โครงการ

การเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

ชื่อโครงการ ความหลากหลายของสัตว์ขาปล้องหน้าดินในระบบนิเวศที่มนุษย์สร้างขึ้น

Diversity of soil arthropod in two man-made ecosystems

ชื่อนิสิต นางสาวสายกลาง ศรีสำราญ **เลขประจำตัว** 5932052123

ภาควิชา ชีววิทยา

ปีการศึกษา 2562

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ความหลากหลายของสัตว์ขาปล้องหน้าดินในระบบนิเวศที่มนุษย์สร้างขึ้น

Diversity of soil arthropods in two man-made ecosystems

นางสาวสายกลาง ศรีสำราญ

อาจารย์ที่ปรึกษา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัชวาล ใจซื่อกุล

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
อาจารย์ ดร.ฉัตรทิพย์ รอดทัศนา

โครงงานวิทยาศาสตร์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาชีววิทยา ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2562

โครงงานวิทยาศาสตร์ฉบับนี้ได้รับการสนับสนุนจาก
โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์
ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชื่อโครงการ	: ความหลากหลายของสัตว์ขาปล้องหน้าดินในระบบนิเวศที่มนุษย์สร้างขึ้น
นิสิตผู้ดำเนินโครงการ	: นางสาวสายกลาง ศรีสำราญ
อาจารย์ที่ปรึกษา	: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัชวาล ใจซื่อกุล
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	: อาจารย์ ดร.ฉัตรทิพย์ รอดทัศนา
ภาควิชา	: ชีววิทยา

บทคัดย่อ

ระบบนิเวศที่มนุษย์สร้างขึ้น (man-made ecosystem) เป็นการเพิ่มพื้นที่สีเขียวเพื่อ ทดแทนพื้นที่ป่าธรรมชาติที่สูญเสียไปอีกทั้งมีบทบาทเป็นแหล่งรวบรวมความหลากหลายทางชีวภาพ ระบบนิเวศที่มนุษย์สร้างขึ้นมีหลากหลายรูปแบบตามวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกัน ซึ่งจะมีอิทธิพลต่อสังคมสัตว์ขาปล้องหน้าดินที่อาศัยและหากินในชั้นซากพืช การศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบความหลากหลายของสัตว์ขาปล้องหน้าดินในชั้นซากพืชบริเวณระบบนิเวศที่มนุษย์สร้างขึ้น (ป่านิเวศและไบโอโทปป่าดิบ) จังหวัดฉะเชิงเทรา ศึกษาโดยเก็บตัวอย่างสัตว์ขาปล้องหน้าดินจากชั้นซากพืชในช่วงฤดูฝน (เดือนพฤษภาคม สิงหาคม และ ตุลาคม พ.ศ. 2562) แล้วนำไปจำแนกอันดับและจัดกลุ่มตามหน้าที่ทางนิเวศวิทยา (functional group) ทำการเปรียบเทียบความหนาแน่นและความหลากหลายในสองระบบนิเวศ ผลการศึกษาพบว่าความหนาแน่นของสัตว์ขาปล้องหน้าดินมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณซากพืชและความสูงของชั้นซากพืช แต่แปรผกผันกับอุณหภูมิในชั้นซากพืช ส่งผลให้ความหนาแน่นของสัตว์ขาปล้องหน้าดินลดลงในช่วงปลายฤดูฝนที่มีปริมาณซากพืชและความสูงชั้นซากพืชที่ลดลง ความหนาแน่นของสัตว์ขาปล้องหน้าดินในระบบนิเวศไบโอโทปป่าดิบมากกว่าในป่านิเวศ เนื่องจากมีปริมาณและความสูงของซากพืชมากกว่า ในทางตรงข้ามดัชนีความหลากหลาย (Shannon-Wiener index, H') ในป่านิเวศมีค่ามากกว่าในไบโอโทปป่าดิบ อาจเนื่องมาจากสังคมพืชในป่านิเวศประกอบด้วยพันธุ์ไม้ท้องถิ่น ทำให้มีสภาพใกล้เคียงป่าในธรรมชาติและมีความหลากชนิดของพืชมากกว่า จำนวนอันดับที่พบทั้งหมดในป่านิเวศและโอโทปป่าดิบไม่แตกต่างกัน (14 และ 17 อันดับ) โดยทั้งสองระบบนิเวศพบจำนวนสัตว์ขาปล้องในอันดับ Acari และ Collembola มากที่สุด และพบกลุ่มผู้ย่อยสลาย (Detritivore) มากที่สุด จึงสรุปได้ว่าระบบนิเวศที่มนุษย์สร้างขึ้นที่มีโครงสร้างสังคมพืชที่แตกต่างกันจะส่งผลให้องค์ประกอบของสังคมสัตว์ขาปล้องหน้าดินที่พบในชั้นซากพืชแตกต่างกัน ชี้ให้เห็นถึงความสำคัญในการออกแบบและ จัดการอย่างเหมาะสมเพื่อให้ระบบนิเวศสามารถตั้งตัวและดำเนินกระบวนการทางนิเวศวิทยาได้ใกล้เคียงกับระบบนิเวศธรรมชาติ อีกทั้งสามารถทำหน้าที่เป็นแหล่งรวบรวมความหลากหลายทางชีวภาพของสัตว์ขาปล้องหน้าดินได้อย่างยั่งยืน

คำสำคัญ: ซากพืช, ไบโอโทป, ป่านิเวศ, ระบบนิเวศที่มนุษย์สร้างขึ้น, สัตว์ขาปล้องหน้าดิน

Research Title	: Diversity of soil arthropod in two man-made ecosystems
Student name	: Ms. Saiklang Srisamran
Advisor	: Assistant Professor Chatchawan Chaisuekul, Ph.D.
Co-Advisor	: Chadtip Rodtassana, Ph.D.
Department of	: Biology

Abstract

Man-made ecosystem increases green space to compensate for losing the area of natural forests and functions as conservation of biodiversity. There are many types of man-made ecosystems depending on different purposes, which influence on a community of soil arthropods living and feeding in a litter layer. This study aims to investigate and compare the diversity of litter arthropods in two man-made ecosystems (Ecoforest and Biotope) at Chachoengsao Province. Litter arthropods were collected from the litter layer in the wet season (May, August, and October 2019) then the samples were identified into order and classified into functional groups. We compared the density and diversity of litter arthropods in two man-made ecosystems. The results showed that the arthropod density positively correlated to litter quantity and litter layer depth but negatively correlated with temperature in the litter layer. Therefore, the density of litter arthropods decreased in the late wet season according to lower litter accumulation and litter layer depth. Arthropod density in the Biotope ecosystem was more than those of Ecoforest because of the greater litter accumulation and litter layer depth. On the contrary, the diversity indices (Shannon-Wiener index, H') of Ecoforest were higher than the values of Biotope, which might due to the vegetation in the Ecoforest composing of native tree species resulted to a similar condition to natural forest and greater plant diversity. The total number of orders found in the Ecoforest was not different from the Biotope (14 and 17 orders, respectively). In both ecosystems, Acari and Collembola were the dominant groups with a high number of individuals and the detritivore was a main functional group. In conclusion, the man-made ecosystems with different vegetation structures would cause different compositions of soil arthropod communities. This indicates that it is important to design and manage appropriately so that the ecosystem being able to establish and continue ecological processes close to that occurring in natural ecosystems and play a role to sustainably conserve the biodiversity of soil arthropods.

Keywords: Biotope, Ecoforest, litter, litter arthropod, man-made ecosystem

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัชวาล ใจซื่อกุล อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ และ อาจารย์ ดร.ฉัตรทิพย์ รอดทัศนา อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมโครงการ และ รองศาสตราจารย์ ดร. ศศิธร พ่วงปาน ที่ให้ความกรุณาในการให้คำปรึกษาและความช่วยเหลือ และช่วยตรวจทานความถูกต้องของงานวิจัยในครั้งนี้ ทำให้โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ บริษัท โตโยต้า มอเตอร์ ประเทศไทย จำกัด และมูลนิธิสิ่งแวดล้อมศึกษาเพื่อการพัฒนาอย่างยั่งยืน สำหรับความช่วยเหลือและเอื้อเฟื้อสถานที่สำหรับการทำวิจัย และขอขอบคุณ คุณหทัย บำรุงศิลป์ ที่ช่วยประสานงานกับบริษัท โตโยต้า มอเตอร์ ประเทศไทย จำกัด ทำให้การปฏิบัติงานวิจัยเป็นไปอย่างราบรื่น

ขอขอบคุณ นายนราธิป จันทร์สวัสดิ์ สำหรับความช่วยเหลือในการจำแนกชนิดสัตว์ขาปล้องหน้าดิน และช่วยอำนวยความสะดวกตลอดการทำการวิจัยในห้องปฏิบัติการ

ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ผู้ประสานงานรายวิชา โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์ ภาคการศึกษาปลาย ปีการศึกษา 2561 ที่ให้คำแนะนำรูปแบบและองค์ประกอบของเอกสารที่เกี่ยวข้องกับโครงการ

ขอขอบคุณศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางกีฏวิทยา ชีววิทยาของผึ้งและไร ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และห้องปฏิบัติการพฤกษนิเวศวิทยา ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ รวมถึงวัสดุและอุปกรณ์ในการปฏิบัติงานวิจัย

ขอขอบคุณสมาชิกหน่วยปฏิบัติการพฤกษนิเวศวิทยา ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ สำหรับการช่วยเหลือในการเก็บข้อมูลภาคสนาม และให้คำปรึกษา

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณคุณพ่อ คุณแม่ สมาชิกในครอบครัว และเพื่อน ๆ พี่ ๆ น้อง ๆ ที่เป็นกำลังใจที่สำคัญ และสนับสนุนในทุก ๆ เรื่องที่ผ่านมา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ ..... ก
ABSTRACT ..... ข
กิตติกรรมประกาศ ..... ค
สารบัญตาราง ..... ช
สารบัญภาพ ..... ซ
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1. ความเป็นมาและมูลเหตุจูงใจในการเสนอโครงการ 1
1.2. วัตถุประสงค์ของโครงการ 3
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรม 4
2.1. สัตว์หน้าดิน (soil fauna) 4
2.1.1. ความหลากหลายและบทบาทต่อระบบนิเวศของสัตว์ขาปล้องหน้าดิน 4
2.1.2. ความสัมพันธ์ของสัตว์ขาปล้องหน้าดินและซากพืช 6
2.2. ระบบนิเวศที่มนุษย์สร้างขึ้น (man-made ecosystem) 7
2.3. ปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่มีอิทธิพลต่อสัตว์ขาปล้องหน้าดิน 9
2.3.1. อุณหภูมิ (temperature) 9
2.3.2. ความชื้นในดิน (soil moisture) 9
2.3.3. แสง (light) 10
2.3.4. ปัจจัยทางชีวภาพ (biological factors) 10
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน 12
3.1. การเก็บข้อมูลภาคสนาม 12
3.1.1. พื้นที่ศึกษา 12
3.1.2. การเก็บข้อมูลสัตว์ขาปล้องหน้าดิน (soil arthropods) 13
3.2. การวิเคราะห์ข้อมูลห้องปฏิบัติการ 14
3.2.1. การแยกสัตว์หน้าดินออกจากตัวอย่างซากพืช 14
3.2.2. การจำแนกชนิดและนับจำนวนสัตว์ขาปล้องหน้าดินขนาดกลางและขนาดใหญ่ 15
3.2.3. ตัวอย่างซากพืช 15
3.3. การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยการคำนวณ 15
3.3.1. ความหนาแน่น (density) 15

3.3.2. ดัชนีความหลากหลาย (diversity index) ... 16
3.3.3. ดัชนีดัชนีความมากชนิด (Richness index) ... 16
3.3.4. ดัชนีดัชนีความเท่าเทียม (Evenness index) ... 16
3.3.5. การจัดกลุ่มตามหน้าที่ทางนิเวศวิทยา (functional group) ... 17
3.4. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS version 22 ... 17
3.4.1. การเปรียบเทียบระหว่างป่านิเวศและระบบนิเวศไบโอโทปป่าดิบ ... 17
3.4.2. การเปรียบเทียบระหว่างช่วงเวลาที่เก็บตัวอย่าง ... 17
3.4.3. การหาความสัมพันธ์ระหว่างซากพืชและสัตว์ขาปล้องหน้าดิน ... 18
3.4.4. การเปรียบเทียบสัดส่วนของกลุ่มตามหน้าที่ทางนิเวศวิทยา (functional group) ... 18
บทที่ 4 ผลการศึกษา ... 19
4.1. การศึกษาสัตว์ขาปล้องหน้าดิน ... 19
4.1.1. สังคมสัตว์ขาปล้องหน้าดินในชั้นซากพืช ... 19
4.1.2. ความหนาแน่นของสัตว์ขาปล้องหน้าดิน ... 20
4.1.3. กลุ่มตามหน้าที่ทางนิเวศวิทยา (functional group) ของสัตว์ขาปล้องหน้าดิน ... 21
4.1.4. ความหลากหลายของสัตว์ขาปล้องหน้าดิน ... 23
4.2. ซากพืชสะสมบนพื้นป่าในระบบนิเวศที่มนุษย์สร้างขึ้น ... 24
4.2.1. ปริมาณซากพืชสะสมบนพื้นป่า ... 24
4.2.2. ความสูงของชั้นซากพืชที่สะสมบนพื้นป่า ... 25
4.2.3. อุณหภูมิของชั้นซากพืชที่สะสมบนพื้นป่าและอุณหภูมิดิน ... 26
4.3. ความสัมพันธ์ระหว่างสัตว์ขาปล้องหน้าดินและซากพืชสะสมบนพื้นป่า ... 28
บทที่ 5 อภิปรายผลการศึกษา ... 30
5.1. สังคมสัตว์ขาปล้องหน้าดินในชั้นซากพืช ... 30
5.2. ซากพืชสะสมบนพื้นป่า ... 33
5.3. ความสัมพันธ์ระหว่างสัตว์ขาปล้องหน้าดินกับชั้นซากพืช ... 34
5.4. บทบาทของระบบนิเวศที่มนุษย์สร้างขึ้น ... 35
บทที่ 6 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ ... 37
6.1. สรุปผลการศึกษา ... 37
6.2. ข้อเสนอแนะ ... 38
6.2.1. ข้อเสนอแนะสำหรับการนำไปใช้ประโยชน์ ... 38
6.2.2. ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาในอนาคต ... 38
เอกสารอ้างอิง ... 39

ภาษาไทย 39
ภาษาอังกฤษ 39

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2-1 สัตว์ขาปล้องหน้าดินจำแนกตามขนาดตัว อันดับ การบริโภค และบทบาททางนิเวศวิทยา 5

ตารางที่ 4-1 อันดับของสัตว์ขาปล้องหน้าดินที่พบในระบบนิเวศไบโอโทปป่าดิบและป่านิเวศ 19

ตารางที่ 4-2 การจัดกลุ่มตามหน้าที่ทางนิเวศวิทยาของสัตว์ขาปล้องหน้าดินในแต่ละอันดับที่พบในระบบนิเวศไบโอโทปป่าดิบและป่านิเวศ จังหวัดฉะเชิงเทรา 22

ตารางที่ 4-3 ดัชนีแสดงความหลากหลายของสัตว์ขาปล้องหน้าดินที่พบในระบบนิเวศไบโอโทปป่าดิบและป่านิเวศ 24

ตารางที่ 5-1 จำนวนอันดับของสัตว์ขาปล้องหน้าดินที่รายงานจากการศึกษาในป่าเขตร้อน 31

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 2-1 ตัวอย่างระบบนิเวศที่มนุษย์สร้างขึ้น สวนยางพารา (ก) ป่าในเมือง (ข) บ่อน้ำสวนสาธารณะ (ค) และ ป่าปลูกชายเลน (ง).....8

ภาพที่ 3-1 บริเวณศูนย์การเรียนรู้ความหลากหลายทางชีวภาพและความยั่งยืน “ชีวพนาเวศ” ตำบลลาดขวาง ขวาง อำเภอบ้านโพธิ์ จังหวัดฉะเชิงเทรา (ก) และพื้นที่ศึกษาบริเวณป่านิเวศและระบบนิเวศไบโอโทป (ข)..... 13

ภา**พที่ 3-2** วิธีการเก็บตัวอย่างด้วยวิธี systematic ในแปลงศึกษา พื้นที่สีเทาแสดงจุดเก็บตัวอย่าง 14

ภา**พที่ 3-3** ปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนในช่วง 10 ปี (พ.ศ. 2551-2560) ของสถานีตรวจอากาศจังหวัดฉะเชิงเทรา (กรมอุตุนิยมวิทยา, ประเทศไทย) แถบค่าคลาดเคลื่อนแสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน..... 14

ภาพที่ 3-4 เครื่องมือสกัดสัตว์จากซากพืช (berlese funnel)..... 15

ภาพที่ 4-1 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของสัตว์ขาปล้องหน้าดินในชั้นซากพืชที่สะสมบนพื้นป่าในระบบนิเวศไบโอโทปป่าดิบและป่านิเวศ (n=12) 21

ภาพที่ 4-2 สัดส่วนกลุ่มตามหน้าที่ทางนิเวศวิทยาของสัตว์ขาปล้องหน้าดินในระบบนิเวศไบโอโทปป่าดิบ (ก) และป่านิเวศ (ข) ในเดือนเดือนพฤษภาคม เดือนสิงหาคม และเดือนตุลาคม พ.ศ. 2562 23

ภาพที่ 4-3 ค่าเฉลี่ยปริมาณซากพืชที่สะสมบนพื้นป่าในระบบนิเวศไบโอโทปป่าดิบและป่านิเวศ (n=12)..... 25

ภา**พที่ 4-4** ค่าเฉลี่ยความสูงของชั้นซากพืชที่สะสมบนพื้นป่าในระบบนิเวศไบโอโทปป่าดิบและป่านิเวศ (n=12)..... 26

ภาพที่ 4-5 ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของชั้นซากพืชที่สะสมบนพื้นป่าในระบบนิเวศไบโอโทปป่าดิบและป่านิเวศ (n=12)..... 27

ภาพที่ 4-6 ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของดินใต้ชั้นซากพืชที่สะสมบนพื้นป่าในระบบนิเวศไบโอโทปป่าดิบและป่านิเวศ (n=12)..... 28

บทที่ 1
บทนำ

1.1. ความเป็นมาและมูลเหตุจูงใจในการเสนอโครงการ

สัตว์หน้าดินเป็นสัตว์ที่อาศัยและหากินตามพื้นผิวหน้าดินในชั้นซากพืช หรือดำรงชีวิตอยู่บริเวณพื้นท้องน้ำ และรวมถึงสัตว์กลุ่มที่เกาะหรืออาศัยอยู่ตามกองหิน โขดหิน ขอนไม้ในน้ำ (วิลาส รัตนานุกูล, 2557) โดยสัตว์หน้าดินแต่ละชนิดมีบทบาทหน้าที่ทางนิเวศวิทยาที่แตกต่างกันออกไป บางชนิดทำหน้าที่เป็นผู้ย่อยสลายอินทรียวัตถุซึ่งช่วยในกระบวนการหมุนเวียนธาตุอาหาร บางชนิดเป็นผู้บริโภคพืชหรือบางชนิดทำหน้าที่เป็นตัวห้ำโดยการกินสิ่งมีชีวิตอื่นเป็นอาหาร นอกจากนี้สัตว์บางชนิดสามารถก่อโรคได้โดยการอาศัยบนสัตว์ชนิดอื่น การทำหน้าที่ของสัตว์หน้าดินดังกล่าวจะทำให้เกิดความสมดุลในระบบนิเวศตามธรรมชาติ เกิดการหมุนเวียนถ่ายทอดพลังงานภายในห่วงโซ่อาหาร (food chain) และสายใยอาหาร (food web) สัตว์หน้าดินเหล่านี้จึงเป็นดัชนีชี้วัดความอุดมสมบูรณ์ของระบบนิเวศได้อย่างหนึ่ง (สัมฤทธิ์ สิงอาษา และพัชนี สิงอาษา, 2546) สัตว์หน้าดินกลุ่มหนึ่งที่มีความสำคัญต่อระบบนิเวศและมีความหลากหลายทางชีวภาพมาก คือ สัตว์ขาปล้องหน้าดิน

