1.40	37.34	2.33	39.80
30-45	3.37	34.52	22.00	43.48	C	1.55	33.45	2.33	33.73
45-60	5.23	33.52	22.00	44.48	C	1.70	29.57	2.33	27.66
60-80	10.63	31.52	20.00	48.48	C	1.66	25.68	2.28	26.68
80-100	10.11	31.52	18.00	50.48	C	1.65	21.31	2.36	30.68

ตารางภาคผนวกที่ 6 ต่อ

Depth (cm)	Particle size distribution				Texture class	BD (Mg/m^3)	WHC (%)	PD (Mg/m^3)	TP (%)
	Gravel	Sand	Silt	Clay					
	(----------%----------)								
FPUP01									
0-5	1.67	25.68	36.00	38.32	CL	0.94	67.80	2.17	56.25
5-10	1.97	23.68	36.00	40.32	C	1.07	56.47	2.16	50.64
10-15	2.14	21.68	36.00	42.32	C	1.07	50.47	2.22	51.69
15-30	1.12	19.68	32.00	48.32	C	1.06	49.48	2.21	52.21
30-45	1.08	18.68	28.00	53.32	C	1.09	50.45	2.21	50.52
45-60	1.03	17.68	24.00	58.32	C	1.12	51.42	2.21	48.83
60-80	0.98	17.68	20.00	62.32	C	1.18	51.06	2.37	50.47
80-100	0.65	15.68	20.00	64.32	C	1.13	55.02	2.36	52.01
FPUP02									
0-5	2.23	28.68	33.00	38.32	CL	1.18	63.50	2.20	49.30
5-10	1.39	26.68	33.00	40.32	C	1.18	60.14	2.19	48.17
10-15	1.87	24.68	33.00	42.32	C	1.22	55.78	2.20	44.72
15-30	2.32	24.68	27.00	48.32	C	1.27	51.94	2.24	43.46
30-45	1.36	23.68	24.00	52.32	C	1.25	53.03	2.21	43.41
45-60	0.39	22.68	21.00	56.32	C	1.23	54.12	2.19	43.37
60-80	0.57	20.68	21.00	58.32	C	1.20	54.46	2.27	47.30
80-100	0.67	20.68	17.00	62.32	C	1.15	52.08	2.28	49.79
RPUP01									
0-5	2.22	33.68	30.66	37.66	CL	1.05	64.17	2.23	50.65
5-10	7.26	29.68	30.00	40.32	C	1.07	62.15	2.30	49.53
10-15	5.97	29.68	28.00	42.32	C	1.16	57.35	2.45	46.86
15-30	3.89	25.68	28.00	46.32	C	1.21	50.55	2.48	45.55
30-45	7.61	23.68	27.00	49.32	C	1.23	48.86	2.38	43.84
45-60	11.34	21.68	26.00	52.32	C	1.26	47.17	2.28	42.14
60-80	14.02	21.68	24.00	54.32	C	1.29	35.75	2.36	44.28
80-100	11.22	21.68	18.00	60.32	C	1.33	33.64	2.21	38.53
RPUP02									
0-5	13.01	34.68	31.00	34.32	CL	1.15	50.36	2.22	48.42
5-10	10.64	33.70	33.00	34.42	CL	1.28	47.50	2.13	43.84
10-15	9.22	31.68	31.00	37.32	CL	1.30	43.38	2.20	43.83
15-30	5.54	28.68	31.00	40.32	C	1.39	37.33	2.18	39.47
30-45	8.39	27.68	24.00	48.32	C	1.37	40.49	2.27	39.98
45-60	11.24	26.68	17.00	56.32	C	1.35	43.65	2.37	40.49
60-80	13.95	22.68	19.00	58.32	C	1.40	41.36	2.48	42.31
80-100	11.00	20.68	19.00	60.32	C	1.48	36.34	2.46	38.42

ตารางภาคผนวกที่ 6 ต่อ

Depth (cm)	Particle size distribution				Texture class	BD (Mg/m^3)	WHC (%)	PD (Mg/m^3)	TP (%)
	Gravel	Sand	Silt	Clay					
	(----------%----------)								
APUP01									
0-5	8.20	35.68	27.91	36.32	CL	1.22	51.04	2.22	47.40
5-10	7.39	31.68	30.00	38.32	CL	1.22	49.40	2.21	47.02
10-15	8.26	29.68	30.00	40.32	C	1.23	44.41	2.28	45.39
15-30	15.09	27.68	22.00	50.32	C	1.24	43.41	2.29	45.69
30-45	15.55	28.68	21.00	50.32	C	1.24	42.41	2.29	44.95
45-60	16.00	29.68	20.00	50.32	C	1.24	41.41	2.29	44.22
60-80	12.85	31.68	16.00	52.32	C	1.33	41.95	2.30	43.80
80-100	14.21	25.68	22.00	52.32	C	1.29	40.85	2.31	43.10
APUP02									
0-5	13.09	37.68	30.00	32.32	CL	1.16	47.80	2.33	45.85
5-10	13.82	35.68	30.00	34.32	CL	1.17	43.43	2.35	43.30
10-15	15.58	33.68	28.00	38.32	CL	1.30	41.40	2.38	38.59
15-30	20.20	31.68	16.00	52.32	C	1.41	38.38	2.37	32.70
30-45	23.26	28.68	18.00	53.32	C	1.40	37.05	2.27	33.50
45-60	26.33	25.68	20.00	54.32	C	1.39	35.73	2.17	34.30
60-80	23.56	17.68	26.00	56.32	C	1.37	39.37	2.11	34.62
80-100	21.98	13.68	30.00	56.32	C	1.35	33.90	2.32	41.34

