โครงการ

การเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

ชื่อโครงการ อิทธิพลของซากพืชที่ร่วงหล่นต่ออินทรียวัตถุในดินและสภาพดินในระบบนิเวศที่มนุษย์สร้างขึ้น

ชื่อนิสิต นายอริญชัย นิลสนธิ

ภาควิชา พฤกษศาสตร์

ปีการศึกษา 2561

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของโครงงานทางวิชาการที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของโครงงานทางวิชาการที่ส่งผ่านทางคณะที่สังกัด

The abstract and full text of senior projects in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)

are the senior project authors' files submitted through the faculty.

อิทธิพลของซากพืชที่ร่วงหล่นต่ออินทรียวัตถุในดินและสภาพดิน ในระบบนิเวศที่มนุษย์สร้างขึ้น

นายอริญชัย นิลสนธิ

วิทยาปฏิบัตินี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาพฤกษศาสตร์ ภาควิชาพฤกษศาสตร์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2561

Effects of accumulated litterfall on forest floor organic matter and soil conditions in two man-made ecosystems

Mr. Arinchai Nilsonti

A Senior Project Submitted in Partial Fulfillment

of the Requirement for the Degree of Bachelor of Science

Botany Program, Department of Botany

Faculty of Science, Chulalongkorn University

Academic Year 2018

ชื่อโครงงานวิทยาศาสตร์ อิทธิพลของซากพืชที่ร่วงหล่นต่ออินทรียวัตถุในดินและสภาพดินในระบบนิเวศที่มนุษย์สร้างขึ้น

ชื่อนิสิต	นายอริญชัย นิลสนธิ
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร.ฉัตรทิพย์ รอดทัศนา
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	รองศาสตราจารย์ ดร.ศศิธร พ่วงปาน
ภาควิชา	พฤกษศาสตร์
สาขาวิชา	พฤกษศาสตร์
ปีการศึกษา	2561

ภาควิชาพฤกษศาสตร์อนุมัติให้โครงงานวิทยาศาสตร์นี้เป็นส่วนหนึ่งของ การศึกษาตามหลักสูตร ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาพฤกษศาสตร์

คณะกรรมการสอบโครงงานวิทยาศาสตร์

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ ดร.ฉัตรทิพย์ รอดทัศนา)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(รองศาสตราจารย์ ดร.ศศิธร พ่วงปาน)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อัญชลี ใจดี)

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชื่อโครงงานวิทยาศาสตร์	อิทธิพลของซากพืชที่ร่วงหล่นต่ออินทรียวัตถุในดินและสภาพดินในระบบนิเวศที่มนุษย์สร้างขึ้น
ชื่อนิสิต	นายอริญชัย นิลสนธิ
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร.ฉัตรทิพย์ รอดทัศนา
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	รองศาสตราจารย์ ดร.ศศิธร พ่วงปาน
ภาควิชา	พฤกษศาสตร์
สาขาวิชา	พฤกษศาสตร์
ปีการศึกษา	2561

บทคัดย่อ

ระบบนิเวศที่มนุษย์สร้างขึ้น (man-made ecosystem) เกิดจากแนวคิดในการสร้างพื้นที่สีเขียวทดแทนพื้นที่ธรรมชาติที่ลดลง การหมุนเวียนคาร์บอนและธาตุอาหารมีส่วนสำคัญทำให้ระบบนิเวศสามารถดำรงอยู่ได้อย่างยั่งยืนโดยไม่ต้องพึ่งพาการจัดการของมนุษย์มากนัก การศึกษานี้จึงต้องการศึกษาอิทธิพลของซากพืชที่ร่วงหล่นต่ออินทรียวัตถุในดินและสภาพดินในระบบนิเวศที่มนุษย์สร้างขึ้น 2 รูปแบบ คือ ไบโอโทป (Biotope) และป่านิเวศ (Ecoforest) ณ จังหวัดฉะเชิงเทรา ผลการศึกษาพบว่าปริมาณน้ำฝนเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลสำคัญต่อปริมาณซากพืชที่ร่วงหล่นของทั้งสองระบบนิเวศ โดยในไบโอโทปมีปริมาณซากพืชที่ร่วงหล่นและซากพืชที่สะสมบนพื้นป่ารายเดือนมากกว่าในป่านิเวศ เนื่องจากมีองค์ประกอบด้านชนิดของพันธุ์ไม้ที่แตกต่างกัน ขณะที่อัตราการย่อยสลายของซากพืชไม่แตกต่างกัน (0.007 กรัม/วัน) ในไบโอโทปพบว่าความสูงของชั้นซากพืชมีความสัมพันธ์เชิงลบกับปริมาณอินทรียวัตถุในดิน และพบความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของชั้นซากพืชกับปริมาณอินทรียวัตถุในดินในเชิงบวก แต่ไม่พบความสัมพันธ์เหล่านี้ในป่านิเวศ นอกจากนี้เมื่อสิ้นสุดการศึกษาค่าความหนาแน่นเฉลี่ยของดินลดลงจาก 1.56 เป็น 1.10 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร และไม้ต้นในระบบนิเวศทั้งสองมีพื้นที่หน้าตัดลำต้นรวมเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 0.013 ตารางเมตร สรุปได้ว่าปริมาณซากพืชที่ร่วงหล่นมีอิทธิพลต่อปริมาณอินทรียวัตถุในดินที่ช่วยปรับให้สภาพดินเหมาะสมในการเจริญเติบโตของพืช แต่ระบบนิเวศทั้งสองมีกลไกทางนิเวศวิทยาที่แตกต่างกันขึ้นกับชนิดพันธุ์ไม้และวิธีการปลูก ดังนั้นเพื่อสร้างระบบนิเวศทดแทนที่สามารถดำรงอยู่ได้อย่างยั่งยืนจึงต้องคำนึงถึงวิธีการปลูก และการจัดการที่เหมาะสมที่อาศัยหลักการทางนิเวศวิทยา

คำสำคัญ: ซากพืชที่ร่วงหล่น, อินทรียวัตถุ, ระบบนิเวศที่มนุษย์สร้างขึ้น, ไบโอโทป, ป่านิเวศ, พืชท้องถิ่น

Senior project title	Effects of accumulated litterfall on forest floor organic matter and soil conditions in two man-made ecosystems
Student name	**Mr.** Arinchai Nilsonti
Senior project advisor	Dr. Chadtip Rodtassana
Senior project co-advisor	Assoc. Prof. Dr. Sasitorn Poungparn
Program	Botany
Department	Botany
Academic Year	2018

Abstract

A concept of man-made ecosystems was developed to increase urban green spaces as a compensation for natural area loss. Carbon and nutrient cycles are important processes that sustain man-made ecosystems with less required management. This study aims to investigate the influences of litterfall on soil organic matter and soil condition in two man-made ecosystems including Biotope and Ecoforest at Chachoengsao Province. The results showed that precipitation was an important factor controlling litterfall quantity. There was greater monthly litterfall in Biotope compared to that of Ecoforest because of the different tree species compositions. While the average rates of litter decomposition in the wet season were not significantly different (0.007 g/day). There was a negative correlation of litter layer depth with soil organic matter and litter layer depth significantly correlated to soil organic matter in Biotope. However, these were not found in Ecoforest. Moreover, at the end of this study the average bulk density values in both man-made ecosystems decreased from 1.56 to 1.10 g/cm^3 and total basal area of tree increased 0.013 m^2 in average. In conclusion, litterfall quantity has an influence on soil organic matter that improves a suitable soil condition for plant growth. However, two different man-made ecosystems showed different ecological mechanisms according to tree species and planting methods. Therefore, a practical design, planting method and management are necessarily considered to build sustainable man-made ecosystems.

keyword: litterfall, organic matter, man-made ecosystem, Biotope, Ecoforest, native species

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.ฉัตรทิพย์ รอดทัศนา อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน และรองศาสตราจารย์ ดร.ศศิธร พ่วงปาน อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมโครงงาน ที่กรุณาให้กระผมได้ทำโครงงานวิทยาศาสตร์ฉบับนี้ขึ้นมา และ ช่วยเหลือทำให้โครงงานวิทยาศาสตร์ฉบับนี้ให้สำเร็จลุล่วง รวมถึงตรวจแก้โครงงานนี้ให้มีความสมบูรณ์ และขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ต่อศักดิ์ สีลานันท์ สำหรับคำแนะนำต่าง ๆ ด้านการเก็บข้อมูลภาคสนาม

ขอขอบพระคุณกรรมการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อัญชลี ใจดี ที่กรุณาตรวจสอบแก้ไขโครงงานฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ทุนสนับสนุนโครงการ การเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์ ประจำปีการศึกษา 2561 รวมทั้งสถานที่ อุปกรณ์ เครื่องมือ และเคมีภัณฑ์

ขอขอบพระคุณบริษัท โตโยต้า มอเตอร์ ประเทศไทย จำกัด และมูลนิธิสิ่งแวดล้อมศึกษาเพื่อการพัฒนาอย่างยั่งยืนแห่งประเทศไทย สำหรับความช่วยเหลือและอนุเคราะห์พื้นที่สำหรับการทำวิจัย

ขอขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ และสมาชิกในครอบครัวที่เป็นกำลังใจสำคัญ และให้การสนับสนุนในทุก ๆ เรื่องเสมอมา

ขอขอบคุณรุ่นพี่ รุ่นน้อง เพื่อน ๆ และสมาชิกหน่วยปฏิบัติการพฤกษนิเวศวิทยาสำหรับคำปรึกษา กำลังใจ และความช่วยเหลือต่าง ๆ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญภาพ	ฌ
สารบัญตาราง	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 การตรวจสอบเอกสาร	3
บทที่ 3 วัสดุอุปกรณ์และวิธีการดำเนินงาน	8
วัสดุและอุปกรณ์	8
วิธีการดำเนินงาน	9
พื้นที่ศึกษา	9
การวางแปลงศึกษา	11
ซากพืชที่ร่วงหล่น	12
ซากพืชที่ร่วงหล่นที่สะสมบนพื้นป่า	12
อัตราการย่อยสลายของซากพืชที่ร่วงหล่น	14
การเก็บตัวอย่างดิน	15
ปัจจัยสิ่งแวดล้อม	15
การวิเคราะห์โครงสร้างสังคมพืช	16
การวิเคราะห์ตัวอย่างในห้องปฏิบัติการ	17
การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ	17
บทที่ 4 ผลการศึกษา	
โครงสร้างสังคมพืชในระบบนิเวศแบบป่านิเวศและไบโอโทป	18
โครงสร้างสังคมพืชในพื้นที่ศึกษาเมื่อเริ่มการศึกษา (พฤษภาคม 2561)	18
โครงสร้างสังคมพืชในพื้นที่ศึกษาเมื่อสิ้นสุดการศึกษา (ธันวาคม 2561)	20

สารบัญ

หน้า

ปริมาณซากพืชที่ร่วงหล่น 22

อัตราการย่อยสลายของซากพืช 25

คุณสมบัติสมบัติของดิน 26

บทที่ 5 อภิปรายผลการทดลอง 29

โครงสร้างสังคมพืช 29

ปริมาณซากพืชที่ร่วงหล่น 30

อัตราการย่อยสลายของซากพืช 32

คุณสมบัติสมบัติของดินซากพืชที่ร่วงหล่น 33

บทที่ 6 สรุปผลการทดลอง 34

เอกสารอ้างอิง 35

สารบัญรูปภาพ

ภาพที่		หน้า
1	สัดส่วนของการใช้พื้นที่เพื่อผลประโยชน์ด้านต่าง ๆ	3
2	ขั้นตอนการสร้างป่านิเวศตามหลักการของมิยาวากิ	5
3	การเปรียบเทียบประเภท และการประมาณระยะเวลาของสังคมพืช	6
4	พื้นที่ศึกษาบริเวณศูนย์ชีวพนาเวศ	10
5	อุณหภูมิเฉลี่ยและปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปีของจังหวัดฉะเชิงเทรา	10
6	ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือนของจังหวัดฉะเชิงเทรา	11
7	ขนาดพื้นที่ศึกษา และไบโอโทปบริเวณศูนย์ชีวพนาเวศ	12
8	กระบะ และตาข่ายรองรับซากพืชที่พื้นดินในแปลงศึกษา	13
9	การเก็บซากพืชที่ร่วงหล่นที่สะสมบนพื้นป่าจากชั้นซากพืชถึงชั้นอินทรียวัตถุ	13
10	ถุงซากพืชที่ติดตั้งในแปลงศึกษา (ก) และถุงซากพืชที่ใช้การทดลอง (ข)	14
11	การเก็บตัวอย่างดินด้วย soil core ที่ระดับความลึก 10 เซนติเมตร	15
12	สถานีตรวจวัดสภาพภูมิอากาศ	15
13	ปริมาณซากพืชที่ร่วงหล่นในป่านิเวศ ไบโอโทปป่าดิบ และปริมาณน้ำฝนในช่วงเดือนมิถุนายนถึงธันวาคม 2561	22
14	ปริมาณซากพืชที่ร่วงหล่นสะสมบนพื้นป่านิเวศ ไบโอโทปป่าดิบ และปริมาณน้ำฝน ในช่วงเดือนมิถุนายนถึงธันวาคม 2561	23
15	ชั้นความสูงของซากพืชบนพื้นป่าในป่านิเวศ ไบโอโทปป่าดิบและปริมาณน้ำฝนในช่วงเดือนมิถุนายนถึงธันวาคม 2561	24
16	อัตราการย่อยสลายซากพืชในป่าในป่านิเวศและไบโอโทปป่าดิบ	25
17	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอินทรียวัตถุกับปัจจัยสิ่งแวดล้อม	28

สารบัญตาราง

ตารางที่		
1	ชนิดและค่าสถิติทางนิเวศวิทยาของพืชที่พบในสังคมพืชป่านิเวศและไบโอโทปป่าดิบในช่วงเริ่มการศึกษา	19
2	ชนิดและค่าสถิติทางนิเวศวิทยาของพืชที่พบในสังคมพืชป่านิเวศและไบโอโทปป่าดิบในช่วงหลังการศึกษา	21
3	ตารางที่ 3 สมการการย่อยสลายของซากพืชในป่านิเวศและไบโอโทปป่าดิบโดยวิธี litter bag	25
4	คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของดินในป่านิเวศและไบโอโทปป่าดิบในช่วงเริ่มและสิ้นสุดการศึกษา	27
5	ความหนาแน่นของไม้ต้นในป่านิเวศ ไบโอโทปป่าดิบและระบบนิเวศอื่นที่มนุษย์สร้างขึ้น	30
6	ปริมาณซากพืชที่ร่วงหล่นในป่านิเวศ ไบโอโทปป่าดิบและระบบนิเวศอื่นที่มนุษย์สร้าง	31
7	อัตราการย่อยสลายของซากพืชในระบบนิเวศรูปแบบต่าง ๆ	32
8	ปริมาณอินทรียวัตถุในระบบนิเวศรูปแบบต่าง ๆ	33

บทที่ 1
บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันมนุษย์มีความต้องการในการใช้พื้นที่เพื่อเป็นแหล่งเกษตรกรรมและแหล่งที่อยู่อาศัย อาจกล่าวได้ว่าเกิดการขยายตัวของสังคมเมือง (urbanization) ที่ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการใช้พื้นที่ โดยพบว่าในช่วงเวลา 300 ปีที่ผ่านมา ระบบนิเวศป่าไม้ทั่วโลกมีพื้นที่ลดลงประมาณ 7 ถึง 11 ล้านตารางกิโลเมตร (Foley et al., 2005) ดังนั้นจึงเกิดแนวคิดในการสร้างพื้นที่สีเขียวด้วยการสร้างระบบนิเวศที่มนุษย์สร้างขึ้น (man-made ecosystem หรือ artificial ecosystem) ที่มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อทดแทนพื้นที่ตามธรรมชาติที่สูญเสียไป โดยระบบนิเวศที่สร้างขึ้นนี้ต้องสามารถทำหน้าที่ทางนิเวศวิทยา (ecosystem function) ได้เทียบเท่าหรือใกล้เคียงกับระบบนิเวศตามธรรมชาติ ที่จะทำให้ระบบนิเวศนั้นสามารถดำรงอยู่ได้ด้วยตัวเองผ่านกระบวนการทางนิเวศวิทยา (Odum, 1969) ซึ่งระบบนิเวศที่มนุษย์สร้างขึ้นสามารถออกแบบได้หลากหลายขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการสร้างและสภาพพื้นที่ ทั้งนี้อาจพิจารณาความหลากหลายของพันธุ์ไม้ ชนิดของพันธุ์ไม้ หรือรูปแบบความสัมพันธ์เชิงนิเวศของสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศนั้น ๆ โดยอาจเป็นการปลูกทดแทนด้วยพันธุ์ไม้เพียงชนิดเดียว (monoculture) หรือการปลูกด้วยพันธุ์ไม้ที่หลากหลาย (multi-species culture) อาจใช้พันธุ์ไม้พื้นเมือง (native species) หรือชนิดพันธุ์ต่างถิ่น (introduced species) (Miyawaki, 1999) ซึ่งการศึกษานี้มุ่งเน้นสองระบบนิเวศที่มนุษย์สร้างขึ้น ได้แก่ ป่านิเวศ (Ecoforest) ที่เป็นการปลูกป่าเลียนแบบธรรมชาติด้วยพันธุ์ไม้พื้นเมืองที่มีความทนต่อสภาพแวดล้อมในพื้นที่นั้น ๆ และไบโอโทป (Biotope) ที่เป็นการสร้างสังคมพืชแบบต่าง ๆ เลียนแบบธรรมชาติที่ใช้พันธุ์ไม้ตามรูปแบบสังคมพืชนั้นโดยไม่คำนึงถึงข้อจำกัดด้านพื้นที่

