

# ความสัมพันธ์ของสัตว์ขาปล้องขนาดเล็กในดินและคุณสมบัติดิน ระหว่างพื้นที่ป่าฟื้นฟูของศูนย์ศึกษาพัฒนาห้วยฮ่องไคร้อัน อำเภอดอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่

## Relationships of Soil Microarthropods and Soil Properties between Forest Restoration Areas of The Huai Hong Khrai Royal Development Study Center, Doi Saket District, Chiang Mai Province

ธีราภรณ์ คำปลิว<sup>1</sup> ณัฐดนัย ลิขิตตระการ<sup>2,3</sup> วิชญ์ภาส สังกาลี<sup>4</sup> จุฑามาศ อัจฉนาเสียว<sup>4</sup> สุธีระ  
เหมยฮัก<sup>4</sup> พิธิษฐ พูลประเสริฐ<sup>5</sup> ปิยะวรรณ สุทธิประพันธ์<sup>6</sup> วรุต ศิริวุฒิ<sup>7</sup> และ วาสนา วิรุณรัตน์<sup>1\*</sup>  
Teeraporn Kumpli<sup>1</sup> Natdanai Likhitrakarn<sup>2,3</sup> Witchaphart Sungpalee<sup>4</sup> Chuthamat  
Atnaseo<sup>4</sup> Sutheera Hermhuk<sup>4</sup> Pisit Poolprasert<sup>5</sup> Piyawan Suttiprapan<sup>6</sup> Warut  
Siriwut<sup>7</sup> and Wassana Wiroonrat<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> สาขาปฐพีศาสตร์ คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ 50290

<sup>1</sup> Soil Science Faculty of Agricultural Production, Maejo University, Chiang Mai 50290

<sup>2</sup> สาขาวิชาอารักขาพืช คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ 50290

<sup>2</sup> Division of Plant Protection, Faculty of Agricultural Production, Maejo University, Chiang Mai 50290

<sup>3</sup> ศูนย์วิจัยความหลากหลายทางชีวภาพและการใช้ประโยชน์แห่งมหาวิทยาลัยแม่โจ้ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ 50290

<sup>3</sup> Biodiversity and Utilization Research Center of Maejo University, Maejo University, Chiang Mai 50290

<sup>4</sup> สาขาวิชาพืชไร่ คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ 50290

<sup>4</sup> Division of Agronomy, Faculty of Agricultural Production, Maejo University, Chiang Mai 50290

<sup>5</sup> สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม จังหวัดพิษณุโลก 65000

<sup>5</sup> Division of Biology, Faculty of Science and Technology Pibulsongkram Rajabhat University, Phitsanulok 65000

<sup>6</sup> ภาควิชากีฏวิทยาและโรคพืช คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ 50200

<sup>6</sup> Department of Entomology and Plant Pathology, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200

<sup>7</sup> ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล กรุงเทพฯ 10400

<sup>7</sup> Department of Biology, Faculty of Science, Mahidol University, Bangkok 10400

\* Corresponding author: virunrat@gmail.com

## Abstract

In order evaluate the relationship between soil microarthropod community and soil properties across forest restoration areas within the Huai Hong Khrai Royal Development Study Center, Doi Saket District, Chiang Mai Province which differed by rehabilitation methods, included, forest restoration area with rainwater, forest restoration area with irrigation system, forest restoration area with reservoir and forest restoration area with rainwater outside the center, the soil samples were collected with a spade, from 15×15 centimeter quadrats at 5 centimeter depth on 8 March 2018 (Dry season) and 7 September 2018 (Wet season) for each study area with nine soil samples each. A total of 8,113 individual soil microarthropods were counted and were classified into 21 different taxa. Acari were the dominant taxa in all study sites and had the highest population density-at 2,496.3±3,921.3 individuals per meter<sup>2</sup> (41%), followed by Protura at 1,103.1±5,162.3 individuals per meter<sup>2</sup> (16%), Collembola at 388.9±553.2 individuals per meter<sup>2</sup> (15%) and Hymenoptera (Formicidae) at 377.8±493.6 individuals per meter<sup>2</sup> (14%), respectively. Population densities of soil microarthropods in the dry season (8,753±11,042 individuals per meter<sup>2</sup>) was significantly higher than those of the rainy season (1,113.6±740.1 individuals per meter<sup>2</sup>) ( $P<0.05$ ). Forest restoration area irrigation system where there was an irrigated water flows throughout the year, had good quality soil with some favorable physical chemical and biological properties, and had highest population density of soil microarthropods (11,901±14,400 individuals per meter<sup>2</sup>). This was followed by forest restoration area with rainwater outside the center (5,316±4,208.7 individuals per meter<sup>2</sup>), forest restoration area with rainwater (1,614±1,360.1 individuals per meter<sup>2</sup>), and forest restoration area with reservoir (901.2±643.2 individuals per meter<sup>2</sup>), respectively. Despite the low quality soil properties and having the lowest population density of soil microarthropods, the forest restoration area with reservoir had the highest Shannon and Evenness Indexes indicating higher level of diversity compared to other areas.

**Keywords:** Soil microarthropods, biological diversity indexes, soil properties, restoration areas

## บทคัดย่อ

การศึกษาความสัมพันธ์ของสังคมสัตว์ขาปล้องขนาดเล็กในดินและคุณสมบัติดินในพื้นที่ป่าฟื้นฟูของศูนย์การศึกษาพัฒนาห้วยฮ่องไคร้ อำเภอดอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่ โดยเก็บตัวอย่างดินตามลักษณะการพัฒนาป่าไม้ 4 ประเภท ได้แก่ พื้นที่พัฒนาป่าไม้ด้วยน้ำฝน พื้นที่พัฒนาป่าไม้ด้วยระบบชลประทาน พื้นที่พัฒนาป่าไม้ด้วยฝายต้นน้ำลำธาร และพื้นที่พัฒนาป่าไม้ด้วยน้ำฝนภายนอกศูนย์ฯ ทำการเก็บตัวอย่างดิน

ด้วยพลั่วขนาด 15×15 เซนติเมตร ลึก 5 เซนติเมตร จำนวน 9 ซ้ำต่อพื้นที่ศึกษา เก็บสองตัวอย่าง ในวันที่ 8 มีนาคม 2561 (ช่วงฤดูแล้ง) และ 7 กันยายน 2561 (ช่วงฤดูฝน) ผลการศึกษาพบ จำนวนสัตว์ขาปล้องขนาดเล็กในดินทั้งหมด 8,113 ตัวอย่าง สามารถจำแนกออกเป็น 21 กลุ่มสัตว์ กลุ่มใดเป็นกลุ่มสัตว์ที่มีความโดดเด่นที่สุดที่พบในทุกพื้นที่ศึกษา ซึ่งพบความหนาแน่นเฉลี่ยมากที่สุดถึง 2,496.3±3,921.3 ตัวต่อตารางเมตร (41 เปอร์เซ็นต์) รองลงมาคือ กลุ่มเสี้ยนนมพบ 1,103.1±5,162.3 ตัวต่อตารางเมตร (16 เปอร์เซ็นต์) กลุ่มแมลงหางดีดพบ 388.9±553.2 ตัวต่อตารางเมตร (15 เปอร์เซ็นต์) และกลุ่มมด 377.8±493.6 ตัวต่อตารางเมตร (14 เปอร์เซ็นต์) ตามลำดับ ปริมาณความหนาแน่นของสัตว์ขาปล้องขนาดเล็กในดินในช่วงฤดูแล้ง (8,753±11,042 ตัวต่อตารางเมตร) สูงกว่าปริมาณความหนาแน่นในช่วงฤดูฝน (1,113.6±740.1 ตัวต่อตารางเมตร) แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $P<0.05$ ) พื้นที่พัฒนาป่าไม้ด้วยระบบชลประทานที่เป็นบริเวณที่มีน้ำชลประทานไหลผ่านพื้นที่ตลอดปี ซึ่งมีสมบัติทางกายภาพ เคมี และชีวภาพบางประการของดินที่ดี พื้นที่นี้พบปริมาณความหนาแน่นของสัตว์ขาปล้องขนาดเล็กในดินมากที่สุด (1,1901±14,400 ตัวต่อตารางเมตร) รองลงมาคือ พื้นที่พัฒนาป่าไม้ด้วยน้ำฝนภายนอกศูนย์ฯ (5,316±4,208.7 ตัวต่อตารางเมตร) พื้นที่พัฒนาป่าไม้ด้วยน้ำฝน (1,614±1,360.1 ตัวต่อตารางเมตร) และพื้นที่พัฒนาป่าไม้ด้วยฝายต้นน้ำลำธาร (901.2±643.2 ตัวต่อตารางเมตร) ตามลำดับ แม้ว่าพื้นที่พัฒนาป่าไม้ด้วยฝายต้นน้ำลำธาร มีสมบัติบางประการของดินค่อนข้างไม่ดี และพบปริมาณความหนาแน่นของสัตว์ขาปล้องขนาดเล็กในดินน้อยที่สุดเช่นกัน แต่กลับมีค่าความหลากหลายชนิดของแซนนอน-ไวเนอร์ และค่าดัชนีความสม่ำเสมอสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่ศึกษาอื่น

**คำสำคัญ:** สัตว์ขาปล้องขนาดเล็กในดิน ดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพ คุณสมบัติของดิน พื้นที่ป่าฟื้นฟู

## คำนำ

ในปี พ.ศ. 2525 บริเวณศูนย์ศึกษาการพัฒนาห้วยฮ่องไคร้ อันเนื่องมาจากพระราชดำริ มีพื้นที่โดยประมาณ 8,500 ไร่ เป็นพื้นที่ป่าเสื่อมโทรม เนื่องจากการลักลอบตัดไม้ทำลายป่า และผลจากไฟไหม้ป่า ดินจึงถูกน้ำชะล้างเป็นส่วนใหญ่ เหลือเป็นหินลูกรังและกรวด ยากต่อการทำการเกษตร หรือใช้ประโยชน์เชิงพื้นที่ ปัจจุบันมีการฟื้นฟูพัฒนาต้นน้ำและพื้นที่ป่าให้ฟื้นกลับคืนสู่ความอุดมสมบูรณ์อีกครั้ง ซึ่งในระยะแรกนั้นทางศูนย์มีพื้นที่ป่าไม่ถึง 5 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นที่ทั้งหมด แต่หลังจากการพัฒนาดำเนินงานทางด้านการศึกษาฟื้นฟูป่ามาอย่างต่อเนื่อง ยาวนานเกือบ 40 ปี ทำให้พื้นที่ศูนย์ได้ฟื้นกลับคืน

