

ผลกระทบของอายุและการจัดการยางพาราที่แตกต่างกันต่อคุณภาพดิน โดยใช้ไส้เดือนฝอยเป็นตัวชี้วัดในจังหวัดขอนแก่น

Impact of different rubber ages and agricultural practices
on soil quality in the rubber plantation using nematode as
bio-indicator in Khon Kaen province

ตรีณัฐ พรหมนอก¹, มนต์ระวี พีราวัชร², Cecile Villenave³, Alain Brauman⁴

และ ประกายจันทร์ นิมกิงรัตน์^{1*}

Treenuch Promnok¹, Monrawee Peerawat², Cecile Villenave³, Alain Brauman⁴
and Prakaijan Nimkingrat^{1*}

บทคัดย่อ: ไส้เดือนฝอยเป็นสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กที่ถูกนำมาใช้เป็นตัวชี้วัดคุณภาพดินเนื่องจากสามารถพบได้ในดินทุกประเภทและมีการตอบสนองอย่างรวดเร็วต่อการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและเคมีในดิน ดังนั้นการศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ไส้เดือนฝอยในการประเมินผลของอายุยางพาราและการจัดการทางการเกษตรที่ต่างกันต่อคุณภาพดินในสวนยางพารา จังหวัดขอนแก่น ทำการเก็บตัวอย่างดินเพื่อแยกไส้เดือนฝอยจากตัวอย่างดินตามกรรมวิธีดังนี้ 1) สวนยางวัยอ่อนที่มีการจัดการทางการเกษตรสูง (Immature stage with high intensity agricultural practices; Im-H) 2) สวนยางวัยอ่อนที่มีการจัดการทางการเกษตรต่ำ (Immature stage with low intensity agricultural practices; Im-L) 3) สวนยางโตเต็มที่ที่มีการจัดการทางการเกษตรสูง (Mature stage with high intensity agricultural practices; M-H) และ 4) สวนยางโตเต็มที่ที่มีการจัดการทางการเกษตรต่ำ (Mature stage with low intensity agricultural practices; M-L) ผลการศึกษาดัชนีความหลากหลายชนิด Shannon-Wiener (H') มีค่าสูงสุด 2.12 ในสวนยางพาราแบบ Im-H และต่ำสุด 1.55 ในสวนยางพาราแบบ M-H ค่าดัชนีบ่งชี้สถานะของระบบนิเวศในดินที่ถูกรบกวนจากปัจจัยทางสภาพแวดล้อมต่างๆ (Maturity Index; MI) ในสวนยางพาราแบบ M-L ให้ค่าสูงสุดที่ 3.42 ขณะที่สวนยางพาราแบบ Im-H มีค่าต่ำสุด 2.29 ค่าดัชนีชี้วัดความอุดมสมบูรณ์ของธาตุอาหาร (Enrichment Index; EI) พบค่าสูงสุดที่ 57.84 ในสวนยางพาราแบบ M-H และต่ำสุด 17.17 ในสวนยางพาราแบบ Im-L การประเมินสภาพความสัมพันธ์ของสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศของดิน (Structure Index; SI) มีค่าสูงสุด 93.69 ในสวนยางพาราแบบ M-L และต่ำสุด 52.37 ในสวนยางพาราแบบ Im-H

คำสำคัญ: การจัดการทางการเกษตร, *Hevea brasiliensis*, ไส้เดือนฝอย, คุณภาพดิน

¹ สาขาวิชากีฏวิทยา ภาควิชาพืชศาสตร์และทรัพยากรการเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่นขอนแก่น 40002

Division of Entomology, Department of Plant Science and Agricultural Resources, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University, Khon Kaen 40002

² กลุ่มวิจัยและพัฒนาจุลินทรีย์ทางการเกษตร กองเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน กรมพัฒนาที่ดิน 2003/61 ถนนพหลโยธิน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

³ Ellisol Environment, UMR Eco&Sols, Bâtiment 12, 2 Place Viala, 34060 Montpellier, France

⁴ IRD, UMR Eco&Sols LMI LUSES, Land Development Department, Bangkok, Thailand

* Corresponding author: npraka@kku.ac.th

ABSTRACT: Nematodes are small organism living in the soil and can be used as soil bioindicators because they are commonly found in all types of soil and have the ability to respond readily to changes in the soil's physical and chemical properties. The objective of this study was to assess the impact of different rubber ages and agricultural practices on soil quality in rubber plantation in Khon Kaen province. Soil samples were collected according to different treatments as follows; 1) Immature stage with high intensity agricultural practices (Im-H) 2) Immature stage with low intensity agricultural practices (Im-L) 3) Mature stage with high intensity agricultural practices (M-H) and 4) Mature stage with low intensity agricultural practices (M-L). The results of Shannon-Wiener index (H') showed the highest value of 2.12 in Im-H and the lowest value of 1.55 in M-H. The Maturity Index (MI) of M-L gave the highest value of 3.42 and the lowest value of 2.29 in the Im-H. The highest Enrichment Index (EI) was found in M-H with the value of 57.84 and the lowest value was found in Im-L with the value of 17.17 The Structure Index (SI) in M-L showed the highest value of 93.69 and the lowest value of 52.37 in the Im-H.