หมายเหตุ FNWS=ป่าธรรมชาติอำเภอเวียงสา RNWS=ป่าฟื้นฟูอำเภอเวียงสา ANWS=พื้นที่เกษตรอำเภอเวียงสา FPUA=ป่าธรรมชาติอำเภอปัว RPUA=ป่าฟื้นฟูอำเภอท่าวังผา APUA=พื้นที่เกษตรอำเภอท่าวังผา FPUP=ป่าธรรมชาติอำเภอภูเพียง RPUP=ป่าฟื้นฟูอำเภอภูเพียง APUP=พื้นที่เกษตรอำเภอภูเพียง BD=ความหนาแน่นรวมของดิน WHC=ความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน PD=ความหนาแน่นอนุภาค TP=ความพรุนรวมของดิน CL=ร่วนปนเหนียว และC=เหนียว

ตารางภาคผนวกที่ 7 ผลวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดินบางประการ

Depth	pH	SOC	SOM	Avail. P	Exch. K	Exch. Ca	Exch. Mg	Exch. Na	CEC	BS
(cm)		(%)	(%)	(----------mg/kg----------)					($cmol^+/kg$)	(%)
FNWS01										
0-5	6.16	3.02	5.20	5.73	62.30	754.50	48.85	41.08	11.25	22.21
5-10	5.97	2.45	4.22	5.53	78.28	713.00	31.85	28.50	10.00	23.21
10-15	6.19	1.01	1.74	3.08	58.55	330.00	15.35	25.12	9.50	12.79
15-30	6.15	0.62	1.06	2.04	36.60	378.83	25.52	18.40	9.50	13.19
30-45	5.96	0.51	0.88	1.85	40.05	111.75	30.85	15.00	9.63	6.26
45-60	5.77	0.40	0.69	1.66	43.50	78.00	32.85	11.60	9.75	5.36
60-80	5.78	0.39	0.67	1.37	29.35	67.50	60.35	10.80	10.00	5.57
80-100	5.83	0.38	0.66	1.47	23.90	60.50	10.35	9.35	10.00	3.14
FNWS02										
0-5	6.09	2.73	4.70	18.60	96.95	776.50	139.85	31.37	11.25	26.43
5-10	6.00	2.41	4.15	14.07	84.00	659.83	43.35	31.85	10.00	22.34
10-15	5.86	1.41	2.43	9.14	49.00	409.83	29.35	15.40	9.75	14.06
15-30	5.94	0.67	1.16	6.58	37.20	309.83	44.68	22.70	9.75	12.23
30-45	5.78	0.62	1.07	6.58	36.08	76.50	43.85	20.95	9.88	5.93
45-60	5.63	0.57	0.98	6.58	34.95	76.50	46.35	19.20	10.00	5.82
60-80	5.70	0.57	0.98	6.01	31.10	60.20	55.90	5.98	10.50	4.87
80-100	5.83	0.53	0.91	5.07	33.35	49.00	68.90	4.53	10.75	4.99
RNWS01										
0-5	5.20	2.15	3.71	9.31	86.05	1,076.33	89.18	59.64	8.15	44.48
5-10	5.13	1.90	3.28	5.60	71.85	1,020.50	80.35	48.14	7.95	42.17
10-15	5.11	0.69	1.20	4.56	65.57	1,013.83	72.27	35.64	8.15	39.55
15-30	5.03	0.52	0.90	4.61	61.53	815.58	68.52	33.40	8.15	32.92
30-45	4.98	0.49	0.84	4.09	61.85	768.71	63.68	30.28	8.20	31.11
45-60	4.93	0.45	0.78	3.58	62.17	615.17	58.85	27.16	8.25	26.12
60-80	5.10	0.44	0.75	2.41	35.15	361.00	51.35	27.77	8.25	16.56
80-100	5.13	0.32	0.55	1.66	31.85	276.50	51.25	27.16	8.35	13.77
RNWS02										
0-5	5.42	2.35	4.05	4.65	86.48	1,029.00	109.57	24.65	9.95	34.43
5-10	5.45	1.81	3.12	4.56	76.62	843.67	114.57	25.37	9.65	30.61
10-15	5.37	0.61	1.06	3.01	59.67	754.00	114.12	25.37	9.45	28.54
15-30	5.22	0.51	0.88	2.13	38.59	837.67	112.52	28.37	9.55	29.68
30-45	5.22	0.51	0.87	1.97	38.63	835.50	90.54	26.93	9.65	28.45
45-60	5.21	0.50	0.87	1.81	38.67	720.00	68.57	28.15	9.75	24.21
60-80	5.29	0.49	0.84	2.22	30.20	381.00	76.85	18.90	9.75	15.50
80-100	5.32	0.48	0.82	2.04	31.10	547.50	216.35	8.35	9.85	24.17