เป็นป่าที่มีความอุดมสมบูรณ์อีกครั้ง สิ่งมีชีวิตต่าง ๆ ก็ได้ทยอยเข้ามาใช้ประโยชน์ในพื้นที่ได้อย่างหลากหลายชนิด ไม่ว่าจะเป็นพืชหรือสัตว์ต่างมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นตามลำดับทั้งชนิดและปริมาณ โดยเฉพาะสัตว์ขาปล้องขนาดเล็กในดิน (Soil microarthropods) ที่มีความสำคัญต่อระบบนิเวศในดินอย่างมาก โดยช่วยย่อยสลายอินทรีย์สารให้มีขนาดเล็กลง เพิ่มธาตุอาหารในดิน และเพิ่มพื้นที่ผิวสำหรับจุลินทรีย์ในกระบวนการย่อยอาหาร นอกจากนี้ การเคลื่อนที่ของสัตว์เหล่านี้ ยังส่งผลต่อโครงสร้างของดิน ทำให้เกิดพื้นที่อยู่อาศัย รวมทั้งทำให้เกิดการหมุนเวียนของน้ำและอากาศ ส่งผลให้มีสิ่งมีชีวิตอื่นเข้ามาอยู่อาศัยเพิ่มขึ้น (John, 1970; Sylvia *et al.*,

2005) ซึ่งในระบบนิเวศดินตามธรรมชาติ ทั้งจุลินทรีย์และสัตว์ขาปล้องในดินต่างมีส่วนสำคัญในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในดินให้กลายเป็นสารประกอบเชิงซ้อนได้อย่างรวดเร็ว (Volobuev, 1964) เพื่อก่อให้เกิดการหมุนเวียนธาตุอาหารกลับคืนสู่ระบบนิเวศต่อไป

นอกจากนั้นสัตว์ขาปล้องขนาดเล็กในดินยังเป็นองค์ประกอบสำคัญในห่วงโซ่อาหารของระบบนิเวศในดิน รวมทั้งมักมีอวัยวะรับสัมผัสที่ไวต่อสารเคมีที่สะสมในดินและค่อนข้างจะอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อม เมื่อเกิดการทำลายสภาพแวดล้อมของดินอย่างรุนแรง ซึ่งอาจเป็นผลจากการบุกรุกทำลายป่าก็จะทำให้จำนวนและชนิดของสัตว์ขาปล้องขนาดเล็กในดินเหล่านั้นมีปริมาณลดลงอย่างรวดเร็วหรือหายไปจากพื้นที่นั้นได้ (Webster *et al.*, 2001) ทำให้ปัจจุบันมีแนวคิดในการนำสัตว์ขาปล้องขนาดเล็กในดินมาใช้เป็นวิธีหนึ่งในการประเมินคุณภาพทางชีวภาพของดิน (Parisi *et al.*, 2005) ดังตัวอย่างการศึกษาของ N'Dri *et al.* (2017) ได้ศึกษาความหลากหลายของกลุ่มไร (Acari) ในตัวอย่างดินจากป่าฟื้นฟู พบว่าตัวอย่างไรมีปริมาณตัวอย่างลดลง 60 เปอร์เซ็นต์ และความหลากหลายชนิดก็ลดลง 40 เปอร์เซ็นต์ ต้นไม้ในพื้นที่ดังกล่าวถูกตัดโค่นออกไปจากพื้นที่ แต่หลังจากการฟื้นฟูป่า 7 ปี พื้นที่ดังกล่าวจะมีปริมาณตัวอย่างไรเพิ่มขึ้นกว่าเดิม 150 เปอร์เซ็นต์ และมีความหลากหลายชนิดเพิ่มขึ้นจากเดิม 63 เปอร์เซ็นต์ รวมทั้งคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของดินก็ดีขึ้นเช่นกัน

ดังนั้นการศึกษาดังนี้ มีวัตถุประสงค์ศึกษาปริมาณและความหลากหลายของสัตว์ขาปล้องขนาดเล็กในดินในพื้นที่ป่าฟื้นฟูแบบต่าง ๆ ของศูนย์การศึกษาพัฒนาห้วยฮ่องไคร้ อำเภอดอยสะเก็ด

จังหวัดเชียงใหม่ และหาความสัมพันธ์ระหว่างสัตว์ขาปล้องขนาดเล็กในดินกับคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของดินระหว่างพื้นที่ป่าฟื้นฟูดังกล่าว เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการจัดการการฟื้นฟูป่าในพื้นที่ รวมทั้งการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติของพื้นที่ป่าอย่างมีประสิทธิภาพของศูนย์ศึกษาการพัฒนาห้วยฮ่องไคร้ฯ ต่อไป

## อุปกรณ์และวิธีการ

### พื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษามีลักษณะการพัฒนาป่าไม้ด้วยวิธีการฟื้นฟู 4 ประเภท ได้แก่ พื้นที่การพัฒนาป่าไม้ด้วยน้ำฝน พื้นที่การพัฒนาป่าไม้ด้วยระบบชลประทาน พื้นที่การพัฒนาป่าไม้ด้วยฝายต้นน้ำลำธาร พื้นที่การพัฒนาป่าไม้ด้วยน้ำฝนภายนอกศูนย์ฯ มีลักษณะพื้นที่เบื้องต้น (Khamyong *et al.*, 2016; Sutthawan *et al.*, 2016) โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) พื้นที่การพัฒนาป่าไม้ด้วยน้ำฝน (Forest restoration area with rainwater, A1) (18°53'01"N, 99°13'28"E) ที่มีลักษณะเป็นป่าเต็งรังบนสันเขาที่มีดินตื้นมากและมีหินใก้ลอยู่ทั่วไป (Very shallow soil) (ความสูง 519 เมตรจากระดับน้ำทะเล) ลาดชันมาก จัดเป็นดิน Order Entisols มีปริมาณอนุภาคทรายในชั้นดินลึก 30 เซนติเมตร ค่อนข้างสูง ผันแปรอยู่ระหว่าง 62.72-76.70 เปอร์เซ็นต์ อนุภาคทรายแบ่ง 4.00-10.0 เปอร์เซ็นต์ และอนุภาคดินเหนียว 17.20-33.28 เปอร์เซ็นต์ โดยมีดินเหนียวเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในดินล่าง ดินบนมีเนื้อดินแบบร่วนปนทราย (Sandy loam) ดินล่างเป็นแบบดินร่วนเหนียวปนทราย (Sandy clay loam) พันธุ์ไม้เด่นที่พบมากที่สุดคือ รัง (*Shorea siamensis*)

2) พื้นที่พัฒนาป่าไม้ด้วยระบบชลประทาน (Forest restoration area with irrigation system, A2) (18°52'01" N, 99°13'28" E) พื้นที่นี้เป็นป่าเบญจพรรณ บริเวณเชิงเขาข้างริมห้วย ที่มีคูน้ำเล็ก ๆ ไหลผ่านพื้นที่ตลอดปี ทำให้พื้นที่นี้มีความชื้นสูงมาก ทั้งในช่วงฤดูแล้งและฤดูฝน สภาพพื้นที่มีความลาดชันเล็กน้อย (ความสูง 402 เมตรจากระดับน้ำทะเล) เป็นป่าเบญจพรรณที่มีไฟบงขึ้นเล็กน้อย มีต้นไม้ขนาดใหญ่ขึ้นอยู่ค่อนข้างหนาแน่น ดินลึก (Deep soil) จัดเป็นดินใน Order Alfisols เป็นดินที่ลึกมากกว่า 1 เมตร ดินบนมีเนื้อดินแบบดินร่วนเหนียวปนทราย (Sandy clay loam) พันธุ์ไม้เด่นที่พบมากที่สุดคือ สัก (*Tectona grandis*)

3) พื้นที่พัฒนาป่าไม้ด้วยฝายต้นน้ำลำธาร (Forest restoration area with reservoir, A3) (18°52'47"N, 99°13'32"E) เป็นพื้นที่ป่าเต็งรังที่มีไม้พลวงและเหียงเป็นพันธุ์ไม้เด่น โดยตั้งอยู่บริเวณเชิงเขา ใกล้ฝายเก็บน้ำที่มีปริมาณน้ำมาก เก็บไว้ตลอดปี อยู่สูงจากระดับน้ำทะเล 495 เมตร ดินลึกปานกลาง (Moderately deep soil) มีปริมาณกรวดปานกลาง มีการสะสมดินเหนียวในดินล่างค่อนข้างมาก จัดเป็นดินใน Order Alfisols ดินบนมีเนื้อดินแบบร่วนปนทราย (Sandy loam) พันธุ์ไม้เด่นที่พบมากที่สุดคือ พลวง (*Dipterocarpus tuberculatus*)

4) พื้นที่พัฒนาป่าไม้ด้วยน้ำฝนภายนอกศูนย์ฯ (Forest restoration area with rainwater outside the center, A4) (18°54'14"N, 99°13'18"E) เป็นพื้นที่ป่าเต็งรังที่ราบ พื้นที่อยู่สูงจากระดับน้ำทะเล 512 เมตร ดินลึกมากเป็นดินเหนียวที่มีความลึกมากกว่า 2 เมตร จัดเป็นดินใน Order Oxisols ดินบนมีเนื้อดินแบบดินร่วนเหนียวปนทราย (Sandy clay loam) พันธุ์ไม้เด่น

ที่พบมากที่สุดคือ เหียง (*Dipterocarpus obtusifolius*)

### การเก็บตัวอย่างดิน

การเก็บตัวอย่างดินเพื่อนำมาศึกษาวิเคราะห์หาคุณสมบัติบางประการของดิน และปริมาณและความหลากหลายของสัตว์ขาปล้องขนาดเล็กในดิน โดยสุ่มเก็บตัวอย่างดินแบบรบกวนโครงสร้างดิน จำนวน 2 ครั้ง เป็นตัวแทนช่วงเวลาของฤดูกาล ได้แก่ 8 มีนาคม 2561 (ช่วงฤดูแล้ง) และ 7 กันยายน 2561 (ช่วงฤดูฝน) ในแต่ละพื้นที่ศึกษาป่าพื้นที่ฟูฯ เก็บตัวอย่างดินในพื้นที่ขนาด 15×15 เซนติเมตร ความลึก 5 เซนติเมตร จำนวน 3 ซ้ำ การวิเคราะห์สมบัติบางประการของดิน แต่สำหรับการสุ่มเก็บตัวอย่างดินเพื่อนำมาหาปริมาณและความหลากหลายของสัตว์ขาปล้องขนาดเล็กในดิน จะมีการเก็บพื้นที่ศึกษาป่าพื้นที่ฟูฯ จำนวน 9 ซ้ำ โดยจะต้องระมัดระวังในการเคลื่อนย้ายตัวอย่างดิน หากเกิดการกระทบกระเทือนรุนแรงอาจส่งผลต่อปริมาณและความหลากหลายของสัตว์ขาปล้องขนาดเล็กในดินได้

### การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน

การวิเคราะห์สมบัติบางประการของดิน โดยการนำตัวอย่างดินที่เก็บมาผึ่งในที่ร่มให้แห้ง ทำการบดดินโดยโกร่งบดดิน แล้วนำมาร่อนบนตะแกรงร่อนดินขนาด 2 มิลลิเมตร สำหรับนำไปวิเคราะห์ความเป็นกรดต่างของดิน (pH) โดยใช้อัตราส่วนดินต่อน้ำ 1:1 วัดด้วยพีเอช มิเตอร์ (pH meter) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total N) โดยวิธีของ Kjeldahl ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P) โดยสกัดตัวอย่างดินด้วยน้ำยาสกัด Bray II อ่านค่าด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