สัตว์ขาปล้องหน้าดินขนาดใหญ่ (soil macro-arthropod) และขนาดกลาง (soil meso-arthropod) มีบทบาทในกระบวนการทางนิเวศวิทยา กล่าวคือมีอิทธิพลต่อกระบวนการย่อยสลายและการหมุนเวียนสารอาหารในดิน (Adeduntan, 2009; Briones, 2014) สัตว์ขาปล้องหน้าดินขนาดใหญ่กลุ่มที่พบมาก เช่น ไอโซพอด (Order Isopod) มด (Order Hymenoptera) ปลวก (Order Isopoda) ด้วง (Order Coleoptera) ซึ่งสัตว์เหล่านี้มีบทบาทในการทำให้เกิดช่องว่างในดินและเร่งกระบวนการย่อยสลาย (Stork and Eggleton, 1992) ส่วนสัตว์ขาปล้องหน้าดินขนาดกลางที่พบมาก ได้แก่ แมลงหางดีด (Order Collembola) และสัตว์จำพวกไร (Order Acari) แมลงหางดีดนั้นพบได้หลายชนิดและมีบทบาทที่สำคัญในระบบนิเวศ โดยแมลงพวกนี้จะบริโภคอินทรียวัตถุ รา แบคทีเรียในดินในขณะเดียวกันก็เป็นอาหารของแมลงชนิดอื่นอีกด้วย ส่วนสัตว์จำพวกไรพบได้มากในดินและมีรูปแบบการกินอาหารที่หลากหลาย (Schinner et al., 1996) นอกจากนี้สัตว์ขาปล้องหน้าดินยังสามารถใช้เป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพของดินได้ กล่าวคือสัตว์ขาปล้องหน้าดินช่วยในการย่อยสลายของอินทรียวัตถุในดินที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชและช่วยปรับคุณภาพดินให้ดีขึ้น (Nsengimana et al., 2018) หรือสัตว์จำพวกไรสามารถเป็นดัชนีชี้วัดถึงคุณภาพดินที่มีความเสื่อมโทรมจากการใช้พื้นที่ของมนุษย์ได้ (Migge-Kleian et al. 2007) จากที่กล่าวมาพบว่าสัตว์ขาปล้องหน้าดินมีบทบาทที่สำคัญต่อระบบนิเวศ ทั้งในแง่ของการหมุนเวียนสารอาหาร การเพิ่มปริมาณธาตุอาหารในดินที่จะทำให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์ รวมถึงบทบาททางห่วงโซ่อาหารที่ส่งผลให้เกิดสมดุลตามธรรมชาติและรักษาความหลากหลายทางชีวภาพในป่าอีกด้วย เนื่องจากป่าไม้เป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอนที่สำคัญและยัง

เป็นแหล่งที่อยู่อาศัยของสัตว์นานาชนิดรวมถึงสัตว์ขาปล้องหน้าดิน แต่ในปัจจุบันพบว่าป่าไม้มีแนวโน้มลดลงทั้งจากภัยธรรมชาติ เช่น ไฟป่า และการใช้พื้นที่ของมนุษย์ เช่น การทำการเกษตร ทำให้ระบบนิเวศป่ามีความเสื่อมโทรมและส่งผลต่อความหลากหลายทางชีวภาพและสังคมสิ่งมีชีวิต จึงนำไปสู่การปลูกป่าและมีการฟื้นฟูป่าไม้มากขึ้น จากรายงานในป่าเขตร้อนพบว่าองค์ประกอบของสังคมสัตว์ขาปล้องที่หน้าดินเปลี่ยนแปลงตามปริมาณซากพืชที่พบบนพื้นป่า (Ashford et al., 2013) ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่าสัตว์ขาปล้องหน้าดินสามารถใช้เป็นดัชนีชี้วัดเพื่อติดตามผลความสำเร็จของการฟื้นฟูป่าได้

การปลูกป่าทดแทนมีหลากหลายรูปแบบขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ เช่น แนวคิดการปลูกสวนป่าที่มีวัตถุประสงค์ในการสร้างผลตอบแทนทางเศรษฐกิจเป็นหลัก โดยมีการคัดเลือกพรรณไม้ให้เหมาะสมกับพื้นที่และให้การดูแลสวนป่าเป็นอย่างดี (กรมป่าไม้, 2557) การปลูกป่าอีกรูปแบบหนึ่งที่ปัจจุบันได้รับความนิยมอย่างมาก คือ การปลูกป่าเพื่อฟื้นฟูธรรมชาติ ซึ่งเป็นการเพิ่มความหลากหลายทางชีวภาพของระบบนิเวศให้ใกล้เคียงกับสภาพธรรมชาติ เช่น ป่านิเวศ (Ecoforest) ซึ่งเป็นวิธีการที่มนุษย์สร้างระบบนิเวศป่าขึ้นเพื่อฟื้นฟูป่าธรรมชาติให้ได้ผลอย่างยั่งยืนและวิธีการนี้ยังช่วยให้ป่าสามารถฟื้นตัวได้ในระยะเวลาอันสั้น ทั้งนี้การปลูกป่านิเวศสามารถดำเนินการได้หลายแนวทาง แต่แนวคิดของศาสตราจารย์ ดร.อาคิระ มิยาวากิ เป็นหลักการที่ได้รับการยอมรับจากทั่วโลกโดยทำการปลูกป่าด้วยพันธุ์ไม้ท้องถิ่น (native species) ที่ทำให้ป่าสามารถย่นระยะเวลาในการพัฒนาได้มากกว่า 10 เท่าซึ่งถือเป็นระยะเวลาอันสั้นเมื่อเทียบกับการฟื้นตัวตามธรรมชาติของป่า (Miyawaki, 1999; Schirone et al., 2011) นอกจากนี้ยังมีระบบนิเวศที่มนุษย์สร้างขึ้นเพื่อเป็นแหล่งพักผ่อนหย่อนใจและเพื่อวัตถุประสงค์ด้านการศึกษา เช่น ระบบนิเวศแบบไบโอโทป (Biotope) ที่ใกล้เคียงกับการสร้างถิ่นอาศัย (habitat) ซึ่งเป็นสภาพแวดล้อมที่สิ่งมีชีวิตสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ (Hong et al., 2005; Gao, 2015) ทั้งนี้ ระบบนิเวศแบบไบโอโทปไม่จำเป็นต้องคำนึงถึงสภาพแวดล้อมหรือสังคมพืชเดิมและสามารถสร้างได้หลายประเภท เช่น ไบโอโทปป่าดิบ ไบโอโทปป่าผลัดใบ ไบโอโทปป่าชายเลน ดังนั้นในปัจจุบันการปลูกป่าทดแทนสามารถเลือกดำเนินการได้หลากหลายรูปแบบขึ้นกับวัตถุประสงค์ของผู้ปลูกเป็นหลัก

หน่วยงานภาครัฐและเอกชนของประเทศไทยในปัจจุบันได้ให้ความสำคัญกับนโยบายด้านสิ่งแวดล้อมที่มุ่งเน้นการอนุรักษ์และฟื้นฟูสิ่งแวดล้อม ซึ่งบริษัท โตโยต้า มอเตอร์ ประเทศไทย จำกัด ได้ริเริ่มการเพิ่มพื้นที่สีเขียวโดยนำแนวคิดการปลูกป่านิเวศของศาสตราจารย์ ดร.อาคิระ มิยาวากิ และการปลูกแบบไบโอโทปมาประยุกต์ใช้ในโครงการศูนย์การเรียนรู้ความหลากหลายทางชีวภาพและความยั่งยืนชีวพนาเวศ ที่ตั้งอยู่ในบริเวณโรงงานโตโยต้า บ้านโพธิ์ อำเภอบ้านโพธิ์ จังหวัดฉะเชิงเทรา เริ่มดำเนินการตั้งแต่ปี พ.ศ. 2551 ร่วมกับมูลนิธิสิ่งแวดล้อมศึกษาเพื่อการพัฒนาอย่างยั่งยืน (ประเทศไทย) มีพื้นที่ครอบคลุม 60 ไร่ โดยพบว่าหลังจากดำเนินโครงการผ่านไปแล้ว 8 ปี ต้นไม้ที่ปลูกมีอัตรา

การรอดตายถึงร้อยละ 90 (โตโยต้า มอเตอร์ ประเทศไทย จำกัด, 2559) โดยป่านิเวศแห่งนี้จัดเป็นสังคมพืชป่าดิบ (evergreen forest) ประกอบด้วยพันธุ์ไม้ท้องถิ่นประมาณ 35 ชนิด เช่น ยางนา (*Dipterocarpus alatus* Roxb.) ไทรย้อย (*Ficus benjamina* Linn.) ตะเคียนทอง (*Hopea odorata* Roxb.) และมะกล่ำต้น (*Adenanthera pavonina* Linn.) ส่วนไบโอโทปป่าดิบใช้พันธุ์ไม้ที่หลากหลาย เช่น พิกุล (*Mimusops elengi*) นนทรี (*Peltophorum pterocarpum*) ปลูกเพื่อเป็นแหล่งเรียนรู้ของนักเรียนในท้องถิ่นเป็นหลัก จากการศึกษาของอริญชัย นิลสนธิ (2561) ทำการศึกษาพันธุ์ไม้และนิเวศวิทยาในป่านิเวศและระบบไบโอโทปป่าดิบเป็นระยะเวลา 8 เดือนพบว่า ปริมาณซากพืชที่ร่วงหล่นที่เกิดการย่อยสลายทำให้อินทรียวัตถุในดินเพิ่มขึ้น ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อการเจริญเติบโตของต้นไม้ในป่านิเวศและไบโอโทปป่าดิบ แต่ยังไม่มีการศึกษาส่วนของสังคมสัตว์โดยเฉพาะสังคมสัตว์ขาปล้องหน้าดินที่มีความเกี่ยวข้องกับสายใยอาหารแบบ brown food web และการย่อยสลายของซากพืชโดยตรง และ สามารถใช้เป็นดัชนีชี้วัดถึงความอุดมสมบูรณ์ของป่าได้ โดยสัตว์ขาปล้องหน้าดินมีความสัมพันธ์กับปริมาณซากพืชที่ร่วงหล่นหรือปริมาณซากพืชที่สะสมบนผืนป่า มีบทบาทในการทำให้เศษซากพืชมีขนาดเล็กลงเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวให้ผู้ย่อยสลายเข้ามาทำหน้าที่ต่อได้ดีขึ้นทำให้กระบวนการย่อยสลายในระบบนิเวศเร็วขึ้นด้วย (ณัฐวุฒิ ธานี, 2557) จากการศึกษาของ Begum และ คณะ (2013) พบว่าช่วงหลังมรสุมจะมีความหนาแน่นของประชากรสัตว์หน้าดินสูงเนื่องจากมีความชื้นในดินมาก และ อินทรียวัตถุในดินปริมาณสูงที่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของสัตว์ขาปล้องหน้าดินขนาดกลาง ทำให้ทราบว่าความหนาแน่นของสัตว์ขาปล้องหน้าดินขนาดกลางมีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล

ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงมีความสนใจศึกษาความหลากหลายของสัตว์ขาปล้องหน้าดินและเปรียบเทียบความแตกต่างของสังคมของสัตว์ขาปล้องหน้าดินในระบบนิเวศที่มนุษย์สร้างขึ้น 2 รูปแบบ คือ ป่านิเวศ และ ไบโอโทปป่าดิบ ณ ศูนย์การเรียนรู้ความหลากหลายทางชีวภาพและความยั่งยืน “ชีวพนาเวศ” อำเภอบ้านโพธิ์ จังหวัดฉะเชิงเทรา โดยมีสมมติฐานคาดว่าป่านิเวศมีความหลากหลายและความหนาแน่นของสัตว์ขาปล้องหน้าดินมากกว่าระบบนิเวศไบโอโทป และความหนาแน่นของสัตว์ขาปล้องหน้าดินจะลดลงในช่วงปลายฤดูฝน ทั้งนี้องค์ความรู้ที่ได้จากการศึกษานี้จะสามารถนำไปเป็นข้อมูลเพื่อใช้สำหรับการออกแบบและจัดการป่านิเวศอย่างยั่งยืนในอนาคตได้

1.2. วัตถุประสงค์ของโครงการ

- เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบความหลากหลายของสัตว์ขาปล้องหน้าดินในชั้นซากพืชบริเวณระบบนิเวศที่มนุษย์สร้างขึ้น (ป่านิเวศและไบโอโทปป่าดิบ)

บทที่ 2
ทบทวนวรรณกรรม

2.1. สัตว์หน้าดิน (soil fauna)

สัตว์หน้าดิน (soil fauna) หมายถึง สัตว์ที่อาศัยและหากินตามพื้นผิวหน้าดิน ครอบคลุมสัตว์ในกลุ่มต่าง ๆ เช่น สัตว์เซลล์เดียว (protozoa) หนอนตัวกลม (nematode) กลุ่มหอย (gastropod) สัตว์ขาปล้อง (arthropod) (Petersen and Luxton, 1982) โดยสามารถจำแนกสัตว์หน้าดินออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ตามขนาดของความยาวลำตัว ได้แก่ สัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ (macro soil fauna) คือกลุ่มสัตว์ที่มีขนาดตั้งแต่ 2.0 มิลลิเมตรขึ้นไป สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า สัตว์หน้าดินขนาดกลาง (meso soil fauna) เป็นกลุ่มสัตว์ที่มีขนาดระหว่าง 0.1-2.0 มิลลิเมตร มองเห็นได้ค่อนข้างยากด้วยตาเปล่า ต้องส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ และ สัตว์หน้าดินขนาดเล็ก (micro soil fauna) มีขนาดความยาวของลาตัวน้อยกว่า 0.1 มิลลิเมตร (Swift et al., 1979)

2.1.1. <u>ความหลากหลายและบทบาทต่อระบบนิเวศของสัตว์ขาปล้องหน้าดิน</u>

กลุ่มของสัตว์หน้าดินที่มีความหลากหลายและมีบทบาทที่สำคัญต่อระบบนิเวศอย่างมากคือกลุ่มสัตว์ขาปล้องหน้าดิน (soil arthropod) จัดอยู่ในกลุ่มสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง ไฟลัม Arthropoda ซึ่งมีลักษณะเด่นคือ ลำตัวเป็นข้อปล้องและมีรยางค์ยื่นออกมามาจากแต่ละปล้องของลำตัว สามารถพบได้ในหลายระบบนิเวศทั้งในเขตร้อน เขตกึ่งร้อน รวมถึงเขตอบอุ่น ซึ่ง พบว่าในเขตร้อนมีความหนาแน่นของสัตว์ขาปล้องมากกว่าในสภาพภูมิอากาศอื่น อีกทั้งมีความหลากหลายสูงเนื่องจากเป็นแหล่งที่มีทรัพยากรอุดมสมบูรณ์ (Coleman, 2001; Bardgett, 2002) สัตว์ขาปล้องหน้าดินมีความหลากหลายทางชีวภาพและมีหน้าที่ทางนิเวศวิทยาแตกต่างกันในระบบนิเวศรูปแบบต่าง ๆ (ตารางที่ 2-1) สัตว์ขาปล้องหน้าดินมีความหลากหลายทั้งการบริโภค ถิ่นอาศัย โดยความหลากหลายของสัตว์ขาปล้องหน้าดินขึ้นกับปัจจัยสิ่งแวดล้อม เช่น ความหลากชนิดของ Collembola มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความชื้น สัดส่วนอนุภาคดินหยาบ และสัดส่วนของดินเหนียว (Gómez-Anaya and Palacios-Vargas, 2004) และยังพบว่าสัตว์ขาปล้องหน้าดินยังมีจำนวนชนิดเพิ่มขึ้นเมื่อป่ามีอายุเพิ่มขึ้นตามขั้นกระบวนการเปลี่ยนแปลงแทนที่ซึ่งสังคมพืชที่มีอายุมากจะมีความหลากหลายของชนิดพืชเพิ่มขึ้น (González and Barberena, 2017) เนื่องจากสัตว์ขาปล้องหน้าดินมีความหลากหลายมากส่งผลให้แต่ละชนิดมีบททางทางนิเวศวิทยาที่แตกต่างกันด้วย โดยสัตว์บางกลุ่มมีหน้าที่เป็นตัวเชื่อมสายใยอาหารในระบบนิเวศระหว่างบนดินกับใต้ดินโดยมีบทบาทเป็นผู้ล่าหรือเป็นเหยื่อที่ช่วยในการถ่ายทอดพลังงานในระบบนิเวศ สัตว์ขาปล้องบางกลุ่มมีการสร้างรังในชั้นดินเช่น มดและปลวก ทำให้เกิดความแตกต่างของโครงสร้างดินและเกิดรูพรุน (Jouquet et al. 2006) ซึ่งการเปลี่ยนแปลง

โครงสร้างในชั้นดินจะมีเกิดจากสัตว์ขาปล้องขนาดใหญ่มากกว่าขนาดกลางหรือขนาดเล็ก และกลุ่มสัตว์ขาปล้องหน้าดินยังมีบทบาทที่สำคัญมากต่อระบบนิเวศ คือ กลุ่มผู้ย่อยสลายซึ่งช่วยในการย่อยสลายเศษซากพืชและมีส่วนช่วยในกระบวนการหมุนเวียนธาตุอาหาร เช่น กลุ่ม Isopoda Diplopoda Dermaptera (Wardle et al. 2002) หากมีการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและอินทรียวัตถุที่สะสมจะทำให้มีการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างสังคมของสัตว์ขาปล้องหน้าดินและส่งผลต่ออัตราการย่อยสลายและหมุนเวียนธาตุอาหาร (Shiels et al., 2015)

ตารางที่ 2-1 สัตว์ขาปล้องหน้าดินจำแนกตามขนาดตัว อันดับ การบริโภค และบทบาททางนิเวศวิทยา

ขนาดตัว	อันดับ	การบริโภค	บทบาททางนิเวศวิทยา
Mesofauna (micro-arthropod)	Collembola	dead plant material, bacteria, fungi	detritivore fungivore
	Protura	detritus, microflora, mycorrhiza	detritivore fungivore
	Diplura	detritus, microflora, meso-fauna	detritovore
	Symphyla	detritus, microflora, plant roots	detritivore herbivore
	Acari	dead plant material, microflora, macro-and meso-fauna, plant roots	detritivore predator herbivore
Macro-arthropod	Isopoda	dead plant material, microflora	detritivore
	Diplopoda	dead plant material, microflora	
	Isoptera	living plant tissue, dead leaves, dead wood, fungi	detritivore Herbivore fungivore