ตารางภาคผนวกที่ 7 ต่อ

Depth	pH	SOC	SOM	Avail. P	Exch. K	Exch. Ca	Exch. Mg	Exch. Na	CEC	BS
(cm)		(%)	(%)	(----------mg/kg----------)					($cmol^+/kg$)	(%)
ANWS01										
0-5	4.14	1.53	2.64	18.57	111.65	1,229.50	128.68	69.45	7.85	54.89
5-10	4.21	1.25	2.15	16.11	91.68	1,097.17	112.85	62.00	8.05	47.36
10-15	4.30	0.51	0.88	9.26	75.63	863.25	119.35	45.89	8.25	38.01
15-30	4.37	0.24	0.41	6.20	61.63	774.00	121.27	34.47	8.45	33.14
30-45	4.37	0.25	0.43	4.59	53.29	667.67	108.14	31.90	8.65	28.46
45-60	4.37	0.26	0.45	2.98	44.95	512.33	95.02	35.34	8.85	22.89
60-80	4.46	0.27	0.47	2.98	51.35	814.50	118.35	31.65	9.45	29.67
80-100	4.21	0.26	0.44	2.60	54.30	666.50	96.85	49.45	9.65	25.56
ANWS02										
0-5	5.07	1.44	2.48	15.07	312.62	1,272.90	227.23	37.45	8.15	65.84
5-10	5.00	1.37	2.36	13.14	298.98	1,124.57	226.73	27.99	8.25	59.32
10-15	4.89	0.75	1.29	12.06	275.83	973.78	150.23	28.16	8.45	48.93
15-30	4.82	0.30	0.52	7.08	166.86	884.08	108.23	30.55	8.65	38.78
30-45	4.85	0.29	0.49	5.59	123.67	838.71	99.82	31.64	8.75	35.59
45-60	4.88	0.27	0.47	4.09	80.48	720.00	91.40	33.72	8.85	30.22
60-80	4.86	0.37	0.63	2.32	65.05	402.50	54.50	32.60	9.15	17.61
80-100	4.78	0.31	0.53	2.20	50.96	298.25	48.37	31.45	9.28	13.84
FPUA01										
0-5	5.53	2.33	4.02	5.36	137.12	861.00	211.40	29.40	7.50	48.20
5-10	5.69	1.63	2.82	4.59	105.55	570.50	165.40	18.47	7.75	32.91
10-15	5.76	1.55	2.67	2.87	122.16	591.00	263.40	23.52	8.00	38.46
15-30	5.74	0.85	1.47	2.30	78.21	506.00	124.73	32.82	8.25	26.55
30-45	5.53	0.68	1.17	2.11	64.21	414.50	166.40	44.59	8.38	25.57
45-60	5.32	0.50	0.87	1.92	50.22	323.00	131.40	51.35	8.50	20.70
60-80	5.71	0.30	0.52	2.01	52.20	703.00	137.40	59.88	13.50	20.40
80-100	5.65	0.20	0.34	1.63	38.83	564.00	117.90	70.27	14.00	16.57
FPUA02										
0-5	5.33	2.63	4.53	5.27	176.50	415.00	144.90	24.79	10.75	21.71
5-10	5.23	1.81	3.12	4.69	159.45	506.00	165.40	22.75	10.00	25.78
10-15	5.41	1.51	2.60	3.64	150.10	631.00	136.40	17.69	9.50	28.66
15-30	5.45	1.07	1.84	3.29	113.91	740.00	121.90	22.46	9.75	29.07
30-45	5.24	0.92	1.59	3.18	92.13	722.75	134.15	29.57	9.75	28.72
45-60	5.03	0.77	1.33	3.06	70.35	705.50	116.40	35.35	9.75	27.03
60-80	5.69	0.38	0.66	2.68	61.49	797.00	107.90	41.40	9.75	28.94
80-100	5.77	0.27	0.46	2.11	63.25	988.50	135.90	56.25	9.50	36.59

ตารางภาคผนวกที่ 7 ต่อ

Depth	pH	SOC	SOM	Avail. P	Exch. K	Exch. Ca	Exch. Mg	Exch. Na	CEC	BS
(cm)		(%)	(%)	(----------mg/kg----------)					($cmol^+/kg$)	(%)
RPUA01										
0-5	4.80	1.90	3.27	7.81	78.12	131.83	58.73	12.43	10.50	8.51
5-10	4.86	1.38	2.38	6.61	76.77	87.00	51.90	10.75	9.50	7.78
10-15	4.77	1.13	1.95	5.08	57.34	96.83	27.32	1.47	8.50	6.56
15-30	4.75	0.52	0.90	4.01	40.28	64.08	38.48	9.32	8.50	5.82
30-45	4.78	0.51	0.88	3.75	36.45	64.21	36.27	3.20	9.50	4.71
45-60	4.81	0.50	0.87	3.49	32.63	64.33	34.07	2.75	10.50	4.01
60-80	4.82	0.40	0.68	3.17	25.60	564.00	33.90	11.03	12.00	13.89
80-100	5.10	0.35	0.60	2.98	22.80	761.00	33.40	8.53	12.50	17.29
RPUA02										
0-5	4.91	1.37	2.37	6.48	44.81	187.33	76.90	8.70	8.25	11.75
5-10	4.95	1.22	2.10	4.37	50.23	173.00	74.40	4.64	8.00	11.60
10-15	4.99	0.95	1.64	3.53	36.96	132.08	60.32	4.80	7.75	9.40
15-30	5.15	0.47	0.81	3.45	29.20	89.50	23.07	11.83	10.50	4.48
30-45	5.16	0.39	0.68	3.21	31.07	104.42	34.90	8.26	10.50	5.20
45-60	5.18	0.32	0.55	2.97	32.95	119.33	46.73	10.03	10.50	6.14
60-80	5.24	0.30	0.51	2.59	28.49	181.00	75.90	6.20	12.50	7.11
80-100	5.11	0.28	0.48	2.30	30.47	195.00	83.90	7.24	12.50	7.75
APUA01										
0-5	4.92	1.16	2.01	15.65	188.58	630.67	75.10	16.62	7.25	35.69
5-10	4.94	1.00	1.72	8.66	163.62	530.33	76.77	12.78	7.50	30.11
10-15	4.96	0.81	1.40	6.56	115.82	301.33	87.42	6.94	7.75	20.20
15-30	5.00	0.56	0.97	5.08	89.43	299.50	75.92	11.42	8.25	17.39
30-45	4.87	0.44	0.76	4.71	80.57	257.58	75.24	7.45	8.38	15.51
45-60	4.74	0.32	0.55	4.34	71.72	215.67	74.57	7.48	8.50	13.35
60-80	4.98	0.51	0.88	4.02	37.40	632.00	57.90	5.78	8.75	22.44
80-100	5.19	0.25	0.43	3.74	43.55	666.50	78.40	2.99	9.00	23.95
APUA02										
0-5	4.80	1.19	2.06	13.44	93.75	388.83	92.57	7.33	8.00	21.24
5-10	4.72	1.13	1.95	6.97	103.10	420.67	80.27	2.37	9.00	19.38
10-15	4.75	0.92	1.59	5.27	83.18	376.17	71.35	12.17	9.50	16.60
15-30	4.81	0.63	1.09	6.58	57.09	554.92	65.18	15.76	9.75	19.69
30-45	4.95	0.54	0.94	5.43	56.55	625.96	68.60	12.00	9.88	21.16
45-60	5.10	0.46	0.79	4.28	56.02	697.00	72.02	7.57	10.00	22.56
60-80	6.45	0.23	0.40	4.40	74.80	1985.50	116.75	15.43	10.25	56.03
80-100	6.55	0.15	0.26	4.02	75.60	2027.50	101.75	17.38	10.50	55.04