(Spectrophotometer) ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable K) สกัดด้วยแอมโมเนียอะซิเตดที่ pH 7 (1 M NH<sub>4</sub>OAc pH 7) และอ่านค่าด้วยเครื่องเฟลมโฟโตมิเตอร์ (Flame photometer) วัดระดับความชื้นของดินโดยการชั่งน้ำหนัก (By weight) และโดยปริมาตร (By volume) สำหรับดินอีกส่วนหนึ่งนำไปร่อนด้วยตะแกรง 0.5 มิลลิเมตร เพื่อนำไปใช้วิเคราะห์หาปริมาณอินทรียวัตถุในดิน (%Organic Matter) โดยวิธีของ Walkley & Black (นงลักษณ์, 2548) และตรวจวัดความชื้นในดินโดยการชั่งน้ำหนัก (By weight) และโดยปริมาตร (By volume) และวิเคราะห์ปริมาณมวลชีวภาพจุลินทรีย์คาร์บอน (Microbial biomass C, MBC) และมวลชีวภาพจุลินทรีย์ไนโตรเจน (Microbial biomass nitrogen, MBN) ด้วยเทคนิคการรมด้วยคลอโรฟอร์มและสกัด (Amato and Ladd, 1988)

### การแยกตัวอย่างสัตว์ขาปล้องขนาดเล็กในดิน

ทำการแยกตัวอย่างสัตว์ขาปล้องขนาดเล็กจากตัวอย่างดินด้วยกรวยแยกเบอร์ลีส (Berlese funnel) ซึ่งภายในมีตะแกรงลวดขนาดรูตะแกรง 2x2 มิลลิเมตร นำตัวอย่างดินใส่ด้านบนของกรวย ใช้หลอดไฟขนาด 40 วัตต์ เปิดให้ความร้อน เพื่อให้สัตว์ขาปล้องที่อาศัยอยู่ในดินเคลื่อนที่หนีผ่านตะแกรงลงสู่ภาชนะที่บรรจุเอทิลแอลกอฮอล์ 70 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ทำการจำแนกกลุ่มสัตว์ขาปล้องและตรวจนับปริมาณภายใต้กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงแบบสเตอริโอ (Stereoscopic microscope) โดยอ้างอิงเอกสารการจำแนกสัตว์ขาปล้องขนาดเล็ก (Dindal, 1990; Naumann *et al.*, 1991; Triplehorn and Johnson, 2005) เก็บรักษากลุ่มสัตว์แยกออกจากกัน และใส่ป้ายรหัส

ของแต่ละตัวอย่างลงในหลอดเก็บตัวอย่างสัตว์เดียวกัน เพื่อสะดวกในการนำตัวอย่างสัตว์เหล่านี้กลับมาศึกษาใหม่

### การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลของสัตว์ขาปล้องที่พบจากการเก็บตัวอย่างทั้งหมดจะนำมาวิเคราะห์ ค่าความแปรปรวน (analysis of variance, ANOVA) และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation analysis) รวมทั้งวิเคราะห์ดัชนีความหลากหลายชนิด (species diversity index) โดยใช้ดัชนีความหลากหลายชนิดของแซนนอน-ไวเนอร์ (Shannon-Wiener's index) ซึ่งปรับค่ามาตรฐานความสม่ำเสมอโดยใช้สมการของพิลา (Pielou's evenness index) จากนั้นคำนวณค่าดัชนีความเด่นของซิมป์สัน (Simpson's dominance index) ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ค่าความหลากหลายชนิดของแซนนอน-ไวเนอร์ (Shannon-Wiener index, H) (Shannon, 1948)

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

โดยที่ pi คือ สัดส่วนของจำนวนตัวของสัตว์ขาปล้องในแต่ละกลุ่มต่อจำนวนตัวอย่างทั้งหมดที่พบในสิ่งมีชีวิตที่ศึกษานั้น (เมื่อ i = 1, 2, 3, ..., s)

เมื่อ s คือ จำนวนชนิดของแมลงทั้งหมดในเส้นทางศึกษา

2. ดัชนีความสม่ำเสมอ (Evenness index, J) ของสัตว์ขาปล้องโดยใช้ดัชนีความสม่ำเสมอจากสูตรคำนวณของ Mulder *et al.* (2004)

$$J = H/H_{max} \text{ หรือ } H/\ln S$$

เมื่อ J คือ ดัชนีความสม่ำเสมอ

H คือ ค่าความหลากหลายชนิดของพรรณอน-  
ไวเนอร์

Hmax คือ ค่าสูงสุดของ H' หรือค่า  
ความหลากหลายชนิดของพรรณอน-  
ไวเนอร์

S คือ จำนวนชนิดสัตว์ขาปล้องในดิน  
ทั้งหมดที่พบในพื้นที่ศึกษา

3. ดัชนีความโดดเด่น (Dominant index, Do) ของสัตว์ขาปล้อง แสดงให้เห็นถึงสภาพการณ์ที่มีการปรากฏของสัตว์ขาปล้องชนิดที่โดดเด่นในแหล่งพื้นที่อาศัยนั้น โดยคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$Do = 1-J$$

เมื่อ J คือ ดัชนีความสม่ำเสมอ

เปรียบเทียบค่าความแตกต่างของสมบัติทางกายภาพและเคมีบางประการของดิน ปริมาณและความหลากหลายชนิดของสัตว์ขาปล้องขนาดเล็กในดินระหว่างพื้นที่ที่มีการพัฒนาป่าไม้รูปแบบต่าง ๆ ทั้งภายในและภายนอกศูนย์ฯ โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน One-way Kruskal Wallis Test เปรียบเทียบความแตกต่างแต่ละช่วงเวลา โดยใช้วิธี T-Test และคำนวณหาค่าสหสัมพันธ์ (Correlation) ของสมบัติทางเคมีของดินกับปริมาณของสัตว์ขาปล้องขนาดเล็กในดิน และการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูลปัจจัยแวดล้อม และคุณสมบัติของดินโดยวิธีของ Redundancy Analysis (RDA) ที่นัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ( $P < 0.05$ ) และ 0.01 ( $P \leq 0.01$ ) ในโปรแกรม R version 3.1

## ผลการวิจัยและวิจารณ์ผลการวิจัย

### 1) คุณสมบัติบางประการของดิน

เปรียบเทียบความแตกต่างของสมบัติบางประการของดินตามลักษณะการพัฒนาป่าไม้ด้วยวิธีการฟื้นฟู 4 ประเภท ได้แก่ พื้นที่การพัฒนาป่าไม้ด้วยน้ำฝน พื้นที่การพัฒนาป่าไม้ด้วยระบบชลประทาน พื้นที่การพัฒนาป่าไม้ด้วยฝายต้นน้ำลำธาร พื้นที่การพัฒนาป่าไม้ด้วยน้ำฝนภายนอกศูนย์ฯ (Table 1) ผลการศึกษาพบว่า ค่าความเป็นกรดต่างของดินมีความแตกต่างทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) ทั้งในฤดูแล้งและฤดูฝน โดยบริเวณพื้นที่การพัฒนาป่าไม้ด้วยฝายต้นน้ำลำธาร มีค่าความเป็นกรดต่างของดินต่ำที่สุดทั้งสองช่วงเวลา โดยถือว่า อยู่ในระดับกรดจัด (Strongly acid) ตามเกณฑ์การประเมินของกรมพัฒนาที่ดิน (2553) เนื่องจากตั้งอยู่บริเวณเชิงเขาและไหล่เขาที่เป็นต้นน้ำของลำห้วยสาขา อีกทั้งดินบนมีเนื้อดินแบบร่วนปนทราย (Sandy loam) แต่จากผลการศึกษาพบว่า ค่าความเป็นกรดต่างของดินอยู่ในระดับกรดจัดซึ่งค่าความเป็นกรดของดินเป็นผลมาจากอิทธิพลของสภาพภูมิอากาศ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น อัตราเร่งของปฏิกิริยาทางเคมีก็สูงขึ้นด้วย เบสถูกชะละลายออกไปจากหน้าตัดดินได้ง่าย ทำให้มีไฮโดรเจนไอออนสะสมที่ผิวอนุภาคของดินเหนียวในปริมาณมาก (Zhang *et al.*, 2006; Brady and Weil, 2008) อีกทั้งยังอาจเกิดจากลักษณะภูมิประเทศที่มีความลาดชันสูงกว่าพื้นที่อื่น มีการกร่อนของดินเกิดขึ้นค่อนข้างสูง ทำให้เบสิกแคทไอออนต่าง ๆ ถูกพัดพาสูญหายไปได้ง่ายกว่า ส่งผลทำให้ดินมีปฏิกิริยาเป็นกรดจัด (Staff of soil science, 1998) แต่เมื่อเปรียบเทียบในเชิงเวลา พบว่า ค่าความเป็นกรดต่างของดินทุกพื้นที่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติระหว่างฤดูแล้งและฤดูฝน

**Table 1** Soil properties (pH, %OM, %N and Available P) between forest restoration areas of the Huai Hong Khrai Royal Development Study Center, Doi Saket District, Chiang Mai Province

Sites	pH		%OM		%N		Available P (milligrams per kilogram soil)		t-test
	Dry	Wet	Dry	Wet	Dry	Wet	Dry	Wet	
A1	6.47±0.26a	6.62±0.07ab	5.49±2.04ab	5.48±0.10ab	0.27±0.10ab	0.27±0.00b	47.77±50.12a	46.45±38.67	ns
A2	6.44±0.13ab	7.04±0.63a	9.20±2.89a	10.48±5.25a	0.46±0.14a	0.52±0.26a	6.90±2.98b	12.69±12.16	ns
A3	5.14±0.33b	5.32±0.41b	2.61±0.46b	2.23±0.29b	0.13±0.02b	0.11±0.01ab	4.45±2.23b	5.10±1.72	ns
A4	5.69±0.41ab	5.93±0.45ab	7.78±1.44ab	7.96±0.98ab	0.39±0.07ab	0.40±0.05ab	2.96±1.25b	2.72±0.93	ns
Kruskal-Wallis chi-squared	8.95*	9.05*	8.44*	9.36*	8.44*	9.36*	7.82*	7.62ns	

Remarks: ns = not significant, \* p-value < 0.05, \*\* p-value < 0.01

Forest restoration area with rainwater (A1), Forest restoration area with irrigation system (A2), Forest restoration area with reservoir (A3), Forest restoration area with reservoir (A4)



**Table 2** Soil properties (Exchangeable K, %soil moisture, Biomass C and Biomass N) between forest restoration areas of the Huai Hong Khrai Royal Development Study Center, Doi Saket District, Chiang Mai Province