ตารางที่ 2-2 (ต่อ) สัตว์ขาปล้องหน้าดินจำแนกตามขนาดตัว อันดับ การบริโภค และบทบาททางนิเวศวิทยา

ขนาดตัว	อันดับ	การบริโภค	บทบาททางนิเวศวิทยา
Macro-arthropod	Coleoptera	dead organic material, microflora, plant roots	predator herbivore detritivore
	Pseudoscorpiones	macro- and meso-fauna	predator
	Aranea	macro- and meso-fauna	
	Chilopoda	macro- and meso-fauna	

ที่มา: ดัดแปลงจาก Petersen and Luxton, 1982

2.1.2. <u>ความสัมพันธ์ของสัตว์ขาปล้องหน้าดินและซากพืช</u>

สังคมสัตว์ขาปล้องหน้าดินมีความสัมพันธ์กับชั้นซากพืชซึ่งเป็นแหล่งที่อยู่อาศัยของสัตว์ขาปล้องหน้าดิน โดยคุณสมบัติของชั้นซากพืช เช่น องค์ประกอบทางเคมีของซากพืช ปริมาณซากพืช ความสูงของชั้นซากพืช มีอิทธิพลต่อความหนาแน่นและความหลากหลายของสัตว์ขาปล้องหน้าดิน องค์ประกอบทางเคมีของซากพืชส่งผลต่อองค์ประกอบและความหนาแน่นของสัตว์ขาปล้องหน้าดิน อีกทั้งยังมีอิทธิพลต่อการปรากฏของสัตว์กลุ่มบริโภคพืชในระบบนิเวศอีกด้วย (Mattson, 1980; Pramanik et al., 2001; Hättenschwiler and Gasser, 2005; Kattan et al., 2006) ปริมาณและความสูงของชั้นซากพืชมีอิทธิพลต่อความหนาแน่นของสัตว์ขาปล้องหน้าดินเนื่องจากเป็นแหล่งที่อยู่อาศัยและแหล่งทรัพยากรที่สำคัญต่อการดำรงชีวิต โดยมีรายงานว่าสัตว์ขาปล้องหน้าดินขนาดกลางและ สัตว์ขาปล้องหน้าดินขนาดใหญ่บางกลุ่มมีความสัมพันธ์กับปริมาณและความสูงของชั้นซากพืช เช่น แมงมุม (Araneae) ที่มีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นเมื่อความสูงของชั้นซากพืชเพิ่มขึ้น (Lowrie, 1948) ความหลากหลายของสัตว์กลุ่มไร (Acari) ที่มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณของซากพืช และมีความหลากหลายลดลงเมื่อระบบนิเวศถูกรบกวนและมีการลดปริมาณของซากพืชในป่าเขตร้อน (Vu and Nguyen, 2000; Steffen et al., 2012) ดังนั้นสัตว์ขาปล้องหน้าดินจึงสามารถใช้เป็นตัวชี้วัดการ

เปลี่ยนแปลงสภาพ หรือความอุดมสมบูรณ์ของระบบนิเวศได้เนื่องจากมีการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อม

2.2. ระบบนิเวศที่มนุษย์สร้างขึ้น (man-made ecosystem)

พื้นที่ป่าไม้ทั่วโลกลดลงจาก 31.6% ในปี 1990 เหลือเพียง 30.6 % ในปี 2015 (Keenan et al., 2015) ปัญหานี้นำไปสู่การตระหนักถึงแนวทางแก้ไขการลดลงของพื้นที่ป่า ซึ่งการเพิ่มพื้นที่สีเขียวเป็นวิธีหนึ่งที่ทดแทนพื้นที่ป่าธรรมชาติที่สูญเสียไปเนื่องจากสามารถดำเนินการได้ในสภาพพื้นที่ ที่หลากหลายและสร้างระบบนิเวศได้หลากหลายรูปแบบที่ระบบนิเวศนั้นมีโอกาสตั้งตัวได้อย่างยั่งยืนในอนาคต โดยคาดว่าจะมีบทบาทในการเป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอนและรวบรวมความหลากหลายทางธรรมชาติได้ มนุษย์จึงริเริ่มสร้างระบบนิเวศขึ้นในพื้นที่เสื่อมโทรมหรือพื้นที่ว่างเปล่าในเมือง โดยมีวัตถุประสงค์ในการสร้างระบบนิเวศและใช้วิธีการปลูกพืชที่แตกต่างกัน ซึ่งระบบนิเวศที่มนุษย์สร้างขึ้น (man-made ecosystem) นี้ถือเป็นการเพิ่มพื้นที่สีเขียวรูปแบบหนึ่ง ในปัจจุบันระบบนิเวศที่มนุษย์สร้างขึ้นมีหลากหลายรูปแบบที่ได้รับความนิยม เช่น การปลูกสวนป่า (plantation) ในพื้นที่รกร้างหรือพื้นที่เสื่อมโทรม โดยมีการปลูกเป็นจำนวนมากเป็นแนวอย่างเป็นระเบียบด้วยพืชชนิดเดียวหรือหลายชนิด (Corbin and Holl, 2012) และมักปลูกพืชที่ให้คุณค่าทางเศรษกิจ เช่น สวนยางพารา (ภาพที่ 2-1ก) นอกจากนี้บริเวณในเมืองก็มีการสร้างระบบนิเวศเพื่อเพิ่มพื้นที่สีเขียว เช่น การสร้างป่าในเมือง (urban forest) ดังแสดงในภาพที่2-1ข และการสร้างสวนสาธารณะ (park) นอกจากนี้ระบบนิเวศที่มนุษย์สร้างขึ้นอาจเป็นรูปแบบของระบบนิเวศน้ำ เช่น สระน้ำในสวนสาธารณะ ซึ่งนอกจากจะเป็นแหล่งพักผ่อนหย่อนใจของมนุษย์แล้วยังเป็นแหล่งอาศัยของสัตว์ต่าง ๆ อีกด้วย หรือระบบนิเวศป่าชายเลน (ภาพที่ 2-1ค และ ง)

ภาพที่ 2-1 ตัวอย่างระบบนิเวศที่มนุษย์สร้างขึ้น สวนยางพารา (ก) ป่าในเมือง (ข) บ่อน้ำสวนสาธารณะ (ค) และ ป่าปลูกชายเลน (ง) (ที่มา: www.palangkaset.com, www.pttreforestation.com, www.bansuanporpeang.com และ www.dmcr.go.th)

ป่านิเวศและระบบนิเวศไบโอโทปป่าดิบ

ระบบนิเวศที่มนุษย์สร้างขึ้นส่วนใหญ่มีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นแหล่งพักผ่อนหย่อนใจซึ่งสามารถสร้างได้หลายรูปแบบ อีกทั้งยังสามารถเป็นแหล่งการเรียนรู้ทางการศึกษาได้ เช่น ระบบนิเวศแบบไบโอโทป (Biotope) ที่เป็นการสร้างระบบนิเวศโดยไม่คำนึงถึงระบบเดิมหรือสังคมพืชเดิม และสามารถสร้างได้หลายรูปแบบตามต้องการ เช่น ไบโอโทปป่าดิบ ไบโอโทปป่าผลัดใบ แต่ระบบนิเวศแบบไบโอโทปต้องได้รับการดูแลค่อนข้างมากเนื่องจากมีสภาพระบบนิเวศที่ต่างจากป่าธรรมชาติ พืชจึงอาจไม่สามารถเจริญเติบโตและกระจายพันธุ์ได้ตามธรรมชาติ จากปัญหาดังกล่าวจึงเกิดแนวคิดในการสร้างพื้นที่สีเขียวที่สามารถฟื้นฟูระบบนิเวศได้อย่างยั่งยืนอีกทั้งเป็นแหล่งรวบรวมความหลากหลายทางชีวภาพที่มีประสิทธิภาพดีกว่า ซึ่งแนวคิดในการสร้างระบบนิเวศอย่างยั่งยืนรูปแบบหนึ่งที่ได้รับความนิยมแพร่หลาย คือ การปลูกป่านิเวศ (Ecoforest) ที่เป็นการปลูกป่าเพื่อฟื้นฟูระบบนิเวศให้ใกล้เคียงกับระบบนิเวศเดิมซึ่งสามารถฟื้นตัวได้เร็วภายในระยะเวลาอันสั้นและได้ผลอย่างยั่งยืน โดยแนวทางการปลูกป่านิเวศที่ได้รับการยอมรับทั่วโลกคือ หลักการของมิยาวากิ (Miyawaki, 1999) มีหลักการที่สำคัญคือศึกษาพันธุ์ไม้ท้องถิ่นที่พบในพื้นที่และนำพันธุ์ไม้ท้องถิ่นมาปลูกเพื่อให้ระบบนิเวศมีความใกล้เคียงกับระบบนิเวศเดิม ทำให้ป่าสามารถย่นระยะเวลาในการพัฒนาได้มากกว่า 10 เท่า โดยใช้ความถี่ในการปลูก 4 ต้นต่อพื้นที่ปลูก 1 ตารางเมตร มีการปลูกแบบสุ่มเพื่อให้ใกล้เคียงกับการกระจายตัวของพืชในสภาพธรรมชาติ นอกจากนี้มีการสร้างเนินดินรวมถึงผสมดินเพื่อเพิ่มอินทรียวัตถุในดินที่ช่วยในการเจริญของพืชในช่วงสามปีแรกและคลุมด้วยฟางข้าวเพื่อช่วยในการเก็บรักษา

ความชื้นในดิน ซึ่งก่อนที่จะทำการปลูกจะมีการนำกล้าไม้จุ่มน้ำก่อนดำเนินการปลูกเพื่อให้น้ำแก่ระบบราก (Miyawaki, 1999) อย่างไรก็ตามการสร้างระบบนิเวศขึ้นมาย่อมแตกต่างจากสภาพป่าธรรมชาติ ดังนั้นจึงต้องมีการออกแบบและมีการจัดการอย่างเหมาะสมเพื่อให้ระบบนิเวศสามารถทำหน้าที่เชิงนิเวศวิทยาอย่างยั่งยืน

2.3. ปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่มีอิทธิพลต่อสัตว์ขาปล้องหน้าดิน

การศึกษาสัตว์ขาปล้องหน้าดินมีมาเป็นเวลานานและมีการศึกษาในระบบนิเวศที่หลากหลาย เนื่องจากเป็นกลุ่มสิ่งมีชีวิตที่มีความหลากหลายทางชีวภาพและมีแหล่งที่อยู่อาศัยที่หลากหลาย สัตว์ขาปล้องหน้าดินได้รับอิทธิพลทั้งทางตรงและทางอ้อมจากปัจจัยสิ่งแวดล้อม โดยจะส่งผลต่อองค์ประกอบของสังคมสัตว์ขาปล้องหน้าดิน ความหลากหลายและ ความหนาแน่นของสัตว์ขาปล้องหน้าดิน โดยปัจจัยที่มีความสำคัญต่อสัตว์ขาปล้องหน้าดินในระบบนิเวศ ได้แก่

2.3.1. <u>อุณหภูมิ (temperature)</u>

อุณหภูมิส่งผลต่อกิจกรรมของสัตว์ขาปล้องหน้าดินและจำนวนของสัตว์ขาปล้องหน้าดินที่สามารถพบได้ในระบบนิเวศ โดยอาจเป็นอุณหภูมิอากาศหรืออุณหภูมิของบริเวณที่สัตว์ขาปล้องหน้าดินอาศัยและหากิน เช่น อุณหภูมิดิน อุณหภูมิในชั้นซากพืช มีการศึกษาจำนวนหนึ่งที่กล่าวว่าอุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญในการควบคุมความหนาแน่นของสัตว์ขาปล้องหน้าดิน เช่น การศึกษาของ Bedano และ คณะ (2005) พบว่าในช่วงฤดูหนาวมีความหนาแน่นของไร ต่ำซึ่งเป็นผลมาจากอุณหภูมิที่ต่ำ การศึกษาสังคมสัตว์ขาปล้องหน้าดินในระบบนิเวศทะเลทรายพบว่าเมื่อให้ร่มเงาแก่ซากพืชที่สะสมบนพื้นดินเพื่อทำให้อุณหภูมิลดลงทำให้ความหนาแน่นของสัตว์ขาปล้องหน้าดินที่พบมากกว่าซากพืชที่ไม่ได้ให้ร่มเงา (Mackay et al. 1986) นอกจากนี้สัตว์แต่ละชนิดมีความชอบหรือมีช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมต่างกัน การศึกษาของ Mitrovski-bogdanovi และ Blesic (2007) ซึ่งทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของฤดูกาลต่อประชากรของ Diplura ในสกุล *Campodeidea* พบว่าสัตว์ต่างชนิดกันจะมีอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตที่ต่างกัน

2.3.2. <u>ความชื้นในดิน (soil moisture)</u>

ความชื้นในดินมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตกลุ่มต่าง ๆ เช่น พืช จุลินทรีย์ สัตว์ ซึ่งรวมถึงสัตว์ขาปล้องหน้าดินดังนั้นความชื้นในดินจึงมีอิทธิพลต่อองค์ประกอบและสังคมของสัตว์ขาปล้องหน้าดิน โดยเป็นปัจจัยที่ควบคุมความหนาแน่นและการกระจายตัวของประชากรของสัตว์ขาปล้องหน้าดินบางกลุ่มได้ เช่น Collembola ที่มีความหนาแน่นมากในบริเวณที่มีความชื้นสูงและมีการเปลี่ยนแปลงของประชากรตามฤดูกาลโดยความหนาแน่นของ Collembola จะ

เพิ่มขึ้นในช่วงฤดูฝนเนื่องจากมีน้ำในดินหรือความชื้นสูงและจะลดลงในช่วงฤดูแล้งที่มีความชื้นน้อย (Wiwatwitaya and Takeda, 2005) กลุ่ม Diplura (*Campodeidea* sp.) บางชนิดที่จะสามารถเจริญได้ดีในช่วงที่มีความชื้นที่เหมาะสมซึ่งจะส่งผลของพลวัตของประชากรในระบบนิเวศ (Mitrovski-bogdanovi and Blesi, 2007)

2.3.3. <u>แสง (light)</u>

ปริมาณแสงที่ส่องถึงพื้นด้านล่างในระบบนิเวศเป็นปัจจัยที่ควบคุมทั้งอุณหภูมิและความชื้นของชั้นซากพืชและดิน ซึ่งจะส่งผลต่อสังคมสัตว์ขาปล้องหน้าดินในชั้นซากพืช โดยการปกคลุมของเรือนยอด (canopy cover) ของสังคมพืชมีผลต่อปริมาณและความเข้มแสงที่ส่องลงมายังพื้นล่าง หากเรือนยอดเปิดโล่งจะทำให้มีปริมาณแสงส่องลงมายังพื้นป่าได้มาก จากการศึกษาของ Cole และคณะ (2016) ทำการศึกษารูปแบบการฟื้นฟูป่าเขตร้อนที่ต่างกันพบว่ารูปแบบการฟื้นฟูป่าที่มีความแปรผันการเปิดของเรือนยอด (canopy openness) มากจะส่งผลให้สัตว์ขาปล้องหน้าดินในชั้นซากพืชมีความหนาแน่นและความหลากหลายมาก เนื่องจากการเปิดของเรือนยอดทำให้มีการเข้าถึงของแสงส่งผลให้ทรัพยากรในชั้นซากพืชมีความหลากหลายและทำให้สัตว์ขาปล้องหน้าดินที่เข้ามาอาศัยมีความหลากหลายมากเช่นกัน นอกจากนี้การเปิดของเรือนยอดทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกลุ่มเด่นจากสัตว์ขาปล้องหน้าดินขนาดใหญ่ เช่น Isopod และ กิ้งกือ ไปเป็นสัตว์ขาปล้องหน้าดินขนาดเล็กโดยเฉพาะกลุ่มไร เนื่องจากสัตว์ขาปล้องหน้าดินขนาดใหญ่กลุ่มดังกล่าวมีพฤติกรรมการหนีแสงทำให้กลุ่มเด่นมีการเปลี่ยนแปลงได้ (González and Lodge, 2017)

2.3.4. <u>ปัจจัยทางชีวภาพ (biological factors)</u>

นอกจากปัจจัยทางกายภาพที่มีอิทธิพลต่อองค์ประกอบของสัตว์ขาปล้องหน้าดินแล้ว ปัจจัยชีวภาพก็มีบทบาทต่อสังคมสัตว์ขาปล้องหน้าดินเช่นกัน สังคมพืชเป็นปัจจัยที่มีผลทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อสังคมสัตว์ขาปล้องหน้าดินในระบบนิเวศ ความหนาแน่นของพืชในพื้นที่ส่งผลต่อปริมาณซากพืชที่ร่วงหล่นที่จะกลายเป็นปริมาณซากพืชที่สะสมบนพื้นป่า รวมถึงมีอิทธิพลต่อการเปิดของเรือนยอด (canopy openness) ซึ่งการเปิดของเรือนยอดส่งผลทางอ้อมต่อสัตว์ขาปล้องหน้าดินที่บริโภคราเช่น Acari Collembola และ Psocoptera ที่มีจำนวนเพิ่มขึ้น เนื่องจากเกิดการเปลี่ยนแปลงกลุ่มเด่นของราบางกลุ่มในชั้นซากพืช เช่น รา Basidiomycete ที่มีการเปลี่ยนแปลงกลุ่มเด่นจาก macrofungi ไปเป็น microfungi นอกจากนี้ยังพบว่าการฟื้นตัวของสังคมสัตว์ขาปล้องหน้าดินในขั้นกระบวนการเปลี่ยนแปลงแทนแบบทุติยภูมิ (secondary succession) ขึ้นอยู่กับความหลากหลายของพืชในระบบนิเวศนั้นด้วย (González and Barberena, 2017) สัตว์บางกลุ่มมีความสัมพันธ์กับสัตว์ขาปล้องหน้าดิน เช่น ไส้เดือนดินและสัตว์ขาปล้องหน้าดินมีความสัมพันธ์กันและ

เกี่ยวข้องกับกระบวนการย่อยสลาย มีรายงานว่าการปรากฏของไส้เดือนดินในระบบนิเวศจะช่วยให้ประชากรสัตว์ขาปล้องหน้าดินเพิ่มขึ้นในช่วงเริ่มต้นของกระบวนการย่อยสลายอินทรียวัตถุในดิน โดยเฉพาะกลุ่มแมลงหางดีดเนื่องจากยังเป็นอินทรียวัตถุที่ใหม่และมีจุลินทรีย์มาก (Monroy et al., 2011) และสัตว์ขาปล้องยังมีความสัมพันธ์กับจุลินทรีย์ในดิน โดยสัตว์ขาปล้องหน้าดินจะช่วยย่อยเศษซากพืชให้มีขนาดเล็กลงช่วยให้จุลินทรีย์เข้ามาย่อยสลายได้ดีขึ้นทำให้กระบวนการย่อยสลายในระบบนิเวศเกิดได้เร็วขึ้น (Seastedt and Crossley, 1984)