การออกแบบและการสร้างระบบนิเวศที่มนุษย์สร้างขึ้นต้องคำนึงถึงกลไกทางนิเวศวิทยาในส่วนของวัฏจักรคาร์บอน (carbon cycle) และวัฏจักรธาตุอาหาร (nutrient cycle) ในธรรมชาติเมื่อพืชสังเคราะห์ด้วยแสงจะเกิดผลผลิตคาร์บอนที่สะสมในรูปมวลชีวภาพ (biomass) ทั้งในส่วนเหนือดินและส่วนใต้ดินของพืช (Schlamadinger and Marlan, 1994) และเกิดการปลดปล่อยคาร์บอนและธาตุอาหารกลับคืนสู่ระบบนิเวศผ่านกระบวนการย่อยสลายของซากพืชที่ร่วงหล่น (litterfall) ที่สะสมบนพื้นป่าและส่วนต่าง ๆ ของพืชที่ตายลง (necromass) โดยซากพืชที่ร่วงหล่นนี้เองเป็นแหล่งที่มาสำคัญของอินทรียวัตถุและธาตุอาหารในระบบนิเวศป่า อัตราการย่อยสลายของซากพืชมีความแตกต่างกันขึ้นกับเขตภูมิศาสตร์และชนิดพันธุ์ไม้ (Saenger and Snedaker, 1993) รวมถึงปัจจัยสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะความชื้นและอุณหภูมิ (Prescott, 2010) โดยอัตราของการย่อยสลายจะส่งผลต่อปริมาณคาร์บอนและธาตุอาหารที่ถูกหมุนเวียนในระบบนิเวศ เมื่อซากพืชที่ร่วงหล่นเกิดการแตกออกเป็นชิ้นเล็กๆ และย่อยสลายจะกลายเป็นอินทรียวัตถุในดินซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของคาร์บอนในดิน โดยจะสะสมอยู่ในชั้นผิวดินเนื่องจากเกิดการย่อยสลายในชั้นซากพืช (litter layer) ที่สะสมบนดิน ดังนั้นจึงสามารถศึกษาการหมุนเวียนของธาตุอาหารและคาร์บอนของระบบนิเวศผ่านกระบวนการย่อยสลายได้ (Lee, 1999) นอกจากนี้

การย่อยสลายของซากพืชยังส่งผลต่อธาตุอาหารที่มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของป่าอีกด้วย ดังนั้นการหมุนเวียนคาร์บอนและธาตุอาหารในระบบนิเวศที่มนุษย์สร้างขึ้น จึงเป็นกระบวนการสำคัญที่จะทำให้ระบบนิเวศนั้นสามารถดำรงอยู่ได้อย่างยั่งยืน

ด้วยเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้น การศึกษานี้จึงตั้งสมมติฐานว่าซากพืชที่ร่วงหล่นมีอิทธิพลต่อสภาพดินและความอุดมสมบูรณ์ของดิน โดยซากพืชที่ร่วงหล่นมีความสัมพันธ์กับอินทรียวัตถุในดินและสภาพดิน รวมถึงปัจจัยทางกายภาพอื่น ๆ ดังนั้น ผลการศึกษาในครั้งนี้คาดว่าจะสามารถใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นเพื่อประเมินกลไกเชิงนิเวศวิทยาที่จะทำให้ระบบนิเวศที่มนุษย์สร้างขึ้นสามารถดำรงอยู่ได้อย่างยั่งยืน

วัตถุประสงค์

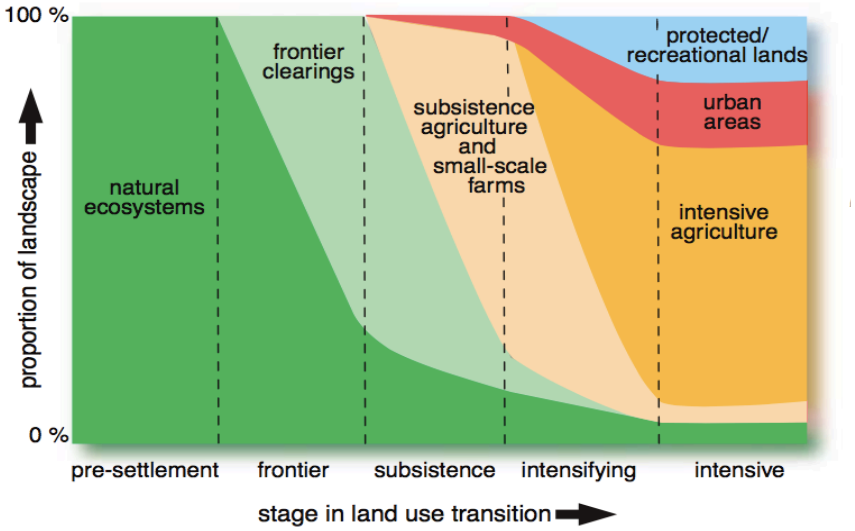
1. เพื่อศึกษาปริมาณซากพืชที่ร่วงหล่นและอินทรียวัตถุที่สะสมบนพื้นป่าในป่านิเวศและไบโอโทปป่าดิบ
2. เพื่อศึกษาผลของซากพืชที่ร่วงหล่นต่อสภาพดินในป่านิเวศและไบโอโทปป่าดิบ

บทที่ 2

การตรวจสอบเอกสาร

1. ปัญหาจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน

การเปลี่ยนแปลงการใช้พื้นที่ (land-use changes) คือการเปลี่ยนแปลงสภาพพื้นที่ตามธรรมชาติเพื่อการใช้ประโยชน์ของมนุษย์ในด้านต่าง ๆ โดยสาเหตุหลักเกิดจากการขยายตัวของสังคมเมือง (urbanization) ความต้องการพื้นที่เกษตรกรรม การตัดต้นไม้เพื่อใช้เนื้อไม้ (ภาพที่ 1) เพื่อตอบสนองต่อความต้องการของมนุษย์ที่มากขึ้นอันได้รับอิทธิพลมาจากการขยายตัวของประชากร ด้วยเหตุผลข้างต้นส่งผลให้เกิดการลดลงของพื้นที่สีเขียวทางธรรมชาติโดยเฉพาะพื้นที่ป่าไม้ จากข้อมูลทางสถิติพบว่ามีการลดลงของพื้นที่ตามธรรมชาติถึง 7 ถึง 11 ล้านตารางกิโลเมตรในช่วงเวลาเพียง 300 ปีที่ผ่านมา (Foley et al., 2005) ระบบนิเวศป่าไม้เป็นระบบนิเวศที่มีความสำคัญเนื่องจากเป็นแหล่งรวบรวมความหลากหลายทางชีวภาพของสิ่งมีชีวิต เป็นตัวกลางที่สำคัญในการหมุนเวียนคาร์บอนและธาตุอาหาร ซึ่งการที่สมุษย์สามารถใช้ประโยชน์จากป่านี้เอง ทำให้เกิดการลดลงของทรัพยากรทางธรรมชาติที่ก่อให้เกิดการลดลงของความหลากหลายทางชีวภาพในแง่ของที่อยู่อาศัยและชนิด (Carpenter and Pingali, 2005) รวมถึงการลดลงของปริมาณธาตุอาหารในพื้นที่จากกระบวนการ nutrient run-off (Bodirsky et al., 2014) ด้วยเหตุผลข้างต้นจึงทำให้มนุษย์สร้างระบบนิเวศในรูปแบบต่าง ๆ เพื่อทดแทนระบบนิเวศเดิมหรือตอบสนองความต้องการในด้านอื่น ๆ เกิดเป็นแนวคิดในการสร้างระบบนิเวศที่มนุษย์สร้างขึ้น (man-made ecosystem)



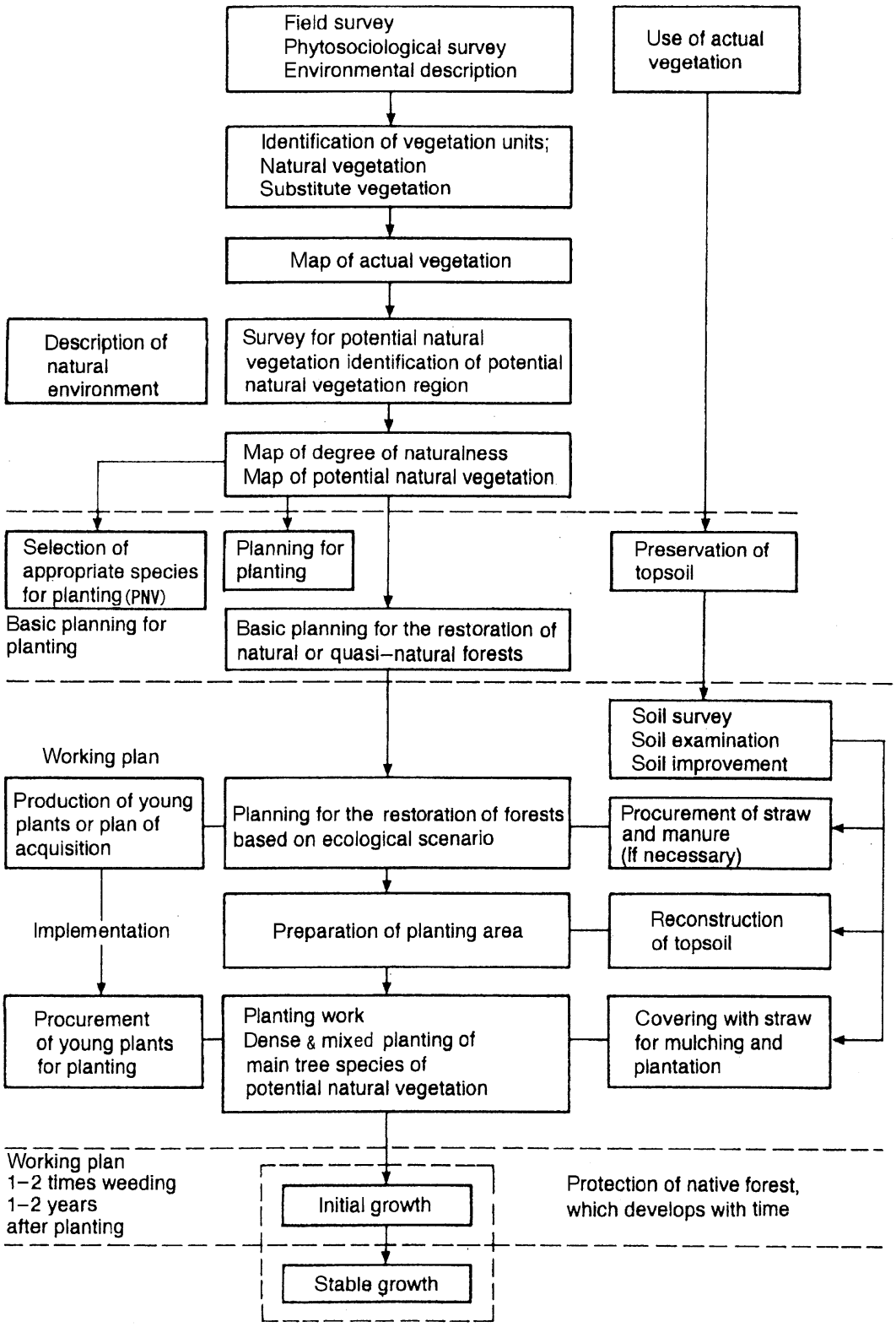
ภาพที่ 1 สัดส่วนของการใช้พื้นที่เพื่อประโยชน์ด้านต่าง ๆ พิจารณาตามช่วงเวลาทางประวัติศาสตร์ สภาพสังคม และเงื่อนไขทางเศรษฐกิจ (Foley et al., 2005)

2. ระบบนิเวศที่มนุษย์สร้างขึ้น (man-made ecosystem)

ระบบนิเวศที่มนุษย์สร้างขึ้นเป็นการสร้างพื้นที่สีเขียว ซึ่งรูปแบบการสร้างจะพิจารณาตามวัตถุประสงค์และประโยชน์ใช้สอยที่มีความแตกต่างกัน เช่น ป่าในเมือง (urban forest) คือการปลูกไม้ยืนต้นในเขตเมือง ต้นไม้ริมถนน รวมไปถึงสวนสาธารณะ (Konijnendijk et al., 2006) การปลูกป่าทดแทน (restoration) ในระบบนิเวศป่าแบบต่าง ๆ เช่น การปลูกป่าบริเวณชายฝั่ง การปลูกพืชเชิงเดี่ยวทดแทนพื้นที่ป่าไม้ที่ลดลง เป็นต้น จึงเห็นได้ว่าระบบนิเวศที่มนุษย์สร้างขึ้นสามารถสร้างขึ้นได้อย่างหลากหลายรวมถึงสามารถสร้างขึ้นได้ในหลากหลายพื้นที่ ทั้งระบบนิเวศบก ระบบนิเวศน้ำและระบบนิเวศชายฝั่ง

ปัจจุบันความสนใจในการสร้างพื้นที่สีเขียวมีมากขึ้น รูปแบบหนึ่งที่น่าสนใจคือการสร้างพื้นที่สีเขียวในรูปแบบของระบบนิเวศแบบต่าง ๆ เพื่อเป็นแหล่งเรียนรู้หรือเป็นสถานที่พักผ่อนหย่อนใจ จึงทำให้เกิดแนวคิดการสร้างพื้นที่สีเขียวแบบป่าไบโอโทป (Biotope) ที่เป็นการปลูกพืชประเภทไม้ยืนต้นด้วยชนิดที่แตกต่างกันเพื่อสร้างระบบนิเวศในรูปแบบที่ต้องการ เช่น ป่าสน ป่าผลัดใบ เป็นต้น โดยหลักการสร้างระบบนิเวศรูปแบบนี้ไม่คำนึงถึงความสอดคล้องกับสภาพแวดล้อมและอาจไม่ยั่งยืน ในประเทศไทยมีการสร้างระบบนิเวศแบบไบโอโทปหลากหลายรูปแบบในหลายพื้นที่ เช่น ศูนย์เรียนรู้ป่าในกรุง ปตท. ศูนย์จัดการพื้นที่สีเขียวเชิงนิเวศนครเขื่อนขันธ์ เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการเพิ่มพื้นที่สีเขียวจากองค์กรของรัฐในโครงการต่าง ๆ เช่น สวนป่า (plantation) สวนรุกขชาติ (arboratum) สวนสาธารณะ (park) เป็นต้น อย่างไรก็ตามระบบนิเวศที่กล่าวมาข้างต้นไม่สามารถทำหน้าที่เป็นระบบนิเวศที่สมบูรณ์ใกล้เคียงระบบนิเวศตามธรรมชาติได้ เนื่องจากต้องการการจัดการจากมนุษย์และการดูแลค่อนข้างมาก ดังนั้นจึงเกิดการสร้างระบบนิเวศตามแนวคิดป่านิเวศ (Ecoforest) เพื่อเพิ่มความยั่งยืนทางระบบนิเวศ แนวคิดการสร้างป่านิเวศเป็นการเพิ่มพื้นที่สีเขียวโดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อฟื้นฟูสภาพระบบนิเวศให้ใกล้เคียงกับระบบนิเวศเดิม โดยทั่วไปมักมุ่งเน้นที่การฟื้นฟูระบบนิเวศมากกว่าการเพิ่มผลผลิตทางเศรษฐกิจหรือผลประโยชน์ด้านอื่น ๆ ป่านิเวศมีหลักการมากมายเพื่อที่ให้เกิดความยั่งยืนของระบบนิเวศหนึ่งในแนวคิดที่ได้รับการยอมรับแพร่หลายคือการสร้างป่านิเวศด้วยหลักการของมิยาวากิ (Miyawaki’s method)