Sites	Exchangeable K (milligrams per kilogram soil)				%soil moisture				Biomass C				Biomass N			
	Dry	Wet	t-test		Dry	Wet	t-test		Dry	Wet	t-test		Dry	Wet	t-test	
A1	146.1±31.49	69.22±6.71ab	*		10.04±2.22ab	31.47±2.52ab	**		38.42±9.50b	113.13±32.19b	*		46.15±1.52b	58.10±5.15b	*	
A2	119.62±7.60	34.90±15.75b	**		17.44±4.16a	44.88±10.60a	*		295.44±184.30a	398.53±142.71a	ns		87.26±29.49a	103.76±22.83a	ns	
A3	100.09±38.00	70.49±25.54ab	ns		2.60±0.43b	16.90±0.98b	**		57.93±35.02ab	135.23±55.67ab	**		49.27±5.60ab	61.63±8.91ab	ns	
A4	206.8±73.34	152.55±56.25a	ns		10.66±0.61ab	26.91±1.40ab	**		116.44±16.97ab	194.01±36.43ab	*		58.63±2.72ab	71.04±5.83ab	*	
Kruskal-Wallis	4.33ns	8.74*			9.46*	10.39*			9.46*	8.44*			9.46*	8.44*		
chi-squared																

Remarks: ns = not significant, \* p-value < 0.05, \*\* p-value < 0.01

Forest restoration area with rainwater (A1), Forest restoration area with irrigation system (A2), Forest restoration area with reservoir (A3), Forest restoration area with reservoir (A4)

ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินมีความแตกต่างทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) บริเวณพื้นที่การพัฒนาป่าไม้ด้วยระบบชลประทาน มีปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินสูงที่สุดทั้งสองช่วงเวลา ในฤดูแล้งมีปริมาณ 9.20 เปอร์เซ็นต์ และในฤดูฝนมีปริมาณ 10.48 เปอร์เซ็นต์ อยู่ในระดับสูงมาก เนื่องจากเป็นป่าเบญจพรรณ บริเวณเชิงเขาริมห้วย พื้นที่ที่มีความชื้นสูงมากในช่วงฤดูฝน ดินที่อยู่ระดับใต้ผิวดินลงไปมีรากพืชยึดหนาแน่น ในดินมีอินทรีย์วัตถุในปริมาณค่อนข้างมากจึงช่วยให้ดินมีโครงสร้างดี เม็ดดินเกาะกันทำให้ดินคงทนต่อการสลาย สำหรับพื้นที่การพัฒนาป่าไม้ด้วยฝายต้นน้ำลำธารมีปริมาณอินทรีย์วัตถุต่ำที่สุด โดยมีเพียง 2.61 เปอร์เซ็นต์ ในฤดูแล้ง และในฤดูฝนมีเพียง 2.23 เปอร์เซ็นต์ อยู่ในระดับปานกลาง ด้วยลักษณะกายภาพของพื้นที่เป็นป่าเต็งรังบนสันเขาที่มีดินตื้นมากและมีหินโผล่อยู่ทั่วไป มีการกร่อนของดินเกิดขึ้นค่อนข้างสูง โครงสร้างของดินไม่ดี ในดินมีปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่ในระดับต่ำ ทำให้การตกทับถมของเศษใบไม้มีน้อยและกระบวนการย่อยสลายโดยสัตว์หน้าดินและจุลินทรีย์ในพื้นที่เกิดขึ้นน้อยเช่นกัน อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบระหว่างสองช่วงเวลาทุกการพัฒนาป่าไม้ไม่พบความแตกต่างทางสถิติระหว่างฤดูแล้งและฤดูฝน

ปริมาณไนโตรเจนรวมของดินมีแนวโน้มเช่นเดียวกับปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน การเปลี่ยนแปลงของปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน เนื่องจากอินทรีย์วัตถุเป็นแหล่งปลดปล่อยไนโตรเจนที่สำคัญให้แก่ดิน (Brady and Weil, 2008) กล่าวคือ บริเวณพื้นที่การพัฒนาป่าไม้ด้วยระบบชลประทาน มีปริมาณไนโตรเจนรวมของดินสูงที่สุดทั้งสองช่วงเวลา ในฤดูแล้งมีปริมาณ 0.46 เปอร์เซ็นต์ และในฤดูฝนมีปริมาณ 0.52 เปอร์เซ็นต์ สำหรับพื้นที่การพัฒนาป่าไม้ด้วยฝายต้นน้ำลำธารไนโตรเจนรวมของดิน

น้อยที่สุด โดยมีเพียง 0.13 เปอร์เซ็นต์ในฤดูแล้ง และในฤดูฝนมีเพียง 0.11 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างสองช่วงเวลาทุกการพัฒนาป่าไม้ไม่พบความแตกต่างทางสถิติระหว่างฤดูแล้งและฤดูฝน

ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ได้ในดิน (Available P) ในช่วงฤดูแล้งพบว่ามีความแตกต่างทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) โดยในพื้นที่การพัฒนาป่าไม้ด้วยน้ำฝนภายในศูนย์มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ได้ในดินสูงที่สุด 47.77 milligrams per kilogram soil แตกต่างจากพื้นที่อื่นอย่างชัดเจน และในฤดูฝนไม่พบความแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบแต่ละพื้นที่การพัฒนาป่าไม้ด้วยวิธีการอื่น ๆ แต่ยังคงมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ได้ในดินสูงกว่าทุกพื้นที่ ด้วยฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดินอยู่ในรูปอนุมูลฟอสเฟต คือ  $H_2PO_4^-$  และ  $HPO_4^{2-}$  ซึ่งได้จากกระบวนการแปรสภาพของอินทรีย์วัตถุและการละลายของสารประกอบฟอสเฟตต่าง ๆ ในดิน ออกมาอยู่ในสารละลายดิน (Soil solution) ซึ่งอยู่ในสภาพสมดุลกัน เมื่อพืชดูดดึงฟอสเฟตในสารละลายดินไปใช้จะทำให้ปริมาณในส่วนนี้ลดลง ฟอสเฟตในส่วนของ soil solid จะถูกปลดปล่อยออกมาเพื่อชดเชย (Bray and Kurtz, 1945)

ปริมาณโพแทสเซียมที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ในดิน (Exchangeable K) พบว่า ฤดูฝนมีความแตกต่างทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) โดยในพื้นที่พัฒนาป่าไม้ด้วยน้ำฝนนอกศูนย์ฯ มีปริมาณโพแทสเซียมที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ในดินสูงที่สุด 152.55 milligrams per kilogram soil อย่างไรก็ตามในฤดูแล้งถึงแม้จะไม่พบความแตกต่างทางสถิติในแต่ละพื้นที่ แต่แนวโน้มที่ปริมาณโพแทสเซียมที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ในดินในพื้นที่พัฒนาป่าไม้ด้วยน้ำฝนนอกศูนย์ฯ ยังคงมีปริมาณสูงที่สุดเท่ากับ 206.8

milligrams per kilogram soil (Table 2) ซึ่งพื้นที่ การพัฒนาป่าไม้ด้วยน้ำฝนภายนอกศูนย์ฯ เป็น ป่าเต็งรังบนพื้นที่ราบและมีร่องรอยของการเผา ในช่วงแล้งส่งผลทำให้ปริมาณโพแทสเซียมที่ สามารถแลกเปลี่ยนได้ในดินอยู่ในระดับที่สูงมาก เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่พัฒนาป่าไม้ประเภทอื่น อย่างไรก็ตาม ปริมาณโพแทสเซียมที่สามารถ แลกเปลี่ยนได้ในดินดังกล่าวข้างต้นมีความแตกต่าง อย่างมีนัยสำคัญเฉพาะในพื้นที่การพัฒนาป่าไม้ด้วย น้ำฝนภายในศูนย์ฯ และพื้นที่การพัฒนาป่าไม้ด้วย น้ำฝนร่วมกับระบบชลประทาน โดยฤดูแล้งมีค่า สูงกว่าฤดูฝน

ความชื้นในดินทั้งสองช่วงเวลามีความแตกต่าง ทางสถิติ พื้นที่พัฒนาป่าไม้ด้วยระบบชลประทาน ฤดูแล้งมีความชื้นในดินสูงสุด 17.44 เปอร์เซ็นต์ และในฤดูฝนมีความชื้นในดินสูงสุด 44.88 เปอร์เซ็นต์ ด้วยลักษณะพื้นที่พัฒนาป่าไม้ด้วยระบบชลประทาน อยู่บริเวณเชิงเขาริมห้วยที่มีการทับถมของใบไม้สัก จำนวนมาก แต่สำหรับพื้นที่การพัฒนาป่าไม้ด้วย ฝายต้นน้ำลำธารมีความชื้นในดินต่ำที่สุด โดยฤดูแล้ง มีเพียง 2.60 เปอร์เซ็นต์ และฤดูฝนมีเพียง 16.90 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากตั้งอยู่บริเวณเชิงเขาและไหล่เขา เมื่อเปรียบเทียบระหว่างสองช่วงเวลาของพื้นที่ การพัฒนาป่าไม้พบความแตกต่างทางสถิติ ระหว่าง ฤดูแล้งและฤดูฝนทุกพื้นที่ โดยฤดูฝนจะมีความชื้น ในดินสูงกว่าฤดูแล้ง

สำหรับปริมาณมวลชีวภาพจุลินทรีย์ ทั้งปริมาณ Microbial biomass C และ biomass N เป็นไป ในทิศทางเดียวกันคือ มีความแตกต่างทางสถิติ ทั้งสองช่วงเวลา ( $P < 0.05$ ) โดยพื้นที่การพัฒนา ป่าไม้ด้วยระบบชลประทาน มีปริมาณ Microbial biomass C และ biomass N ในฤดูแล้งสูงสุด 295.44 microgram C per gram soil และ 87.26

microgram N per gram soil และฤดูฝนสูงสุด 398.53 microgram C per gram soil และ 103.76 microgram N per gram soil ตามลำดับ ในพื้นที่การพัฒนาป่าไม้ด้วยระบบชลประทาน มีปริมาณ MBC และ MBN สูง เนื่องจากพื้นที่ สามารถเก็บกักความชื้นไว้ในดินได้ อีกทั้งยังเป็น ป่าเบญจพรรณบริเวณเชิงเขาริมห้วยที่มีหน้าดินลึก ซึ่งเมื่อมวลชีวภาพพืชสูง มีเศษซากพืชหรือใบไม้ ที่ร่วงหล่นคืนสู่พื้นดินมาก มีแนวโน้มของปริมาณ MBC, MBN และอินทรีย์วัตถุเพิ่มขึ้น (Vityakon *et al.*, 2000; Thippayarugs *et al.*, 2008) สำหรับพื้นที่การพัฒนาป่าไม้ด้วยน้ำฝนมีปริมาณ Microbial biomass C และ biomass N ต่ำที่สุดในฤดูแล้ง 38.4 microgram C per gram soil และ 46.15 microgram N per gram soil ฤดูฝน 113.13 microgram C per gram soil และ 58.10 microgram N per gram soil ตามลำดับ เมื่อ เปรียบเทียบปริมาณ Microbial biomass C และ biomass N แต่ละช่วงเวลาพบความแตกต่าง อย่างมีนัยสำคัญระหว่างฤดูแล้งและฤดูฝนในพื้นที่ การพัฒนาป่าไม้ด้วยน้ำฝนในศูนย์ฯ และพื้นที่ การพัฒนาป่าไม้ด้วยน้ำฝนนอกศูนย์ฯ