ตารางภาคผนวกที่ 7 ต่อ

Depth	pH	SOC	SOM	Avail. P	Exch. K	Exch. Ca	Exch. Mg	Exch. Na	CEC	BS
(cm)		(%)	(%)	(----------mg/kg----------)					($cmol^+/kg$)	(%)
FPUP01										
0-5	5.87	3.35	5.77	11.30	162.45	829.50	475.50	92.30	13.75	36.19
5-10	5.66	1.92	3.31	9.19	110.97	1,003.50	290.50	46.60	11.85	36.13
10-15	5.51	1.40	2.41	5.65	90.55	588.83	247.50	21.35	11.65	24.81
15-30	5.21	0.98	1.69	4.69	70.95	620.50	209.17	21.20	11.45	24.06
30-45	5.17	0.89	1.53	4.55	63.48	526.00	216.50	20.20	12.15	20.65
45-60	5.13	0.80	1.37	4.41	56.00	531.50	200.50	19.20	12.85	18.87
60-80	5.12	0.58	0.99	4.21	53.40	616.50	198.50	20.60	12.95	20.25
80-100	5.06	0.38	0.65	3.74	51.40	452.50	242.50	13.10	13.25	17.72
FPUP02										
0-5	5.84	3.65	6.29	14.37	169.25	1,280.50	411.50	69.85	13.55	42.51
5-10	5.73	2.25	3.87	10.14	163.95	842.33	307.00	59.90	12.95	32.34
10-15	5.83	1.60	2.75	8.04	137.85	630.00	259.00	58.35	11.25	29.88
15-30	5.56	0.70	1.20	5.84	75.60	466.83	221.33	31.48	11.05	22.46
30-45	5.16	0.56	0.96	5.36	64.98	437.00	206.25	31.18	10.65	21.64
45-60	4.77	0.42	0.72	4.88	54.35	440.50	184.50	29.20	10.25	21.16
60-80	4.61	0.40	0.68	4.88	43.65	520.50	177.50	21.80	9.65	23.59
80-100	4.80	0.38	0.66	3.35	51.25	431.00	268.50	21.20	9.45	26.14
RPUP01										
0-5	5.06	1.88	3.24	9.90	84.98	880.00	319.50	35.18	15.55	25.41
5-10	5.07	1.75	3.02	8.40	75.88	813.00	296.83	34.67	15.05	24.31
10-15	5.58	1.22	2.10	5.81	48.11	558.08	227.63	26.69	14.75	17.70
15-30	5.61	0.89	1.53	3.54	35.48	379.33	169.88	17.39	13.45	13.73
30-45	5.41	0.73	1.26	3.42	34.59	352.42	151.98	14.24	13.25	12.75
45-60	5.21	0.57	0.99	3.29	33.70	325.50	134.08	11.09	13.05	11.75
60-80	4.86	0.47	0.80	3.35	26.57	110.50	123.75	7.79	11.45	7.93
80-100	4.94	0.41	0.70	3.26	22.55	37.50	111.75	4.93	11.05	5.87
RPUP02										
0-5	5.09	2.30	3.97	9.00	96.42	694.17	260.77	51.42	6.85	49.68
5-10	4.95	1.96	3.37	8.14	94.68	499.50	254.23	40.87	6.05	46.46
10-15	5.10	1.51	2.61	6.67	65.78	468.17	174.72	27.16	5.55	40.37
15-30	5.01	0.78	1.34	3.80	43.73	292.42	134.77	10.75	6.25	24.16
30-45	4.94	0.58	0.99	3.34	40.64	196.54	145.72	9.23	7.05	18.27
45-60	4.88	0.37	0.64	2.87	37.55	100.67	156.67	8.72	7.85	13.65
60-80	4.40	0.32	0.55	2.78	22.20	64.50	166.40	18.40	8.15	12.49
80-100	4.41	0.25	0.43	2.59	11.95	29.50	93.50	12.30	8.95	6.24