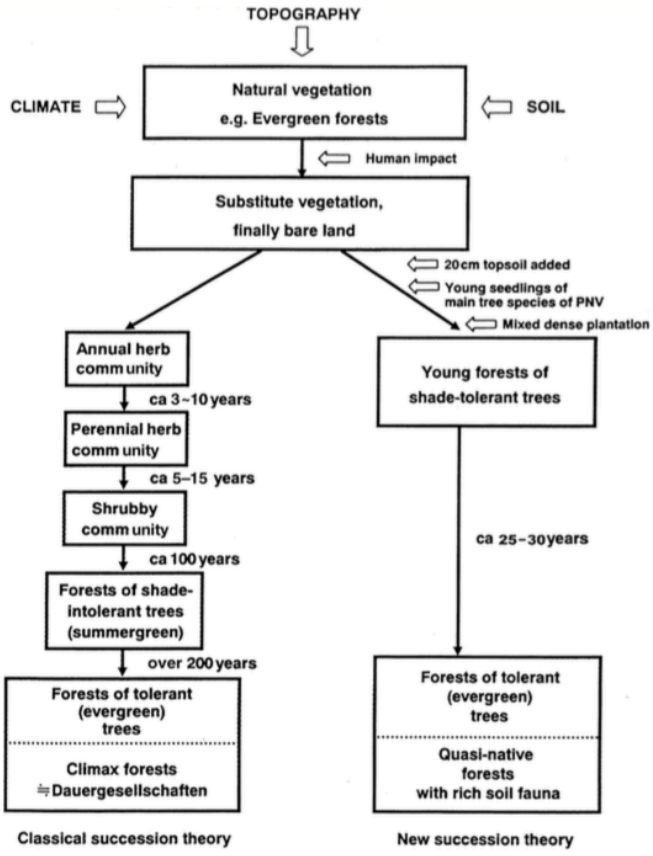
หลักการของมิยาวากิคือการสร้างพื้นที่สีเขียวโดยคำนึงถึงสังคมพืชดั้งเดิมและให้ความสำคัญกับพืชท้องถิ่นที่สามารถอยู่รอดและตอบสนองต่อสิ่งแวดล้อมได้ดี (Miyawaki, 1999) รวมไปถึงการฟื้นฟูของพื้นที่ในทางนิเวศวิทยาเพื่อการพัฒนาของระบบนิเวศอย่างยั่งยืน รูปแบบการสร้างป่านิเวศเบื้องต้นต้องทำการศึกษาสังคมพืชชนิดของต้นไม้และปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม จากนั้นจึงนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์เพื่อหาสังคมพืชที่มีความเหมาะสมกับพื้นที่มากที่สุด อย่างไรก็ตามวิธีการข้างต้นยังต้องการการดูแลจากมนุษย์ในช่วงระยะเวลาเริ่มต้นของการสร้างสังคมพืช เช่น การแก้ปัญหาสภาพดินที่ไม่เหมาะสม การเพิ่มความชื้นด้วยฟางข้าวคลุมดิน การกำจัดวัชพืชในช่วง 3 ปีแรก รวมไปถึงการใช้ต้นกล้าที่งอกจากเมล็ดในแปลงปลูก เป็นต้น (Miyawaki, 2004) ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ขั้นตอนการสร้างป่านิเวศตามหลักการของมิยาวากิ (Miyawaki, 2004)

ด้วยหลักการปลูกแบบมิยาวากินี้เองทำให้สังคมพืชมีความใกล้เคียงกับการแทนที่ที่เกิดขึ้นในธรรมชาติและสามารถตอบสนองต่อปัจจัยสิ่งแวดล้อมได้ดีส่งผลให้ระบบนิเวศมีความยั่งยืนมากกว่าวิธีอื่น ๆ รวมไปถึงสังคมพืชข้างต้นสามารถเข้าสู่สภาพสังคมพืชขั้นสุดท้าย (climax community) ได้รวดเร็วกว่ากระบวนการตามธรรมชาติ (ภาพที่ 3) โดยจากการศึกษาพบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อระยะเวลาของการเข้าสู่สังคมพืชนั้นมาจากอิทธิพลของสภาพดินมากกว่าสภาพภูมิอากาศ (Miyawaki, 2004)

หลักการของมิยาวากิถูกใช้อย่างแพร่หลายและประสบความสำเร็จในการฟื้นฟูป่าเสื่อมสภาพ (reforestation) ในบางพื้นที่ของเขตต่าง ๆ เช่น แนวเขตอุตสาหกรรมในจังหวัดฮอกไกโดถึงพื้นที่ป่ากึ่งเขตร้อน (subtropical forest) ในจังหวัดโอกินาว่า ประเทศญี่ปุ่น จังหวัดกาลิมันตัน ประเทศอินโดนีเซีย และรัฐซาราวัก ประเทศมาเลเซีย เป็นต้น (Miyawaki, 1999) ทั้งนี้การสร้างป่านิเวศสามารถก่อให้เกิดการเข้าสู่ระบบนิเวศที่ใกล้เคียงกับระบบนิเวศเดิมได้อย่างรวดเร็วและมีความยั่งยืนรวมไปถึงความยืดหยุ่น (resilience) ในการรักษาเสถียรภาพของระบบที่มีค่าสูง (Peterson, Allen and Holling, 1998) จึงทำให้การสร้างป่านิเวศสามารถสร้างระบบนิเวศป่าให้มีความคล้ายคลึงกับระบบนิเวศเดิมตามธรรมชาติได้



ภาพที่ 3 การเปรียบเทียบสังคมพืชและการประมาณระยะเวลาที่สังคมพืชดำเนินเข้าสู่สังคมพืชขั้นสุดท้ายระหว่างกระบวนการเกิดสังคมพืชที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติและวิธีการปลูกแบบมิยาวากิ (Miyawaki, 2004)

3. บทบาทของระบบนิเวศที่มนุษย์สร้างขึ้นในวัฏจักรคาร์บอนและธาตุอาหาร

วัฏจักรคาร์บอนและธาตุอาหารเป็นหนึ่งในกระบวนการทางนิเวศวิทยาที่สำคัญ สังคมพืชเป็นตัวกลางที่สำคัญในการดำเนินของพลวัตคาร์บอนและธาตุอาหาร กระบวนการหมุนเวียนของคาร์บอนเริ่มต้นจากคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศที่ถูกตรึงเพื่อใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงโดยได้ผลผลิตเป็นมวลชีวภาพและสะสมในโครงสร้างต่าง ๆ ของพืชในส่วนใบ ลำต้นและรากและอื่น ๆ นอกจากนี้พืชจำเป็นต้องใช้ธาตุอาหารในการเจริญเติบโตและสะสมในส่วนต่าง ๆ ด้วยกระบวนการที่ต่างกันตามชนิดของพืช เช่น การตรึงไนโตรเจนของพืชตระกูลถั่ว เป็นต้น เมื่อส่วนต่าง ๆ ของพืชตายลงหรือร่วงหล่นจะมีการถ่ายทอดคาร์บอนธาตุอาหารสะสมในเนื้อเยื่อสู่ดิน อาจกล่าวได้ว่าซากพืชที่ร่วงหล่นมีบทบาทสำคัญในกระบวนการข้างต้น โดยเมื่อซากพืชร่วงหล่นและสะสมบริเวณพื้นป่าจะถูกทำให้แตกเป็นชิ้นเล็ก ๆ และย่อยสลายเป็นอินทรียวัตถุโดยจุลินทรีย์และการบริโภคของสัตว์หน้าดิน (fauna consumption) ทั้งนี้การย่อยสลายขึ้นกับอุณหภูมิและความชื้นในชั้นซากพืช (Sierra et al., 2015) กระบวนการย่อยสลายนี้เป็นกลไกสำคัญในการปล่อยคาร์บอนและธาตุอาหารสู่ดินและอากาศ ทำให้เกิดการหมุนเวียนคาร์บอนและธาตุอาหารในระบบนิเวศ

ด้วยกระบวนการข้างต้นจึงทำให้ระบบนิเวศป่าจึงมีบทบาทช่วยลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ (Katayama, 2016) อัตราการปลอดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 emission rate) ที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากกระบวนการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง (Ang and Su, 2016) อีกทั้งก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ก่อให้เกิดสภาวะเรือนกระจกอันส่งผลให้เกิดภาวะโลกร้อน อีกทั้งปัญหาพื้นที่ดินเสื่อมโทรมที่เกิดจากการขาดธาตุอาหารหรือระบบนิเวศถูกทำลายส่งผลให้มนุษย์ไม่สามารถใช้ประโยชน์จากพื้นที่ป่าธรรมชาติได้ ระบบนิเวศป่าจึงมีส่วนช่วยในการปรับปรุงสภาพดินที่เกิดจากการหมุนเวียนธาตุอาหาร ตัวอย่าง การปลูกพืชในตระกูลถั่วช่วยเพิ่มปริมาณธาตุไนโตรเจนในดิน (Smith et al., 2016) เป็นต้น อย่างไรก็ตามเนื่องจากความต้องการใช้พื้นที่มากขึ้นเพื่อตอบสนองต่อความต้องการพื้นที่ทางการเกษตรและการขยายตัวของสังคมเมืองส่งผลให้เกิดการลดลงของระบบนิเวศที่มีอยู่ตามธรรมชาติ ด้วยเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้นจึงทำให้มนุษย์คิดค้นระบบนิเวศรูปแบบต่าง ๆ เพื่อทดแทนระบบนิเวศเดิมเพื่อทำหน้าที่ทางนิเวศวิทยาต่อการหมุนเวียนของวัฏจักรคาร์บอนและธาตุอาหาร ผ่านซากพืชที่ร่วงหล่นส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของอินทรียวัตถุและธาตุอาหารในดิน ที่ช่วยในการปรับปรุงคุณภาพดินต่อการเจริญเติบโตของพืช

บทที่ 3

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการดำเนินงาน

1. วัสดุและอุปกรณ์

1.1 สารเคมี

- สารเคมีสำหรับวิเคราะห์ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน (Walkley Black titration method) (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553)

1.2 วัสดุและอุปกรณ์

- กระบะรองรับซากพืช (litter trap) ขนาด 50 x 50 ตารางเซนติเมตร สูง 70 เซนติเมตรและตาข่ายรองรับซากพืช ขนาด 20 x 30 ตารางเซนติเมตร ทำจากตาข่ายไฟเบอร์กลาสขนาดตา 2 มิลลิเมตร
- ก้านวัดระดับความสูงของชั้นซากพืชที่ร่วงหล่น
- อุปกรณ์สำหรับเก็บซากพืชที่สะสมบนพื้นดิน (ถุงผ้า กรรไกรตัดกิ่ง มีดขนาดเล็ก)
- soil core ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านใน 5 เซนติเมตร สูง 3 เซนติเมตร
- เทอร์โมมิเตอร์ รุ่น H-1 73080 (Kanamono YaSan, Japan) สำหรับวัดอุณหภูมิดิน
- เวอร์เนียคาลิปเปอร์ (vernier caliper)
- สถานีตรวจวัดสภาพอากาศ weather station รุ่น SpecWare 9 (Spectrum Technologies, USA)
- pH meter รุ่น Seven-Compact S220 (Mettler-Toledo AG, Switzerland) สำหรับวัดความเป็นกรดด่างของดิน
- เทปวัดเส้นผ่านศูนย์กลาง (diameter tape)
- เทปวัดระยะความยาว 50 เมตร (measurement tape)

2. วิธีการดำเนินงาน

2.1 พื้นที่ศึกษา

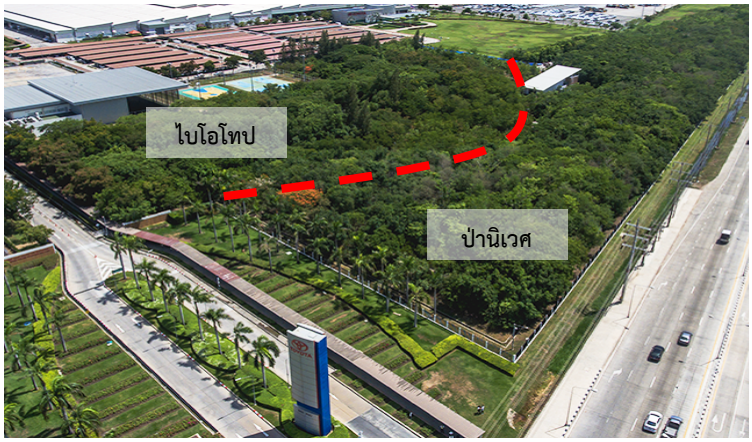
พื้นที่ศึกษาอยู่ภายใต้โครงการศูนย์การเรียนรู้ความหลากหลายทางชีวภาพและความยั่งยืน “ชีวพนาเวศ” (Toyota Biodiversity and Sustainability Learning Center) ตั้งอยู่ในบริเวณโรงงานโตโยต้า บ้านโพธิ์ ตำบลลาดขวาง อำเภอบ้านโพธิ์ จังหวัดฉะเชิงเทรา (13°36'45.5"N 101°01'30.6"E) ดังแสดงในภาพที่ 4 โครงการนี้เริ่มดำเนินการตั้งแต่ปี พ.ศ. 2551 อยู่ภายใต้ความดูแลของบริษัท โตโยต้า มอเตอร์ ประเทศไทย จำกัด ร่วมกับมูลนิธิสิ่งแวดล้อมศึกษาเพื่อการพัฒนาอย่างยั่งยืน (ประเทศไทย) ครอบคลุมเนื้อที่ทั้งสิ้น 60 ไร่ ประกอบด้วยระบบนิเวศที่มนุษย์สร้างขึ้นสองรูปแบบ ได้แก่ พื้นที่ป่านิเวศ 30 ไร่ และพื้นที่ไบโอโทปหรือแหล่งเรียนรู้เชิงนิเวศ 30 ไร่ (ภาพที่ 4) ซึ่งลักษณะระบบนิเวศทั้งสองรูปแบบมีความแตกต่างกันเนื่องจากมีวิธีการปลูกที่ต่างกันดังนี้

ป่านิเวศ (Ecoforest)

เป็นระบบนิเวศที่มีลักษณะใกล้เคียงกับระบบนิเวศตามธรรมชาติในพื้นที่นั้น ๆ ซึ่งเป็นการปลูกป่านิเวศตามหลักการของศาสตราจารย์ ดร.อาคิระ มิยาวากิ การปลูกป่าด้วยวิธีนี้คาดว่าจะช่วยลดระยะเวลาในการสร้างระบบนิเวศป่าได้โดยอาศัยหลักการทางนิเวศวิทยา โดยมีการปรับปรุงดินและสร้างเป็นเนินดินก่อนปลูกพืช เพิ่มความชื้นและอินทรียวัตถุในดินโดยใช้ฟางเป็นวัสดุคลุมดิน ในช่วง 3 ปีแรกของการปลูกป่า พันธุ์ไม้ที่ปลูกเป็นพันธุ์ไม้ท้องถิ่น เริ่มปลูกโดยใช้กล้าไม้ที่เพาะจากเมล็ด มีการกำหนดความหนาแน่นของกล้าไม้ โดยเว้นระยะปลูกห่าง 1 เมตรต่อต้นและปลูกพันธุ์ไม้หลาย ๆ ชนิดปะปนกันแบบสุ่ม ตัวอย่างพันธุ์ไม้ในพื้นที่ป่านิเวศ เช่น ยางนา (*Dipterocarpus alatus* Roxb.) ไทรย้อย (*Ficus benjamina* Linn.) ตะเคียนทอง (*Hopea odorata* Roxb.) มะกล่ำต้น (*Adenanthera pavonina* Linn.) มะเกลือ (*Diospyros mollis* Griff.) เป็นต้น

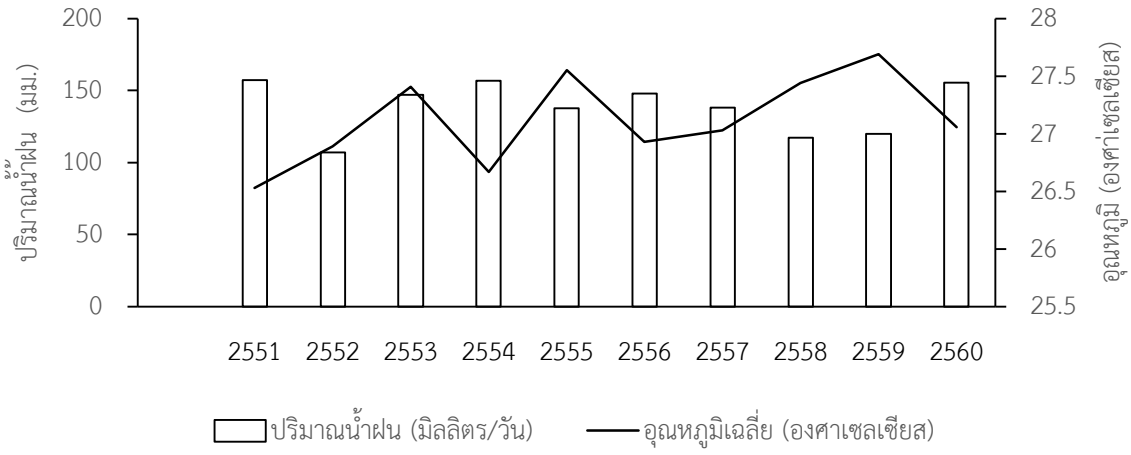
ไบโอโทป (Biotope)

คือการสร้างถิ่นที่อยู่อาศัยของสิ่งมีชีวิตโดยมนุษย์เป็นผู้สร้างเลียนแบบธรรมชาติโดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อเป็นแหล่งเรียนรู้เกี่ยวกับสังคมพืชรูปแบบต่าง ๆ ในพื้นที่ศึกษาแบ่งออกเป็น 3 สังคมพืช ได้แก่ ไบโอโทปสังคมพืชป่าดิบ ไบโอโทปสังคมพืชป่าเบญจพรรณ และไบโอโทปพื้นที่ชุ่มน้ำ แต่ในการศึกษานี้เลือกพื้นที่ไบโอโทปป่าดิบเนื่องจากมีสังคมพืชที่ใกล้เคียงกับป่านิเวศมากที่สุด