### ความหลากหลายของสัตว์ขาปล้องขนาดเล็ก ในดิน

หลังจากการวิเคราะห์จำแนกชนิดของสัตว์ ขาปล้องขนาดเล็กจากตัวอย่างดินที่เก็บมาจาก พื้นที่การพัฒนาป่าไม้ทั้ง 4 ประเภท พบสัตว์ ขาปล้องขนาดเล็กในดินทั้งหมด 8,113 ตัวอย่าง (Table 3) โดยจำแนกออกเป็น 8 ชั้น (class) ได้แก่ ชั้นอะเรคนิดา (Arachnida) ชั้นกิ้งกือ (Diplopoda) ชั้นตะขาบ (Chilopoda) ชั้นตะขาบฝอย (Symphyla) ชั้นตะขาบจิว (Pauropoda) ชั้นมาลาโคสตราคา

(Malacostraca) ชั้นแมลงปากหุบ (Entognatha) และชั้นแมลงที่แท้จริง (Insecta) ซึ่งตัวอย่างในชั้นอะแครนิตาสามารถจำแนกได้ 3 อันดับ (order) ได้แก่ อันดับไร (Acari) อันดับแมงมุม (Araneae) อันดับแมงป่องเทียม (Pseudoscorpions) ชั้นมาลาโคสตราคา (Malacostraca) มีสมาชิกที่พบคือ อันดับตัวกะปิ (Isopoda) ชั้นแมลงปากหุบ (Entognatha) จำแนกได้ 3 อันดับ ได้แก่ อันดับเสี้ยนนม (Protura) อันดับแมลงหางติด (Collembola) อันดับแมลงสองง่าม (Diplura) และชั้นแมลงที่แท้จริง (Insecta) สามารถจำแนกได้ 8 อันดับ ได้แก่ อันดับแมลงสามง่ามป่า (Zygentoma) อันดับแมลงสาบ (Blattodea) ที่แยกเป็น แมลงสาบ (Cockroaches) กับ ปลวก (Isoptera) อันดับเหาเทียม (Psocoptera) อันดับเพลี้ยไฟ (Thysanoptera) อันดับมวน (Hemiptera) อันดับด้วง (Coleoptera) อันดับผึ้งต่อแตน พบวงศ์เดียวคือ วงศ์มด (Hymenoptera: Formicidae) อันดับผีเสื้อ (Lepidoptera) และอันดับแมลงวัน (Diptera)

โดยจำนวนสัตว์ขาปล้องขนาดเล็กในดินที่พบทั้งหมดนี้พบว่า กลุ่มไม้มีปริมาณที่พบสูงสุดถึง 4,044 ตัวอย่าง ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 49.85 ของตัวอย่างสัตว์ขาปล้องขนาดเล็กที่พบทั้งหมด รองลงมาคือ กลุ่มเสี้ยนนม พบจำนวน 1,787 ตัวอย่าง คิดเป็นร้อยละ 22.02 ถัดมาคือ กลุ่มแมลงหางติด พบจำนวน 630 ตัวอย่าง (ร้อยละ 7.76) กลุ่มมด จำนวน 612 ตัวอย่าง (ร้อยละ 7.54) และกลุ่มมวน จำนวน 293 ตัวอย่าง (ร้อยละ 3.61) ตามลำดับ โดยสัตว์ขาปล้องขนาดเล็กทั้งห้ากลุ่มนี้ได้เคยถูกรายงานว่าพบได้ในปริมาณมากในหลายพื้นที่ เช่นเดียวกับการวิจัยนี้ (ณัฐดนัย และธนิษฐา, 2550; Duyar and Makineci, 2016; เกษม และคณะ, 2557) โดยเฉพาะกลุ่มไรกับแมลงหางติดที่พบว่า

เป็นกลุ่มเด่นที่ครอบครองพื้นที่ในบริเวณฯ ป่าสน ในประเทศสหรัฐอเมริกาได้ถึง 75 เปอร์เซ็นต์ (Marra and Edmonds, 2005) อย่างไรก็ตาม เนื่องจากสัตว์ขาปล้องกลุ่มนี้มีขนาดเล็ก ยากต่อการมองเห็นด้วยตาเปล่า ดังนั้นจะพบว่ามีการวิจัยที่ศึกษาความหลากหลายของสัตว์จากตัวอย่างดินที่มีความใกล้เคียงกัน แต่ใช้เพียงวิธีแยกตัวอย่างที่พบด้วยตาเปล่าเท่านั้น ทำให้ผลการสำรวจอาจไม่พบสัตว์กลุ่มนี้หรืออาจพบน้อยมาก ยกเว้นกลุ่มมดที่มีขนาดค่อนข้างใหญ่ ทั้งยังจดจำได้ง่าย (ธินิ และคณะ, 2556; ณัฐดนัย และคณะ, 2559)

### สัตว์ขาปล้องขนาดเล็กในดินกับการเปลี่ยนแปลงฤดูกาล

จากการเก็บตัวอย่างดินเพื่อเปรียบเทียบทั้ง 2 ฤดูกาล คือ ฤดูแล้งและฤดูฝน พบว่า สัตว์ขาปล้องขนาดเล็กในดินในฤดูแล้งพบได้ทั้งหมดจำนวน 7,090 ตัวอย่าง ซึ่งคิดเป็นความหนาแน่นโดยเฉลี่ย  $8,753 \pm 11,042$  ตัวต่อตารางเมตร ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) กับปริมาณสัตว์ขาปล้องขนาดเล็กในดินทั้งหมดที่พบในฤดูฝนที่พบเพียง 902 ตัวอย่าง ( $1,113.6 \pm 740.1$  ตัวต่อตารางเมตร) ปริมาณของสัตว์ขาปล้องที่พบในฤดูฝนลดลงเกือบ 8 เท่าจากปริมาณที่พบในฤดูแล้ง (Table 3) ซึ่งปรากฏการณ์ของสัตว์ขาปล้องขนาดเล็กลดลงในช่วงฤดูฝนนั้นได้รายงานไว้สอดคล้องกับงานวิจัยที่กระทำในพื้นที่ป่าในบริเวณสวนพฤกษศาสตร์สมเด็จพระนางเจ้าสิริกิติ์และพื้นที่ป่าบนอุทยานแห่งชาติดอยสุเทพ-ปุย จังหวัดเชียงใหม่ ที่สามารถพบปริมาณสัตว์ขาปล้องขนาดเล็กในดินในฤดูแล้งมีปริมาณสูงกว่าพบในฤดูฝน โดยเฉพาะกลุ่มไรที่พบมากในฤดูแล้งมากกว่าฤดูฝนถึง 1.5-4.5 เท่า (ณัฐดนัย และธนิษฐา, 2550;

สิริมาตร และคณะ, 2560) อย่างไรก็ตาม สัตว์  
ขาปล้องได้ถูกรายงานว่าสามารถพบในปริมาณสูง  
ในช่วงฤดูฝนมากกว่าช่วงฤดูแล้งของพื้นที่แปลง  
ปลูกยางพาราบนดินลูกรังและดินร่วนปนทรายที่

จังหวัดขอนแก่น แต่งานวิจัยชิ้นนี้มุ่งศึกษาเพียง  
สัตว์ขาปล้อง 4 กลุ่มหลักที่พบในพื้นที่ศึกษาเท่านั้น  
อันได้แก่ แมงมุม มด ปลวก และด้วง เท่านั้น  
(ลำไย และคณะ, 2551)

**Table 3** Mean and standard deviation of population density (individuals) of soil microarthropods between four forest restoration areas of the Huai Hong Krai Royal Development Study Center, Doi Saket District, Chiang Mai Province  
(Abundance/15x15 cm<sup>2</sup>±SD)

Class	Order	Dry Season (8/3/2018)				Wet Season (7/8/2018)			
		A1	A2	A3	A4	A1	A2	A3	A4
Arachnida	Acari	46.4±26.9	234.1±95.8	18.2±5.8	131±54.4	1.3±1.6	6.4±3.4	2.1±1.4	9.7±3.1
Arachnida	Araneae	1.1±1.5	3.4±7.4	0.4±0.8	1.1±1.3	0.9±1	1±0.8	0.3±0.5	0.9±1.3
Arachnida	Pseudoscorpions	0	0.6±0.5	0	0.1±0.3	0.4±0.7	0.8±0.6	0.7±1.3	0
Diplopoda	Unidentified	0.1±0.3	0.3±0.5	0.1±0.3	0.2±0.4	0	0.2±0.4	0.2±0.4	0.1±0.3
Chilopoda	Unidentified	0	0.1±0.3	0.1±0.3	0.4±1	0.3±0.5	0.6±0.7	0.2±0.4	0
Symphyla	Unidentified	0	4±6.1	0.4±0.7	1.1±1.1	0	0.3±0.7	0	0.3±0.7
Paupoda	Unidentified	0	2.2±5.6	0.1±0.3	0.7±1.9	0	0.8±1.5	0.1±0.3	0.1±0.3
Malacostraca	Isopoda	0	0.1±0.3	0	0.1±0.3	0	0	0	0.2±0.4
Entognatha	Protura	0	193.9±274.3	0.6±1.6	2.7±3.1	0.2±0.4	1.1±1.9	0	0.1±0.3
Entognatha	Collembola	0.8±0.8	31.2±14.7	2±2.4	22.2±8.5	2.2±1.6	7.1±2.5	1.3±1.9	3.1±2
Entognatha	Diplura	0	0.1±0.3	0	0.1±0.3	0.8±1	1.1±1.9	0.2±0.4	0.8±1
Insecta	Zygentoma	0.1±0.3	0	0	0	0	0	0	0
Insecta	Blattodea: Cockroaches	0.1±0.3	0.1±0.3	0	0.3±0.5	0	0.1±0.3	0	0.1±0.3
Insecta	Blattodea: Isoptera	0	1.9±2.1	0	0.1±0.3	0	3.3±2.1	0.3±0.7	0
Insecta	Psocoptera	0.4±0.7	0.9±1.1	0±0	0.3±0.5	0.2±0.4	0.1±0.3	0	0.2±0.6
Insecta	Thysanoptera	0.8±1.2	1.7±2.5	0.4±0.7	1.6±1.1	0	0	0.1±0.3	0.1±0.3
Insecta	Hemiptera	0.1±0.3	6.7±7.3	2.4±2.8	10.1±4.3	0.1±0.3	0.3±0.5	0	0.2±0.4
Insecta	Coleoptera	3.2±1.4	4.6±1.3	1.4±1.6	2.2±1.8	4.1±3.1	3.9±3	1.3±1.8	11.8±8.3
Insecta	Hymenoptera: Formicidae	4.6±10.6	5.8±6	3±6.4	27.2±13.1	3.8±5.8	13.6±7.7	1.7±2.3	8.4±5.3
Insecta	Lepidoptera	0	0.2±0.4	0.2±0.4	0.1±0.3	0	0	0	0
Insecta	Diptera	0.4±0.8	2.8±2.2	2.3±2.5	1.2±1	0	0.1±0.3	0	0
<b>Total</b>		<b>58.2±29.1</b>	<b>494.7±326.8</b>	<b>31.9±10.9</b>	<b>203±62.8</b>	<b>14.4±8.1</b>	<b>40.9±13.4</b>	<b>8.7±5.5</b>	<b>36.2±8.8</b>