ตารางภาคผนวกที่ 7 ต่อ

Depth	pH	SOC	SOM	Avail. P	Exch. K	Exch. Ca	Exch. Mg	Exch. Na	CEC	BS
(cm)		(%)	(%)	(----------mg/kg----------)					($cmol^+/kg$)	(%)
APUP01										
0-5	5.24	1.22	2.11	6.66	75.26	593.83	261.13	42.20	12.65	23.67
5-10	5.18	1.13	1.95	3.61	68.77	484.67	257.30	29.57	12.25	21.45
10-15	5.15	0.89	1.53	3.29	50.89	354.67	244.35	19.26	11.85	18.16
15-30	5.16	0.69	1.20	2.84	37.18	289.42	208.80	18.09	12.25	14.55
30-45	5.13	0.62	1.07	2.71	34.73	283.04	220.85	13.10	12.30	14.50
45-60	5.11	0.55	0.95	2.59	32.28	260.00	232.90	11.77	12.35	14.25
60-80	5.19	0.52	0.90	2.30	17.57	228.00	130.00	6.20	12.45	9.54
80-100	5.23	0.51	0.88	2.11	12.76	205.00	96.00	5.65	12.65	7.69
APUP02										
0-5	4.47	0.81	1.40	6.86	68.28	424.00	173.80	64.92	6.05	38.11
5-10	4.57	0.75	1.30	6.64	67.87	283.50	174.33	45.80	6.15	30.37
10-15	4.49	0.66	1.14	4.82	59.57	193.50	119.27	35.05	6.25	21.43
15-30	4.42	0.48	0.82	3.19	49.02	136.58	77.13	27.64	7.05	13.54
30-45	4.44	0.42	0.73	2.79	36.10	133.63	87.30	19.30	7.25	12.55
45-60	4.46	0.37	0.63	2.39	23.18	130.67	97.47	10.97	7.45	11.57
60-80	4.37	0.24	0.41	1.92	15.13	144.50	128.50	10.50	11.95	8.22
80-100	4.30	0.18	0.31	1.82	14.28	109.50	133.40	3.75	12.05	7.36

หมายเหตุ FNWS=ป่าธรรมชาติอำเภอเวียงสา RNWS=ป่าฟื้นฟูอำเภอเวียงสา ANWS=พื้นที่เกษตรอำเภอเวียงสา FPUA=ป่าธรรมชาติอำเภอปัว RPUA=ป่าฟื้นฟูอำเภอท่าวังผา APUA=พื้นที่เกษตรอำเภอท่าวังผา FPUP=ป่าธรรมชาติอำเภอภูเพียง RPUP=ป่าฟื้นฟูอำเภอภูเพียง APUP=พื้นที่เกษตรอำเภอภูเพียง pH=ความเป็นกรดด่างของดิน SOC=อินทรีย์คาร์บอนในดิน SOM=อินทรียวัตถุในดิน Avail. P=ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ Exch. K=โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ Exch. Ca=แคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ Exch. Mg=แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ Exch. Na=โซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ CEC=ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน และ BS=ความอิ่มตัวเบส

ตารางภาคผนวกที่ 8 การสะสมคาร์บอนในดิน

Depth (cm)	BD (Mg/m^3)	Soil mass (t/ha)	SOC (%)	C-Stock (t/ha)
		FNWS01		
0-5	1.19	594.76	3.02	17.94
5-10	1.34	670.02	2.45	16.39
10-15	1.35	674.90	1.01	6.79
15-30	1.44	2,166.55	0.62	13.37
30-45	1.42	2,134.06	0.51	10.85
45-60	1.40	2,101.57	0.40	8.41
60-80	1.31	2,620.91	0.39	10.23
80-100	1.30	2,603.32	0.38	9.89
		FNWS02		
0-5	1.06	529.93	2.73	14.44
5-10	1.10	549.92	2.41	13.25
10-15	1.20	599.93	1.41	8.44
15-30	1.30	1,949.80	0.67	13.06
30-45	1.30	1,949.77	0.62	12.09
45-60	1.30	1,949.74	0.57	11.11
60-80	1.31	2,620.91	0.57	14.85
80-100	1.30	2,603.35	0.53	13.80
		RNWS01		
0-5	1.29	646.29	2.15	13.91
5-10	1.32	657.58	1.90	12.49
10-15	1.42	708.96	0.69	4.93
15-30	1.51	2,261.03	0.52	11.86
30-45	1.43	2,142.90	0.49	10.46
45-60	1.35	2,024.76	0.45	9.13
60-80	1.28	2,556.90	0.44	11.17
80-100	1.23	2,451.98	0.32	7.77
		RNWS02		
0-5	1.25	623.41	2.35	14.67
5-10	1.26	631.62	1.81	11.44
10-15	1.40	697.86	0.61	4.29
15-30	1.45	2,173.66	0.51	11.12
30-45	1.42	2,129.21	0.51	10.82
45-60	1.39	2,084.76	0.50	10.52
60-80	1.38	2,768.65	0.49	13.48
80-100	1.47	2,942.13	0.48	14.02