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงาน

3.1. การเก็บข้อมูลภาคสนาม

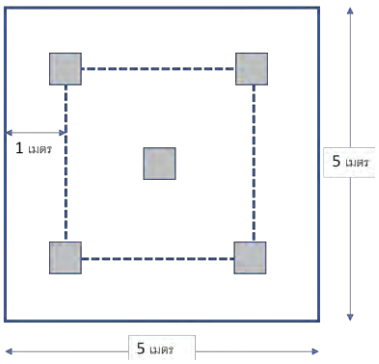
3.1.1. <u>พื้นที่ศึกษา</u>

พื้นที่ศึกษาตั้งอยู่ในบริเวณศูนย์การเรียนรู้ความหลากหลายทางชีวภาพและความยั่งยืน “ชีวพนาเวศ” ตำบลลาดขวาง อำเภอบ้านโพธิ์ จังหวัดฉะเชิงเทรา (13°36’39’45.5”N 101°01’39’30.6”E) ดังแสดงในภาพที่ 3-1 ภายในบริเวณศูนย์การเรียนรู้ฯ ประกอบด้วยระบบนิเวศที่มนุษย์สร้างขึ้น (man-made ecosystems) 2 รูปแบบ ได้แก่ ไบโอโทป (Biotope) และ ป่านิเวศ (Ecoforest) ครอบคลุมพื้นที่รูปแบบละ 30 ไร่ โดยเริ่มดำเนินการตั้งแต่ปี พ.ศ. 2551 ด้วยวิธีการปลูกต้นไม้ที่ต่างกัน ระบบนิเวศแบบไบโอโทปเป็นระบบนิเวศที่มนุษย์สร้างขึ้นมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อเป็นแหล่งเรียนรู้และแหล่งพักผ่อนหย่อนใจ โดยปลูกพืชอย่างไม่คำนึงถึงสภาพแวดล้อมหรือสังคมพืชเดิมในพื้นที่นั้น ๆ สามารถปลูกเลียนแบบสังคมพืชประเภทต่าง ๆ ได้หลากหลาย เช่น ป่าดงดิบ ป่าผลัดใบ และป่าชายเลน ซึ่งในการศึกษานี้ทำการเก็บข้อมูลในไบโอโทปสังคมพืชป่าดิบที่มีความใกล้เคียงกับป่านิเวศมากที่สุดในด้านโครงสร้างสังคมพืช ประกอบด้วยพันธุ์ไม้เด่น เช่น พิกุล (*Mimusops elengi*) นนทรี (*Peltophorum pterocarpum*) ส่วนป่านิเวศจัดเป็นสังคมพืชป่าดิบ (evergreen forest) ที่ดำเนินการปลูกตามหลักการของศาสตราจารย์ ดร.อากิระ มิยาวากิ โดยใช้พันธุ์ไม้ท้องถิ่นในจังหวัดฉะเชิงเทราประมาณ 35-40 ชนิด โครงสร้างสังคมพืชบริเวณป่านิเวศประกอบด้วยไม้เรือนยอดชั้นสูงและมีไม้ต้นเตี้ยปะปน แต่ไม่พบเรือนยอดชั้นรองหรือพืชคลุมดิน พันธุ์ไม้ต้นเด่นที่พบ ได้แก่ ยางนา (*Dipterocarpus alatus*) ไทรย้อย (*Ficus benjamina*) ตะเคียนทอง (*Hopea odorata*) และมะกล่ำต้น (*Adenanthera pavonina*)

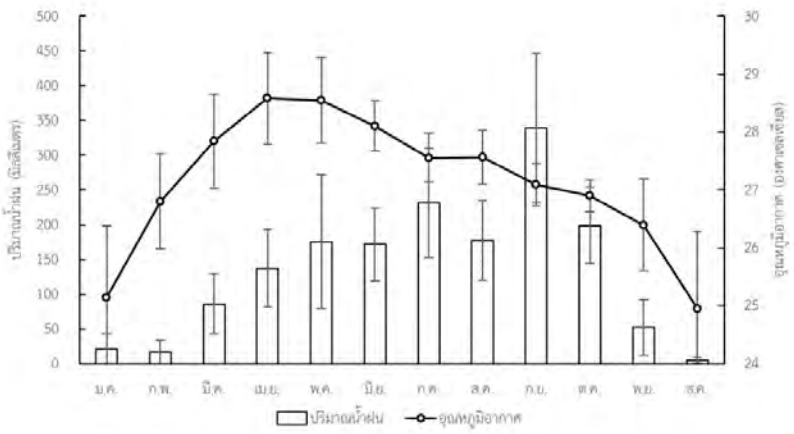
ภาพที่ 3-1 บริเวณศูนย์การเรียนรู้ความหลากหลายทางชีวภาพและความยั่งยืน “ชีวพนาเวศ” ตำบลลาดขวาง ขวาง อำเภอบ้านโพธิ์ จังหวัดฉะเชิงเทรา (ก) และพื้นที่ศึกษาบริเวณป่านิเวศและระบบนิเวศไบโอโทป (ข) (ที่มา: map.google.com และ www.toyota.co.th)

3.1.2. <u>การเก็บข้อมูลสัตว์ขาปล้องหน้าดิน (soil arthropods)</u>

กำหนดจุดเก็บตัวอย่างในแปลงศึกษาขนาด 5 X 5 ตารางเมตร จำนวน 5 แปลงในแต่ละระบบนิเวศ (แปลงตัวอย่างจัดตั้งในปี พ.ศ. 2561 โดยหน่วยปฏิบัติการพฤกษนิเวศวิทยา ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย) โดยกำหนดจุดเก็บตัวอย่างเป็นระบบ (systematic) จำนวนทั้งหมด 5 จุดต่อแปลงศึกษา ประกอบด้วยบริเวณมุมแปลงศึกษาห่างจากขอบแปลงเข้ามาด้านใน 1 เมตร และหนึ่งจุดบริเวณกึ่งกลางแปลงศึกษา แล้วสุ่มจุดเก็บตัวอย่างจำนวน 3 จุดต่อแปลงศึกษาจาก 5 จุดที่กำหนดไว้ (ภาพที่ 3-2) แต่ละจุดเก็บตัวอย่างวัดระดับความสูงของชั้นซากพืชบนพื้นป่าและเก็บตัวอย่างซากพืชที่สะสมบนพื้นในพื้นที่ขนาด 20 x 15 ตารางเซนติเมตร (ดัดแปลงวิธีจาก Ferreira et al., 2018) นำซากพืชบรรจุในถุงพลาสติกแยกแต่ละตัวอย่าง โดยระบุจุดเก็บตัวอย่าง แปลงตัวอย่าง และวันที่เก็บตัวอย่าง นำตัวอย่างกลับมายังห้องปฏิบัติการเพื่อศึกษาสัตว์ขาปล้องหน้าดิน นอกจากนี้วัดอุณหภูมิของชั้นซากพืชและอุณหภูมิดินในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างด้วยเทอร์โมมิเตอร์ ทำการเก็บตัวอย่างซากพืชทั้งหมด 3 ครั้งในช่วงฤดูฝนเนื่องจากมีโอกาสพบสัตว์ขาปล้องหน้าดินได้มากในชั้นซากพืชที่มีความชื้นมาก (Levings and Windsor, 1984) ได้แก่ เดือนพฤษภาคม (ต้นฤดูฝน) เดือนสิงหาคม (กลางฤดูฝน) และ เดือนตุลาคม (ปลายฤดูฝน) พ.ศ. 2562 โดยอ้างอิงจากปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือนตั้งแต่ปีพ.ศ. 2551-2560 (กรมอุตุนิยมวิทยา ประเทศไทย) ดังแสดงในภาพที่ 3-3



ภาพที่ 3-2 วิธีการเก็บตัวอย่างด้วยวิธี systematic ในแปลงศึกษา พื้นที่สีเทาแสดงจุดเก็บตัวอย่าง



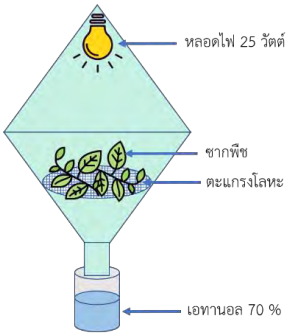
ภาพที่ 3-3 ปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนในช่วง 10 ปี (พ.ศ. 2551-2560) ของสถานีตรวจอากาศจังหวัดฉะเชิงเทรา (กรมอุตุนิยมวิทยา, ประเทศไทย) แถบค่าคลาดเคลื่อนแสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

3.2. การวิเคราะห์ข้อมูลห้องปฏิบัติการ

3.2.1. <u>การแยกสัตว์หน้าดินออกจากตัวอย่างซากพืช</u>

นำตัวอย่างซากพืชที่เก็บจากภาคสนามมาทำการสกัดแยกสัตว์หน้าดินออกจากตัวอย่างดิน โดยใช้ Berlese funnel บรรจุซากพืชลงในกรวยแล้วปิดฝาที่ต่อกับหลอดไฟฟ้าขนาด 25 วัตต์เพื่อให้ความร้อน เปิดไฟส่องเป็นเวลา 48 ชั่วโมง (Palacios-Vargas et al., 2007) ซึ่งแสงและความร้อน

จากหลอดไฟจะทำให้สัตว์หน้าดินที่อยู่ในตัวอย่างซากพืชเคลื่อนที่หนีลงด้านล่างผ่านตะแกรงและตกลงไปในภาชนะรองรับที่มีเอทานอล 70% (ภาพที่ 3-4)



ภาพที่ 3-4 เครื่องมือสกัดสัตว์จากซากพืช (Berlese funnel)

3.2.2. <u>การจำแนกชนิดและนับจำนวนสัตว์ขาปล้องหน้าดินขนาดกลางและขนาดใหญ่</u>

นำตัวอย่างสัตว์หน้าดินในเอทานอล 70% ที่ได้มาจำแนกสัตว์ขาปล้องหน้าดินตามขนาดความยาวของลำตัว ซึ่งในการศึกษานี้จำแนกเพียงแค่สัตว์ขาปล้องหน้าดินขนาดใหญ่และขนาดกลางเท่านั้น ทำการจำแนกถึงระดับอันดับ (order) โดยใช้รูปวิธาน (Triplehorn and Johnson, 2005) และนับจำนวนสัตว์ขาปล้องหน้าดินในแต่ละอันดับภายใต้กล้องจุลทรรศน์ชนิดสเตอริโอ

3.2.3. <u>ตัวอย่างซากพืช</u>

นำตัวอย่างซากพืชหลังจากสกัดแยกสัตว์หน้าดินแล้วมาอบที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่เพื่อประมาณปริมาณซากพืชที่สะสมบนพื้นป่า

3.3. การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยการคำนวณ

3.3.1. <u>ความหนาแน่น (density)</u>

หาความหนาแน่นของสัตว์ขาปล้องหน้าดินในหน่วยจำนวนตัวต่อพื้นที่

3.3.2. <u>ดัชนีความหลากหลาย (diversity index)</u>

คำนวนค่าดัชนีความหลากหลายของสัตว์ขาปล้องหน้าดินทั้งขนาดใหญ่และขนาดกลาง โดยใช้ค่าดัชนีของแชนนอน-เวียเนอร์ (Shannon-Wiener's Index) (Shannon, 1984) ซึ่งคำนวณได้จาก

$$H' = -\sum_{i=1}^{s} P_i \ln(P_i)$$

H' = ดัชนีความหลากหลายของแชนนอน-เวียเนอร์ (Shannon-Wiener's Index)

P_i = สัดส่วนของจำนวนสัตว์ขาปล้องหน้าดินที่ i ต่อผลรวมของจำนวนสัตขาปล้องหน้าดินทั้งหมด

s = จำนวนสัตว์ขาปล้องหน้าดินทั้งหมด

ln = ลอการิทึมธรรมชาติ

3.3.3. <u>ดัชนีดัชนีความมากชนิด (richness index)</u>

คำนวนค่าดัชนีความมากชนิด (richness index) ของสัตว์ขาปล้องหน้าดินขนาดใหญ่และขนาดกลาง โดยใช้ค่าดัชนีของ Margalef index (Margalef, 1958) ซึ่งคำนวณได้จาก

$$R = \frac{S-1}{\ln(n)}$$

R = ดัชนีความมากชนิด ในการศึกษานี้คือ Order richness

n = จำนวนตัวของสัตว์ขาปล้องหน้าดินทั้งหมดที่พบ

S = จำนวนอันดับสัตว์ขาปล้องหน้าดิน

ln = ลอการิทึมธรรมชาติ

3.3.4. <u>ดัชนีดัชนีความเท่าเทียม (evenness index)</u>

คำนวณค่าดัชนีความเท่าเทียม (evenness index) ของสัตว์ขาปล้องหน้าดินขนาดใหญ่และขนาดกลาง โดยใช้ค่าดัชนีของ Pielou index (Pielou, 1966) ซึ่งคำนวณได้จาก

$$E = \frac{H}{\ln(S)}$$

E = ดัชนีความเท่าเทียม

H = ดัชนีความหลากหลายของแชนนอน-เวียเนอร์

S = จำนวนอันดับสัตว์ขาปล้องหน้าดินที่พบในจุดเก็บตัวอย่างนั้น

In = ลอการิทึมธรรมชาติ

3.3.5. <u>การจัดกลุ่มตามหน้าที่ทางนิเวศวิทยา (functional group)</u>

จัดกลุ่มตามหน้าที่ทางนิเวศวิทยา (functional group) ของสัตว์ขาปล้องหน้าดิน ซึ่งเป็นการจัดกลุ่มของสัตว์ตามการบริโภค เช่น ผู้ล่า ผู้ย่อยสาย ผู้บริโภคพืช โดยในกรณีที่สัตว์ขาปล้องหน้าดินบางอันดับสามารถจัดกลุ่มตามหน้าที่ทางนิเวศวิทยาได้หลากหลาย จะจัดกลุ่มโดยอนุมานให้อยู่ในกลุ่มที่สัตว์ส่วนใหญ่ในอันดับนั้นบริโภค เช่น อันดับ Collembola จัดเป็นกลุ่มกินรา (fungivore) (Wallwork, 1976) อันดับ Acari จัดเป็นกลุ่มผู้ล่า (predator) เนื่องจากส่วนใหญ่ในพื้นที่ศึกษาพบไรในวงศ์ Mesostigmata ซึ่งเป็นไรผู้ล่า (Koehler, 1999) อันดับ Hymenoptera จัดเป็นกลุ่ม omnivore เนื่องจากบริโภคได้หลากหลายสามารถเป็นทั้งผู้ล่า ผู้ย่อยสลาย และผู้บริโภคน้ำหวาน (Cole et al., 2016)

3.4. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS version 22

3.4.1. <u>การเปรียบเทียบระหว่างป่านิเวศและระบบนิเวศไบโอโทปป่าดิบ</u>

เปรียบเทียบปริมาณซากพืช ความสูงของชั้นซากพืช อุณหภูมิชั้นซากพืช ความหนาแน่นของสัตว์ขาปล้องหน้าดิน ระหว่างระบบนิเวศไบโอโทปและป่านิเวศด้วยวิธี Independent t-test

3.4.2. <u>การเปรียบเทียบระหว่างช่วงเวลาที่เก็บตัวอย่าง</u>

เปรียบเทียบปริมาณซากพืช ความสูงของชั้นซากพืช อุณหภูมิชั้นซากพืช ความหนาแน่นของสัตว์ขาปล้องหน้าดิน ของระบบนิเวศไบโอโทปและป่านิเวศในช่วงเวลาที่เก็บตัวอย่าง ด้วยวิธี Kruskal-Wallis test

3.4.3. <u>การหาความสัมพันธ์ระหว่างซากพืชและสัตว์ขาปล้องหน้าดิน</u>

หาความสัมพันธ์ปริมาณซากพืชและความสูงของชั้นซากพืชกับความหนาแน่นของสัตว์ขาปล้องหน้าดินด้วยวิธี Spearman rank correlation test เนื่องจากข้อมูลกระจายไม่ปกติ

3.4.4. <u>การเปรียบเทียบสัดส่วนของกลุ่มตามหน้าที่ทางนิเวศวิทยา (functional group)</u>

เปรียบเทียบสัดส่วนของกลุ่มตามหน้าที่ทางนิเวศวิทยา (functional group) ของสัตว์ขาปล้องหน้าดินในแต่ละครั้งของการเก็บตัวอย่างและระหว่างสองระบบนิเวศด้วย goodness of fit test โดยใช้วิธี chi-square test

บทที่ 4
ผลการศึกษา

4.1.การศึกษาสัตว์ขาปล้องหน้าดิน

4.1.1. <u>สังคมสัตว์ขาปล้องหน้าดินในชั้นซากพืช</u>

จำนวนอันดับของสัตว์ขาปล้องหน้าดินในชั้นซากพืชไม่มีความแตกต่างกันในระบบนิเวศไบโอโทปป่าดิบและป่านิเวศ โดยระบบนิเวศไบโอโทปป่าดิบพบทั้งหมด 17 อันดับ เมื่อพิจารณาแยกแต่ละช่วงในการเก็บตัวอย่างในเดือนพฤษภาคม เดือนสิงหาคม และเดือนตุลาคมมีจำนวนอันดับสัตว์ขาปล้องหน้าดินที่พบเท่ากับ 14, 15 และ 14 อันดับตามลำดับ ในขณะที่ป่านิเวศพบทั้งหมด 14 อันดับ เมื่อพิจารณาแยกในเดือนพฤษภาคม เดือนสิงหาคม และเดือนตุลาคมมีจำนวนอันดับสัตว์ขาปล้องหน้าดินที่พบเท่ากับ 14, 11 และ 6 อันดับตามลำดับ (ตารางที่ 4-1)

ตารางที่ 4-1 อันดับของสัตว์ขาปล้องหน้าดินที่พบในระบบนิเวศไบโอโทปป่าดิบและป่านิเวศ เครื่องหมาย √ แสดงอันดับที่พบ เครื่องหมาย – แสดงอันดับที่ไม่พบในครั้งการเก็บตัวอย่างนั้น ๆ

อันดับ	พฤษภาคม		สิงหาคม		ตุลาคม	
	ไบโอโทป	ป่านิเวศ	ไบโอโทป	ป่านิเวศ	ไบโอโทป	ป่านิเวศ
Acari	√	√	√	√	√	√
Araneae	√	√	√	√	√	√
Blattodea	√	√	√	-	√	-
Coleoptera	√	√	√	√	√	-
Collembola	√	√	√	√	√	-
Diplopoda	√	-	-	-	√	-
Diplura	-	-	-	-	√	-
Diptera	√	√	√	√	√	-
Geophilomorpha	-	-	√	-	-	-
Hemiptera	√	√	√	√	√	-
Hymenoptera	√	√	√	√	√	√
Isopoda	√	√	√	√	√	-
Isoptera	-	√	√	√	√	√
Lepidoptera	-	√	-	-	-	-