**Remarks:** Forest restoration area with rainwater (A1), Forest restoration area with irrigation system (A2), Forest restoration area with reservoir (A3), Forest restoration area with reservoir (A4)

**ความแตกต่างของสัตว์ขาปล้องขนาดเล็กในดินระหว่างพื้นที่ป่าฟื้นฟูที่แตกต่างกัน**

พื้นที่พัฒนาป่าไม้ด้วยน้ำฝน พบปริมาณของสัตว์ขาปล้องขนาดเล็กทั้งหมด 654 ตัวอย่าง สามารถคิดเป็นความหนาแน่นโดยเฉลี่ย  $1,614 \pm 1,360.1$  ตัวต่อตารางเมตร แบ่งเป็นตัวอย่างที่พบในฤดูแล้งจำนวน 524 ตัวอย่าง ( $2,587.6 \pm 1,295.4$  ตัวต่อตารางเมตร) และลดลงเหลือเพียง 130 ตัวอย่างในฤดูฝน ( $642.0 \pm 359.3$  ตัวต่อตารางเมตร) ทั้งยังมี

ค่าดัชนีความโดดเด่นสูงสุดถึง 0.64 ในฤดูแล้ง และ 0.19 ในฤดูฝน ซึ่งหมายความว่ามียังมีกลุ่มสัตว์เพียงไม่กี่กลุ่มเท่านั้นที่ปรากฏอยู่ในพื้นที่ โดยหากพิจารณาในแต่ละซ้ำของทั้งสองฤดูจะพบกลุ่มสัตว์ขาปล้องเฉลี่ยเพียง 4.8 กลุ่มเท่านั้น โดยกลุ่มหลักที่พบคือ กลุ่มไร (79.77 เปอร์เซ็นต์) มด (7.82 เปอร์เซ็นต์) และด้วง (5.53 เปอร์เซ็นต์) ตามลำดับ ทำให้พื้นที่นี้มีค่าดัชนีความสม่ำเสมอ และความหลากหลายชนิดของแชนนอน-ไวเนอร์ที่ค่อนข้างต่ำ (Table 4)

**Table 4** Number of average individuals per m<sup>2</sup>, Shannon-Wiener index, Evenness index and Dominance index soil micro-arthropods were found in four forest restoration areas of the Huai Hong Krai Royal Development Study Center, Doi Saket District, Chiang Mai Province

Sites	Average Individuals/m <sup>2</sup>		Shannon Index (H)		Evenness Index (J)		Dominance Index (Do)	
	Dry	Wet	Dry	Wet	Dry	Wet	Dry	Wet
Forest restoration area with rainwater (A1)	2,587.6±1,295.4bc	642.0±359.3b	0.86	1.91	0.19	0.61	0.65	0.19
Forest restoration area with irrigation system (A2)	21,985±14,525a	5,345.6±5,888.2a	1.25	2.04	0.17	0.45	0.38	0.18
Forest restoration area with reservoir (A3)	901.2±643.2c	1,417.3±483.9b	1.59	2.08	0.35	0.67	0.35	0.15
Forest restoration area with reservoir (A4)	9,022.1±2,793.1ab	1,609.9±392.9a	1.25	1.67	0.18	0.35	0.45	0.24
Kruskal-Wallis chi-squared	28.53***	25.64***						

พื้นที่พัฒนาป่าไม้ด้วยระบบชลประทาน พบ ปริมาณของสัตว์ขาปล้องขนาดเล็กในดินสูงที่สุด จำนวน 4,821 ตัวอย่าง (1,1901±14,400 ตัวต่อ ตารางเมตร) ในช่วงฤดูแล้งที่พบมากถึง 4,453 ตัวอย่าง (21,985±14,525 ตัวต่อตารางเมตร) โดยเฉพาะ กลุ่มไรที่พบมากถึง 2,107 ตัวอย่าง (5,345.6± 5,888.2 ตัวต่อตารางเมตร) รองลงมาคือกลุ่มเสี้ยน นมที่พบจำนวน 1,745 ตัวอย่าง (4,333.3±9,626.4 ตัวต่อตารางเมตร) ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมี นัยสำคัญทางสถิติ ( $P<0.01$ ) จากปริมาณที่พบใน พื้นที่อื่น แม้แต่ในฤดูฝนก็พบสัตว์ขาปล้องขนาดเล็ก ในดินก็มีปริมาณสูงถึง 368 ตัวอย่าง (1,817.3±593.49 ตัวต่อตารางเมตร) โดยมีค่าดัชนีความสม่ำเสมอ ความหลากหลายของแซนนอน-ไวเนอร์ และค่าดัชนี ความโดดเด่นปานกลาง (Table 4) โดยปริมาณ สัตว์ขาปล้องขนาดเล็กในดินและค่าดัชนีความ หลากหลายมีค่าที่ใกล้เคียงกับพื้นที่พัฒนาป่าไม้ด้วย น้ำฝนภายนอกศูนย์ฯ ทั้งสองฤดู ซึ่งเป็นพื้นที่ศูนย์ฯ ไม่ได้เข้าไปการจัดการการฟื้นฟูป่าแต่อย่างใด โดย ในพื้นที่ภายนอกศูนย์ฯ นี้ สามารถพบปริมาณสัตว์ ขาปล้องขนาดเล็กได้มากถึง 2,153 ตัวอย่าง (5,316± 4,208.7 ตัวต่อตารางเมตร) แบ่งเป็น 1,834 ตัวอย่าง (9,022.1±2,793.1 ตัวต่อตารางเมตร) ในฤดูแล้ง และ 326 ตัวอย่าง (1,609.9±392.9 ตัวต่อ ตารางเมตร) ในฤดูฝน (Table 4) ตามลำดับ

พื้นที่พัฒนาป่าไม้ด้วยฝายต้นน้ำลำธาร สามารถพบสัตว์ขาปล้องในปริมาณต่ำที่สุดเพียง 365 ตัวอย่าง (901.2±643.2 ตัวต่อตารางเมตร) โดยแบ่งเป็น 287 ตัวอย่าง (1,417.3±483.9 ตัว ต่อตารางเมตร) ที่พบในฤดูแล้ง และ 78 ตัวอย่าง (385.2±246.1 ตัวต่อตารางเมตร) ที่พบในฤดูฝน แต่หากพิจารณาค่าความหลากหลายของแซนนอน-ไวเนอร์และค่าดัชนีความสม่ำเสมอกลับมีค่าสูงสุด

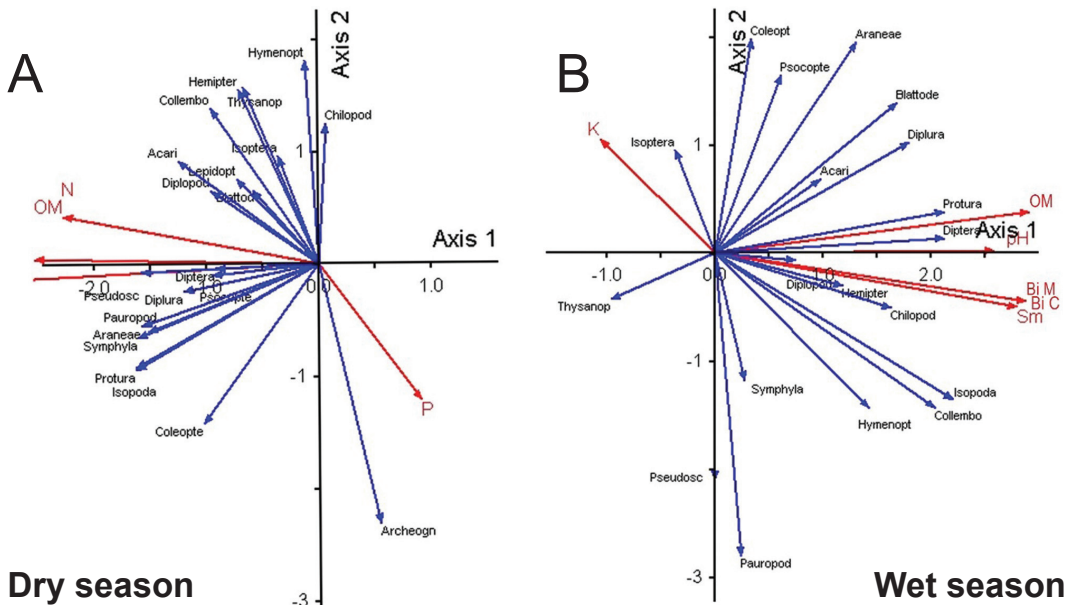
ทั้งยังมีค่าความโดดเด่นที่ต่ำที่สุด (Table 4) หาก เปรียบเทียบกับพื้นที่วิจัยอื่น พื้นที่พัฒนาป่าไม้ด้วย ฝายต้นน้ำลำธารแม้จะมีปริมาณสัตว์ขาปล้อง ขนาดเล็กในดินปริมาณต่ำที่สุด แต่กลับมีค่าความ หลากชนิดสูงที่สุด ทั้งยังมีการกระจายตัวที่สม่ำเสมอ หรือหมายความว่าในพื้นที่ไม่มีสัตว์ขาปล้อง ขนาดเล็กชนิดใดที่มีปริมาณมากหรือโดดเด่นเกินไป ในพื้นที่ที่ทำการสำรวจนั่นเอง

### ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสัตว์ขาปล้อง ขนาดเล็กในดินกับคุณสมบัติดิน

ผลการวิเคราะห์ชนิดของสัตว์ขาปล้อง ขนาดเล็กในดินกับปัจจัยดินในฤดูแล้ง ด้วยวิธีการ Redundancy Analysis (RDA) โดยมีค่า Eigenvalues ของแกน 1 (Axis 1) เท่ากับ 0.97 และแกน 2 (Axis 2) เท่ากับ 0.87 ค่าสัมประสิทธิ์ สหสัมพันธ์ของ Pearson correlation ระหว่าง ชนิดของสัตว์ขาปล้องขนาดเล็กในดินกับปัจจัยดิน มีค่า 0.8 จึงมีความเหมาะสมสำหรับการใช้อธิบาย ปัจจัยดินที่มีผลต่อการปรากฏของสัตว์ขาปล้อง ขนาดเล็กในดิน ทั้งนี้จากผลการวิเคราะห์ Monte Carlo Permutation Test พบว่า สมบัติทาง กายภาพและเคมีของดินทั้ง 8 ปัจจัยข้างต้นมีผลต่อ การปรากฏตัวของสัตว์ขาปล้องขนาดเล็กในดิน ในพื้นที่ป่าฟื้นฟูของศูนย์ฯ สามารถอธิบายการจัด กลุ่มความสัมพันธ์ได้ออกเป็น 3 กลุ่ม ตามปัจจัย ความชื้นดิน เป็นปัจจัยมีความสัมพันธ์ต่อการ ปรากฏของสัตว์ขาปล้องขนาดเล็กในดินอย่างมี นัยสำคัญทางสถิติ ( $P<0.05$ ) พบว่า กลุ่มที่ 1 (Group 1) ปัจจัยด้านความชื้นของดิน ปริมาณ ไนโตรเจนทั้งหมด และปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน มีความสัมพันธ์ต่อการปรากฏของ ไร (Acari) แมลงหางดีด (Collembola) มด (Hymenoptera)