ตารางภาคผนวกที่ 8 ต่อ

Depth (cm)	BD (Mg/m^3)	Soil mass (t/ha)	SOC (%)	C-Stock (t/ha)
		ANWS01		
0-5	1.29	647.11	1.53	9.94
5-10	1.30	651.34	1.25	8.09
10-15	1.31	654.17	0.51	3.36
15-30	1.42	2,124.77	0.24	5.05
30-45	1.40	2,097.26	0.25	5.24
45-60	1.38	2,069.75	0.26	5.41
60-80	1.37	2,739.70	0.27	7.39
80-100	1.40	2,805.28	0.26	7.19
		ANWS02		
0-5	1.34	668.93	1.44	9.65
5-10	1.35	673.54	1.37	9.22
10-15	1.41	704.91	0.75	5.32
15-30	1.48	2,224.69	0.30	6.70
30-45	1.47	2,200.10	0.29	6.33
45-60	1.45	2,175.51	0.27	5.96
60-80	1.42	2,839.63	0.37	10.38
80-100	1.41	2,821.77	0.31	8.74
		FPUA01		
0-5	1.14	569.94	2.33	13.30
5-10	1.19	594.95	1.63	9.72
10-15	1.25	624.94	1.55	9.69
15-30	1.34	2,009.76	0.85	17.08
30-45	1.38	2,075.01	0.68	14.04
45-60	1.43	2,140.25	0.50	10.78
60-80	1.40	2,791.15	0.30	8.38
80-100	1.36	2,711.04	0.20	5.43
		FPUA02		
0-5	1.10	549.93	2.63	14.44
5-10	1.13	564.91	1.81	10.22
10-15	1.20	599.93	1.51	9.06
15-30	1.24	1,859.80	1.07	19.84
30-45	1.32	1,979.80	0.92	18.21
45-60	1.40	2,099.80	0.77	16.24
60-80	1.37	2,736.77	0.38	10.49
80-100	1.31	2,611.01	0.27	6.96

ตารางภาคผนวกที่ 8 ต่อ

Depth (cm)	BD (Mg/m^3)	Soil mass (t/ha)	SOC (%)	C-Stock (t/ha)
		RPUA01		
0-5	1.05	526.25	1.90	10.04
5-10	1.08	541.90	1.38	7.46
10-15	1.19	593.67	1.13	6.71
15-30	1.33	1,989.14	0.52	10.34
30-45	1.42	2,133.48	0.51	10.91
45-60	1.52	2,277.81	0.50	11.47
60-80	1.54	3,075.02	0.40	12.20
80-100	1.60	3,199.39	0.35	11.09
		RPUA02		
0-5	1.27	636.78	1.37	8.76
5-10	1.30	649.50	1.22	7.91
10-15	1.34	667.80	0.95	6.35
15-30	1.35	2,017.67	0.47	9.51
30-45	1.38	2,063.59	0.39	8.14
45-60	1.41	2,109.51	0.32	6.71
60-80	1.40	2,799.68	0.30	8.31
80-100	1.35	2,699.64	0.28	7.56
		APUA01		
0-5	1.23	612.88	1.16	7.13
5-10	1.23	617.16	1.00	6.16
10-15	1.19	596.26	0.81	4.82
15-30	1.36	2,034.78	0.56	11.41
30-45	1.35	2,018.64	0.44	8.93
45-60	1.34	2,002.51	0.32	6.49
60-80	1.46	2,912.34	0.51	14.96
80-100	1.53	3,061.11	0.25	7.56
		APUA02		
0-5	1.26	630.98	1.19	7.53
5-10	1.33	665.42	1.13	7.53
10-15	1.36	682.13	0.92	6.27
15-30	1.40	2,094.00	0.63	13.23
30-45	1.55	2,320.36	0.54	12.63
45-60	1.70	2,546.71	0.46	11.65
60-80	1.66	3,327.18	0.23	7.66
80-100	1.65	3,298.02	0.15	4.95

ตารางภาคผนวกที่ 8 ต่อ

Depth (cm)	BD (Mg/m^3)	Soil mass (t/ha)	SOC (%)	C-Stock (t/ha)
		FPUP01		
0-5	0.94	471.65	3.35	15.79
5-10	1.07	533.96	1.92	10.25
10-15	1.07	533.35	1.40	7.45
15-30	1.06	1,591.80	0.98	15.60
30-45	1.09	1,635.74	0.89	14.53
45-60	1.12	1,679.68	0.80	13.38
60-80	1.18	2,359.71	0.58	13.61
80-100	1.13	2,259.58	0.38	8.52
		FPUP02		
0-5	1.18	589.92	3.65	21.51
5-10	1.18	589.11	2.25	13.24
10-15	1.22	609.93	1.60	9.74
15-30	1.27	1,904.80	0.70	13.28
30-45	1.25	1,874.80	0.56	10.44
45-60	1.23	1,844.80	0.42	7.69
60-80	1.20	2,399.70	0.40	9.52
80-100	1.15	2,299.70	0.38	8.81
		RPUP01		
0-5	1.05	523.18	1.88	9.96
5-10	1.07	532.77	1.75	9.44
10-15	1.16	578.23	1.22	7.06
15-30	1.21	1,813.52	0.89	16.10
30-45	1.23	1,851.66	0.73	13.51
45-60	1.26	1,889.80	0.57	10.82
60-80	1.29	2,586.45	0.47	12.07
80-100	1.33	2,663.29	0.41	10.83
		RPUP02		
0-5	1.15	576.55	2.30	13.21
5-10	1.28	637.87	1.96	12.35
10-15	1.30	648.32	1.51	9.72
15-30	1.39	2,079.60	0.78	16.11
30-45	1.37	2,052.17	0.58	11.79
45-60	1.35	2,024.73	0.37	7.56
60-80	1.40	2,791.07	0.32	8.84
80-100	1.48	2,962.74	0.25	7.31