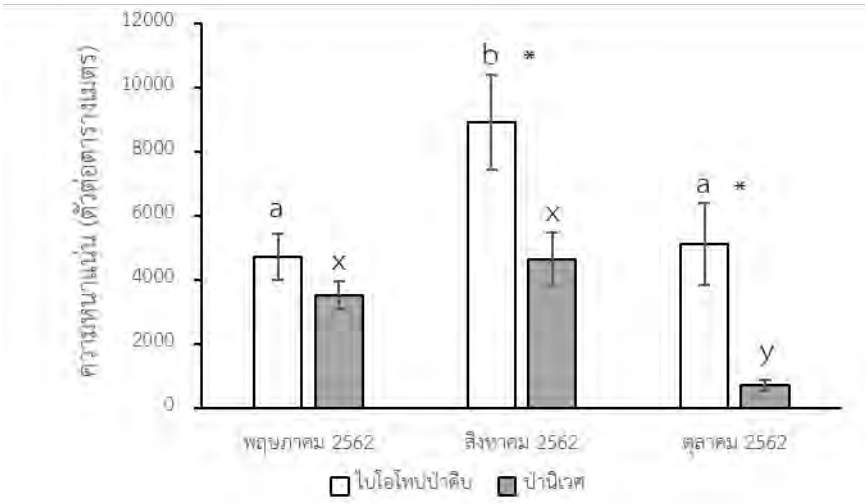
ตารางที่ 4-2 (ต่อ) อันดับของสัตว์ขาปล้องหน้าดินที่พบในระบบนิเวศไบโอโทปป่าดิบและป่านิเวศ เครื่องหมาย √ แสดงอันดับที่พบ เครื่องหมาย – แสดงอันดับที่ไม่พบในครั้งการเก็บตัวอย่างนั้น ๆ

	พฤษภาคม		สิงหาคม		ตุลาคม	
อันดับ	ไบโอโทป	ป่านิเวศ	ไบโอโทป	ป่านิเวศ	ไบโอโทป	ป่านิเวศ
Orthoptera	√	√	√	-	-	-
Pseudoscorpian	√	-	√	-	-	-
Psocoptera	√	√	√	√	√	√
Thysanoptera	√	√	√	√	√	√
จำนวนอันดับรวม	14	14	15	11	14	6

4.1.2. <u>ความหนาแน่นของสัตว์ขาปล้องหน้าดิน</u>

เมื่อพิจารณาความหนาแน่นของสัตว์ขาปล้องหน้าดินเปรียบเทียบระหว่างระบบนิเวศไบโอโทปและป่านิเวศพบว่าในเดือนพฤษภาคมไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยช่วงต้นฤดูฝน (เดือนพฤษภาคม) มีความหนาแน่นรวมของสัตว์ขาปล้องหน้าดินอยู่ในช่วง 1,100-7,666 ตัวต่อตารางเมตร ในขณะที่ความหนาแน่นของสัตว์ขาปล้องหน้าดินที่พบในระบบนิเวศไบโอโทปป่าดิบในเดือนสิงหาคมและเดือนตุลาคมมากกว่าที่พบในป่านิเวศอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($t=2.509$, $p<0.05$ และ $t=2.509$, $p<0.05$ ตามลำดับ) กล่าวคือช่วงกลางฤดูฝน(เดือนสิงหาคม) ระบบนิเวศไบโอโทปป่าดิบมีความหนาแน่นของสัตว์ขาปล้องหน้าดินเฉลี่ยมากกว่าป่านิเวศถึงสองเท่าโดยมีค่าเท่ากับ 8,897 ± 1,472 ตัวต่อตารางเมตร และ 4,652 ± 832 ตัวต่อตารางเมตร ตามลำดับ ส่วนในช่วงปลายฤดูฝน (เดือนตุลาคม) ระบบนิเวศไบโอโทปป่าดิบมีความหนาแน่นของสัตว์ขาปล้องหน้าดินเฉลี่ยเท่ากับ 5,116 ± 1,264 ตัวต่อตารางเมตร ซึ่งมากกว่าป่านิเวศถึงเจ็ดเท่าโดยมีค่าเท่ากับ 708 ± 156 ตัวต่อตารางเมตร ดังแสดงในภาพที่ 4-1

เมื่อพิจารณาความหนาแน่นของสัตว์ขาปล้องหน้าดินในชั้นซากพืชที่สะสมบนพื้นป่าระหว่างทั้งสามครั้งที่เก็บตัวอย่างพบว่าในระบบนิเวศไบโอโทปป่าดิบมีความหนาแน่นของสัตว์ขาปล้องหน้าดินในเดือนสิงหาคม มากกว่าเดือนพฤษภาคมและตุลาคมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($\chi^2=6.173$, $p<0.05$) ในขณะที่ความหนาแน่นของสัตว์ขาปล้องหน้าดินของป่านิเวศในเดือนพฤษภาคมและเดือนสิงหาคมมากกว่าเดือนตุลาคมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($\chi^2=20.695$, $p<0.05$) ดังแสดงในภาพที่ 4-1



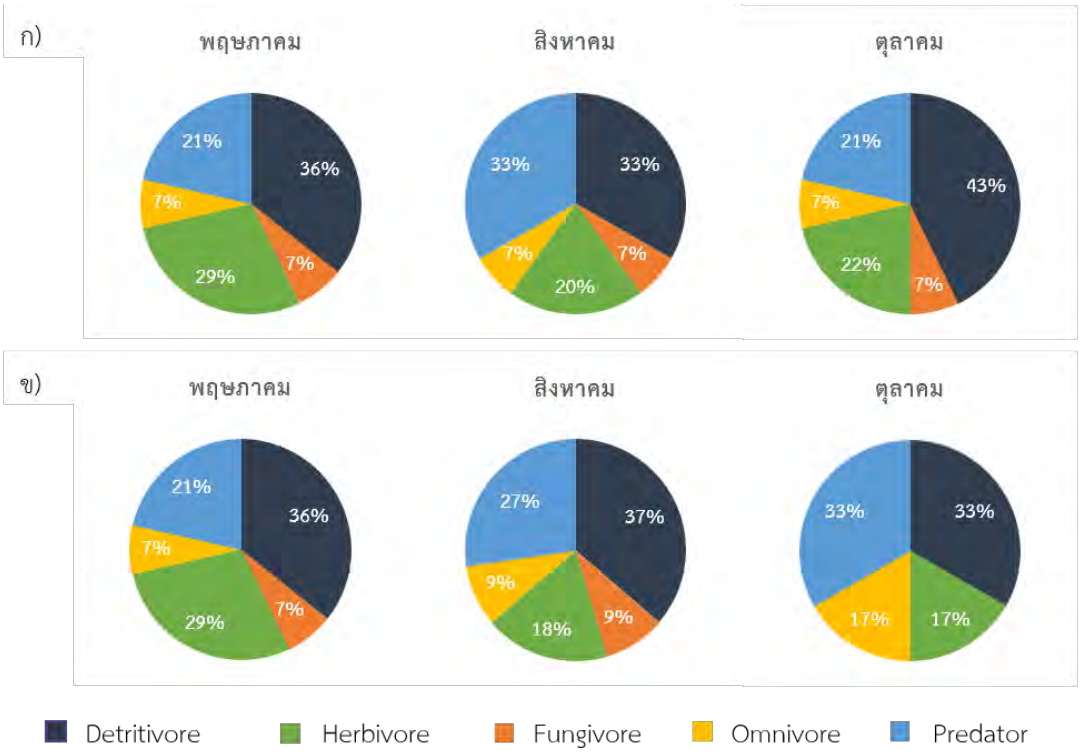
ภาพที่ 4-1 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของสัตว์ขาปล้องหน้าดินในชั้นซากพืชที่สะสมบนพื้นป่าในระบบนิเวศไบโอโทปป่าดิบและป่านิเวศ (n=12) แถบค่าคลาดเคลื่อนแสดง Standard error of mean (SE) เครื่องหมาย * แสดงค่าเฉลี่ยที่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจาก Independent t-test ($p<0.05$) เทียบระหว่างสองระบบนิเวศและตัวอักษรที่ต่างกัน แสดงค่าเฉลี่ยที่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจาก Kruskal-Wallis test ด้วย posthoc test ($p<0.05$) เทียบระหว่างครั้งการเก็บตัวอย่าง

4.1.3. <u>กลุ่มตามหน้าที่ทางนิเวศวิทยา (functional group) ของสัตว์ขาปล้องหน้าดิน</u>

เมื่อจำแนกสัตว์ขาปล้องหน้าดินในชั้นซากพืชที่พบในระบบนิเวศไบโอโทปป่าดิบและป่านิเวศ โดยแบ่งตามหน้าที่ทางนิเวศวิทยา พบว่าสามารถจัดกลุ่มได้ทั้งหมด 5 กลุ่มได้แก่ กลุ่มผู้ย่อยสลาย (detritivore) กลุ่มผู้ล่า (predator) กลุ่มที่บริโภคพืช (herbivore) กลุ่มที่บริโภครา (fungivore) และกลุ่มที่บริโภคทั้งพืชและสัตว์ (omnivore) ดังแสดงในตารางที่ 4-2 เมื่อพิจารณาสัดส่วนของกลุ่มตามหน้าที่ทางนิเวศวิทยาที่พบในระบบนิเวศไบโอโทปป่าดิบและป่านิเวศ ในเดือนพฤษภาคม เดือนสิงหาคม และเดือนตุลาคมพบว่ามีสัดส่วนที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อทดสอบสถิติโดยใช้ chi square test กลุ่มที่พบส่วนใหญ่ในทั้งสามครั้งของการเก็บตัวอย่าง คือ กลุ่มผู้ย่อยสลาย (ภาพที่ 4-2) นอกจากนี้ยังพบว่าในป่านิเวศในเดือนตุลาคมไม่พบสัตว์ขาปล้องหน้าดินกลุ่มบริโภครา (ภาพที่ 4-2)

ตารางที่ 4-3 การจัดกลุ่มตามหน้าที่ทางนิเวศวิทยาของสัตว์ขาปล้องหน้าดินในแต่ละอันดับที่พบในระบบนิเวศไบโอโทปป่าดิบและป่านิเวศ จังหวัดฉะเชิงเทรา

กลุ่มตามหน้าที่ทางนิเวศวิทยา	ชื่ออันดับ
กลุ่มผู้ย่อยสลาย (detritivore)	Blattodea
	Diplopoda
	Diptera
	Isopoda
	Isoptera
	Psocoptera
กลุ่มผู้ล่า (predator)	Acari
	Araneae
	Coleoptera
	Geophilomorpha
	Pseudoscorpian
กลุ่มที่บริโภคพืช (herbivore)	Diplura
	Hemiptera
	Lepidoptera
	Orthoptera
	Thysanoptera
กลุ่มที่บริโภครา (fungivore)	Collembola
กลุ่มที่บริโภคทั้งพืชและสัตว์ (omnivore)	Hymenoptera



ภาพที่ 4-2 สัดส่วนกลุ่มตามหน้าที่ทางนิเวศวิทยาของสัตว์ขาปล้องหน้าดินในระบบนิเวศไบโอโทปป่าดิบ (ก) และป่านิเวศ (ข) ในเดือนเดือนพฤษภาคม เดือนสิงหาคม และเดือนตุลาคม พ.ศ. 2562

4.1.4. <u>ความหลากหลายของสัตว์ขาปล้องหน้าดิน</u>

จากการคำนวณค่าดัชนีของสัตว์ขาปล้องหน้าดินในระบบนิเวศไบโอโทปป่าดิบและป่านิเวศ พบว่ามีค่าดัชนีความหลากหลายของแชนนอน-เวียเนอร์ (Shanon-Wiener Index, H') และดัชนีความสม่ำเสมอ (Evenness Index, E) ของป่านิเวศมากกว่าระบบนิเวศไบโอโทปป่าดิบในทั้งสามเดือนที่เก็บตัวอย่าง เมื่อพิจารณาดัชนีความมากอันดับ (Order Richness, R) ของป่านิเวศในเดือนพฤษภาคมพบว่ามีค่ามากกว่าระบบนิเวศไบโอโทปป่าดิบ แต่ในเดือนสิงหาคมและเดือนตุลาคมพบว่าความมากอันดับของป่านิเวศมีค่าน้อยกว่าไบโอโทปป่าดิบ (ตารางที่ 4-3)

ตารางที่ 4-4 ดัชนีแสดงความหลากหลายของสัตว์ขาปล้องหน้าดินที่พบในระบบนิเวศไบโอโทปป่าดิบและป่านิเวศ

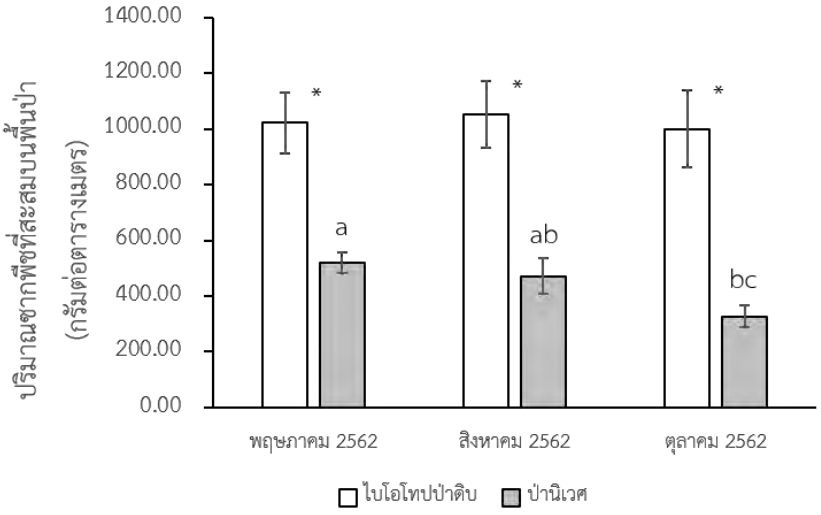
ค่าดัชนี	พฤษภาคม 2562		สิงหาคม 2562		ตุลาคม 2562	
	ไบโอโทป	ป่านิเวศ	ไบโอโทป	ป่านิเวศ	ไบโอโทป	ป่านิเวศ
H’	0.947	1.513	0.963	1.466	1.066	1.449
E	0.359	0.573	0.356	0.611	0.404	0.809
R	1.748	1.819	1.732	1.347	1.729	0.902

4.2.ซากพืชสะสมบนพื้นป่าในระบบนิเวศที่มนุษย์สร้างขึ้น

4.2.1. <u>ปริมาณซากพืชสะสมบนพื้นป่า</u>

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณซากพืชสะสมบนพื้นป่าระหว่างไบโอโทปป่าดิบและป่านิเวศที่ได้ทำการศึกษา 3 ครั้งในช่วงฤดูฝน ได้แก่ เดือนพฤษภาคม เดือนสิงหาคม และเดือนตุลาคม พบว่าระบบนิเวศไบโอโทปป่าดิบมีปริมาณซากพืชที่สะสมบนพื้นป่าเฉลี่ยมากกว่าป่านิเวศ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($t=4.370$, $p<0.05$, ภาพที่ 4-3) โดยในช่วงต้นฤดูฝน (เดือนพฤษภาคม) พบว่าระบบไบโอโทปป่าดิบมีปริมาณซากพืชสะสมเฉลี่ยมากกว่าป่านิเวศถึงสองเท่า มีค่าเท่ากับ 1,022.97 ± 109.20 กรัมต่อตารางเมตร และ 519.36 ± 36.87 กรัมต่อตารางเมตรตามลำดับ เช่นเดียวกับช่วงกลางฤดูฝน (เดือนสิงหาคม) มีค่าเท่ากับ 1,051.39 ± 120.44 กรัมต่อตารางเมตรและ 471.11 ± 64.28 กรัมต่อตารางเมตร ตามลำดับ ($t=4.250$, $p<0.05$) ในขณะที่ช่วงปลายฤดูฝน (เดือนตุลาคม) ปริมาณซากพืชสะสมเฉลี่ยในระบบนิเวศไบโอโทปป่าดิบมีค่า 999.81 ± 138.34 กรัมต่อตารางเมตรมากกว่าป่านิเวศถึงสิบเท่าซึ่งมีค่า 326.25 ± 39.03 กรัมต่อตารางเมตร ($t=4.686$, $p=0.05$)

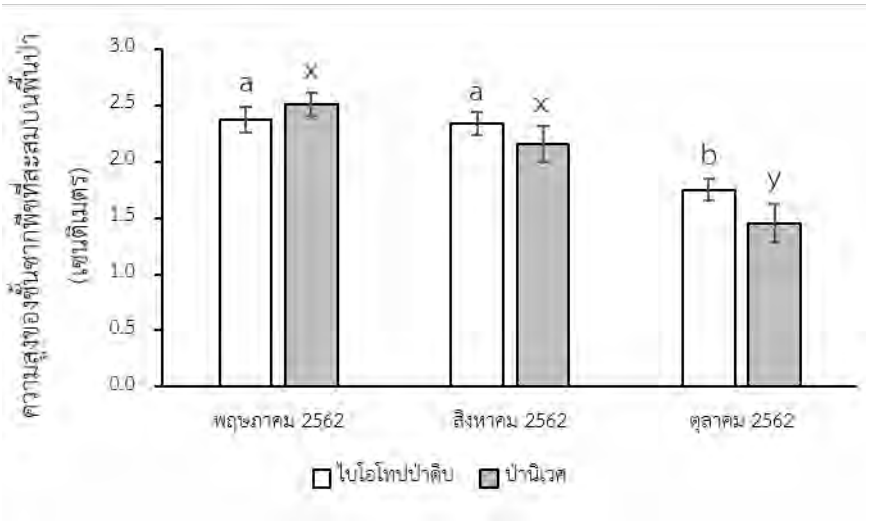
เมื่อพิจารณาปริมาณซากพืชที่สะสมบนพื้นป่าในระบบนิเวศไบโอโทปป่าดิบทั้งสามครั้งที่เก็บตัวอย่าง พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ปริมาณพืชที่สะสมบนพื้นป่าในป่านิเวศในแต่ละครั้งของการเก็บตัวอย่างมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($\chi^2=8.922$, $p<0.05$) โดยปริมาณซากพืชที่สะสมบนพื้นป่าในเดือนพฤษภาคมและเดือนสิงหาคมมีปริมาณซากพืชที่สะสมมากกว่าเดือนตุลาคม (ภาพที่ 4-3)



ภาพที่ 4-3 ค่าเฉลี่ยปริมาณซากพืชที่สะสมบนพื้นป่าในระบบนิเวศไบโอโทปป่าดิบและป่านิเวศ (n=12) แถบค่าคลาดเคลื่อนแสดง Standard error of mean (SE) เครื่องหมาย * แสดงค่าเฉลี่ยที่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจาก Independent t-test ($p<0.05$) เมื่อเทียบสองระบบนิเวศและตัวอักษรที่ต่างกันแสดงค่าเฉลี่ยที่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจาก Kruskal-Wallis test ด้วย posthoc test ($p<0.05$) เทียบระหว่างครั้งการเก็บตัวอย่าง

4.2.2. <u>ความสูงของชั้นซากพืชที่สะสมบนพื้นป่า</u>

ความสูงของชั้นซากพืชที่สะสมบนพื้นป่าของระบบนิเวศไบโอโทปป่าดิบและป่านิเวศไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทั้งสามครั้งที่เก็บตัวอย่างในเดือนพฤษภาคม เดือนสิงหาคม และเดือนตุลาคม โดยในระบบนิเวศไบโอโทปป่าดิบมีความสูงของชั้นซากพืชที่สะสมอยู่ในช่วง 1.0-3.5 เซนติเมตร และป่านิเวศมีความสูงของชั้นซากพืชที่สะสมอยู่ในช่วง 0.2-3.2 เซนติเมตร (ภาพที่ 4-4) เมื่อพิจารณาความสูงของชั้นซากพืชที่สะสมบนพื้นป่าเปรียบเทียบระหว่างสามครั้งเก็บตัวอย่าง พบว่าระบบนิเวศไบโอโทปป่าดิบมีความสูงของชั้นซากพืชเฉลี่ยในช่วงต้นฤดูฝน (เดือนพฤษภาคม) และช่วงกลางฤดูฝน (เดือนสิงหาคม) มากกว่าเดือนตุลาคมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (χ^2=15.642, $p<0.05$) เช่นเดียวกับในป่านิเวศ (χ^2=16.608, $p<0.05$) ดังแสดงในภาพที่ 4-4