เพลี้ย (Hemiptera) เพลี้ยไฟ (Thysanoptera) กิ้งกือ (Diplopoda) หนอนผีเสื้อ (Lepidoptera) ปลวก (Isoptera) และแมลงสาบป่า (Blattodea) กลุ่มที่ 2 (Group 2) ปัจจัยด้านชีวมวลไนโตรเจน (biomass N) และชีวมวลคาร์บอน (biomass C) มีความสัมพันธ์ต่อการปรากฏของ ตัวงดิน (Coleoptera) เสี้ยนนม (Protura) ตัวกะปิ (Isopoda) ตะขาบฝอย (Symphyla) ตะขาบจิ๋ว

(Pauropoda) แมงมุม (Araneae) แมงป่องเทียม (Pseudoscorpions) เหาหนังสือ (Psocoptera) แมลงสองง่าม (Diplura) และหนอนแมลงวัน (Diptera) และกลุ่มที่ 3 (Group 3) พบสัมพันธ์ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ มีความสัมพันธ์ ต่อการปรากฏของแมลงสามง่ามป่า (Zygentoma) (Figure 1A)



**Figure 1** Redundancy analysis (RDA) model plots of the effects of the environmental variables on soil microarthropod abundance A in dry season B in wet season

ผลการวิเคราะห์ชนิดของสัตว์ขาปล้องขนาดเล็กในดินกับปัจจัยดินในฤดูฝน ด้วยวิธีการ RDA โดยมีค่า Eigenvalues ของแกน 1 (Axis 1) เท่ากับ 0.96 และแกน 2 (Axis 2) เท่ากับ 0.95 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของ Pearson Correlation ระหว่างชนิดของสัตว์ขาปล้องขนาดเล็กในดินกับปัจจัยดินมีค่า 0.5 จึงมีความเหมาะสมสำหรับ

การใช้อธิบายปัจจัยดินที่มีผลต่อการปรากฏของ สัตว์ขาปล้องขนาดเล็กในดิน ทั้งนี้จากผลการวิเคราะห์ Monte Carlo Permutation Test พบว่า ปัจจัยดิน 8 ปัจจัยข้างต้นมีผลต่อการปรากฏของสัตว์ขาปล้องขนาดเล็กในดินในพื้นที่ป่าฟื้นฟูของศูนย์ฯ เช่นเดียวกัน โดยสามารถอธิบายการจัดกลุ่มความสัมพันธ์ได้เป็น 3 กลุ่ม กล่าวคือปัจจัยด้านความชื้นของดิน เป็นปัจจัย



มีความสัมพันธ์ต่อการปรากฏของสัตว์ขาปล้องขนาดเล็กในดินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) โดยพบว่า กลุ่มที่ 1 (Group 1) ปัจจัยด้านปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน ไนโตรเจนทั้งหมด และความเป็นกรด-ด่างของดิน มีความสัมพันธ์ต่อการปรากฏของเสี้ยนนม (Protura) หนอนแมลงวัน (Diptera) แมลงสองง่าม (Diplura) แมลงสาบ (Blattodea) แมงมุม (Araneae) ไร (Acari) ตัวงดิน (Coleoptera) และเหาหนังสือ (Psocoptera) กลุ่มที่ 2 (Group 2) ปัจจัยด้านชีวมวลไนโตรเจน และชีวมวลคาร์บอน และความชื้นของดิน มีความสัมพันธ์ต่อการปรากฏของตะขาบจิว (Pauropoda) แมงป่องเทียม (Pseudoscorpions) ตัวกะปิ (Isopoda) แมลงหางดีด (Collembola) มด (Hymenoptera) ตะขาบ (Chilopoda) ตะขาบฝอย (Symphyla) เพี้ย (Hemiptera) และกิ้งกือ (Diplopoda) และกลุ่มที่ 3 (Group 3) ปัจจัยด้านโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ มีความสัมพันธ์ต่อการปรากฏของปลวก (Isoptera) (Figure 2B) หากพิจารณาผลการวิเคราะห์ของทั้งสองฤดูจะพบว่าปริมาณความชื้นของดินได้มีผลต่อการปรากฏตัวของสัตว์ขาปล้องขนาดเล็กในดินส่วนใหญ่ และปริมาณอินทรีย์วัตถุมีความสัมพันธ์ที่สำคัญกับปริมาณสัตว์ขาปล้องขนาดเล็กในดิน สอดคล้องกับงานวิจัยของ ณัฐวุฒิ (2014) และ เกษม และคณะ (2557) ที่พบว่าปริมาณฟอสฟอรัส ไนโตรเจน และสารอินทรีย์มีความสัมพันธ์ในทิศทางบวกกับดัชนีความหลากหลายของสัตว์ขาปล้องขนาดเล็กในดินอย่างมีนัยสำคัญ แต่อย่างไรก็ตามปริมาณอินทรีย์วัตถุนั้นก็ยังจะแปรผันตามปริมาณความชื้นในดินที่ขึ้นอยู่กับฤดูกาลในแต่ละปีเช่นกัน

### ความแตกต่างของสัตว์ขาปล้องขนาดเล็กในดินและคุณสมบัติของดินระหว่างพื้นที่ป่าฟื้นฟู

หากพิจารณารูปแบบการฟื้นฟูป่าทั้ง 4 รูปแบบพบว่า พื้นที่พัฒนาป่าไม้ด้วยน้ำฝนภายนอกศูนย์ฯ มีการฟื้นฟูด้วยน้ำฝนตามธรรมชาติแบบเดียวกับพื้นที่พัฒนาป่าไม้ด้วยน้ำฝน แต่พื้นที่ศึกษาภายนอกศูนย์ฯ กลับพบปริมาณสัตว์ขาปล้องขนาดเล็กและมีความดัชนีความหลากหลายที่สูงกว่า (Table 4) ทั้งยังพบปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ ดินของพื้นที่ศึกษาภายนอกศูนย์ฯ นั้นมีปริมาณสูงที่สุด (Table 3) และมีปริมาณของอินทรีย์วัตถุที่สะสมในดิน ปริมาณสัตว์ขาปล้องขนาดเล็กในดินและค่าดัชนีความหลากหลายที่ใกล้เคียงกับพื้นที่พัฒนาป่าไม้ด้วยระบบชลประทาน ที่ถือว่ามีความสัมพันธ์ของดินที่ดีและมีปริมาณและค่าความหลากหลายของสัตว์ขาปล้องขนาดเล็กสูงที่สุดในบรรดาพื้นที่พัฒนาป่าภายในศูนย์ฯ ซึ่งความแตกต่างที่สำคัญของพื้นที่ศึกษาภายนอกศูนย์ฯ ก็คือ พื้นที่นี้มีการเกิดไฟป่าเกิดขึ้นได้ในบางครั้ง แต่พื้นที่ศึกษาภายในศูนย์ฯ มีการจัดการตลอดเพื่อไม่ให้เกิดการเผาป่าในพื้นที่ศูนย์ฯ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Potapova (1999) ที่พบว่า ปริมาณสัตว์ในดินมีปริมาณและความหลากหลายชนิดสูงกว่าในพื้นที่ป่าที่มีการเผาไหม้เกิดขึ้นไม่นานเมื่อ 24 ปีก่อน เทียบกับพื้นที่ป่าที่ไม่มีการเผาไหม้เป็นเวลานานเมื่อ 143 ปีก่อน ดังนั้นเป็นไปได้ว่าไฟป่าอาจเป็นอีกปัจจัยหนึ่งในกระตุ้นการเพิ่มปริมาณและความหลากหลายของสัตว์ในดินของพื้นที่ได้อีกทาง เนื่องจากไฟป่าจะช่วยสลายเศษซากพืชเบื้องต้นให้แก่พื้นที่ป่า โดยเฉพาะอย่างยิ่งในป่าผลัดใบเขตร้อน (Wanthongchai *et al.*, 2014) แม้พื้นที่พัฒนาป่าไม้ด้วยฝายต้นน้ำลำธารจะมีความดัชนีความหลากหลายสูงที่สุด แต่กลับมีปริมาณของสัตว์ขาปล้องในดินต่ำที่สุด ซึ่งอาจ

เกิดจากผลของลักษณะทางกายภาพและเคมีของดินในพื้นที่นั้น อันได้แก่ การสะสมของอินทรีย์วัตถุในดินที่มีปริมาณต่ำที่สุด ปริมาณธาตุอาหาร ไม่ว่าจะเป็น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ก็มีปริมาณต่ำ ทั้งดินยังมีความเป็นกรดสูงกว่าพื้นที่ศึกษาอื่น (Table 1) ที่ทำให้ปริมาณสัตว์ขาปล้องอาจไม่สามารถจะเพิ่มจำนวนสูงได้มากไปกว่านี้ จากข้อมูลดังกล่าวนี้อาจให้สมมติฐานได้ว่า พื้นที่พัฒนาป่าไม้ด้วยฝายต้นน้ำลำธารมีสภาพระบบนิเวศที่มีความใกล้เคียงกับกลุ่มสังคมสิ่งมีชีวิตขั้นสุด (Climax community) มากที่สุด แต่อย่างไรก็ตาม คณะผู้วิจัยอนุมานว่าด้วยลักษณะทางกายภาพและเคมีของดินในพื้นที่ศึกษา ทำให้สัตว์ขาปล้องขนาดเล็กในดินมีการปรับตัวด้านลักษณะเฉพาะต่าง ๆ ให้เหมาะสมกับสภาพปัจจัยของพื้นที่ที่มีจำกัด จึงจะสามารถอาศัยอยู่ในพื้นที่นี้ได้

พื้นที่พัฒนาป่าไม้ด้วยระบบชลประทาน เป็นพื้นที่ภายในศูนย์ฯ ที่มีคุณสมบัติดินดีที่สุด ไม่ว่าจะเป็นการสะสมของอินทรีย์วัตถุที่มีปริมาณสูงที่สุด มีปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ก็มีปริมาณที่สูง (Table 1) อีกทั้งยังพบปริมาณสัตว์ขาปล้องขนาดเล็กในดินมากที่สุด แต่มีค่าดัชนีความหลากหลายในระดับปานกลาง ที่แสดงให้เห็นถึงระบบนิเวศในดินของพื้นที่อยู่ในระยะกำลังพัฒนาไปเป็นกลุ่มสังคมสิ่งมีชีวิตขั้นสุด โดยมีองค์ประกอบทางกายภาพและชีวภาพสนับสนุนอย่างเต็มที่

### สรุปผลการวิจัย

กลุ่มไรเป็นกลุ่มสัตว์ที่มีความโดดเด่นที่สุดที่สามารถพบในทุกพื้นที่ศึกษา ซึ่งพบความหนาแน่นโดยเฉลี่ยมีปริมาณมากที่สุดถึง 2,496.3±3,921.3 ตัวต่อตารางเมตร (41 เปอร์เซ็นต์) รองลงมาคือกลุ่มเสี้ยนนมพบ 1,103.1±5,162.3 ตัวต่อตารางเมตร