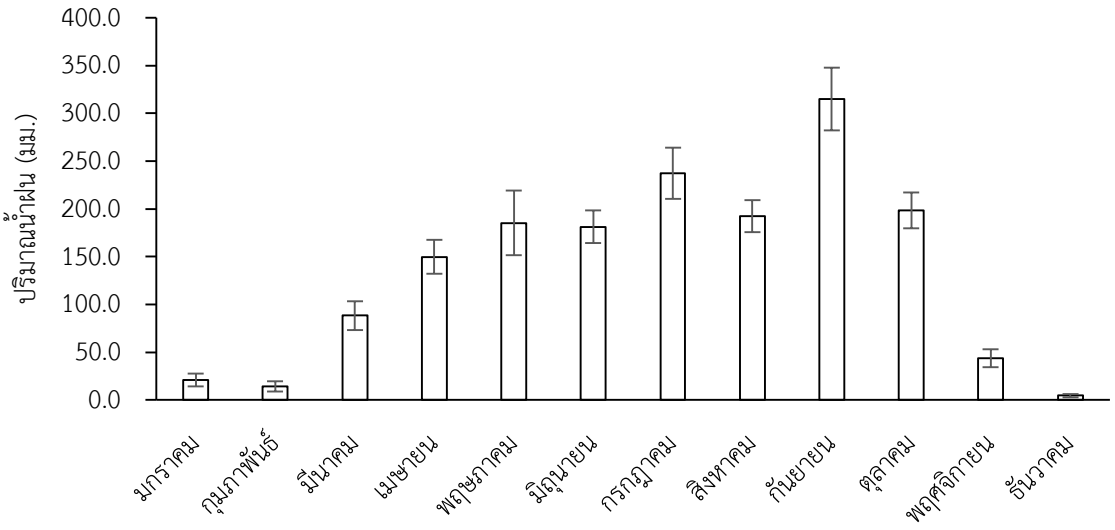


ภาพที่ 4 พื้นที่ศึกษาบริเวณศูนย์ชีวพนาเวศ ภายในพื้นที่ของโรงงานโตโยต้า บ้านโพธิ์ ตำบลลาดขวาง อำเภอบ้านโพธิ์ จังหวัดฉะเชิงเทรา (ที่มา: map.google.com)

ข้อมูลสภาพภูมิอากาศของพื้นที่ศึกษาจากสถานีตรวจอากาศในบริเวณใกล้เคียง ณ สถานีตรวจอากาศฉะเชิงเทรา กรมอุตุนิยมวิทยาในช่วงปี พ.ศ. 2551 – 2560 พบว่ามีอุณภูมิเฉลี่ย 27.1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 79.2 % ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยเท่ากับ xxx มิลลิเมตร/วัน (ภาพที่ 5) และปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปีเท่ากับ 1661.9 มิลลิเมตร โดยปริมาณน้ำฝนช่วงฤดูฝน (เดือนพฤษภาคม-ตุลาคม) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1309.83 มิลลิเมตร โดยคิดเป็นร้อยละ 80.25 ของปริมาณน้ำฝนทั้งหมด และปริมาณฝนในฤดูแล้ง (เดือนพฤศจิกายน-เมษายน) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 322.29 มิลลิเมตร คิดเป็นร้อยละ 19.74 ของปริมาณน้ำฝนทั้งหมด (ภาพที่ 6)



ภาพที่ 5 อุณหภูมิเฉลี่ยและปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายวันของจังหวัดฉะเชิงเทรา ในช่วง พ.ศ. 2551 – 2560 จากสถานีตรวจอากาศฉะเชิงเทรา (กรมอุตุนิยมวิทยา, ประเทศไทย)

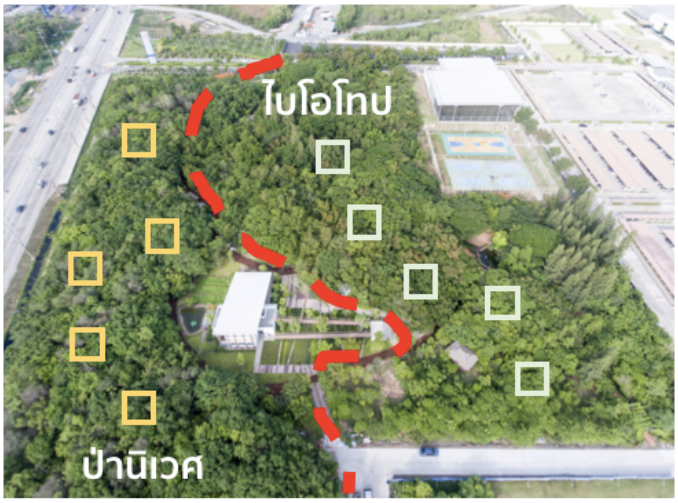


ภาพที่ 6 ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือนจังหวัดฉะเชิงเทรา ในช่วง พ.ศ. 2551 – 2560 จาก สถานีตรวจอากาศฉะเชิงเทรา (กรมอุตุนิยมวิทยา, ประเทศไทย)

2.2 การวางแปลงศึกษา

ทำการวางแปลงศึกษาแบบสุ่ม (random sampling) ในพื้นที่ป่านิเวศและไบโอโทปป่าดิบ จำนวน 5 แปลงต่อระบบนิเวศ (ภาพที่ 7ก) แปลงศึกษามีขนาด 5x5 ตารางเมตร ซึ่งไบโอโทปป่าดิบมีสังคมพืชใกล้เคียงกับป่านิเวศมากที่สุดเมื่อเทียบกับไบโอโทปประเภทอื่น ทำการบันทึกข้อมูล 2 ครั้ง คือ เมื่อเริ่มศึกษา (เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2561) และเมื่อสิ้นสุดการศึกษา (เดือนมกราคม พ.ศ. 2562) โดยข้อมูลที่บันทึกประกอบด้วย ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระดับอกที่ระดับ 1.3 เมตร (diameter at breast height, DBH) ของไม้ต้นที่มีขนาดมากกว่า 4.5 เซนติเมตร ชนิดของไม้ต้น จำนวนต้นต่อชนิด และตำแหน่งไม้ต้นทุกต้นในแปลงศึกษา จัดทำแผนที่ต้นไม้ในแต่ละแปลงศึกษา วิเคราะห์โครงสร้างสังคมพืช โดยการคำนวณค่าดัชนีความสำคัญ (Important Value Index, IVI) ความหนาแน่นของไม้ต้น และพื้นที่หน้าตัดรวมของลำต้น (basal area) รวมถึงคำนวณค่าเส้นผ่านศูนย์กลางระดับอก (DBH) ที่เพิ่มขึ้นเมื่อสิ้นสุดการทดลอง

ก)



ข)

ค)

ภาพที่ 7 แปลงศึกษาในพื้นที่ศึกษาบริเวณศูนย์ชีวพนาเวศ ใน ป่านิเวศจำนวน 5 แปลงและไบโอโทปป่าดิบจำนวน 5 แปลง (ก) (ที่มา: https://www.toyota.co.th) สภาพสังคมพืชในป่านิเวศ (ข) และสังคมพืชในไบโอโทปป่าดิบ (ค)

2.3 ซากพืชที่ร่วงหล่น (litterfall)

ติดตั้งกระบะรองรับซากพืช (litter trap) ทำด้วยท่อพีวีซี ขนาด 50 x 50 ตารางเซนติเมตร สูงจากพื้นดิน 70 เซนติเมตร จำนวน 3 กระบะต่อแปลงศึกษา (ภาพที่ 8) เก็บซากพืชที่ร่วงหล่นในกระบะรองรับซากพืชทุกเดือน (ตั้งแต่เดือนมิถุนายน 2561 ถึงเดือนมกราคม 2562) แล้วนำตัวอย่างซากพืชไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนกว่าน้ำหนักคงที่แล้วจึงชั่งน้ำหนักแห้งเพื่อคำนวณปริมาณซากพืชที่ร่วงหล่นในหน่วยกรัมต่อเดือน

2.4 ซากพืชที่ร่วงหล่นที่สะสมบนพื้นป่า (litter accumulation)

วัดความสูงของชั้นซากพืชที่ร่วงหล่นที่สะสมบนพื้นป่าด้วยก้านวัดระดับ (Kaspari and Yanoviak, 2008) และเก็บซากพืชที่ร่วงหล่นที่สะสมบนพื้นป่าในพื้นที่ขนาด 20x30 ตารางเซนติเมตร โดยใช้มีดตัดบริเวณรอบ ๆ ให้ได้ขนาดที่ต้องการ ทำการเก็บซากพืชจนถึงชั้นอินทรียวัตถุ โดยไม่รวมซากพืชขนาดเล็กกว่า 1 x 1 ตารางเซนติเมตรที่จัดว่าเป็นอินทรียวัตถุ (Rodtassana, 2016) (ภาพที่ 9ก) แล้วทำการติดตั้งตาข่ายรองรับซากพืช ขนาด 20 x 30 ตารางเซนติเมตร ขนาดตา 2 มิลลิเมตร จำนวน 3 จุดต่อแปลงศึกษา โดยวางแนบกับผิวดินแล้วตรึงด้วยหมุด (ภาพที่ 9ข) เก็บซากพืชที่สะสมอยู่บนตาข่ายเดือนละหนึ่งครั้ง (ตั้งแต่เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2561 ถึงเดือนมกราคม พ.ศ. 2562) แล้วนำซากพืชไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนกว่าน้ำหนักคงที่แล้วชั่งน้ำหนักแห้งเพื่อหาปริมาณซากพืชที่สะสมบนพื้นป่า

ภาพที่ 8 กระบะรองรับซากพืช (litter trap) และตาข่ายรองรับซากพืชบนพื้นดิน สำหรับรองรับซากพืชที่ร่วงหล่นในแปลงศึกษา

ก)

ข)

ภาพที่ 9 การเก็บซากพืชที่ร่วงหล่นที่สะสมบนพื้นป่า (ก) และตาข่ายรองรับซากพืช (ข)

2.5 อัตราการย่อยสลายของซากพืชที่ร่วงหล่น (litter decomposition)

ศึกษาอัตราการย่อยสลายซากพืชโดยใช้วิธี litter bag (Olson, 1963) โดยเก็บใบที่ร่วงหล่นจากต้นได้ไม่นาน (fresh leaf litter) จากพื้นที่ศึกษาในบริเวณที่ใกล้เคียงกับแปลงศึกษา แล้วนำมาผึ่งให้แห้งเป็นเวลา 2 สัปดาห์ จากนั้นบรรจุซากพืชปริมาณ 5 กรัมในถุงที่ทำจากตาข่ายไนลอน ขนาด 20 x 20 เซนติเมตร ขนาดตา 2 มิลลิเมตร จำนวนทั้งหมด 50 ถุง ทำการติดตั้งถุงซากพืช จำนวน 5 ถุงต่อแปลงศึกษา ในเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2561 โดยยึดถุงซากพืชด้วยตะปูทั้ง 4 มุมกับพื้นดินเพื่อไม่ให้ถูกลมพัดหรือถูกเคลื่อนย้ายระหว่างทำการศึกษา (ภาพที่ 10)

เก็บถุงซากพืชแปลงละหนึ่งถุงหลังจากวางถุงซากพืชเป็นเวลา 1, 2, 3, 4 และ 6 สัปดาห์ แล้วนำมาแยกซากพืชที่เหลืออยู่ในถุง ล้างดินออกด้วยน้ำประปาที่ไหลผ่านซากพืชบนตะแกรงตาถี่ 2 มิลลิเมตร แล้วนำซากพืชไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสจนน้ำหนักคงที่ แล้วชั่งน้ำหนักแห้ง เพื่อคำนวณหาอัตราการย่อยสลายจากสมการ exponential decay model (Olson, 1963) ดังนี้

$$y = 100e^{-kt}$$

เมื่อ y = น้ำหนักที่คงเหลือในถุงซากพืช (%)

k = สัมประสิทธิการย่อยสลาย decay coefficient (วัน$^{-1}$)

t = ระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง (วัน)

นำค่าสัมประสิทธิการย่อยสลาย (k) ที่ได้มาคำนวณค่าครึ่งชีวิตของการย่อยสลายของซากพืช ($T_{0.50}$) ด้วยสมการ 0.693/k และคำนวณหาอัตราการย่อยสลาย (K) ต่อปีโดยคำนวณจากสูตร 365*k (Olson, 1963)

ก) ข)

ภาพที่ 10 ถุงซากพืชที่ติดตั้งในแปลงศึกษา (ก) และถุงซากพืชที่ใช้การทดลอง (ข)

2.6 การเก็บตัวอย่างดิน

เก็บตัวอย่างดินเมื่อเริ่มต้นและสิ้นสุดการศึกษาด้วย soil core ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 5 เซนติเมตร ที่ระดับความลึก 5 เซนติเมตร (ภาพที่ 11) จำนวน 3 ตัวอย่างต่อแปลงศึกษา รวมจำนวนทั้งสิ้น 30 ตัวอย่าง นำดินมาผึ่งให้แห้งในที่ร่ม บดและร่อนผ่านตะแกรงขนาดตาถี่ 2 มิลลิเมตร เพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์คุณสมบัติของดิน

ภาพที่ 11 การเก็บตัวอย่างดินด้วย soil core ที่ระดับความลึก 5 เซนติเมตร

2.7 ปัจจัยสิ่งแวดล้อม

วัดอุณหภูมิของดินด้วยเทอร์โมมิเตอร์ที่ระดับความลึก 0-10 เซนติเมตรทุกเดือน จำนวน 3 จุดต่อแปลงศึกษา นอกจากนี้บันทึกข้อมูลสภาพภูมิอากาศอย่างต่อเนื่องด้วยสถานีตรวจวัดสภาพภูมิอากาศ (weather station รุ่น SpecWare 9) ดังภาพที่ 12 ข้อมูลสภาพภูมิอากาศที่บันทึก ได้แก่ ความชื้นในอากาศ ปริมาณน้ำฝน ความชื้นในดิน อุณหภูมิอากาศ ความเร็วลม และทิศทางลม โดยบันทึกข้อมูลรายวัน

ภาพที่ 12 สถานีตรวจวัดสภาพภูมิอากาศ (weather station รุ่น SpecWare 9)

3. การวิเคราะห์ข้อมูล

3.1 การวิเคราะห์โครงสร้างสังคมพืช

จากการบันทึกข้อมูลพันธุ์ไม้นำมาคำนวณความหนาแน่นต้นไม้ โดยการใช้สมการดังนี้

$$\text{ความหนาแน่นของต้นไม้ (ต้น/ตารางเมตร)} = \frac{\text{จำนวนต้นไม้ที่พบ}}{\text{พื้นที่แปลงศึกษาทั้งหมด}}$$

จากนั้นวิเคราะห์พันธุ์ไม้เด่นโดยใช้ค่าดัชนีความสำคัญ (Important Value Index, IVI) ซึ่งใช้สมการในการคำนวณดังนี้ (Chapman, 1976)

ดัชนีความสำคัญ = ความหนาแน่นสัมพัทธ์ (R_{de}) + ความถี่สัมพัทธ์ (R_f) + ความเด่นสัมพัทธ์ (R_{do})

$$\text{ร้อยละความหนาแน่นสัมพัทธ์ } (R_{de}) = \frac{\text{ความหนาแน่นของต้นไม้ชนิดหนึ่ง} \times 100}{\text{ผลรวมความหนาแน่นของต้นไม้ทุกชนิด}}$$

$$\text{ความถี่ของต้นไม้ชนิดหนึ่ง} = \frac{\text{จำนวนแปลงตัวอย่างที่ชนิดไม้นั้นปรากฏ}}{\text{จำนวนแปลงทั้งหมด}}$$

$$\text{ร้อยละความถี่สัมพัทธ์ } (R_f) = \frac{\text{ความถี่ของต้นไม้ชนิดหนึ่ง} \times 100}{\text{ความถี่ของต้นไม้ทุกชนิด}}$$

$$\text{ร้อยละความเด่นสัมพัทธ์ } (R_{de}) = \frac{\text{ผลรวมพื้นที่หน้าตัดลำต้นของต้นไม้ชนิดหนึ่ง} \times 100}{\text{พื้นที่หน้าตัดทั้งหมด}}$$

นอกจากนั้นวิเคราะห์ค่าดัชนีทางนิเวศวิทยาโดยคำนวณดังสมการต่อไปนี้

ดัชนีความหลากชนิด (Species diversity index) โดยใช้

$$\text{Shannon-Wiener diversity index (H')} = -\sum_{i=1}^{s} P_i * \ln(P_i)$$

เมื่อ Pi คือสัดส่วนของจำนวนไม้ต้นชนิดที่ *i* ต่อจำนวนไม้ต้นทั้งหมด

S คือจำนวนชนิดของพันธุ์ไม้ทั้งหมด

ดัชนีความเท่าเทียม (Species evenness index) โดยใช้

$$\text{Pielou's evenness index (J')} = H'/\ln S$$

3.2 การวิเคราะห์ตัวอย่างในห้องปฏิบัติการ

วัดความชื้นของดินโดยชั่งน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของตัวอย่างดินที่เก็บจากแปลงศึกษา (เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2561 และเดือนมกราคม พ.ศ. 2562) คำนวณค่าความชื้นของดินได้จากสมการดังนี้

$$\text{ความชื้นของดิน (ร้อยละ)} = \frac{\text{น้ำหนักสด} - \text{น้ำหนักแห้ง}}{\text{น้ำหนักสด}} \times 100$$

วัดสภาพความเป็นกรดด่างของดินโดยนำตัวอย่างดินมาละลายในน้ำกลั่นในอัตราส่วน 1:2 แล้ววัดค่าด้วย pH meter และวัดปริมาณอินทรียวัตถุในดิน (organic matter) ด้วยวิธี Walkley Black chromic acid wet oxidation method (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553)