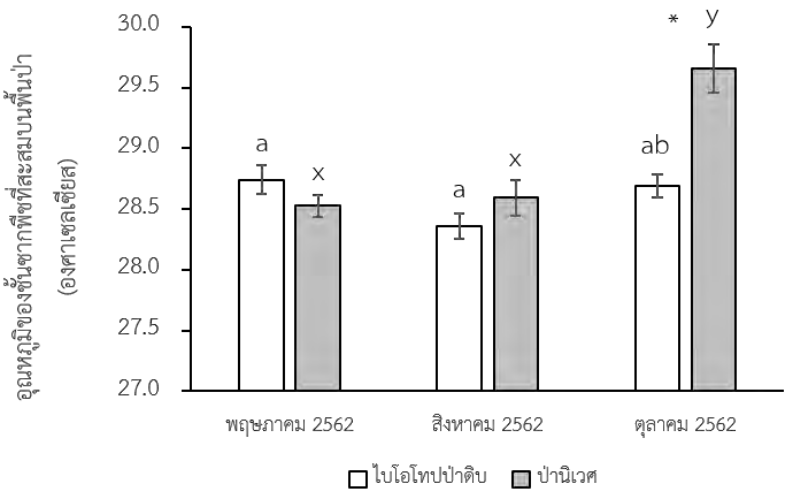


ภาพที่ 4-4 ค่าเฉลี่ยความสูงของชั้นซากพืชที่สะสมบนพื้นป่าในระบบนิเวศไบโอโทปป่าดิบและป่านิเวศ (n=12) แถบค่าคลาดเคลื่อนแสดง Standard error of mean (SE) และตัวอักษรที่ต่างกันแสดงค่าเฉลี่ยที่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจาก Kruskal-Wallis test ด้วย posthoc test ($p<0.05$) เทียบระหว่างครั้งการเก็บตัวอย่าง

4.2.3. <u>อุณหภูมิของชั้นซากพืชที่สะสมบนพื้นป่าและอุณหภูมิดิน</u>

จากการศึกษาอุณหภูมิของชั้นซากพืชที่สะสมบนพื้นป่าในระบบนิเวศไบโอโทปป่าดิบและป่านิเวศ พบว่าอุณหภูมิของชั้นซากพืชเฉลี่ยของระบบนิเวศไบโอโทปป่าดิบและป่านิเวศ ในเดือนพฤษภาคมและเดือนสิงหาคมไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่อุณหภูมิของชั้นซากพืชที่สะสมบนพื้นป่าในเดือนตุลาคมของระบบนิเวศไบโอโทปป่าดิบต่ำกว่าป่านิเวศอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($t=-4.418$, $p<0.05$) โดยเดือนพฤษภาคมซึ่งอยู่ในช่วงต้นฤดูฝน มีอุณหภูมิของชั้นซากพืชที่สะสมอยู่ในช่วง 28.1-29.6 องศาเซลเซียส และในเดือนสิงหาคมซึ่งอยู่ในช่วงกลางฤดูฝนมีอุณหภูมิของชั้นซากพืชที่สะสมอยู่ในช่วง 27.7-29.7 องศาเซลเซียส ส่วนในเดือนตุลาคมซึ่งอยู่ในช่วงปลายฤดูฝน พบว่าไบโอโทปป่าดิบมีอุณหภูมิของชั้นซากพืชที่สะสมเฉลี่ย 28.7 ± 0.1 องศาเซลเซียส ในขณะที่ป่านิเวศมีอุณหภูมิของชั้นซากพืชที่สะสมเฉลี่ย 29.7 ± 0.2 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 4-5) เมื่อพิจารณาอุณหภูมิของชั้นซากพืชที่สะสมบนพื้นป่าใน 3 ครั้งที่เก็บตัวอย่างในระบบนิเวศไบโอโทปป่าดิบพบว่าในเดือนพฤษภาคมและเดือนตุลาคมมีอุณหภูมิของชั้นซากพืชที่สะสมบนพื้นป่ามากกว่าเดือนสิงหาคมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($\chi^2=7.287$, $p<0.05$) ในขณะที่อุณหภูมิของชั้นซากพืชที่สะสมบนพื้นป่าใน 3 ครั้งที่เก็บตัวอย่างของป่านิเวศมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($\chi^2=17.917$,

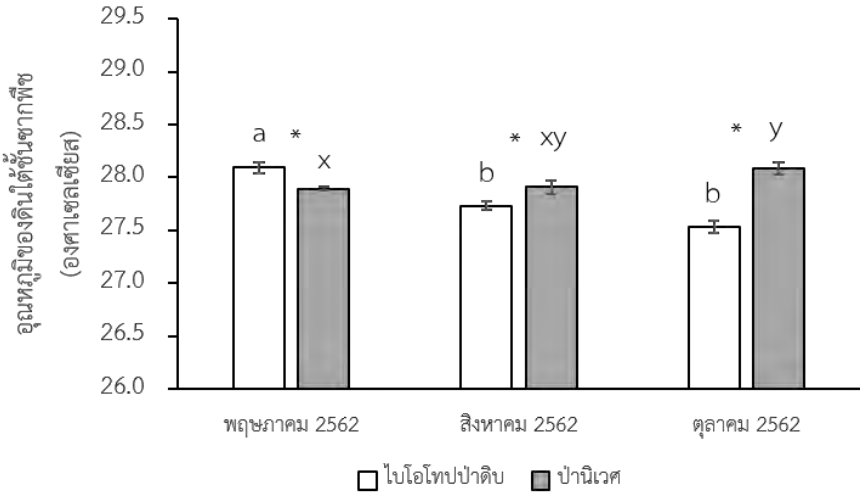
p<0.05) โดยอุณหภูมิเฉลี่ยของชั้นซากพืชที่สะสมบนพื้นป่าในเดือนตุลาคมมีค่าสูงกว่าเดือนพฤษภาคมและเดือนสิงหาคม (ภาพที่ 4-5)



ภาพที่ 4-5 ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของชั้นซากพืชที่สะสมบนพื้นป่าในระบบนิเวศไบโอโทปป่าดิบและป่านิเวศ (n=12) แถบค่าคลาดเคลื่อนแสดง Standard error of mean (SE) เครื่องหมาย * แสดงค่าเฉลี่ยที่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจาก Independent t-test (p<0.05) เทียบระหว่างสองระบบนิเวศ และตัวอักษรที่ต่างกัน แสดงค่าเฉลี่ยที่แตกต่างอย่างมีนัยยะสำคัญทางสถิติจาก Kruskal-Wallis test ด้วย posthoc test (p<0.05) เทียบระหว่างครั้งการเก็บตัวอย่าง

จากการศึกษาอุณหภูมิของดินใต้ชั้นซากพืชที่สะสมบนพื้นป่าพบว่าอุณหภูมิของดินเฉลี่ยในระบบนิเวศไบโอโทปป่าดิบและป่านิเวศในทั้งสามเดือนที่เก็บตัวอย่างมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในเดือนพฤษภาคมระบบนิเวศไบโอโทปป่าดิบมีอุณหภูมิเฉลี่ยของดินใต้ชั้นซากพืชมากกว่าป่านิเวศ (t=3.736, p<0.05) โดยมีค่า 28.1 ± 0.1 องศาเซลเซียส และ 27.9 ± 0.0 องศาเซลเซียสตามลำดับ ในขณะที่เดือนสิงหาคมและเดือนตุลาคมระบบนิเวศไบโอโทปป่าดิบมีอุณหภูมิเฉลี่ยของดินใต้ชั้นซากพืชน้อยกว่าป่านิเวศ (t=-2.226, p<0.05 และ t=-6.438, p<0.05 ตามลำดับ) โดยในเดือนสิงหาคมระบบนิเวศไบโอโทปป่าดิบมีอุณหภูมิดินเฉลี่ย 27.7 ± 0.0 องศาเซลเซียส และป่านิเวศมีอุณหภูมิดินเฉลี่ย 27.9 ± 0.1 องศาเซลเซียส ส่วนในเดือนตุลาคมระบบนิเวศไบโอโทปป่าดิบมีอุณหภูมิดินเฉลี่ย 27.5 ± 0.1 องศาเซลเซียส และป่านิเวศมีอุณหภูมิดินเฉลี่ย 28.1 ± 0.1 องศาเซลเซียส เมื่อพิจารณาอุณหภูมิดินใต้ชั้นซากพืชในระบบนิเวศไบโอโทปป่าดิบในทั้ง 3 ครั้งที่ทำการเก็บตัวอย่างพบว่าอุณหภูมิดินใต้ชั้นซากพืชในเดือนพฤษภาคมสูงกว่าเดือนสิงหาคมและเดือนตุลาคม

อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (χ^2=23.552, p<0.05) ในขณะที่อุณหภูมิของดินใต้ชั้นซากพืชในป่านิเวศในเดือนตุลาคมสูงกว่าเดือนพฤษภาคมและเดือนสิงหาคมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (χ^2=7.882, p<0.05) ดังแสดงในภาพที่ 4-6



ภาพที่ 4-6 ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของดินใต้ชั้นซากพืชที่สะสมบนพื้นป่าในระบบนิเวศไบโอโทปป่าดิบและป่านิเวศ (n=12) แถบค่าคลาดเคลื่อนแสดง Standard error of mean (SE) เครื่องหมาย * แสดงค่าเฉลี่ยที่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจาก Independent t-test (p<0.05) เทียบสองระบบนิเวศ และตัวอักษรที่ต่างกัน แสดงค่าเฉลี่ยที่แตกต่างอย่างมีนัยยะสำคัญทางสถิติจาก Kruskal-Wallis test ด้วย posthoc test (p<0.05) เทียบระหว่างครั้งการเก็บตัวอย่าง

4.3.ความสัมพันธ์ระหว่างสัตว์ขาปล้องหน้าดินและซากพืชสะสมบนพื้นป่า

จากการวิเคราะห์สหสัมพันธ์โดยใช้ Spearman rank correlation test เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของสัตว์ขาปล้องหน้าดินและซากพืชที่สะสมบนพื้นป่า (ปริมาณและความสูงของชั้นซากพืช) พบว่า ความหนาแน่นของสัตว์ขาปล้องหน้าดินในระบบนิเวศไบโอโทปป่าดิบ มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณซากพืชที่สะสมบนพื้นป่า โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r_s) เท่ากับ 0.460 (p<0.05) ในขณะที่ความหนาแน่นของสัตว์ขาปล้องหน้าดินในป่านิเวศมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความสูงของชั้นซากพืชที่สะสมบนพื้นป่า โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r_s) เท่ากับ 0.647 (p<0.05)

เมื่อวิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของสัตว์ขาปล้องหน้าดินกับอุณหภูมิของชั้นซากพืชและอุณหภูมิดินพบว่า ความหนาแน่นของสัตว์ขาปล้องหน้าดินทั้งในระบบนิเวศไบโอโทปป่าดิบและในป่านิเวศมีความสัมพันธ์เชิงลบกับอุณหภูมิของชั้นซากพืชที่สะสมบนพื้นป่า โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r_s) เท่ากับ -0.338 ($p<0.05$) และ -0.513 ($p<0.05$) ตามลำดับ ในขณะที่ความหนาแน่นสัตว์ขาปล้องหน้าดินทั้งในระบบนิเวศไบโอโทปป่าดิบและในป่านิเวศไม่มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิของดินใต้ชั้นซากพืช

บทที่ 5
อภิปรายผลการศึกษา

5.1.สังคมสัตว์ขาปล้องหน้าดินในชั้นซากพืช

องค์ประกอบของสังคมสัตว์ขาปล้องหน้าดินขึ้นอยู่กับฤดูกาลและปัจจัยทางกายภาพต่าง ๆ เช่น อุณหภูมิ ความชื้น นอกจากนี้ยังได้รับอิทธิพลจากลักษณะสังคมพืชในพื้นที่นั้น ๆ อีกด้วย โดยจะส่งผลต่อองค์ประกอบด้านความหนาแน่นและความหลากหลายของสัตว์ขาปล้องหน้าดิน ความหนาแน่นของสัตว์ขาปล้องหน้าดินมีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลซึ่งเกี่ยวข้องกับปริมาณน้ำฝน โดยความหนาแน่นจะเพิ่มขึ้นในช่วงเริ่มต้นฤดูฝน (Levings and Windsor 1982, 1984, 1985) และ เริ่มลดลงเมื่อฤดูฝนดำเนินไปจนถึงจุดอิ่มตัว (Frith and Frith, 1990) ซึ่งตรงกับผลการศึกษาในครั้งนี้ที่ความหนาแน่นของสัตว์ขาปล้องหน้าดินเพิ่มขึ้นในช่วงเดือนพฤษภาคม และลดลงในเดือนตุลาคม (ภาพที่ 4-1)

นอกจากนี้สังคมสัตว์ขาปล้องหน้าดินยังได้รับอิทธิพลจากโครงสร้างสังคมพืชที่ส่งผลต่อลักษณะของชั้นซากพืชที่สะสมบนพื้นป่าทั้งด้านปริมาณ ความสูง และองค์ประกอบของชนิดซากพืช โดยการศึกษานี้พบว่าในระบบนิเวศไบโอโทปป่าดิบมีความหนาแน่นและจำนวนอันดับของสัตว์ขาปล้องหน้าดินมากกว่าป่านิเวศ เนื่องจากระบบนิเวศที่มนุษย์สร้างขึ้นทั้งสองแบบมีโครงสร้างสังคมพืชที่ต่างกันที่เป็นผลจากวิธีการปลูกพืชที่แตกต่างกัน โดยระบบนิเวศไบโอโทปป่าดิบมีการปลูกโดยใช้พันธุ์ไม้ที่ไม่คำนึงถึงระบบนิเวศเดิม มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อเป็นแหล่งเรียนรู้ความหลากหลายทางชีวภาพ ส่วนป่านิเวศปลูกโดยใช้หลักการของมิยาวากิเพื่อให้ระบบนิเวศใกล้เคียงกับระบบนิเวศเดิมที่มีลักษณะเป็นป่าดิบเขตร้อนและมีการใช้พันธุ์ไม้ท้องถิ่นเพื่อให้เกิดความยั่งยืนของระบบนิเวศ (Miyawaki, 1999) จากการศึกษาของอริญชัย นิลสนธิ (2561) พบความหนาแน่นของต้นไม้ และชนิดของพันธุ์ไม้เด่นที่ต่างกันในป่านิเวศและไบโอโทปป่าดิบ ซึ่งในป่านิเวศมีความหนาแน่นของต้นไม้มากกว่าไบโอโทปป่าดิบ (0.64 และ 0.40 ต้น/ตารางเมตร ตามลำดับ) พันธุ์ไม้เด่นที่พบในป่านิเวศคือ ตะเคียน (*Hopea odorata* Roxb.) และในไบโอโทปป่าดิบคือ พิกุล (*Mimusops elengi* Linn.) จากโครงสร้างสังคมพืชที่ต่างกันส่งผลต่อปริมาณซากพืชที่ร่วงหล่นและความสูงของชั้นซากพืช รวมถึงองค์ประกอบทางเคมีของซากพืช โดยพบว่าปริมาณซากพืชที่ร่วงหล่นเฉลี่ยรายปีในไบโอโทปป่าดิบมากกว่าป่านิเวศ ทำให้ปริมาณซากพืชที่สะสมบนพื้นป่ามีมากกว่าป่านิเวศ และพบว่าความสูงชั้นซากพืชมีความแตกต่างกันในสองระบบนิเวศ ดังนั้นจึงส่งผลให้สังคมสัตว์ขาปล้องหน้าดินมีความแตกต่างกัน

ซากพืชแต่ละชนิดมีลักษณะทางกายภาพ เช่น รูปร่างของแผ่นใบ ความหนาของใบ และลักษณะทางเคมีที่ต่างกัน เมื่อซากพืชที่ร่วงหล่นสะสมบนพื้นป่าจะเกิดการแตกเป็นชิ้นเล็ก ๆ และย่อย

สลายจะปลดปล่อยธาตุอาหารคืนสู่ดิน ซึ่งอัตราการเกิดกระบวนการเหล่านี้ขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีของซากพืชที่จะมีผลต่อองค์ประกอบของสังคมสัตว์ขาปล้องหน้าดินด้วย ดังการศึกษาของ Pramanik และคณะ (2001) ในป่าปลูกที่ใช้พันธุ์ไม้ต่างชนิด ณ ประเทศอินเดียพบว่าในป่าปลูกที่มีต้นขี้เหล็ก *(Cassia siamea)* เป็นไม้เด่นมีความหนาแน่นของสัตว์ขาปล้องหน้าดินมากที่สุดเมื่อเทียบกับป่าปลูกกระถินณรงค์ (*Acacia auriculiformis)* และสาละ (*Shorea robusta)* โดยเป็นผลมาจากธาตุอาหารในดินของป่าที่ปลูกขี้เหล็กที่มีปริมาณมากกว่าพื้นที่อื่น จึงกล่าวได้ว่าสังคมและความชุกชุมของสัตว์ขาปล้องได้รับอิทธิพลจากความแตกต่างขององค์ประกอบทางเคมีของซากพืชที่พบบนพื้นป่า (Hättenschwiler and Gasser, 2005; Kattan et al., 2006)

การศึกษานี้พบว่าในระบบนิเวศที่มนุษย์สร้างขึ้นทั้งไบโอโทปป่าดิบและป่านิเวศสามารถพบจำนวนอันดับของสัตว์ขาปล้องหน้าดินได้น้อยกว่าที่พบในระบบนิเวศป่าเขตร้อนอื่น (ตารางที่ 5-1) เนื่องจากระบบนิเวศที่มนุษย์สร้างขึ้นนี้มีอายุป่าที่น้อยกว่าป่าเขตร้อนอื่น โดยมีอายุของป่าประมาณ 10 ปี เมื่อเทียบกับป่าเขตร้อนที่รายงานในการศึกษาอื่น เช่น การศึกษาที่ป่าฝนเขตร้อน ประเทศปานามาที่มีอายุป่ามากกว่า 60 ปี (Jones et al., 2019) ทำให้ผลผลิตของป่าน้อยและส่งผลต่อการปรากฏของสัตว์ขาปล้องหน้าดินที่น้อยกว่า

ตารางที่ 5-1 จำนวนอันดับของสัตว์ขาปล้องหน้าดินที่รายงานจากการศึกษาในป่าเขตร้อน

สังคมพืช	ประเทศ	จำนวนอันดับ	กลุ่มเด่น	เอกสารอ้างอิง
ป่าเขตร้อน	คอสตาริกา	25	Hymenoptera Coleoptera	Cole et al. (2016)
ป่าฝนเขตร้อน	ปานามา	22	Acari Hymenoptera	Ashford et al. (2013)
ป่าดิบแล้งเขตร้อน	เม็กซิโก	33	Acari Collembola	Palacios-Vargas et al. (2007)
ป่าดิบแล้งเขตร้อน	ไทย (สะแกราช จังหวัดนครราชสีมา)	17	Acari Collembola	เกษม คงนิรันดรสุข และคณะ (2557)
ไบโอโทปป่าดิบ	ไทย (จังหวัดฉะเชิงเทรา)	17	Acari Collembola	การศึกษานี้
ป่านิเวศ	ไทย (จังหวัดฉะเชิงเทรา)	14	Acari	การศึกษานี้