ตารางภาคผนวกที่ 8 ต่อ

Depth (cm)	BD (Mg/m^3)	Soil mass (t/ha)	SOC (%)	C-Stock (t/ha)
		APUP01		
0-5	1.22	609.21	1.22	7.47
5-10	1.22	610.52	1.13	6.91
10-15	1.23	613.01	0.89	5.43
15-30	1.24	1,858.93	0.69	12.89
30-45	1.24	1,857.05	0.62	11.58
45-60	1.24	1,855.17	0.55	10.27
60-80	1.33	2,668.24	0.52	13.87
80-100	1.29	2,572.74	0.51	13.11
		APUP02		
0-5	1.16	577.66	0.81	4.72
5-10	1.17	583.69	0.75	4.41
10-15	1.30	649.98	0.66	4.31
15-30	1.41	2,121.44	0.48	10.07
30-45	1.40	2,100.52	0.42	8.83
45-60	1.39	2,079.60	0.37	7.61
60-80	1.37	2,749.30	0.24	6.60
80-100	1.35	2,698.77	0.18	4.86

หมายเหตุ FNWS=ป่าธรรมชาติอำเภอเวียงสา RNWS=ป่าฟื้นฟูอำเภอเวียงสา ANWS=พื้นที่เกษตรอำเภอเวียงสา FPUA=ป่าธรรมชาติอำเภอปัว RPUA=ป่าฟื้นฟูอำเภอท่าวังผา APUA=พื้นที่เกษตรอำเภอท่าวังผา FPUP=ป่าธรรมชาติอำเภอภูเพียง RPUP=ป่าฟื้นฟูอำเภอภูเพียง APUP=พื้นที่เกษตรอำเภอภูเพียง BD=ความหนาแน่นรวมของดิน SOC=อินทรีย์คาร์บอนในดิน

ภาคผนวก ค

เกณฑ์มาตรฐานของค่าวิเคราะห์ดิน

ตารางภาคผนวกที่ 9 การแบ่งกลุ่มของเนื้อดิน (เอิบ, 2548)

คำเรียกทั่วไป	**ลักษณะเนื้อดิน (General terms)**	**ชั้นเนื้อดินต่างๆ (Texture classes)**
ดินทราย (Sandy soils)	เนื้อหยาบ (Coarse textured)	ทรายชนิดต่างๆ (ทรายหยาบ ทรายละเอียด ทรายละเอียดมาก) ทรายปนดินร่วนชนิดต่างๆ (ทรายหยาบปนดินร่วน ทรายปนดินร่วน ทรายละเอียดปนดินร่วน และทรายละเอียดมากปนดินร่วน)
ดินร่วน (Loamy soils)	เนื้อหยาบปานกลาง (Moderately coarse-textured) เนื้อปานกลาง (Medium-textured) เนื้อละเอียดปานกลาง (Moderately fine-textured)	ดินร่วนปนทรายหยาบ ดินร่วนปนทราย ดินร่วนปนทรายละเอียด ดินร่วนปนทรายละเอียดมาก ดินร่วน ดินร่วนปนทรายแป้ง และทรายแป้ง ดินร่วนเหนียว ดินร่วนเหนียวปนทราย ดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง
ดินเหนียว (Clayey soils)	เนื้อละเอียด (Fine textured)	ดินเหนียวปนทราย ดินเหนียวปนทรายแป้ง และดินเหนียว

ตารางภาคผนวกที่ 10 ความหนาแน่นรวมของดิน (Bulk density)

ระดับ (Rating)	**พิสัย (Mg/m^3)**
ต่ำมาก (Very low)	< 1.0
ต่ำ (Low)	1.0-1.2
ค่อนข้างต่ำ (Moderately low)	1.2-1.4
ปานกลาง (Moderate)	1.4-1.6
ค่อนข้างสูง (Moderate high)	1.6-1.8
สูง (High)	1.8-2.0
สูงมาก (Very high)	> 2.0

ที่มา: Modified Kanchanaprasert (1986)

ข้อจำกัดต่างๆ ที่ใช้ในการประเมินระดับสมบัติทางเคมี (Soil Survey Staff, 1993)

ตารางภาคผนวกที่ 11 ความเป็นกรดด่างของดิน (Soil reaction)

ระดับ (Rating)	**พิสัย**
เป็นกรดรุนแรงมากที่สุด (Ultra acid)	< 3.5
เป็นกรดรุนแรงมาก (Extremely acid)	3.5-4.4
เป็นกรดจัดมาก (Very strongly acid)	4.5-5.0
เป็นกรดจัด (Strongly acid)	5.1-5.5
เป็นกรดปานกลาง (Moderately acid)	5.6-6.0
เป็นกรดเล็กน้อย (Slightly acid)	6.1-6.5
เป็นกลาง (Neutral)	6.6-7.3
เป็นด่างเล็กน้อย (Slightly alkaline)	7.4-7.8
เป็นด่างปานกลาง (Moderately alkaline)	7.9-8.4
เป็นด่างจัด (Strongly alkaline)	8.5-9.0
เป็นด่างจัดมาก (Very strongly alkaline)	> 9.0

ตารางภาคผนวกที่ 12 อินทรียวัตถุในดิน (Soil organic matter)

ระดับ (Rating)	**พิสัย (%)**
ต่ำมาก (Very low)	< 0.5
ต่ำ (Low)	0.5-1.0
ค่อนข้างต่ำ (Moderately low)	1.0-1.5
ปานกลาง (Moderate)	1.5-2.5
ค่อนข้างสูง (Moderate high)	2.5-3.5
สูง (High)	3.5-4.5
สูงมาก (Very high)	> 4.5