3.3 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ใช้โปรแกรม SPSS เวอร์ชั่น 22 เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ได้แก่ อิทธิพลของชนิดระบบนิเวศต่อปริมาณซากพืชที่ร่วงหล่น ปริมาณซากพืชที่สะสมบนพื้นป่า ความสูงของชั้นซากพืชที่ปกคลุมดิน อัตราการย่อยสลายของซากพืชที่ร่วงหล่น และอินทรียวัตถุในดินด้วย independent t-test และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของซากพืชที่ร่วงหล่นต่อสภาพดิน โดยวิเคราะห์จากข้อมูลซากพืชที่ร่วงหล่น (ปริมาณซากพืชที่ร่วงหล่น ปริมาณซากพืชที่สะสมบนพื้นป่า ความสูงของชั้นซากพืชที่ปกคลุมดิน อัตราการย่อยสลายของซากพืชที่ร่วงหล่น) และสมบัติดิน (ความเป็นกรด ด่าง อุณหภูมิดิน ความชื้นดิน อินทรียวัตถุในดิน) ด้วย Pearson's correlation

บทที่ 4

ผลการศึกษา

1. โครงสร้างสังคมพืชในระบบนิเวศที่มนุษย์สร้างขึ้น

โครงสร้างสังคมพืชเมื่อเริ่มการศึกษา (เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2561)

สังคมพืชในแปลงศึกษาป่านิเวศพบไม้ต้นทั้งหมด 10 ชนิด จัดอยู่ใน 9 วงศ์ (ตารางที่ 1) มีความหนาแน่นของไม้ต้นเท่ากับ 0.65 ต้น/ตารางเมตร จากการคำนวณค่าดัชนีความหลากชนิด (H') พบว่ามีค่าเท่ากับ 1.42 และค่าดัชนีความเท่าเทียม (J') มีค่าเท่ากับ 0.14 เมื่อพิจารณาองค์ประกอบของชนิดพบว่าพันธุ์ไม้เด่นคือตะเคียน (*Hopea odorata* Roxb.) โดยมีค่าดัชนีความสำคัญเท่ากับ 88.60 โดยมีค่าความถี่สัมพัทธ์และความหนาแน่นสัมพัทธ์สูงที่สุด คือ 23.81 และ 54.32 ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาพื้นที่หน้าตัดรวมของลำต้นพบว่ามะกล่ำต้น (*Adenanthera pavonina* Linn) มีค่ามากที่สุดคิดเป็น 1759.48 ตารางเซนติเมตร ดังนั้นพันธุ์ไม้ทั้งสองชนิดจึงมีอิทธิพลต่อพื้นที่มากและมีความสำคัญทางนิเวศวิทยามากในสังคมพืชแห่งนี้ นอกจากนี้ยังพบว่ายางนา (*Dipterocarpus alatus* Roxb.) มีค่าดัชนีความสำคัญเท่ากับ 56.44 จึงเป็นพันธุ์ไม้ที่มีอิทธิพลต่อพื้นที่ป่านิเวศนี้มากเช่นกัน

สังคมพืชในแปลงศึกษาไบโอโทปป่าดิบพบพันธุ์ไม้ทั้งหมด 9 ชนิด จัดอยู่ใน 8 วงศ์ (ตารางที่ 1) สังคมพืชแห่งนี้มีความหนาแน่นของไม้ต้นเท่ากับ 0.41 ต้น/ตารางเมตร จากการคำนวณค่าดัชนีความหลากชนิด (H') มีค่าเท่ากับ 1.85 และค่าดัชนีความเท่าเทียม (J') มีค่าเท่ากับ 0.19 เมื่อพิจารณาองค์ประกอบของชนิด (species composition) พบว่าไม้ต้นที่มีอิทธิพลต่อแปลงศึกษามาก ได้แก่ พิกุล (*Mimusops elengi* Linn.) โดยมีค่าดัชนีความสำคัญเท่ากับ 87.31 มีความหนาแน่นสัมพัทธ์และความเด่นสัมพัทธ์มากที่สุดคือ 39.22 และ 29.34 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาจากค่าความถี่สัมพัทธ์ ความหนาแน่นสัมพัทธ์ และความเด่นถี่สัมพัทธ์พบว่าประดู่ (*Pterocarpus macrocarpus* Kurz) มีค่ามากกว่าชนิดอื่น ๆ เท่ากับ 25.00 23.53 และ 21.42 ตามลำดับ ส่งผลให้มีค่าดัชนีความสำคัญเป็นอันดับที่สอง นอกจากนั้นยังพบว่าน้ำเต้าต้น (*Crescentia cujete* L.) นนทรี (*Peltophorum pterocarpum* Back.) และขี้เหล็ก (*Cassia siamea* Britt.) เป็นไม้เด่นร่วมโดยมีค่าดัชนีความสำคัญคือ 37.46 33.20 และ 26.97 ตามลำดับ (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 ชนิดและค่าสถิติทางนิเวศวิทยาของพืชที่พบในสังคมพืชป่านิเวศ (Ecoforest) และไบโอโทปป่าดิบ (Biotope) ในช่วงเริ่มการศึกษา (พฤษภาคม พ.ศ. 2561)

	ชื่อวิทยาศาสตร์	ชื่อท้องถิ่น	ความหนาแน่นไม้ต้น (ต้น/ตารางเมตร)	พื้นที่หน้าตัดลำต้น (ตารางเซนติเมตร)	ความถี่สัมพัทธ์ (R_f)	ความหนาแน่นสัมพัทธ์ (R_{de})	ความเด่นสัมพัทธ์ (R_{do})	ดัชนีความสำคัญ (IVI)
ป่านิเวศ (Ecoforest)	*Hopea odorata* Roxb .	ตะเคียนทอง	0.336	321.99	23.81	54.32	10.47	88.60
	Adenanthera pavonina Linn.	มะกล่ำต้น	0.080	1759.48	19.05	12.35	57.21	88.60
	Dipterocarpus alatus Roxb.	ยางนา	0.128	261.37	19.05	19.75	8.50	47.30
	Streblus asper Lour.	ข่อย	0.032	305.67	4.76	4.94	9.94	19.64
	Ficus annulata Bl.	ไทร	0.008	226.87	4.76	1.23	7.38	13.37
	Diospyros mollis Griff.	มะเกลือ	0.024	20.26	9.52	2.47	0.66	12.65
	Ficus Benjamina Linn.	ไทรย้อย	0.008	174.28	4.76	1.23	5.67	11.66
	Azadirachta indica Juss.	สะเดา	0.008	2.27	4.76	1.23	0.07	6.07
	unknown	-	0.008	2.01	4.76	1.23	0.07	6.06
	Ardisia polycephala Wall.	พิลังกาสา	0.008	1.54	4.76	1.23	0.05	6.05
	รวม		0.650	3075.73	100.00	100.00	100.00	300.00
ไบโอโทปป่าดิบ (Biotope)	*Mimusops elengi* Linn.	พิกุล	0.160	643.84	18.75	39.22	29.34	87.31
	Pterocarpus macrocarpus Kurz	ประดู่	0.096	469.94	25.00	23.53	21.42	69.95
	Crescentia cujete L.	น้ำเต้าต้น	0.048	289.53	12.5	11.76	13.20	37.46
	Peltophorum pterocarpum Back.	นนทรี	0.040	376.11	6.25	9.80	17.14	33.20
	Cassia siamea Britt.	ขี้เหล็ก	0.024	325.51	6.25	5.88	14.84	26.97
	Alstonia scholaris R. Br.	ตีนเป็ด	0.016	7.07	21.60	3.92	0.98	17.40
	Butea frondosa Roxb.	ทองกวาว	0.008	52.83	6.25	1.96	2.41	10.62
	Cassia fistula Brenan	ราชพฤกษ์	0.008	9.08	6.25	1.96	0.41	8.62
	Tamarindus indica Linn.	มะขาม	0.008	5.73	6.25	1.96	0.26	8.47
	รวม		0.410	2194.44	100.00	100.00	100.00	300.00

โครงสร้างสังคมพืชเมื่อสิ้นสุดการศึกษา (เดือนมกราคม พ.ศ. 2562)

การศึกษาสังคมพืชในแปลงศึกษาป่านิเวศพบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงไปจากเมื่อเริ่มทำการศึกษาโดยพบพันธุ์ไม้ทั้งสิ้น 10 ชนิด จำนวน 9 วงศ์ (ตารางที่ 2) มีความหนาแน่นของต้นไม้เท่ากับ 0.64 ต้น/ตารางเมตร จึงส่งผลให้ค่าดัชนีต่าง ๆ ไม่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยค่าดัชนีความหลากชนิด จากการคำนวณดัชนีความหลากชนิด (H') มีค่าเท่ากับ 1.42 และค่าดัชนีความเท่าเทียม (J') มีค่า 0.14 เมื่อพิจารณาจากค่าดัชนีความสำคัญพบว่ามะกล่ำต้น (*A. pavonina*) และตะเคียน (*H. odorata*) เป็นไม้เด่นเนื่องจากมีค่าสูงที่สุดคือ 89.29 และ 86.79 ตามลำดับ มะกล่ำต้นมีพื้นที่หน้าตัดลำต้น (basal area) มากที่สุดคิดเป็น 1828.11 ตารางเซนติเมตร เมื่อคิดเป็นความค่าความเด่นสัมพัทธ์ (relative dominance) พบว่ามีค่าเท่ากับ 57.75 แต่เมื่อพิจารณาจากค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์พบว่าตะเคียนมีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 0.336 ต้นต่อตารางเมตร นอกจากนี้ยังพบว่ายางนา (*D. alatus*) เป็นไม้เด่นร่วมด้วย โดยมีค่าดัชนีความสำคัญเท่ากับ 47.58 จึงกล่าวได้ว่าพืชทั้งสามชนิดมีอิทธิพลต่อพื้นที่ป่านิเวศมาก (ตารางที่ 2)

การศึกษาสังคมพืชในแปลงศึกษาไบโอโทปป่าดิบพบพันธุ์ไม้ทั้งหมด 9 ชนิด จำนวน 8 วงศ์ (ตารางที่ 2) ซึ่งไม่แตกต่างจากเมื่อเริ่มการศึกษา มีความหนาแน่นของไม้ต้นเท่ากับ 0.40 ต้น/ตารางเมตร ค่าความหลากชนิด (H') เท่ากับ 1.70 และค่าดัชนีความเท่าเทียม (J') มีค่าเท่ากับ 0.19 เมื่อพิจารณาค่าดัชนีความสำคัญพบว่าพิกุล (*M. elemgi*) เป็นพืชที่มีอิทธิพลต่อพื้นที่มากโดยมีค่าเท่ากับ 88.11 มีค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์สูงและพื้นที่หน้าตัดลำต้นรวมมากที่สุด ประดู่ (*P. macrocarpus*) มีค่าความดัชนีความสำคัญรองลงมา โดยมีค่าเท่ากับ 67.70 เนื่องจากมีค่าความถี่สัมพัทธ์ ความหนาแน่นสัมพัทธ์ และความเด่นสัมพัทธ์สูงเมื่อเทียบกับพืชชนิดอื่น อย่างไรก็ตามยังพบไม้เด่นชนิดอื่น ๆ ในพื้นที่ศึกษาได้แก่ น้ำเต้าต้น (*C. cujete*) นนทรี (*P. pterocarpum*) และขี้เหล็ก (*C. siamea*) โดยมีค่าดัชนีความสำคัญคือ 37.40 29.95 และ 26.81 ตามลำดับ (ตารางที่ 2)

อย่างไรก็ตามพบว่าพืชในสังคมพืชทั้งสองมีการเติบโตของพื้นที่หน้าตัดลำต้นรวมเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 0.013 ตารางเมตรโดยพบว่าในป่านิเวศและไบโอโทปป่าดิบมีมีการเติบโตของพื้นที่หน้าตัดลำต้นรวมเพิ่มขึ้น 0.009 และ 0.018 ตารางเมตรตามลำดับ

ตารางที่ 2 ชนิดและค่าสถิติทางนิเวศวิทยาของพืชที่พบในสังคมพืชป่านิเวศ (Ecoforest) และไบโอโทปป่าดิบ (Biotope) เมื่อสิ้นสุดการศึกษา (มกราคม พ.ศ. 2562)

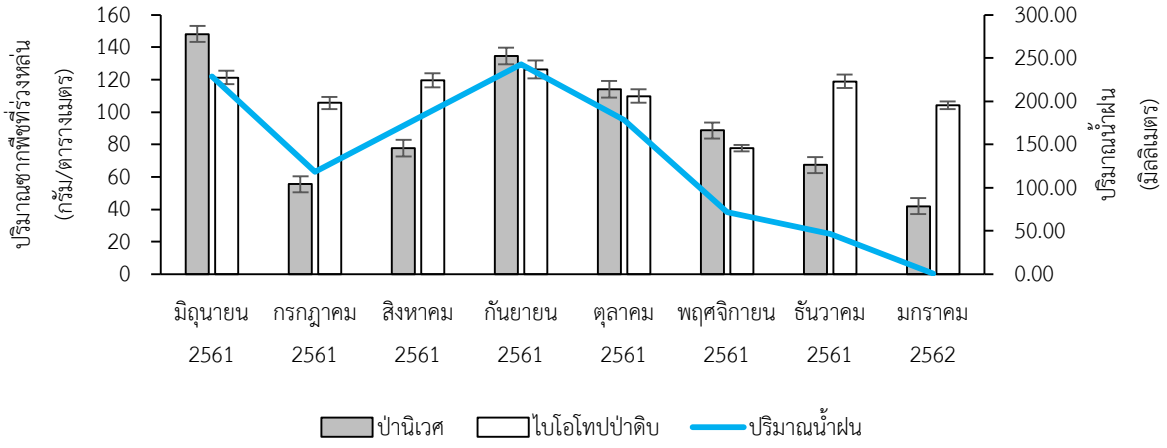
	ชื่อวิทยาศาสตร์	ชื่อท้องถิ่น	ความหนาแน่นไม้ต้น (ต้น/ตารางเมตร)	พื้นที่หน้าตัดลำต้น (ตารางเซนติเมตร)	ความถี่สัมพัทธ์ (Rf)	ความหนาแน่นสัมพัทธ์ (Rde)	ความเด่นสัมพัทธ์ (Rdo)	ดัชนีความสำคัญ (IVI)
Ecoforest	*Adenanthera pavonina* Linn.	มะกล่ำต้น	0.080	1828.11	19.05	12.50	57.75	89.30
	Hopea odorata Roxb .	ตะเคียนทอง	0.336	331.81	23.81	52.50	10.48	86.79
	Dipterocarpus alatus Roxb.	ยางนา	0.128	270.29	19.05	20.00	8.54	47.59
	Streblus asper Lour.	ข่อย	0.032	303.3	4.76	5.00	9.58	19.34
	Diospyros mollis Griff.	มะเกลือ	0.024	21.41	9.52	3.75	0.68	13.95
	Ficus annulata Bl.	ไทร	0.008	227.07	4.76	1.25	7.17	13.18
	Ficus Benjamina Linn.	ไทรย้อย	0.008	176.79	4.76	1.25	5.58	11.60
	Ardisia polycephala Wall.	พิลังกาสา	0.008	2.55	4.76	1.25	0.08	6.09
	Azadirachta indica Juss.	สะเดา	0.008	2.27	4.76	1.25	0.07	6.08
	unknown	-	0.008	2.01	4.76	1.25	0.06	6.08
	รวม		0.640	3162.72	100.00	100.00	100.00	300.00
Biotope	*Mimusops elengi* Linn.	พิกุล	0.160	681.14	20.00	40.00	28.11	88.11
	Pterocarpus macrocarpus Kurz	ประดู่	0.096	342.74	20.00	24.00	23.7	67.70
	Crescentia cujete L.	น้ำเต้าต้น	0.048	574.37	13.33	12.00	12.07	37.40
	Peltophorum pterocarpum Back.	นนทรี	0.032	292.40	6.67	8.00	15.28	29.95
	Cassia siamea Britt.	ขี้เหล็ก	0.024	49.80	6.67	6.00	14.14	26.81
	Alstonia scholaris R. Br.	ตีนเป็ด	0.016	97.60	13.33	4.00	4.11	21.44
	Butea frondosa Roxb.	ทองกวาว	0.008	370.33	6.67	2.00	1.97	10.64
	Cassia fistula Brenan	ราชพฤกษ์	0.008	9.08	6.67	2.00	0.37	9.04
	Tamarindus indica Linn.	มะขาม	0.008	5.73	6.67	2.00	0.24	8.90
	รวม		0.400	2371.23	100.00	100.00	100.00	300.00

2. ซากพืชที่ร่วงหล่นในระบบนิเวศที่มนุษย์สร้างขึ้น

ปริมาณซากพืชที่ร่วงหล่น (litterfall)