เมื่อพิจารณาความหลากหลายของสัตว์ขาปล้องจากดัชนีความหลายพบว่าป่านิเวศมีค่าดัชนีความหลากหลายแชนนอน-เวียเนอร์และดัชนีความสม่ำเสมอมากกว่าในระบบนิเวศไบโอโทปป่าดิบ เนื่องจาก ในป่านิเวศพบสัตว์ขาปล้องหน้าดินในแต่ละอันดับในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน ในขณะที่ระบบนิเวศไบโอโทปป่าดิบมีสัตว์กลุ่มไร (Acari) จำนวนมากและเป็นกลุ่มเด่นจึงมีค่าดัชนีความหลากหลายน้อยกว่า เมื่อเปรียบเทียบค่าดัชนีความหลากหลายของป่านิเวศในการศึกษานี้ ในเดือนพฤษภาคมมีค่าเท่ากับ 1.51 และเดือนสิงหาคมมีค่าเท่ากับ 1.46 พบว่ามีค่าใกล้เคียงกับกับการศึกษาในป่าเขตร้อนตามธรรมชาติ เช่น ป่าดิบแล้งเขตร้อนในประเทศเม็กซิโกมีค่าดัชนีแชนนอน-เวียเนอร์เท่ากับ 1.68 (Palacios-Vargas et al., 2007) และในป่าดิบ (Dipterocarp forest) ประเทศฟิลิปปินส์ มีค่าดัชนีแชนนอน-เวียนเนอร์ในช่วงฤดูแล้ง เท่ากับ 1.46 (Sopsop and Lit, 2015) แสดงให้เห็นว่าระบบนิเวศที่มนุษย์สร้างขึ้นสามารถทำหน้าที่ในการเป็นแหล่งรวบรวมความหลากหลายทางชีวภาพของกลุ่มสัตว์ขาปล้องหน้าดินได้ ถึงแม้ว่าระบบนิเวศที่มนุษย์สร้างขึ้นทั้งสองระบบนิเวศนี้จะมีอายุป่าที่น้อยแต่มีการตั้งตัวของป่าที่ส่งผลให้สัตว์ขาปล้องหน้าดินสามารถเข้ามาอาศัยได้หลากหลายกลุ่ม ชี้ให้เห็นถึงบทบาทของระบบนิเวศที่มนุษย์สร้างขึ้นในการเป็นแหล่งรวบรวมความหลากหลายทางชีวภาพ

บทบาททางนิเวศวิทยาของสัตว์ขาปล้องหน้าดินพิจารณาได้จากกลุ่มตามหน้าที่ทางนิเวศวิทยา โดยสังคมสัตว์ขาปล้องขาหน้าดินในป่าเขตร้อนมีความหลากหลายสูงเนื่องจากเป็นแหล่งที่อุดมสมบูรณ์ไปด้วยทรัพยากรและมีความหลากหลายของถิ่นอาศัย (Coleman 2001; Bardgett, 2002) สัตว์แต่ละกลุ่มมีหน้าที่ตามนิเวศวิทยาที่แตกต่างกันและมีความสำคัญต่อระบบนิเวศป่าเขตร้อน ได้แก่ สัตว์ในกลุ่มผู้ย่อยสลายช่วยในการย่อยสลายอินทรียวัตถุที่มีส่วนช่วยในกระบวนการหมุนเวียนธาตุอาหาร สัตว์ในกลุ่มบริโภคพืชเป็นสัตว์ขาปล้องหน้าดินที่มีปฏิสัมพันธ์กับพืช และกลุ่มผู้ล่าที่มีปฏิสัมพันธ์กับสัตว์ขาปล้องหน้าดินด้วยกันเองจากการบริโภคในสายใยอาหาร ซึ่งมีบทบาทเชื่อมโยงการถ่ายทอดพลังงานในระบบนิเวศ (Payne, 1965; Lloyd and Dybas, 1966) หากสัตว์ขาปล้องหน้าดินสามารถทำหน้าที่ตามบทบาททางนิเวศวิทยาได้อย่างสมดุลจะทำให้ระบบนิเวศสามารถดำรงอยู่ได้ด้วยตัวเองเมื่อปราศจากสิ่งรบกวน จากการศึกษา ในระบบนิเวศไบโอโทปป่าดิบและป่านิเวศพบว่ากลุ่มตามหน้าที่ทางนิเวศวิทยาที่พบไม่มีความแตกต่างกัน โดยส่วนมากที่พบคือกลุ่มผู้ย่อยสลายซึ่งจะมีบทบาทต่อกระบวนการ mineralization ของธาตุ เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส แคลเซียม ในระบบนิเวศที่จะส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยเฉพาะในป่าฝนเขตร้อนที่สัตว์กลุ่มผู้ย่อยสลายจะมีความหนาแน่นและอัตราเมตาบอลิซึมสูงทำให้เกิดการหมุนเวียนของธาตุอาหารที่ค่อนข้างเร็ว (Seastedt and Crossley., 1984; Lee, 1991) สัตว์ขาปล้องกลุ่มที่พบรองลงมาคือกลุ่มบริโภคพืชและกลุ่มผู้ล่า สัดส่วนของกลุ่มบริโภคพืชทีพบในระบบนิเวศจะขึ้นอยู่กับชนิดพืชและชีวเคมีในพืชส่งผลต่อการปรากฏของสัตว์กลุ่มบริโภคพืช โดยประชากรของกลุ่มบริโภคพืชมีบทบาทช่วยกระตุ้น

การผลิตขั้นปฐมภูมิของพืชและกระบวนการหมุนเวียนสารอาหารในระยะสั้น (Mattson, 1980) ส่วนกลุ่มผู้ล่าจะช่วยในการควบคุมประชากรของกลุ่มบริโภคพืชและเชื่อมโยงสายใยอาหารในระบบนิเวศ จากการศึกษานี้สัดส่วนของสัตว์ขาปล้องหน้าดินที่แบ่งตามกลุ่มตามหน้าที่ทางนิเวศวิทยามีการเปลี่ยนแปลงในแต่ละเดือนที่เก็บตัวอย่างในช่วงฤดูฝน โดยพบว่าในช่วงปลายฤดูฝน (เดือนตุลาคม) ในป่านิเวศไม่พบกลุ่มบริโภคครา ซึ่งส่วนใหญ่เป็นสัตว์ขาปล้องในอันดับ Collembola เนื่องจากปริมาณซากพืชและความสูงของชั้นซากพืชน้อย อีกทั้งมีอุณหภูมิในชั้นซากพืชสูงกว่าช่วงอื่น ทำให้ราสามารถเจริญเติบโตได้น้อยจึงส่งผลต่อประชากร Collembola ซึ่งบริโภคราเป็นอาหาร นอกจากนี้ความชื้นยังเป็นปัจจัยสำคัญที่ควบคุมการกระจายตัว ความหนาแน่น และการอยู่รอดของ Collembola ในป่าเขตร้อน (Wiwatwitaya and Takeda, 2005)

สัตว์ขาปล้องกลุ่มที่พบมากในระบบนิเวศที่มนุษย์สร้างขึ้นทั้งสองแบบ ได้แก่ อันดับ Acari และ Collembola ซึ่งเป็นกลุ่มที่พบได้มากในระบบนิเวศป่าเขตร้อนตามธรรมชาติ (เกษม คงนิรันดรสุข และ คณะ, 2557; Palacios-Vargas et al., 2007) โดยการปรากฏของสัตว์ขาปล้องหน้าดินกลุ่มหลักนี้สามารถใช้เป็นดัชนีชี้วัดและติดตามผลของการฟื้นฟูป่าได้ สัตว์ในกลุ่มไร (Acari) เป็นดัชนีชี้วัดทางชีวภาพในป่าฝนเขตร้อน เนื่องจากไวต่อการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อมและสามารถใช้เป็นดัชนีชี้วัดการเสื่อมโทรมของสภาพดินหรือผลกระทบของการใช้พื้นที่ของมนุษย์ (Hutson, 1980; Migge-Kleian et al., 2007) ส่วนกลุ่ม Collembola ส่วนใหญ่พบได้ในพื้นที่ที่มีน้ำในดินหรือมีความชื้นมาก เหมาะกับการเติบโตของประชากร (Wiwatwitaya and Takeda, 2005) และยังสามารถเป็นดัชนีชีวัดธาตุไนโตรเจนในดินที่มากเกินไป เมื่อพบความหนาแน่นของ Collembola ที่ลดลง (Xu et al., 2009) บางชนิดมีความไวต่อการสูญเสียที่อยู่อาศัยตามธรรมชาติจากการใช้พื้นที่ของมนุษย์ เนื่องจากมีการกระจายตัวของประชากรในช่วงที่แคบและมีประชากรท้องถิ่นขนาดเล็ก (Cassagne et al., 2006) นอกจากนี้ป่านิเวศยังพบสัตว์ขาปล้องในอันดับ Psocoptera และ Thysanoptera มากซึ่งทั้งสองอันดับสามารถพบได้เพิ่มขึ้นในช่วงฤดูแล้ง (Levings and Windsor, 1985) จึงอาจเป็นไปได้ว่าป่านิเวศมีสภาพค่อนข้างแห้งแม้ว่าอยู่ในช่วงฤดูฝน

5.2.ซากพืชสะสมบนพื้นป่า

ซากพืชที่สะสมบนพื้นป่าได้รับอิทธิพลจากซากพืชที่ร่วงหล่น (litterfall) โดยปริมาณและองค์ประกอบของซากพืชที่ร่วงหล่นมีความแตกต่างกันขึ้นกับฤดูกาลและโครงสร้างป่า (ความหนาแน่นต้นไม้และชนิดของต้นไม้) นอกจากนี้ปริมาณซากพืชที่สะสมบนพื้นป่ายังขึ้นอยู่กับกระบวนการแตกออกเป็นชิ้นเล็ก ๆ (fragmentation) และกระบวนการย่อยสลาย (decomposition) ที่ทำให้ซากพืชที่สะสมถูกเปลี่ยนเป็นอินทรียวัตถุ จากการศึกษานี้ปริมาณซากพืชที่สะสมในป่านิเวศมีแนวโน้มลดลงในเดือนตุลาคมซึ่งเป็นช่วงปลายฤดูฝน เป็นผลมาจากซากพืชถูกย่อยสลายได้มากในสภาวะที่มี

ความชื้นเอื้อต่อกระบวนการย่อยสลายจากปริมาณน้ำฝนที่เพิ่มมากขึ้น ทำให้ปริมาณซากพืชน้อยลง ส่วนความสูงของชั้นซากพืช ที่สะสมบนพื้นป่าทั้งสองระบบนิเวศพบว่ามีความสูงลดลงในเดือนตุลาคม เช่นเดียวกันสอดคล้องกับการศึกษาของอริญชัย นิลสนธิ (2561) ที่พบว่าความสูงของชั้นซากพืชทั้งสองระบบนิเวศมีความสูงน้อยที่สุดในเดือนตุลาคม นอกจากนี้อุณหภูมิของชั้นซากพืชในป่านิเวศมีอุณหภูมิสูงขึ้นในเดือนตุลาคม ซึ่งน่าจะเป็นผลจากความสูงชั้นซากพืชที่ลดลง ทำให้ชั้นซากพืชได้รับแสงแดดมากขึ้นและกักเก็บความชื้นได้น้อยลง

ในการศึกษานี้พบว่าปริมาณซากพืชสะสมในระบบนิเวศไบโอโทปป่าดิบมากกว่าป่านิเวศ สอดคล้องกับการศึกษาของอริญชัย นิลสนธิ (2561) ในพื้นที่ศึกษาเดียวกันเป็นระยะเวลา 8 เดือน ที่รายงานว่าปริมาณซากพืชสะสมเฉลี่ยบนพื้นป่าในระบบนิเวศไบโอโทปป่าดิบมีมากกว่าป่านิเวศ เนื่องจากโครงสร้างสังคมพืชประกอบด้วยชนิดพืชเด่นที่ต่างกันที่ส่งผลต่อลักษณะของซากพืชที่ร่วงหล่น โดยระบบนิเวศไบโอโทปป่าดิบมีพันธุ์ไม้เด่น คือ พิกุล (*Mimusops elengi* Linn.) ประดู่ (*Pterocarpus macrocarpus* Kurz.) น้ำเต้าต้น (*Crescentia cujete* L.) ซากพืชที่พบมีลักษณะแผ่นใบค่อนข้างใหญ่และหนาจึงเกิดการสลายตัวค่อนข้างช้า ในขณะที่ป่านิเวศมีพันธุ์ไม้เด่น คือ ตะเคียนทอง (Hopea odorata Roxb.) มะกล่ำต้น (*Adenanthera pavonina* Linn.) ยางนา (*Dipterocarpus alatus* Roxb.) ซากพืชที่พบมีลักษณะใบค่อนข้างเล็กและบางกรอบ ทำให้ปริมาณซากพืชที่สะสมในระบบนิเวศไบโอโทปป่าดิบมากกว่าในป่านิเวศ ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงปริมาณของซากพืชที่สะสมที่เป็นผลมาจากฤดูกาลและองค์ประกอบของซากพืชจึงส่งผลต่อสังคมสัตว์ขาปล้องหน้าดินโดยตรง

5.3.ความสัมพันธ์ระหว่างสัตว์ขาปล้องหน้าดินกับชั้นซากพืช

ความหนาแน่นของสัตว์ขาปล้องหน้าดินในระบบนิเวศไบโอโทปมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณซากพืช เนื่องจากซากพืชที่มีปริมาณมากจะเป็นแหล่งทรัพยากรและที่อยู่อาศัยของสัตว์ขาปล้องหน้าดิน (Barberena-Arias and Aide, 2003) ในขณะที่ความหนาแน่นของสัตว์ขาปล้องหน้าดินในป่านิเวศมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความสูงของชั้นซากพืช เนื่องจากชั้นซากพืชที่สะสมในป่านิเวศประกอบด้วยซากพืชที่มีขนาดใบเล็กและบางจึงมีน้ำหนักน้อย ส่งผลให้ความสูงของชั้นซากพืชที่สะสมน้อยลงในช่วงปลายฤดูฝนจึงพบความหนาแน่นของสัตว์ขาปล้องหน้าดินที่ลดลง ด้วย เนื่องจากความสูงของชั้นซากพืชจะช่วยเป็นแหล่งหลบภัยของสัตว์ขาปล้องหน้าดินและยังช่วยรักษาความชื้นได้ (Kattan et al., 2006) นอกจากนี้มีรายงานว่าสัตว์บางกลุ่มมีความสัมพันธ์กับซากพืช เช่น กลุ่มแมงมุม (Araneae) มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความสูงและความซับซ้อนขององค์ประกอบในชั้นซากพืช (Lowrie, 1948) สัตว์ในกลุ่มผู้ย่อยสลายลดลงหากมวลของซากพืชลดลง (Celentano et al., 2011)

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของสัตว์ขาปล้องหน้าดินกับอุณหภูมิของชั้นซากพืชที่สะสมบนพื้นป่าพบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นส่งผลให้ความหนาแน่นของสัตว์ขาปล้องหน้าดินลดลง แต่ไม่พบความสัมพันธ์กับอุณหภูมิดิน จากผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าอุณหภูมิบริเวณผิวดินหรือในชั้นซากพืชมีอิทธิพลต่อความหนาแน่นของสัตว์ขาปล้อง ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณแสงที่ส่องถึงยังพื้นด้านล่าง (Cole, 2016) นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าเมื่อมีการจัดการซากพืชจะส่งผลต่อความหนาแน่นของสัตวขาปล้องหน้าดิน เช่น การศึกษาของ Ashford และคณะ (2013) ที่พบว่าเมื่อนำซากพืชที่สะสมบนพื้นป่าออกจากแปลงศึกษาในป่าเขตร้อน ประเทศปานามา จะทำให้ความหนาแน่นของสัตว์ขาปล้องหน้าดินลดลง ดังนั้นชั้นซากพืชที่สะสมบนพื้นป่าจึงมีบทบาทในการเป็นแหล่งอาศัยที่สำคัญและเป็นบริเวณที่ลดผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (อุณหภูมิ ความชื้น) ให้แก่กลุ่มสัตว์ขาปล้องหน้าดิน

5.4.บทบาทของระบบนิเวศที่มนุษย์สร้างขึ้น

ระบบนิเวศที่มนุษย์สร้างขึ้นนอกจากจะเป็นสถานที่ให้ความรู้และพักผ่อนหย่อนใจแล้วยังสามารถเป็นแหล่งรักษาความหลากหลายทางชีวภาพทั้งพืชและสัตว์ที่ยั่งยืนได้หากได้รับการจัดการอย่างเหมาะสมตามวัตถุประสงค์ของระบบนิเวศแต่ละแบบ การเลือกชนิดพืชที่นำมาปลูกจำเป็นต้องพิจารณาก่อนทำการปลูกฟื้นฟูเนื่องจากพืชแต่ละชนิดมีถิ่นอาศัย ความสามารถในการอยู่รอด และองค์ประกอบทางเคมีในเนื้อเยื่อพืชที่แตกต่างกัน เมื่อมีการร่วงหล่นของซากพืชสู่พื้นป่าและเกิดกระบวนการย่อยสลายจะเกิดการหมุนเวียนแร่ธาตุต่าง ๆ ดังนั้นในป่าที่ปลูกพืชต่างชนิดจะมีความแตกต่างกันในด้านปริมาณของซากพืชที่ร่วงหล่น องค์ประกอบทางเคมีของซากพืช และอัตราการหมุนเวียนธาตุอาหาร นอกจากนี้ปริมาณซากพืชที่สะสมบนพื้นป่ายังขึ้นอยู่กับวิธีการจัดการหรือวิธีการปลูกอีกด้วย เช่น ความหนาแน่นต้นไม้ที่ใช้ในการปลูกในป่านิเวศจะปลูกที่ความหนาแน่น 4 ต้น/ตารางเมตร แบบสุ่ม (Miyawaki, 1999) ส่วนไบโอโทปป่าดิบปลูกพืชด้วยความหนาแน่นที่น้อยกว่า ชนิดพืชที่ปลูกต่างกันส่งผลให้มีพืชเด่นต่างกัน โดยซากพืชที่สะสมบนพื้นป่านั้นมีอิทธิพลต่อสัตว์ขาปล้องหน้าดิน ทั้งกลุ่มบริโภคพืชที่มีความเกี่ยวข้องโดยตรง และกลุ่มอื่น ๆ ที่มีความสัมพันธ์การบริโภคเป็นสายใยอาหารที่ซับซ้อน ดังนั้นหากมีการจัดการต้นไม้ที่ปลูกหรือซากพืชจะส่งผลต่อสังคมสัตว์ขาปล้องหน้าดิน เช่น การตัดสาง หรือตัดแต่งกิ่ง ซึ่งอาจส่งผลต่อสิ่งมีชีวิตอื่นในระบบนิเวศได้ เมื่อกระบวนการทางนิเวศวิทยาที่กล่าวไปข้างต้นสามารถดำเนินได้ด้วยตัวเองในระบบนิเวศที่มนุษย์สร้างขึ้น จะทำให้ป่ามีการตั้งตัวและดำรงอยู่ด้วยกลไกทางนิเวศวิทยาอย่างยั่งยืนได้ต่อไปในอนาคต แต่อาจจะต้องได้รับการดูแลในช่วงแรกของการปลูกเนื่องจากสภาพแวดล้อมอาจยังไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของกล้าไม้ และยังพบว่าสังคมของสัตว์ขาปล้องหน้าดินสามารถฟื้นตัวได้รวดเร็วในป่า