ตารางภาคผนวกที่ 13 ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available Phosphorus)

ระดับ (Rating)	**พิสัย (mg/kg)**
ต่ำมาก (Very low)	< 3
ต่ำ (Low)	3-6
ค่อนข้างต่ำ (Moderately low)	6-10
ปานกลาง (Moderate)	10-15
ค่อนข้างสูง (Moderate high)	15-25
สูง (High)	25-45
สูงมาก (Very high)	> 45

ตารางภาคผนวกที่ 14 โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Potassium)

ระดับ (Rating)	**พิสัย (mg/kg)**
ต่ำมาก (Very low)	< 30
ต่ำ (Low)	30-60
ปานกลาง (Moderate)	60-90
สูง (High)	90-120
สูงมาก (Very high)	> 120

ตารางภาคผนวกที่ 15 แคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Calcium)

ระดับ (Rating)	**พิสัย (mg/kg)**
ต่ำมาก (Very low)	< 400
ต่ำ (Low)	400-1,000
ปานกลาง (Moderate)	1,000-2,000
สูง (High)	2,000-4,000
สูงมาก (Very high)	> 4,000

ตารางภาคผนวกที่ 16 แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Magnesium)

ระดับ (Rating)	**พิสัย (mg/kg)**
ต่ำมาก (Very low)	< 36.45
ต่ำ (Low)	36.45-121.5
ปานกลาง (Moderate)	121.5-364.5
สูง (High)	364.5-972
สูงมาก (Very high)	> 972

ตารางภาคผนวกที่ 17 โซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Sodium)

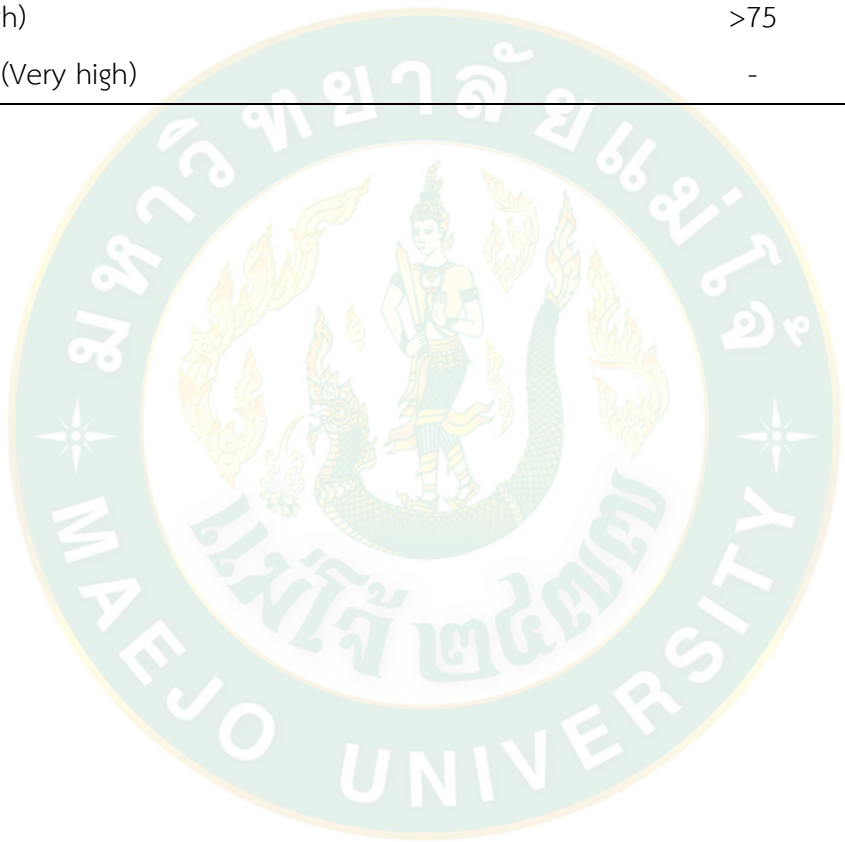
ระดับ (Rating)	**พิสัย (mg/kg)**
ต่ำมาก (Very low)	< 23
ต่ำ (Low)	23-69
ปานกลาง (Moderate)	69-161
สูง (High)	161-460
สูงมาก (Very high)	> 460

ตารางภาคผนวกที่ 18 ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (Cation Exchangeable Capacity)

ระดับ (Rating)	**พิสัย ($cmol^+/kg$)**
ต่ำมาก (Very low)	< 3
ต่ำ (Low)	3-5
ค่อนข้างต่ำ (Moderately low)	5-10
ปานกลาง (Moderate)	10-15
ค่อนข้างสูง (Moderate high)	15-20
สูง (High)	20-30
สูงมาก (Very high)	> 30

ตารางภาคผนวกที่ 19 ความอิ่มตัวเบส (Base saturation)

ระดับ (Rating)	**พิสัย (%)**
ต่ำมาก (Very low)	-
ต่ำ (Low)	35
ค่อนข้างต่ำ (Moderately low)	-
ปานกลาง (Moderate)	35-75
ค่อนข้างสูง (Moderate high)	-
สูง (High)	>75
สูงมาก (Very high)	-



ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล นายราเชนทร์ โอฐงาม

เกิดเมื่อ 12 กุมภาพันธ์ 2542

ประวัติการศึกษา พ.ศ. 2559 มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนสุรวิทยาคาร จังหวัดสุรินทร์

พ.ศ. 2563 ปริญญาตรี สาขาปฐพีศาสตร์ คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่