ปริมาณซากพืชที่ร่วงหล่นเฉลี่ยรายปีในป่านิเวศและไบโอโทปป่าดิบมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (t=2.533 , P=0.012) โดยค่าเฉลี่ยของปริมาณซากพืชที่ร่วงหล่นในป่านิเวศมีค่าน้อยกว่าไบโอโทปป่าดิบเท่ากับ 89.99 ± 5.98 กรัม/ตารางเมตร/เดือน และ 110.23 ± 5.30 กรัม/ตารางเมตร/เดือน ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาปริมาณซากพืชที่ร่วงหล่นรายเดือน (มิถุนายน 2561 – มกราคม 2562) ในป่านิเวศและไบโอโทปป่าดิบ พบว่าในป่านิเวศมีปริมาณซากพืชที่ร่วงหล่นมากที่สุดในเดือนมิถุนายน (148.22 กรัม/ตารางเมตร/เดือน) และมีปริมาณต่ำที่สุดในเดือนกรกฎาคม (55.45 กรัม/ตารางเมตร/เดือน) ปริมาณซากพืชมีแนวโน้มลดลงในช่วงเดือนมิถุนายนถึงกรกฎาคม และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณน้ำฝน จากเดือนกรกฎาคมถึงกันยายนและลดลงอย่างต่อเนื่อง (ภาพที่ 13) ในส่วนของไบโอโทปป่าดิบพบว่าปริมาณซากพืชที่ร่วงหล่นมีค่ามากที่สุดในเดือนกันยายนคือ 126.35 กรัม/ตารางเมตร/เดือน และมีปริมาณต่ำที่สุดในเดือนพฤศจิกายนคือ 77.80 กรัม/ตารางเมตร/เดือน นอกจากนี้เมื่อพิจารณาแนวโน้มของปริมาณซากพืชในไบโอโทปป่าดิบพบว่ามีทิศทางเดียวกับปริมาณน้ำฝนเช่นเดียวกับป่านิเวศ (ภาพที่ 13) เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์โดยใช้ Pearson's correlation ระหว่างปริมาณซากพืชที่ร่วงหล่นและปริมาณน้ำฝนรายเดือนพบว่ามีเพียงปริมาณซากพืชที่ร่วงหล่นในป่านิเวศเท่านั้นที่มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณน้ำฝนพบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.356 (P = 0.001) (ใช้ข้อมูลในช่วงเดือนมิถุนายน 2561 – กุมภาพันธ์ 2562) (ภาพที่ 12)

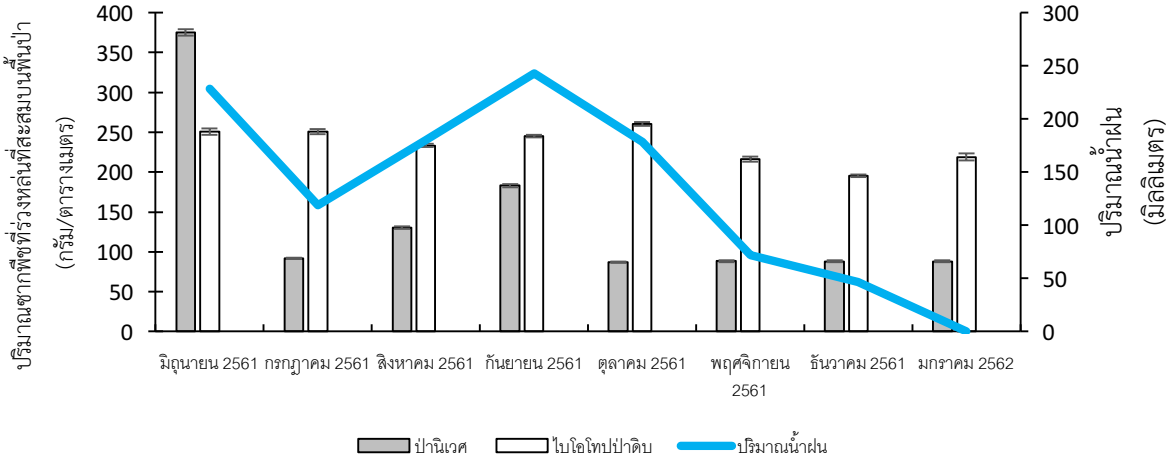


ภาพที่ 13 ปริมาณซากพืชที่ร่วงหล่นในป่านิเวศและไบโอโทปป่าดิบและปริมาณน้ำฝนในช่วงเดือนมิถุนายน 2561 – กุมภาพันธ์ 2562 ณ ศูนย์ชีวพนาเวศ จังหวัดฉะเชิงเทรา กราฟแท่งแสดงค่าเฉลี่ยของปริมาณซากพืชที่ร่วงหล่นและแถบค่าคลาดเคลื่อนแสดง standard error of mean (SE) (n=15) กราฟเส้นแสดงปริมาณน้ำฝนจากสถานีตรวจสภาพอากาศที่ติดตั้งในบริเวณพื้นที่ศึกษา

ซากพืชที่สะสมบนพื้นป่า (litter accumulation)

ค่าเฉลี่ยปริมาณซากพืชที่สะสมบนพื้นป่าในไบโอโทปป่าดิบมีค่ามากกว่าป่านิเวศ โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (t=4.015, P=0.001) ปริมาณซากพืชที่สะสมบนพื้นป่าในป่านิเวศมีค่าเฉลี่ย 139.47 ± 152.64 กรัม/ตารางเมตร/เดือน ซึ่งมีค่าน้อยกว่าไบโอโทปป่าดิบที่มีค่า 240.60 ± 152.64 กรัม/ตารางเมตร/เดือน เมื่อพิจารณาปริมาณซากพืชที่สะสมบนพื้นป่าแต่ละเดือนในป่านิเวศและไบโอโทปป่าดิบ พบว่าป่านิเวศมีค่าสูงที่สุดในเดือนมิถุนายน และมีค่าต่ำในช่วงเดือนกรกฎาคม ตุลาคม พฤศจิกายนและธันวาคม 2561 (ภาพที่ 14) เมื่อพิจารณาแนวโน้มในป่านิเวศพบว่ามีซากพืชที่สะสมบนพื้นป่ามากที่สุดในเดือนมิถุนายน และลดลงอย่างรวดเร็วในเดือนกรกฎาคม จากนั้นเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ ส่วน ไบโอโทปป่าดิบพบว่ามีปริมาณซากพืชที่สะสมบนพื้นป่ามากที่สุดในเดือนมิถุนายนเท่ากับ 250.70 กรัม/ตารางเมตร/เดือน และมีค่าน้อยที่สุดในช่วงเดือนธันวาคม มีค่าเท่ากับ 195.09 กรัม/ตารางเมตร/เดือน

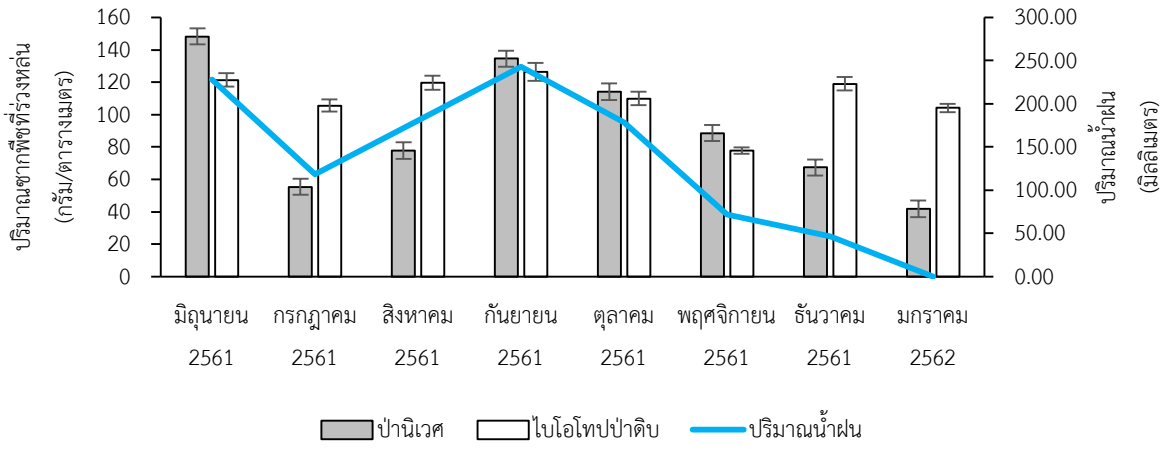
จากการวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อหาความสัมพันธ์ของปริมาณซากพืชที่สะสมบนพื้นป่าและปัจจัยอื่นพบว่ามีเพียงปริมาณซากพืชที่สะสมบนพื้นป่าในป่านิเวศเท่านั้นที่มีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำฝนรายเดือนและปริมาณซากพืชที่ร่วงหล่น จากการใช้ Pearson's correlation พบว่าสหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณซากพืชที่สะสมบนพื้นป่าต่อปริมาณน้ำฝนและปริมาณซากพืชที่ร่วงหล่นมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) คือ 0. 410 (P = 0.001) และ 0.363 (P = 0.001) (ใช้ข้อมูลในช่วงเดือนมิถุนายน 2561 – กุมภาพันธ์ 2562) ตามลำดับ



ภาพที่ 14 ปริมาณซากพืชที่ร่วงหล่นที่สะสมบนพื้นป่าในป่านิเวศ ไบโอโทปป่าดิบและปริมาณน้ำฝนในช่วงเดือนมิถุนายน 2561 – กุมภาพันธ์ 2562 ณ ศูนย์ชีวพนาเวศ จังหวัดฉะเชิงเทรา กราฟแท่งแสดงค่าเฉลี่ยของปริมาณซากพืชที่สะสมบนพื้นป่าและแถบค่าคลาดเคลื่อนแสดง standard error of mean (SE) (n=15)

ความสูงของชั้นซากพืชที่สะสมบนพื้นป่า (litter layer depth)

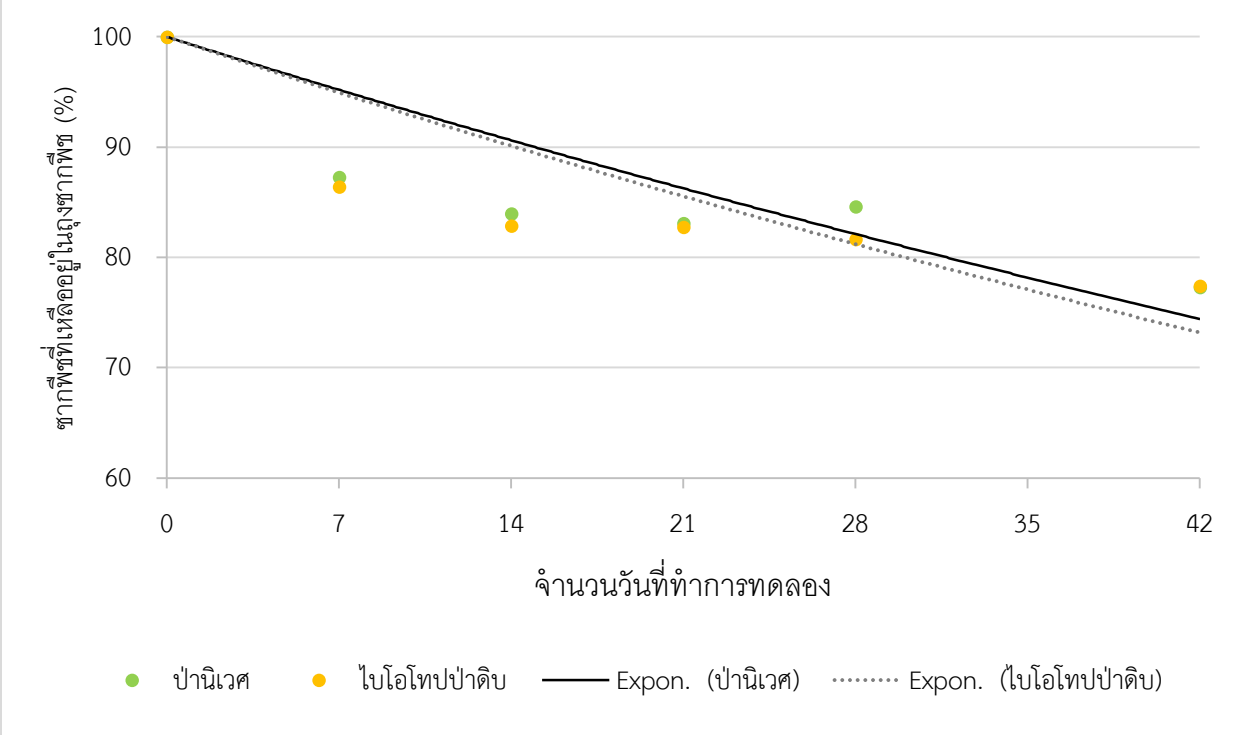
ความสูงของชั้นซากพืชที่สะสมบนพื้นป่าในระบบนิเวศทั้งสองไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (t=1.602, P=0.111) โดยค่าเฉลี่ยความสูงของชั้นซากพืชในป่านิเวศและไบโอโทปป่าดิบมีค่าเท่ากับ 1.95 ± 1.29 และ 2.19 ± 0.86 เซนติเมตร ตามลำดับ ความสูงของชั้นซากพืชที่สะสมบนพื้นป่าในแต่ละเดือน (มิถุนายน 2561 – มกราคม 2562) ในป่านิเวศและไบโอโทปป่าดิบ พบว่าความสูงของชั้นซากพืชในป่านิเวศมีค่ามากในเดือนพฤษภาคมถึงกรกฎาคม 2561 และมีค่าต่ำสุดในเดือนตุลาคม ส่วนไบโอโทปป่าดิบมีความสูงของชั้นซากพืชมากที่สุดในเดือนกุมภาพันธ์และมีค่าน้อยที่สุดในเดือนตุลาคม (ภาพที่ 15) จากการวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้ Pearson's correlation พบว่ามีเพียงชั้นความสูงของซากพืชในป่านิเวศเท่านั้นที่ความสัมพันธ์ในทางบวกกับปริมาณน้ำฝนโดยพบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) คือ 0.366 (P = 0.001) (ใช้ข้อมูลในช่วงเดือนมิถุนายน 2561 – กุมภาพันธ์ 2562)



ภาพที่ 15 ความสูงของชั้นซากพืชบนพื้นป่าในป่านิเวศ และไบโอโทปป่าดิบ และปริมาณน้ำฝนในช่วงเดือนมิถุนายน 2561 – มีนาคม 2562 ณ ศูนย์ชีวพนาเวศ จังหวัดฉะเชิงเทรา กราฟแท่งแสดงค่าเฉลี่ยของปริมาณซากพืชที่สะสมบนพื้นป่าและแถบค่าคลาดเคลื่อนแสดง standard error of mean (SE) (n=15)

3. อัตราการย่อยสลายของซากพืช (litter decomposition)

ป่านิเวศและไบโอโทปป่าดิบมีสัมประสิทธิย่อยสลายของซากพืช (k) เท่ากับ 0.007 วัน$^{-1}$ โดยค่าสัมประสิทธิย่อยสลายซากพืชในป่านิเวศและไบโอโทปป่าดิบนี้ได้จากสมการ $y = 100e^{-0.007x}$ มีค่า R^2 เท่ากับ 0.530 และ 0.474 ตามลำดับ (ภาพที่ 16) เมื่อคำนวณค่าอัตราการย่อยสลาย (K) เท่ากับ 2.56 ปี$^{-1}$ (ตารางที่ 3) และค่าครึ่งชีวิตมีค่าเท่ากับ 99 วัน



ภาพที่ 16 อัตราการย่อยสลายซากพืชในป่านิเวศและไบโอโทปป่าดิบ ณ ศูนย์ชีวพนาเวศ จังหวัดฉะเชิงเทราในช่วงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2561

ตารางที่ 3 สมการการย่อยสลายของซากพืชในป่านิเวศและไบโอโทปป่าดิบโดยวิธี litter bag

	สมการ	สัมประสิทธิการย่อยสลาย (k, วัน$^{-1}$)	K (อัตราการย่อยสลายของซากพืช) (K, ปี$^{-1}$)	R^2	sig.
ป่านิเวศ	$y = 100e^{-0.007x}$	-0.007	2.56	0.53	0.025
ไบโอโทปป่าดิบ	$y = 100e^{-0.007x}$	-0.007	2.56	0.47	0.026

4. คุณสมบัติของดินและสภาพดิน

การศึกษาสภาพดินในแปลงศึกษาป่านิเวศและไบโอโทปป่าดิบในระยะเวลา 8 เดือนนับตั้งแต่เมื่อเริ่มการศึกษา (พฤษภาคม 2561) จนถึงสิ้นสุดการศึกษา (มกราคม 2562) พบว่าคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของดินบางประการมีความแตกต่างระหว่างสองระบบนิเวศและมีความแตกต่างระหว่างเริ่มต้นและสิ้นสุดการศึกษา ดังนี้

ความหนาแน่นของดิน (bulk density)

ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของดินในป่านิเวศและไบโอโทปป่าดิบ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในช่วงเริ่มการศึกษา (t=0.020 , P=0.429) เท่ากับ 0.97 ± 0.04 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร แต่ในช่วงสิ้นสุดการศึกษา มีค่าความหนาแน่นของดินแตกต่างกัน (t=2.98, P=0.003) โดยป่านิเวศมีค่าเฉลี่ยของความหนาแน่นดินมากกว่าคือ 0.71 ± 0.02 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร ส่วนไบโอโทปป่าดิบมีค่าเท่ากับ 0.60 ± 0.03 กรัม/ลูกบาศเซนติเมตร (ตารางที่ 4) เมื่อพิจารณาความหนาแน่นของดินในช่วงเวลาเริ่มและสิ้นสุดการศึกษาพบว่าทั้ง ป่านิเวศและไบโอโทปป่าดิบ มีค่าความหนาแน่นของดินก่อนและหลังทำการศึกษาแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (t=5.99 และ t=6.34 ตามลำดับ, P=0.001) โดยพบว่าค่าความหนาแน่นของดินในป่านิเวศและไบโอโทปป่าดิบเมื่อสิ้นสุดทำการศึกษามีค่าลดลงเมื่อเทียบกับเมื่อเริ่มทำการศึกษา