ปลูกที่เป็นป่าฝนเขตร้อนโดยเฉพาะอย่างยิ่งหากป่าได้รับการดูแลให้มีเรือนยอดที่หนาแน่นตลอดปี (Jansen, 1997)

บทที่ 6
สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

6.1. สรุปผลการศึกษา

ระบบนิเวศที่มนุษย์สร้างขึ้นเป็นหนึ่งในแนวทางที่ช่วยเพิ่มพื้นที่สีเขียวเพื่อเป็นแหล่งรวบรวมความหลากหลายทางชีวภาพและช่วยในการฟื้นฟูพื้นที่ป่าธรรมชาติที่สูญเสียไป ระบบนิเวศไบโอโทปป่าดิบและป่านิเวศเป็นตัวอย่างของระบบนิเวศที่มนุษย์ สร้างขึ้นด้วยวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกันโดยมีการใช้พันธุ์ไม้และวิธีการปลูกที่แตกต่างทำให้โครงสร้างสังคมพืชและองค์ประกอบของซากพืชที่สะสมบนพื้นป่าต่างกัน ซึ่งส่งผลต่อสัตว์ขาปล้องหน้าดินที่อาศัยอยู่ในชั้นซากพืชด้วย โดยความหนาแน่นของสัตว์ขาปล้องหน้าดินมีความสัมพันธ์กับซากพืชทั้งปริมาณซากพืช ความสูงของชั้นซากพืช และอุณหภูมิในชั้นซากพืช เนื่องจากซากพืชที่สะสมบนพื้นป่านั้นเป็นแหล่งทรัพยากรและที่อยู่อาศัยของสัตว์ขาปล้องหน้าดิน อีกทั้งความหนาแน่นของสัตว์ขาปล้องยังมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นกับช่วงฤดูกาลซึ่งพบว่ามีความหนาแน่นลดลงในช่วงปลายฤดูฝน นอกจากนี้องค์ประกอบและความหนาแน่นของสัตว์ขาปล้องหน้าดินมีความแตกต่างกัน ในสองระบบนิเวศ โดยพบความหนาแน่นของสัตว์ขาปล้องหน้าดินในระบบนิเวศไบโอโทปป่าดิบมากกว่าในป่านิเวศ เนื่องจากปริมาณและความสูงของซากพืชที่มากกว่า แต่พบว่าป่านิเวศมีดัชนีความหลากหลายมากกว่าในระบบนิเวศไบโอโทปป่าดิบและยังมีค่าดัชนีความหลากหลายใกล้เคียงกับป่าเขตร้อนอื่น อาจเป็นผลมาจากโครงสร้างสังคมพืชที่ประกอบด้วยพันธุ์ไม้ท้องถิ่นทำให้ใกล้เคียงกับระบบนิเวศป่า มากกว่าระบบนิเวศไบโอโทป นอกจากนี้ยังพบสัตว์ขาปล้องหน้าดินตามกลุ่มหน้าที่ทางนิเวศวิทยาที่หลากหลายในทั้งสองระบบนิเวศ ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงความสัมพันธ์ด้านสายใยอาหารที่สามารถเอื้อต่อกลไกทางนิเวศวิทยาในระบบนิเวศที่มนุษย์สร้างขึ้น เช่น การถ่ายทอดพลังงานในห่วงโซ่อาหาร การหมุนเวียนธาตุอาหาร จากการศึกษานี้จึงชี้ให้เห็นว่าแม้ระบบนิเวศป่าที่มนุษย์สร้างขึ้นจะถูกสร้างและมีการตั้งตัวของสังคมพืชภายในระยะเวลาอันสั้น แต่ถ้าหากมีการออกแบบวิธีการปลูกและมีการจัดการอย่างเหมาะสมจะส่งผลให้มีความสามารถในการตั้งตัวของป่าเป็นไปอย่างยั่งยืนและสามารถทำหน้าที่เชิงนิเวศวิทยาได้ใกล้เคียงกับระบบนิเวศในธรรมชาติได้ ดังนั้นหากระบบนิเวศที่มนุษย์สร้างขึ้นได้รับการจัดการอย่างเหมาะสมและสามารถดำเนินกลไกทางนิเวศวิทยาได้จะสามารถเป็นแหล่งรวบรวมความหลากหลายทางชีวภาพของสัตว์ขาปล้องหน้าดินอย่างยั่งยืนได้

6.2. ข้อเสนอแนะ

6.2.1. ข้อเสนอแนะสำหรับการนำไปใช้ประโยชน์

เป็นฐานข้อมูลความหลากหลายของสัตว์ขาปล้องหน้าดินขนาดใหญ่และขนาดกลางที่พบได้ในระบบนิเวศที่มนุษย์สร้างขึ้น และ เป็นข้อมูลพื้นฐานเพื่อการออกแบบและจัดการระบบนิเวศอย่างยั่งยืนเพื่อการเป็นแหล่งรวบรวมความหลากหลายของสัตว์หน้าดิน

6.2.2. ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาในอนาคต

การศึกษาในครั้งนี้ทำการศึกษาเพียงแค่ช่วงฤดูฝนซึ่งเป็นช่วงที่มีความหนาแน่นของสัตว์ขาปล้องหน้าดินมาก แต่สัตว์บางกลุ่มที่มีความหนาแน่นเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลยังสามารถศึกษาในช่วงฤดูแล้งได้เพิ่มเติมซึ่งจะทำให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของสัตว์แต่ละกลุ่มได้มากขึ้น อีกทั้งยังสามารถศึกษาปัจจัยกายภาพ เช่น ความชื้นในดิน การเปิดของเรือนยอด และปัจจัยทางชีวภาพ เช่น สัตว์กลุ่มอื่นที่อาศัยในพื้นที่เดียวกันกับสัตว์ขาปล้องหน้าดิน ได้เพิ่มเพื่อดูความสัมพันธ์ระหว่างสังคมสัตว์ขาปล้องหน้าดินและสภาพแวดล้อมในระบบนิเวศที่มนุษย์สร้างขึ้นเพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการออกแบบและจัดการระบบนิเวศอย่างเหมาะสมในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

ภาษาไทย

กรมป่าไม้. 2557. รู้รอบด้านการปลูกไม้เศรษฐกิจ. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://forestinfo.forest.go.th/ pfd/km1-1.aspx [14 มีนาคม 2562]

กรมอุตุนิยมวิทยา ประเทศไทย, ข้อมูลลักษณะภูมิอากาศ สถานีตรวจอากาศฉะเชิงเทรา จังหวัดฉะเชิงเทรา, วันที่ 14 มกราคม พ.ศ. 2562.

เกษม คงนิรันดรสุข, กาญจนา ชินสำราญ, วุฒิ ทักษิณธรรม และ สุรภพ สุทธิวิเศษ. 2557. ความหลากหลายของสัตว์ขาปล้องขนาดเล็กในดินที่สถานีวิจัย สิ่งแวดล้องสะแกราช. Rajabhat Journal of Sciences, Humanities & Social Sciences. 15(2): 45-53.

ณัฐวุฒิ ธานี. 2557. ความหลากหลายของชนิดแมลงในดินและความสัมพันธ์กับปัจจัยสิ่งแวดล้อมบางประการ. นครราชสีมา: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

โตโยต้า มอเตอร์ ประเทศไทย จำกัด. 2559. รายงานการพัฒนาเพื่อความยั่งยืน 2559. หน้า 72-73.

วิลาส รัตนานุกูล. 2557. สัตว์หน้าดิน. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://biology.ipst.ac.th/?p=816 [14 มีนาคม 2562]

สัมฤทธิ์ สิงอาษา และ พัชนี สิงอาษา. 2546. จากยอดเขาถึงใต้ทะเล. กรุงเทพมหานคร: บริษัท เอดิสันเพรสโพรดักส์ จำกัด.

อริญชัย นิลสนธิ. 2561. อิทธิพลของซากพืชที่ร่วงหล่นต่ออินทรียวัตถุในดินและสภาพดินในระบบนิเวศที่มนุษย์สร้างขึ้น. โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์, ภาควิชาพฤกษศาสตร์, คณะวิทยาศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ภาษาอังกฤษ

Adeduntan, S.A. 2009. Diversity and abundance of soil mesofauna and microbial population in South-Western Nigeria. African Journal of Plant Science. 3: 210-216.

Ashford, O.S., Foster, W.A., Turner, B.L., Sayer, E.J., Sutcliffe, L. and Tanner, E.V.J. 2013. Litter manipulation and the soil arthropod community in a lowland tropical rainforest. Soil Biology and Biochemistry. 62: 5-12.

Barberena-Arias, M.F. and Aide, T.M. 2003. Species diversity and trophic composition of litter insects during plant secondary succession. Caribbean Journal of Science. 39(2): 161-169.

Bardgett, R.D. 2002. Causes and consequences of biological diversity in soil. Zoology. 105(4): 367-375.

Bedano, J.C., Cantú, M.P. and Doucet, M.E. 2005. Abundance of soil mites (Arachnida: Acari) in a natural soil of central Argentina. Zoological studies. 44(4): 505-512.

Begum, F., Bajracharya, R.M., Sitaula, B.K. and Sharma, S. 2013. Seasonal dynamics, slope aspect and land use effects on soil mesofauna density in the mid-hills of Nepal. International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services and Management. 9: 290-297.

Briones, M.J.I. 2014. Soil fauna and soil functions: A jigsaw puzzle. Frontiers in Environmental Science. 2: 1-22.

Cassagne, N., Gauquelin, T., Bal-Serin, M.C. and Gers, C. 2006. Endemic Collembola, privileged bioindicators of forest management. Pedobiologia. 50(2): 127-134.

Celentano, D., Zahawi, R.A., Finegan, B., Casanoves, F., Ostertag, R., Cole, R.J. and Holl, K.D. 2011. Tropical forest restoration in Costa Rica: the effect of several strategies on litter production, accumulation and decomposition. Revista de Biologia Tropical. 59(3): 1323-1336.

Cole, R.J., Holl, K.D., Zahawi, R.A., Wickey, P. and Townsend, A.R. 2016. Leaf litter arthropod responses to tropical forest restoration. Ecology and Evolution. 6(15): 5158-5168.

Coleman, D.C. 2001. Soil biota, soil systems, and processes. Encylopaedia of Biodiversity. San Diego: Academic Press.

Corbin, J.D. and Holl, K.D. 2012. Applied nucleation as a forest restoration strategy. Forest Ecology and Management. 265: 37-46.

Ferreira, M.L., Souza, L.C.D., Conti, D.D.M., Quaresma, C.C., Tavares, A.R., Silva, K.G.D., Kniess, C.T. and Camargo, P.B.D. 2018. Soil biodiversity in urban forests as a consequence of litterfall management: Implications for São Paulo's ecosystem services. Sustainability. 10: 684-695.

Frith, D. and Frith, C. 1990. Seasonality of litter invertebrate populations in an Australian upland tropical rain forest. Biotropica. 22: 181-190.

Gao, T. 2015. Biotope and biodiversity mapping in forest and urban green space. Doctoral Dissertation, Agricultural Sciences, Swedish University.

González, G. and Barberena, M.F. 2017. Ecology of soil arthropod fauna in tropical forests: A review of studies from Puerto Rico. The Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico. 101(2): 185-201.

González, G. and Lodge, D.J. 2017. Soil biology research across latitude, elevation and disturbance gradients: A review of forest studies from Puerto Rico during the past 25 Years. Forests. 8(6): 178.

Hättenschwiler, S. and Gasser, P. 2005. Soil animals alter plant litter diversity effects on decomposition. Proceedings of the National Academy of Sciences. 102(5): 1519-1524.

Hong, S.K., Yoo, S. and Nakagoshi, N. 2005. Application of biotope mapping for spatial environmental planning and policy: Case studies in urban ecosystems in Korea. Landscape and Ecological Engineering. 1: 101-112.

Hutson, B.R. 1980. Colonization of industrial reclamation sites by Acari, Collembola and other invertebrates. Journal of Applied Ecology. 17(2): 255-275.

Jansen, A. 1997. Terrestrial invertebrate community structure as an indicator of the success of a tropical rainforest restoration project. Restoration Ecology. 5(2): 115-124.

Jones, I.L., DeWalt, S.J., Lopez, O.R., Bunnefeld, L., Pattison, Z. and Dent, D.H. 2019. Above-and belowground carbon stocks are decoupled in secondary tropical forests and are positively related to forest age and soil nutrients respectively. Science of The Total Environment. 697: 133987.

Jouquet, P., Dauber, J., Lagerlöf, J., Lavelle, P. and Lepage, M. 2006. Soil invertebrates as ecosystem engineers: Intended and accidental effects on soil and feedback loops. Applied soil ecology. 32(2): 153-164.

Kattan, G.H., Correa, D., Escobar, F. and Medina, C. 2006. Leaf-litter arthropods in restored forests in the Colombian Andes: A comparison between secondary forest and tree plantations. Restoration Ecology. 14(1): 95-102.

Koehler, H.H. 1999. Predatory mites (Gamasina, Mesostigmata). Agriculture, Ecosystems and Environment. 74(1-3): 395-410.

Lee, K.E. 1991. The role of soil fauna in nutrient cycling. Advances in Management and Conservation of Soil Fauna. New Delhi: Oxford & IBH Publishing Co. Pvt. Ltd.

Levings, S.C. and Windsor, D.M. 1982. Seasonal and annual variation in litter arthropod populations [Forest, Barro Colorado Island, Panama]. The Ecology of a Tropical Forest. Washington, D.C.: Smithsonian Institution Press.

Levings, S.C. and Windsor, D.M. 1984. Litter moisture content as a determinant of litter arthropod distribution and abundance during the dry season on Barro Colorado Island, Panama. Biotropica. 16(2): 125-131.

Levings, S.C. and Windsor, D.M. 1985. Litter arthropod populations in a tropical deciduous forest: relationships between years and arthropod groups. The Journal of Animal Ecology. 51(1): 61-69.

Lowrie, D.C. 1948. The ecological succession of spiders of the Chicago area dunes. Ecology. 29(3): 334-351.

Mackay, W.P., Silva, S., Lightfoot, D.C., Pagani, M.I. and Whitford, W.G. 1986. Effect of increased soil moisture and reduced soil temperature on a desert soil arthropod community. American Midland Naturalist. 116(1): 45-56.

Margalef, R. 1958. Information theory in biology. General Systems Yearbook. (3): 36-71.

Mattson Jr., W.J. 1980. Herbivory in relation to plant nitrogen content. Annual Review of Ecology and Systematics. 11(1): 119-161.

Migge-Kleian, S., Woltmann, L., Anas, I., Schulz, W., Steingrebe, A. and Schaefer, M. 2007. Impact of forest disturbance and land use change on soil and litter arthropod assemblages in tropical rainforest margins. Stability of Tropical Rainforest Margins. Spriger-Verlag Berlin Heidelberg.

Mitrovski-bogdanovi, A.N.A. and Blesi, B. 2007. Seasonal dynamics of Campodeidae (Diplura) in an oak forest in Kragujevac (Serbia). Acta Entomologica Serbica. 12(2): 1-10.

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

Monroy, F., Aira, M. and Domínguez, J. 2011. Epigeic earthworms increase soil arthropod populations during first steps of decomposition of organic matter. Pedobiologia. 54(2): 93-99.

Nsengimana, V., Kaplin, B.A., Francis, F. and Nsabimana, D. 2018. Use of soil and litter arthropods as biological indicators of soil quality in forest plantations and

agricultural lands: A review. Entomologie Faunistique - Faunistic Entomology. 71: 1-12.

Palacios-Vargas, J.G., Castaño-Meneses, G., Gómez-Anaya, J.A., Martínez-Yrizar, A., Mejía-Recamier, B.E. and Martínez-Sánchez, J. 2007. Litter and soil arthropods diversity and density in a tropical dry forest ecosystem in Western Mexico. Biodiversity and Conservation. 16(13): 3703-3717.

Petersen, H. and Luxton, M. 1982. A comparative analysis of soil fauna populations and their role in decomposition processes. Oikos. 39(3): 288-388.

Pielou, E.C. 1966. The measurement of diversity in different types of biological collections. Journal of Theoretical Biology. (13): 131–44.

Pramanik, R., Sarkar, K. and Joy, V.C. 2001. Efficiency of detritivore soil arthropods in mobilizing nutrients from leaf litter. Tropical Ecology. 42(1): 51-58.

Schinner, F., Öhlinger, R., Kandeler, E. and Margesis, R. 1996. Methods in soil biology. New York: Spriger-Verlag Berlin Heidelberg.

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.

Seastedt, T.R. and Crossley Jr., D.A. 1984. The influence of arthropods on ecosystems. Bioscience. 34(3): 157-161.

Shannon, C.E. 1984. A mathematical theory of communication. The Bell System Technical Journal. 27: 379-423.

Shiels, A.B., Gonzalez, G., Lodge, D.J., Willig, M.R. and Zimmerman, J.K. 2015. Cascading effects of canopy opening and debris deposition from a large-scale hurricane experiment in a tropical rain forest. Bioscience. 65(9): 871-881.

Sopsop, G.O. and Lit Jr., I.L. 2015. Soil-litter arthropod assemblage in dipterocarp forest, agroforestry area and mahogany plantation in Makiling forest reserve, Laguna. Journal of Nature Studies. 14(1): 47-65.

Steffen, J.F., Palincsar, J., Funk, F.M. and Larkin, D.J. 2012. Activity and diversity of collembola (Insecta) and mites (Acari) in litter of a degraded midwestern oak woodland, the Great Lakes. Entomologist. 45(1 & 2): 1-18.

Stork, N. and Eggleton, P. 1992. Invertebrates as determinants and indicators of soil quality. American Journal of Alternative Agriculture. 7: 38-47.

Swift, M.J., Fleal, J.W. and Anderson, J.M. 1979. Decomposition in terrestrial ecosystem. Oxford: Blankwell.

Triplehorn, C.A. and Johnson, N.F. 2005. Borror and Delong's introduction to the study of Insects, 7th edition. Belmont, Califonia: Brooks/Cole Thomson Learning.

Vu, Q.M. and Nguyen, T.T. 2000. Microarthropod community structures (Oribatei and Collembola) in Tam Dao national park, Vietnam. Journal of Biosciences. 25(4): 379-386.

Wiwatwitaya, D. and Takeda, H. 2005. Seasonal changes in soil arthropod abundance in the dry evergreen forest of north-east Thailand, with special reference to Collembolan communities. Ecological Research. 20(1): 59-70.

Xu, G.L., Schleppi, P., Li, M.H. and Fu, S.L. 2009. Negative responses of Collembola in a forest soil (Alptal, Switzerland) under experimentally increased N deposition. Environmental Pollution. 157(7): 2030-2036.