(16 เปอร์เซ็นต์) กลุ่มแมลงหางดีดพบ 388.9±553.2 ตัวต่อตารางเมตร (15 เปอร์เซ็นต์) และกลุ่มมด 377.8±493.6 ตัวต่อตารางเมตร (14 เปอร์เซ็นต์) ตามลำดับ ในช่วงฤดูแล้งพบปริมาณความหนาแน่นของสัตว์ขาปล้องขนาดเล็กในดิน (8,753±11,042 ตัวต่อตารางเมตร) สูงกว่าปริมาณความหนาแน่นในช่วงฤดูฝน (1,113.6±740.1 ตัวต่อตารางเมตร) ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) พื้นที่พัฒนาป่าไม้ด้วยระบบชลประทานมีสมบัติทางกายภาพเคมีและชีวภาพบางประการของดินที่ดี พื้นที่นี้พบปริมาณความหนาแน่นของสัตว์ขาปล้องขนาดเล็กในดินมากที่สุด (1,190±14,400 ตัวต่อตารางเมตร) รองลงมาคือพื้นที่พัฒนาป่าไม้ด้วยน้ำฝนภายนอกศูนย์ฯ (5,316±4,208.7 ตัวต่อตารางเมตร) พื้นที่พัฒนาป่าไม้ด้วยน้ำฝน (1,614±1,360.1 ตัวต่อตารางเมตร) และพื้นที่พัฒนาป่าไม้ด้วยฝายต้นน้ำลำธาร (901.2±643.2 ตัวต่อตารางเมตร) ตามลำดับ แม้ว่าพื้นที่พัฒนาป่าไม้ด้วยฝายต้นน้ำลำธารมีสมบัติทางกายภาพและเคมีบางประการของดินค่อนข้างไม่ดี และพบปริมาณความหนาแน่นของสัตว์ขาปล้องขนาดเล็กในดินน้อยที่สุดเช่นกัน แต่กลับมีค่าความหลากหลายของแซนนอน-ไวเนอร์และค่าดัชนีความสม่ำเสมอสูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่ศึกษาอื่น

### กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ การสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการพิเศษเพื่อประสานงานโครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริ (กปร.) และทุนสนับสนุนวิจัย ประจำปี 2563 คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เพื่อทำการวิจัยในครั้งนี้ ทั้งขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิที่กรุณาแนะนำข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการพัฒนาต่องานวิจัยชิ้นนี้

## เอกสารอ้างอิง

- เกษม คงนิรันดรสุข กาญจนา ชินสำราญ วุฒิ ทักษิณธรรม และสุรภพ สุทธิวิเศษ. 2557. ความหลากหลายของสัตว์ขาปล้องขนาดเล็ก ในดินที่สถานีวิจัยสิ่งแวดล้อมสะแกราช. Rajabhat Journal of Sciences, Humanities and Social Sciences 15(2): 45-53.
- ณัฐดนัย ลิขิตตระการ และธนัญญา ไชยชนะ. 2550. ประชากรตามฤดูกาลของสัตว์ขาปล้องขนาดเล็กในดินในสวนพฤกษศาสตร์สมเด็จพระนางเจ้าสิริกิติ์ จังหวัดเชียงใหม่. วารสารเกษตร 23(ฉบับพิเศษ): 397-402.
- ณัฐนรี สาระพิมพ์ สุภัตรา ถิกสถิตย์ สมณิมิตร พุกงาม และยุทธพงษ์ ศิริมังคละ. 2559. สมบัติบางประการทางอุทกวิทยาของดินและสัตว์หน้าดิน ในพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินที่แตกต่างกัน บริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยห้วยขมิ้น จังหวัดนครราชสีมา. วารสารวิจัย มข. (ฉบับบัณฑิตศึกษา) 16(2): 49-62.
- ณัฐวุฒิ ธานี. 2557. ความหลากหลายของชนิดของแมลงในดินและความสัมพันธ์กับปัจจัยสิ่งแวดล้อมบางประการที่สถานีวิจัยสิ่งแวดล้อมสะแกราชจังหวัดนครราชสีมา. รายงานผลการวิจัย. สำนักวิชาวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- ธินี เสวตร ดวงรัตน์ ธงภักดิ์ และชุลีมาศ บุญไทย อิวาย. 2556. ความสัมพันธ์ระหว่างความหลากหลายของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังในดินกับพื้นที่ดินเค็ม. การประชุมทางวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 14. น. 631-638.
- นงลักษณ์ ประณะพงษ์. 2548. คู่มือการวิเคราะห์ดินและพืช. ภาควิชาทรัพยากรดินและสิ่งแวดล้อม คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้, เชียงใหม่.
- ลำไย อธิธิจันทร์ ทัศนีย์ แจ่มจรรยา ยุพา หาญบุญทรง และวิทยา ตรีโลเกศ. 2551. ความหลากหลายของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังในดินในสวนยางพารา. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 39(3) (พิเศษ): 98-101.
- สิริมาตร จิตปาโล เดชา วิวัฒน์วิทยา และวิยะวัฒน์ ใจตรง. 2560. โครงสร้างทางสังคมของสัตว์ขาปล้องในดิน บริเวณอุทยานแห่งชาติดอยสุเทพ-ปุย จังหวัดเชียงใหม่. วารสารวนศาสตร์ 36(1): 11-21.
- Amato, M., and J.N. Ladd. 1988. Assay for microbial biomass based on ninhydrin reactive nitrogen in extracts of fumigated soil. *Soil Biology and Biochemistry* 20: 107-114.
- Brady, N.C. and R.R. Weil. 2008. *The Nature and Properties of Soils*. 14<sup>th</sup> ed. Prentice Hall, Inc., NJ.
- Bray, R.H. and L.T. Kurtz. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. *Soil Science* 59: 39-45.
- Dindal, D.L. 1990. *Soil Biology Guide*. A Wiley-Interscience Publication, John Wiley & Sons. 1,376 p.
- Duyar, A. and E. Makineci. 2016. Seasonal and altitudinal variations of soil arthropods in *Abies nordmanniana*

- subsp. *bornmulleriana* forests. *Bosque* 37(2): 335-345.
- John, A.W. 1970. *Ecology of Soil Animals*. England: McGraw-Hill Publishing Company Limited. 280 p.
- Khamyong, S., P. Sutthaw and S. Paramee. 2016. Dry Dipterocarp Forest on Sandstone of the Huai Hong Khrai Royal Development Study Center, Chiang Mai Province I. Assessment of Plant Species Diversity and Carbon Storage. *Thai Journal of Forestry* 35(3): 42-55.
- Marra, J.L. and R.L. Edmonds. 2005. Soil Arthropod Response to Different Patch Types in a Mixed-Conifer Forest of the Sierra Nevada. *Forest Science* 51(3): 255-265.
- Mulder, C.P.H., E. Bazeley-White, P.G. Dimitrakopoulos, A. Hector, M. Sherer-Lorenzen and B. Schmid. 2004. Species evenness and productivity in experimental Plant communities. *Oikos* 107: 50-63.
- N'Dri, J.K., F.A. Seka, P.K. Pokou and R.A.G. N'Da. 2017. Abundance and diversity of soil mite (Acari) communities after conversion of tropical secondary forest into rubber plantations in Grand-Lahou, Côte d'Ivoire. *Ecological Research* 32: 909-919.
- Naumann, I.D., P.B. Came, J.F. Lawrence, E.S. Nielsen, J.P. Spradbery, R.W. Taylor, M.J. Whitten and M.J. Littlejohn. 1991. *The Insects of Australia: A Textbook for Students and Research Workers*, 2<sup>nd</sup> edition. Division of Entomology, CSIRO, Australia. Melbourne University Press, Melbourne, Australia, and Cornell University Press, Ithaca, New York.
- Parisi, V., C. Menta, C. Gardi, C. Jacomini and E. Mozzanica, 2005. Microarthropod communities as a tool to assess soil quality and biodiversity: a new approach in Italy. *Agriculture Ecosystems and Environment* 105: 323-333.
- Potapova, N.A., 1999. Postfire demutations of population of soil invertebrates. pp. 519-529. *In: Smirnova, O.V. and E.S. Shaposhnikov (eds.). Succession Processes in Nature Resereves of Russia and Problems of Conservation of Biological Diversity*. Russian Botanical Society, St. Petersburg. [in Russian]
- Shannon, C.E. 1948. A mathematical theory of communication. *Bell System Technical Journal* 27: 379-423, 623-656.
- Staff of soil science. 1998. *Basic of soil science*. 8<sup>th</sup> edition. Kasetsart University Press, Bangkok.
- Sutthawan, P., S. Khamyong, S. Paramee and N. Anongrak. 2016. Dry Dipterocarp Forest on Sandstone of the Huai Hong

- Khrai Royal Development Study Center, Chiang Mai Province II. Monitoring Plant Diversity and Carbon Storage. *Thai Journal of Forestry* 35(3): 56-71.
- Sutthawan, P., S. Khamyong, S. Paramee and N. Anongrak. 2016. Dry dipterocarp forest on sandstone of the Huai Hong Khrai royal development study center, Chiang Mai Province II. Monitoring plant diversity and carbon storage. *Thai Journal of Forestry* 35(3): 56-71.
- Sylvia, D.M, J.J. Fuhrmann, P.G. Hartel and D.A. Zuberer. 2005. *Principles and Applications of Soil Microbiology* 2<sup>nd</sup> Edition. New Jersey: Pearson Education Inc.
- Thippayarugs, S., B. Toomsan, P. Vityakon, V. Limpinuntana, A. Patanothai and G.G. Cadisch. 2008. Interactions in decomposition and N mineralization between tropical legume residue components. *Agroforestry Systems* 72: 137-148.
- Triplehorn, C.A. and N.F. Johnson, 2005. Borror and DeLong's *Introduction to the Study of Insects*. 7<sup>th</sup> Edition. USA: Rinehart and Winston Inc.
- Vityakon, P., S. MeepechGeorg, C. Cadisch and B. Toomsan. 2000. Soil organic matter and nitrogen transformation mediated by plant residues of different qualities in sandy upland and paddy soils. *NJAS: wageningen journal of life sciences* 48(1): 75-90
- Volobuev, V.R. 1964. *Ecology of soils*. Isreal Program for Scientific Translations, Ltd.
- Wanthongchai, K., J. Bauhus and J.G. Goldammer. 2014. Effects of past burning frequency on woody plant structure and composition in dry dipterocarp forest. *Thai Journal of Forestry* 33(3), 109-130.
- Webster, E.A., D.W. Hopkin, J.A. Chudek, S.F.I. Haslam, M. Simek and T. Picek. 2001. The relationship between microbial carbon and resource quality of soil carbon. *Journal of Environmental quality* 30: 147-150.
- Zhang, G., Zeng, G.M., Jiang, Y.M., Du, C.Y., Huang, G.H., Yao, J.M., Zeng, M., Zhang, X.L. & Tan, W. 2006. Seasonal dry deposition and canopy leaching of base cations in a subtropical evergreen mixed forest, China. *Silva Fennica* 40(3): 417-428.