ความชื้นของดิน (soil moisture)

เมื่อพิจารณาความชื้นของดินในช่วงเวลาเดียวกันพบว่าไม่มีความแตกต่างกันระหว่างป่านิเวศและไบโอโทปป่าดิบทั้งในช่วงเริ่มการศึกษา (t=1.401, P=0.860) และช่วงสิ้นสุดการศึกษา (t=0.483, P=0.316) ดังแสดงในตารางที่ 4

สภาพความเป็นกรด – ด่างของดิน (soil pH)

สภาพความเป็นกรด-ด่างของดินในช่วงเวลาเดียวกันในป่านิเวศและไบโอโทปป่าดิบพบว่ามีความแตกต่างกันทั้งในช่วงเริ่มทำการศึกษา (t=2.074, P=0.021) โดยมีป่านิเวศมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 6.73 ซึ่งมีค่ามากกว่าป่าดิบที่มีค่าเท่ากับ 6.49 อย่างไรก็ตามพบว่าสภาพความเป็นกรด – ด่างของดินในช่วงสิ้นสุดการศึกษาของระบบนิเวศทั้งสองประเภทนั้นมีค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (t=1.556, P=0.062)

ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน (soil organic matter)

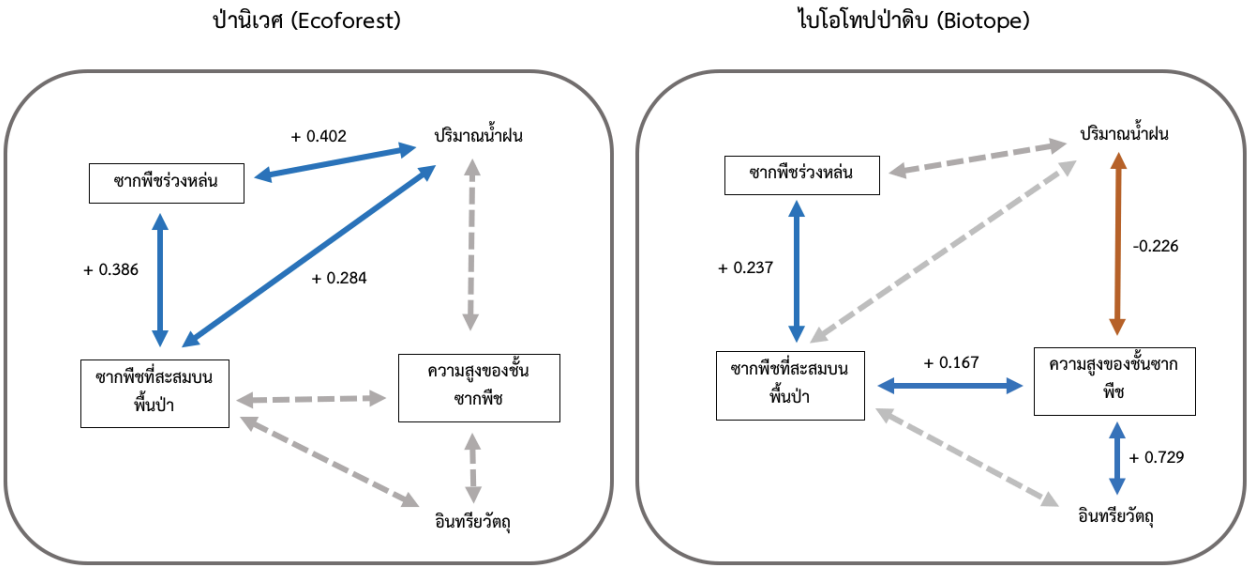
ปริมาณอินทรียวัตถุในดินในป่านิเวศและไบโอโทปป่าดิบในช่วงเวลาเดียวกันมีค่าไม่แตกต่างกันในช่วงเริ่มการศึกษา (t=1.212, P=0.114) และสิ้นสุดการศึกษา (t=1.013 ,P=0.157) (ตารางที่ 4) ปริมาณอินทรียวัตถุในป่านิเวศช่วงเริ่มการศึกษาและช่วงสิ้นสุดการศึกษาไม่มีความแตกต่างกัน (t=0.762, P=0.225) แต่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในไบโอโทปป่าดิบ (t=6.143, P=0.001)

ตารางที่ 4 คุณสมบัติทางกายภาพและสภาพดินในป่านิเวศและไบโอโทปป่าดิบ ณ ศูนย์ชีวพนาเวศ จังหวัดฉะเชิงเทรา เมื่อเริ่มการศึกษา (พฤษภาคม 2561) และสิ้นสุดการศึกษา (มกราคม 2562)

คุณสมบัติ	ป่านิเวศ (Ecoforest)		ไบโอโทปป่าดิบ (Biotope)	
	เริ่มการศึกษา	สิ้นสุดการศึกษา	เริ่มการศึกษา	สิ้นสุดการศึกษา
ความหนาแน่นของดิน (กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)	0.97 ± 0.04	0.71 ± 0.02	0.97 ± 0.04	0.60 ± 0.03
ความชื้นในดิน (%)	25.52 ± 1.11	22.39 ± 2.38	31.29 ± 3.96	24.09 ± 2.60
สภาพความเป็นกรด – ด่าง	6.74 ± 0.06	6.89 ± 0.05	6.56 ± 0.08	6.52 ± 0.07
ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน (%)	4.72 ± 0.18	4.93 ± 0.15	5.77 ± 0.09	4.96 ± 0.20

5. อิทธิพลของซากพืชที่ร่วงหล่นต่อปริมาณอินทรียวัตถุในดิน

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยสิ่งแวดล้อมและปริมาณซากพืชร่วงหล่นโดยใช้ Pearson's correlation พบว่าปัจจัยสิ่งแวดล้อมมีอิทธิพลในเชิงบวกต่อปริมาณซากพืชที่ร่วงหล่นในป่านิเวศเป็นผลให้เกิดการสะสมของซากพืชบนพื้นป่ามากขึ้น (ภาพที่ 17) ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณน้ำฝนช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตและสร้างมวลชีวภาพและทำให้เกิดการร่วงหล่นของซากพืชลงสู่พื้นป่า นอกจากนี้ยังพบว่าในไบโอโทปป่าดิบพบความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำฝนในเชิงลบต่อความสูงของชั้นซากพืช ความสูงของชั้นซากพืชมีความสัมพันธ์กับปริมาณอินทรียวัตถุในดินในเชิงบวก อย่างไรก็ตามไม่พบความสัมพันธ์บางประการที่อาจจเป็นผลจากระยะเวลาในการเก็บข้อมูลที่สั้น อาจมีปัจจัยที่มีผลทำให้ไม่สามารถอธิบายด้วยแบบจำลองที่ได้



ภาพที่ 17 ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยสิ่งแวดล้อมกับปริมาณชากพืชตัวเลขแสดงค่า Pearson's correlation ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยลูกศรสีแดงแสดงความสัมพันธ์เชิงบวก ลูกศรสีน้ำเงินแสดงความสัมพันธ์เชิงลบ และเส้นประแสดงความสัมพันธ์ที่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

บทที่ 5

อภิปรายผลการทดลอง

1. โครงสร้างสังคมพืช (vegetation structure)

จำนวนชนิดของพันธุ์ไม้ ดัชนีความหลากชนิด และดัชนีความเท่าเทียมในป่านิเวศและไบโอโทปป่าดิบไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็ตามพบว่าองค์ประกอบของชนิดพันธุ์ไม้มีความแตกต่างกัน โดยป่านิเวศมีพันธุ์ไม้เด่น ได้แก่ ตะเคียน (*H. odorata*) มะกล่ำต้น (*D. pavonina*) และยางนา (*D*. alatus) สามารถจัดเป็นสังคมพืชป่าดิบแล้ง ตามการจัดประเภทป่าในประเทศไทยของธวัชชัย สันติสุข (2549) ประกอบกับพื้นที่ป่าตามธรรมชาติที่ตั้งอยู่ใกล้กับพื้นที่ศึกษามากที่สุด คือ บริเวณเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าเขาอ่างฤาไน อำเภอท่าตะเกียบ มีลักษณะเป็นสังคมพืชป่าดิบแล้ง (พรชัย วิสุทธาจารย์, 2540) แตกต่างจากไบโอโทปที่มีพันธุ์ไม้ทั้งหมดเป็นไม้ไม่ผลัดใบ มีพันธุ์ไม้เด่น เช่น พิกุล *(M. elengi)* ประดู่ (*P. macrocarpus*) และนนทรี (*P. pterocarpum*) จึงจัดเป็นสังคมพืชป่าดิบ โครงสร้างสังคมพืชที่แตกต่างกันของระบบนิเวศทั้งสองเป็นผลมาจาก วิธีการปลูก ตามวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกัน โดยไบโอโทปป่าดิบมีวัตถุประสงค์ในการเป็นแหล่งเรียนรู้ด้านความหลากหลายของสิ่งมีชีวิต จึงมีการปลูกแบบเลือกใช้พันธุ์ไม้ที่เฉพาะเจาะจง แต่ไม่คำนึงถึงสังคมพืชดั้งเดิมในพื้นที่นั้น ไบโอโทปป่าดิบแห่งนี้จึงจัดว่ามีความสำคัญในระดับไบโอโทปทั่วไปตามหลักการของไบโอโทปเนื่องจากไม่มีพันธุ์ไม้หายากหรือใกล้สูญพันธุ์ในระบบนิเวศ (Rydgren et al., 2005) ในขณะที่ป่านิเวศปลูกตามหลักการของมิยาวากิ (Miyawaki, 1999) ที่เป็นแนวคิดในการฟื้นฟูระบบนิเวศให้มีความใกล้เคียงกับระบบนิเวศเดิม จึงเลือกปลูกเฉพาะพันธุ์ไม้ท้องถิ่น และปลูกด้วยความหนาแน่นไม้ต้นสูงที่ระยะห่าง 4 ต้น/ตารางเมตร ส่งผลให้ความหนาแน่นไม้ต้นในป่านิเวศ (0.64 ต้น/ตารางเมตร) มากกว่าในไบโอโทปป่าดิบ (0.40 ต้น/ตารางเมตร) ทั้งนี้การปลูกไม้ต้นที่ความถี่สูงจะส่งผลให้เกิดการแข่งขันของพืชตามธรรมชาติและเกิดกระบวนการตัดสางตนเอง (self-thinning process) ที่ช่วยให้พืชสามารถเข้าสู่สังคมพืชในระยะคงตัว (climax stage) ได้ในระยะเวลาที่สั้นลงและลดอัตราการแข่งขันในระบบนิเวศ (Larson et al., 2015) ซึ่งจะส่งผลทำให้ความหนาแน่นของไม้ต้นลดลงเมื่ออายุของหมู่ไม้เพิ่มขึ้น (Adler, 1996) ดังนั้น เมื่อเทียบความหนาแน่นของไม้ต้นระหว่างป่านิเวศและไบโอโทปป่าดิบกับระบบนิเวศทดแทนอื่น ๆ (ตารางที่ 5) พบว่าป่านิเวศและไบโอโทปป่าดิบมีค่าความหนาแน่นสูงกว่าเนื่องจากเป็นป่าเขตร้อนและมีอายุน้อยทำให้ต้นไม้ยังสามารถเจริญเติบโตแก่งแย่งแสงกันได้

ตารางที่ 5 ความหนาแน่นของไม้ต้นในป่านิเวศ ไบโอโทปป่าดิบ และระบบนิเวศอื่นที่มนุษย์สร้างขึ้น

สังคมพืช	พื้นที่ศึกษา	ความหนาแน่น (ต้น/ตารางเมตร)	ระยะเวลาในการปลูก (ปี)	เอกสารอ้างอิง
ป่าดิบเขตอบอุ่น	ประเทศญี่ปุ่น	0.04	33	Sasakia et al. (2018)
ป่าสน	คาบสมุทรเมดิเตอร์เรเนียน	0.10	15	Schirone et al. (2011)
ป่าสน	คาบสมุทรเมดิเตอร์เรเนียน	0.08	15	Schirone et al. (2011)
ป่านิเวศ	จังหวัดฉะเชิงเทรา	0.64	11	การศึกษานี้
ไบโอโทปป่าดิบ	จังหวัดฉะเชิงเทรา	0.40	11	การศึกษานี้

เมื่อพิจารณาพื้นที่หน้าตัดลำต้นรวมที่เพิ่มขึ้นในระยะเวลา 8 เดือนพบว่าในป่านิเวศมีค่าน้อยกว่าไบโอโทปป่าดิบ (0.009 และ 0.018 ตารางเมตร ตามลำดับ) เนื่องจากความหนาแน่นของไม้ต้นที่ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น โดยความหนาแน่นต้นไม้ที่มากจะทำให้เส้นผ่านศูนย์กลางเพิ่มขึ้นได้น้อยลง (Hartshorn, 1978) อย่างไรก็ตามทั้งสองระบบนิเวศที่มนุษย์สร้างขึ้นมีการเจริญเติบโตของต้นไม้เมื่อสิ้นสุดการศึกษาชี้ให้เห็นถึงพัฒนาการของป่าที่มีการสร้างผลผลิตและสามารถเจริญเติบโตได้

2. ปริมาณซากพืชที่ร่วงหล่น (litterfall)

ปริมาณซากพืชที่ร่วงหล่นในป่านิเวศและไบโอโทปป่าดิบมีค่าอยู่ในช่วงใกล้เคียงกับค่าของระบบนิเวศป่าตามธรรมชาติและระบบนิเวศที่มนุษย์สร้างขึ้น (ตารางที่ 6) ทั้งนี้ไม่สามารถเปรียบเทียบปริมาณซากพืชที่ร่วงหล่นระหว่างป่าแต่ละชนิดได้โดยตรง เนื่องจากต้องใช้ข้อมูลซากพืชที่ร่วงหล่นที่มากเพียงพอและมีระยะเวลาที่ยาวนานเพื่อที่จะสรุปรูปแบบของพลวัตซากพืชได้ แต่จากการศึกษานี้พบว่าปริมาณซากพืชที่ร่วงหล่นได้รับอิทธิพลจากฤดูกาลโดย ซากพืชที่ร่วงหล่นมีปริมาณมากในฤดูฝน (เดือนกันยายนและตุลาคม) และมีปริมาณลดลงในช่วงเวลาต่อมา ซึ่งให้ผลคล้ายกับการศึกษาในสังคมพืชแคระหนามเขาหินปูน ณ ประเทศเม็กซิโกของ Rodriguez และคณะ (2018) พบว่าในช่วงฤดูฝนมีปริมาณซากพืชที่ร่วงหล่นมาก เนื่องจากน้ำฝนมีส่วนช่วยในการเจริญเติบโตสะสมมวลชีวภาพและเกิดการร่วงหล่นของมวลชีวภาพอื่น ๆ ของพืชนอกเหนือจากใบ ได้แก่ ดอก ผล และกิ่ง เป็นต้น ทั้งนี้ยังพบความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำฝนกับปริมามาณซากพืชที่ร่วงหล่นในเชิงบวก (Shen et al., 2019) ปริมาณน้ำฝนจัดเป็นปัจจัยที่สำคัญในกระบวนการเติบโตของพืช การเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำฝนจึงมีส่วนช่วยในการเพิ่มขึ้นของการสะสมมวลชีวภาพ (Knapp, Ciais and Smith, 2016) ส่งผลให้เกิดการเพิ่มขึ้นของปริมาณซากพืชที่ร่วงหล่น

ปริมาณซากพืชที่สะสมบนพื้นป่าถูกกำหนดด้วยปริมาณซากพืชที่ร่วงหล่น กระบวนแตกและย่อยสลายของซากพืช การเคลื่อนย้ายซากพืชที่ร่วงหล่นทั้งเข้าและออกจากระบบนิเวศ (Facelli et al., 1991) ซึ่งจากการศึกษาพบว่าปริมาณซากพืชที่สะสมบนพื้นป่ามีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณซากพืชที่ร่วงหล่นทั้งในป่านิเวศและไบโอโทปป่าดิบ อีกทั้งยังพบความสัมพันธ์เชิงบวกระหว่างซากพืชที่สะสมบนพื้นป่าและความสูงของชั้นซากพืชด้วย นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบปริมาณซากพืชที่ร่วงหล่น ปริมาณซากพืชที่สะสมบนพื้นป่า และความสูงของชั้นซากพืชในไบโอโทปป่าดิบพบว่ามีค่ามากกว่าป่านิเวศ เนื่องจากความแตกต่างทางด้านองค์ประกอบของชนิดพันธุ์ไม้และในสังคมพืช จึงสรุปได้ว่าซากพืชที่ร่วงหล่นจะสะสมบนพื้นป่าและถูกทำให้แตกเป็นชิ้นเล็ก ๆ ผ่านกระบวนการทางกายภาพและเคมี จนกลายเป็นอินทรียวัตถุสะสมในดิน ชี้ให้เห็นถึงบทบาทที่สำคัญในกระบวนการทางนิเวศวิทยาและมีบทบาทในสมดุลคาร์บอน ทำให้วัฏจักรคาร์บอนในระบบนิเวศที่มนุษย์สร้างขึ้นสามารถดำเนินไปได้ใกล้เคียงกับระบบนิเวศตามธรรมชาติมากที่สุด

ตารางที่ 6 ปริมาณซากพืชที่ร่วงหล่นในป่านิเวศ ไบโอโทปป่าดิบ และระบบนิเวศอื่นที่มนุษย์สร้างขึ้น

สังคมพืช	พื้นที่ศึกษา	ผลผลิตซากพืช (ตัน/เฮกแตร์/ปี)	เอกสารอ้างอิง
Tropical evergreen forest	75 พื้นที่ศึกษาจากทั่วโลก	7.00	Zhang et al. (2014)
Subtropical forest	ประเทศจีน	2.48	Huang et al. (2018)
Lowland Dipterocarp forest	หมู่เกาะบอเนียว ประเทศมาเลเซีย	7.02	Nakagawa et al. (2018)
Tropical secondary forest	ประเทศคอสตาริกา	7.30	Celentano et al. (2011)
Tropical plantation	ประเทศคอสตาริกา	6.30	Celentano et al. (2011)
Rubber agroforest	ภาคใต้ของประเทศไทย	4.18	Waiyarat (2016)
Rubber monoculture	ภาคใต้ของประเทศไทย	2.56	Waiyarat (2016)
Ecoforest	จังหวัดฉะเชิงเทรา	9.98	การศึกษานี้
Biotope (evergreen forest)	จังหวัดฉะเชิงเทรา	12.63	การศึกษานี้

3. อัตราการย่อยสลายของซากพืช (litter decomposition)

ป่านิเวศและไบโอโทปป่าดิบมีอัตราการย่อยสลายของซากพืชเท่ากับ 0.007 วัน$^{-1}$ คิดเป็น 2.56 ปี$^{-1}$ โดยมีค่าใกล้เคียงกับระบบนิเวศป่าตามธรรมชาติที่ตั้งอยู่ในเขตร้อน (ตารางที่ 7) ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าอัตราการย่อยสลายของซากพืชที่ไม่แตกต่างกันในระบบนิเวศทั้งสองนี้ มีสาเหตุมาจากการได้รับอิทธิพลของปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่ไม่แตกต่างกัน เนื่องด้วยระบบนิเวศทั้งสองตั้งอยู่ในบริเวณใกล้เคียงกันทำให้ปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่เป็นตัวกำหนดอัตราการย่อยสลายของซากพืช ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นในอากาศ (Carlos et al., 2015) ปริมาณน้ำฝน (Wieder, Cleveland and Townsend, 2009) และสภาพดิน (Vitousek and Sanford, 1986) ไม่แตกต่างกันมากนัก

ตารางที่ 7 อัตราการย่อยสลายของซากพืชในระบบนิเวศรูปแบบต่าง ๆ

สังคมพืช	พื้นที่ศึกษา	k สัมประสิทธิการย่อยสลาย (กรัม/วัน)	K อัตราการย่อยสลาย (กรัม/ปี)	เอกสารอ้างอิง
ป่าเขตร้อน	ประเทศปานามา	0.007	2.56	Rodtassana (2016)
ป่าเขตร้อน	44 พื้นที่ศึกษา	0.006	2.33	Aerts (1997)
ป่าเขตร้อน	ประเทศโคลัมเบีย	0.003 – 0.004	1.10 – 1.46	Thomas และ Asakawa (1993)
Rubber agroforest	ภาคใต้ของประเทศไทย	0.132	6.57	Waiyarat (2016)
Rubber monoculture	ภาคใต้ของประเทศไทย	0.093	4.56	Waiyarat (2016)
ป่านิเวศและไบโอโทปป่าดิบ	จังหวัดฉะเชิงเทรา	0.007	2.56	การศึกษานี้

5.4 คุณสมบัติของดินและซากพืชที่ร่วงหล่น

สภาพดินสามารถพิจารณาได้จากความหนาแน่นดิน (bulk density) สภาพความเป็นกรด – ด่าง (pH) และปริมาณอินทรียวัตถุ (organic matter) ซึ่งมีส่วนช่วยในการเจริญเติบโตของพืช ทั้งนี้ปัจจัยด้านสภาพดินในป่านิเวศและไบโอโทปป่าดิบมีค่าไม่แตกต่างกัน โดยปริมาณอินทรียวัตถุในระบบนิเวศที่มนุษย์สร้างขึ้นทั้งสองรูปแบบมีค่าใกล้เคียงกับป่าธรรมชาติ (ตารางที่ 8) แต่เมื่อเปรียบเทียบสภาพดินในช่วงเริ่มและสิ้นสุดการศึกษาพบว่าปริมาณอินทรีวัตถุในดินในป่านิเวศมีค่าเพิ่มขึ้น 0.21% ส่วนในไบโอโทปป่าดิบมีค่าลดลง 0.81% ทั้งนี้เนื่องจากอินทรียวัตถุในดินสามารถเปลี่ยนแปลงสภาพเป็นรูปแบบอื่นได้ เช่น อินทรียคาร์บอน หรือคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจของผู้ย่อยสลาย โดยเป็นผลมาจากกระบวนการย่อยสลายซากพืชหรือการชะล้างจากน้ำฝนทำให้สูญเสียอินทรียวัตถุออกไปจากระบบ (Liu et al., 2015)

ตารางที่ 8 ปริมาณอินทรียวัตถุในดินในระบบนิเวศรูปแบบต่าง ๆ

สังคมพืช	พื้นที่ศึกษา	ปริมาณอินทรียวัตถุ (%) เริ่มศึกษา, สิ้นสุดการศึกษา	ระยะเวลาในการศึกษา (เดือน)	เอกสารอ้างอิง
ป่าดิบลุ่มต่ำ	ประเทศปานามา	4.93, 4.12	5	Turner et al. (2015)
ป่านิเวศ	จังหวัดฉะเชิงเทรา	4.72, 4.93	6	ในการศึกษานี้
ไบโอโทปป่าดิบ	จังหวัดฉะเชิงเทรา	5.77, 4.96	6	ในการศึกษานี้

สำหรับการแตกออกเป็นชิ้นเล็ก ๆ และการย่อยสลายของซากพืชช่วยปรับสภาพดินมีตัวอย่างเช่นการศึกษาของ Darby และ Jason (2016) ที่พบว่าปริมาณอินทรียวัตถุในดินที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ความหนาแน่นของดินมีค่าลดลง เนื่องจากอินทรียวัตถุในดินช่วยให้เกิดช่องว่างในชั้นดิน อีกทั้งช่วยเพิ่มธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช (Russo and Berlyn, 1990) ซึ่งปริมาณซากพืชที่ร่วงหล่นและปริมาณซากพืชที่สะสมบนพื้นป่ามีส่วนสำคัญในการเพิ่มปริมาณอินทรียวัตถุในดิน โดยจะช่วยปรับปรุงคุณภาพดินในเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช (Sayer, 2011)

บทที่ 6

สรุปผลการทดลอง

ระบบนิเวศที่มนุษย์สร้างขึ้นมีเป้าหมายหลักเพื่อเพิ่มพื้นที่สีเขียวทดแทนพื้นที่ป่าตามธรรมชาติที่สูญเสียไปจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ของพื้นที่ ทั้งนี้สามารถสร้างได้หลากหลายรูปแบบขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ ป่านิเวศและไบโอโทปป่าดิบเกิดจากการใช้วิธีปลูกที่ต่างกันส่งผลให้โครงสร้างสังคมพืชด้านองค์ประกอบของชนิดพันธุ์ไม้แตกต่างกัน แต่จำนวนชนิดของพันธุ์ไม้ ดัชนีความหลากชนิด และดัชนีความเท่าเทียมมีค่าไม่แตกต่างกัน ระบบนิเวศที่มนุษย์สร้างขึ้นจะมีความยั่งยืนได้ต้องมีวัฏจักรคาร์บอนที่ดำเนินไปตามกลไกทางนิเวศวิทยา โดยมีซากพืชที่ร่วงหล่นเป็นตัวกลางในการถ่ายเทคาร์บอนจากพืชหมุนเวียนสู่ดินผ่านกระบวนการแตกออกเป็นชิ้นเล็ก ๆ (fragmentation) และการย่อยสลาย (decomposition) ของซากพืชที่สะสมบนพื้นป่า เกิดการสะสมเป็นอินทรียวัตถุในดินที่ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชและปรับสภาพของดิน เช่น ความหนาแน่นของดิน ซึ่งปริมาณซากพืชที่ร่วงหล่นมีความสัมพันธ์กับปริมาณอินทรียวัตถุในดิน ชี้ให้เห็นถึงความสามารถในการทำหน้าที่ทางนิเวศวิทยาได้ใกล้เคียงกับระบบนิเวศที่มีอยู่ในธรรมชาติ และหากระบบนิเวศสามารถดำเนินกลไกทางนิเวศวิทยาเหล่านี้ได้ ก็อาจมีส่วนช่วยในการลดการจัดการของมนุษย์ได้ ดังนั้นวิธีการปลูก รูปแบบ การออกแบบของการสร้างระบบนิเวศจึงมีความสำคัญในการสร้างระบบนิเวศที่มนุษย์สร้างขึ้นเพื่อให้สามารถทำหน้าที่ทางนิเวศวิทยาและสามารถดำรงอยู่ได้อย่างยั่งยืน

เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาที่ดิน. 2553. คู่มือการปฏิบัติงาน กระบวนการวิเคราะห์ตรวจสอบดินทางเคมี. (ม.ป.ท.).

ธวัชชัย สันติสุข. 2549. ป่าของประเทศไทย. กรุงเทพมหานคร : สำนักหอพรรณไม้ กรมอุทยานแห่งชาติสัตว์ป่าและพันธุ์พืช.

พรชัย วิสุทธาจารย์. 2540. ชีพลักษณ์ของพันธุ์ไม้และอุปนิสัยการกินอาหารของนกในป่าดิบแล้ง เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าเขาอ่างฤาไน จังหวัดฉะเชิงเทรา. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย.

Adler, F. 1996. A model of self-thinning through local competition. Population Biology 93:9980-9984.

Aerts, R. 1997. Climate, leaf litter chemistry and leaf litter decomposition in terrestrial ecosystems: a triangular relationship. Oikos 79: 439-449.

Ang, B.W. and Su, B. 2016. Carbon emission intensity in electricity production: A global analysis. Energy Policy 94: 56–63.

Bodirsky, B.L. et al. 2014. Reactive nitrogen requirements to feed the world in 2050 and potential to mitigate nitrogen pollution. Nature Communications 5: 3858.

Carpenter, S. and Pingali, P. 2005. Millennium Ecosystem Assessment-Scenarios Assessment. Washington, D.C. : Island Press.

Celentano, D., Zahawi, R.A., Finegan, B., Ostertag, R., cole, R.J. and Holl, K.D. 2011. Litterfall dynamics under different tropical forest restoration strategies in Costa Rica. Biotropica 43: 278-287.

Chapman, S.B. 1970. The nutrient content of the soil and root system of a dry heath ecosystem. British Ecological Society 58: 445-452.

Facelli, J.M. and Pickett, S.T.A. 1991. Plant Litter: Its Dynamics and Effects on Plant Community Structure. The Botanical Review 1: 1-38.

Foley, A.J., et. al. 2005. Global consequences of land use. Science 309: 570-574.

Hartshorn, G. 1978. Tree falls and tropical forest dynamics. Tropical Trees as Living Systems 26: 617-638.

Huang, Y., Ma, K., Niklaus, P.A. and Schmid, B. 2018. Leaf-litter overyielding in a forest biodiversity experiment in subtropical China. Forest ecosystem 5: 1-9.

Kaspari, M., and Yanoviak, S. 2008. Biogeography of litter depth in tropical forests: evaluating the phosphorus growth rate hypothesis. Functional Ecology 22: 919-923.

Katayama, A. 2016. Characteristics of wood CO_2 efflux in a Bornean tropical rainforest. Agricultural and Forest Meteorology 220: 190-199.

Konijnendijk, C.C., Richard, R.M., Kenney, A. and Randrup, T.B. 2006. Defining urban forestry - a comparative perspective of North America and Europe. Urban Forestry & Urban Greening 4: 93-103.

Knapp, A.K., Ciais, P. and Smith, M.D. 2016. Reconciling inconsistencies in precipitation–productivity relationships: implications for climate change. New Phytologist 214: 41–47.

Larson, J.L. et al. 2015. Spatial aspects of tree mortality strongly differ between young and old-growth forests. Ecology 96: 2855–2861.

Liu, S., Zhang, W., Wang, K., Pan, F., Yang, S. and Shu, S. 2015. Factors controlling accumulation of soil organic carbon along vegetation succession in a typical karst region in Southwest China. Science of the Total Environment 521–522: 52–58.

Lee, S.Y. 1999. Tropical mangrove ecology: physical and biotic factors influencing ecosystem structure and function. Australian Journal Ecology 24: 355-366.

McGrath, D. and Henry, H. 2016. Organic amendments decrease bulk density and improve tree establishment and growth in roadside plantings. Urban Forestry & Urban Greening 20: 120–127.

Miyawaki, A. 1999. Creative ecology: restoration of native forests by native trees. Plant Biotechnology 16: 15-25.

Miyawaki, A. 2004. Restoration of living environment based on vegetation ecology. Ecological Research 19: 83-90.

Nakagawa, M., Ushio, M., Kume, T. and Nakashizuka, T. 2018. Seasonal and long-term patterns in litterfall in a Bornean tropical rainforest. Ecological Research 34: 31–39.

Odum, P.E. 1969. The strategy of ecosystem development. Science 164: 262-270.

Olson, J.S. 1963. Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems. Ecology Society of America 44: 322-333.

Peterson, G., Allen, C.R. and Holling, C.S. 1998. Ecological resilience, biodiversity and scale. Ecosystems 1: 6-18.

Prescott, E.C. 2010. Litter decomposition: what controls it and how can we alter it to sequester more carbon in forest soils? Biogeochemistry 101: 133–149.

Rodriguez, G.H., et al. 2008. Spatial and seasonal litterfall deposition pattern in the Tamaulipan thorscrub Northeastern Mexico. International Journal of Agriculture Environment & Biotechnology 1:177-181.

Rodtassana, C. 2016. Litter manipulation effects on fine root and litterfall dynamics in a tropical forest Doctoral Dissertation. Department of Plant Sciences, University of Cambridge.

Russo, R.O. and Berlyn, G.P. 1990. The use of organic biostimulants to help low input sustainable agriculture. Journal of Sustainable Agriculture 1: 19-41.

Rydgren, B., Kyläkorpi, L., Bodlund, B., Ellegård, A., Grusell, E. and Miliander, S. 2005. Experiences from five years of using the biotope method, a tool for quantitative biodiversity impact assessment. Impact Assessment and Project Appraisal 23: 47-54.

Sasakia, F.R. 1996. A model of self-thinning through local competition. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 93: 9980-9984.

Sasakia, T., Ishiib, H. and Morimotoc, Y. 2018. Evaluating restoration success of a 40-year- old urban forest in reference to mature natural forest. Urban Forestry & Urban Greening 32:123-132.

Saenger, P. and Snedaker, S.C. 1993. Pantropical trends in mangrove above-ground biomass and annual litterfall. Oecologia 96: 293-299.

Sayer, M.J., Heard, M.S., Grant, H.K., Marthews, T.R. and Tanner, E.V.J. 2011. Soil carbon release enhanced by increased tropical forest litterfall. Natural climate change 1: 304-307.

Schirone, B., Salis, A. and Vessella, F. 2011. Effectiveness of the Miyawaki method in Mediterranean forest restoration programs . Landscape and Ecological Engineering 7:81–92

Schlamadinger, B. and Marlan, G. 1994. The role of forest and bioenergy strategies in the global carbon cycle. Biomass and Bioenergy 275-30.

Shen, G., Chen D., Wu Y., Lui, l. and Lui, C. 2019. Spatial patterns and estimates of global forest litterfall. Ecosphere 10(2): 1-13.

Sierra, C.A., Trumbore, S.E., Davidson, E.A., Vicca, S. and Janssens, I. 2015. Sensitivity of decomposition rates of soil organic matter with respect to simultaneous changes in temperature and moisture. Journal of Advances in Modeling Earth Systems 7: 335–356.

Smith, A., Snapp, S., Dimes, J., Gwenambira, C. and Chikowo, R. 2016. Doubled-up legume rotations improve soil fertility and maintain productivity under variable conditions in maize-based cropping systems in Malawi Agricultural Systems 145: 139–149.

Turner, B., Yavitt, J.B. Harms, K.E., Garcia, M.N. and Wright, S.J. 2015. Seasonal changes in soil organic matter after a decade of nutrient addition in a lowland tropical forest. Biogeochemistry 123: 221–235.

Thomas, R.J. and Asakawa, M. 1993. Decomposition of leaf litter from tropical forage grasses and legumes. Soil Biology and Biochemistry 25: 1351-1361.

Vitousek, P.M. and Sanford R.L. 1986. Nutrient cycling in moist tropical forest. Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics 17: 137–167.

Waiyarat, R. 2016. Litter Fall and Rubber Leaf Decomposition in Rubber Agroforest and Monoculture Rubber Plantation in Southern Thailand Degree of Master. Development and Promotion of Science and Technology (DPST), Prince of Songkla University.

Wieder, W.R., Cleveland, C.C. and Townsend, A.R. 2009. Controls over leaf litter decomposition in wet tropical forests. ecosystem and conservation sciences 90(12): 3333–3341.

Zhang, H., Yuan, W., Dong, W. and Liu, S. 2014. Seasonal patterns of litterfall in forest ecosystem worldwide. Ecological Complexity 20: 240–247.