Keywords: agricultural practices, *Hevea brasiliensis*, nematode, soil quality

บทนำ

ยางพารา (*Hevea brasiliensis*) เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญอันดับต้นของประเทศไทย รองจาก อ้อย ข้าว มันสำปะหลัง และข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2556) จัดเป็นไม้ยืนต้น มีถิ่นกำเนิดอยู่ในลุ่มแม่น้ำอเมซอน ประเทศบราซิล ทวีปอเมริกาใต้ (ประสพ และคณะ, 2545) ในปี พ.ศ. 2553 ประเทศไทยถูกจัดอันดับให้เป็นผู้ผลิตและส่งออก ยางพาราสูงเป็นอันดับหนึ่งของโลก (สถาบันวิจัยยาง, 2555) น้ำยางดิบจากต้นยางพาราสามารถนำมาแปรรูป เป็นผลิตภัณฑ์ได้หลากหลายชนิด อาทิเช่น ล้อยานพาหนะ ยางยืด ยางวง อุปกรณ์กีฬา เครื่องมือที่ใช้ในงานก่อสร้างและวิศวกรรมต่างๆ เป็นต้น (สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร, ม.ป.ป.; สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม, ม.ป.ป.) พื้นที่เพาะปลูกยางพาราในแต่ละปีมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องโดยภาคใต้และภาคตะวันออกเป็นพื้นที่ปลูกยางเก่าเนื่องจากมีสภาพดินฟ้าอากาศ ภูมิประเทศ อุณหภูมิ และปริมาณน้ำฝน ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต (กลุ่มวิจัยและพัฒนาการอนุรักษ์ดินและน้ำพื้นที่พืชไร่, 2548) พื้นที่ปลูกยางในภาคตะวันออกเฉียงเหนือเป็นพื้นที่ส่งเสริมปลูกยางใหม่ โดยในปี พ.ศ. 2521 ได้เริ่มทดลองปลูกที่จังหวัดหนองคาย บุรีรัมย์ และสุรินทร์ (สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร, ม.ป.ป.; กลุ่มวิจัยและพัฒนาการอนุรักษ์ดินและน้ำบนพื้นที่พืชไร่, 2548) โดยทั่วไปเพื่อให้ปริมาณผลผลิตเป็นไปตามความต้องการ เกษตรกรมัก

คำนึงถึงพันธุ์ยางเป็นหลัก แต่ปัจจัยที่ส่งผลโดยตรงต่อผลผลิตนอกเหนือจากพันธุ์ยางยังมีอีกหลายประการ ได้แก่ ความเหมาะสมของพื้นที่ปลูก อุณหภูมิ ปริมาณน้ำฝน และการจัดการสวนยางพารา (สถาบันวิจัยยาง, 2554; นุชนารถ และคณะ, 2556) ฉะนั้นในการส่งเสริมการปลูกยางจำเป็นต้องชี้ให้เกษตรกรตระหนักถึงความสำคัญของปัจจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องอีกด้วย พบว่าในแต่ละพื้นที่ปลูกยางพาราเกษตรกรมีวิธีการดูแลและจัดการสวนยางที่แตกต่างกันออกไป ไม่ว่าจะเป็นการปลูกพืชแซมยางพาราในช่วง 3 ปีแรก การให้น้ำ-ปุ๋ย การกำจัดวัชพืช การไถพรวน เป็นต้น กิจกรรมเหล่านี้ล้วนส่งผลต่อกระบวนการต่างๆ ของสิ่งมีชีวิตภายในดินซึ่งเชื่อมโยงต่อคุณภาพ และโครงสร้างของดิน ถึงแม้ว่าลักษณะโครงสร้างดิน และสภาพอากาศของสวนยางพาราในภาคตะวันออกเฉียงเหนือจะไม่มี ความแตกต่างกันมากนัก แต่รูปแบบการจัดการทางการเกษตรของเกษตรกรแต่ละพื้นที่นั้นค่อนข้างแตกต่างกัน ซึ่งกิจกรรมเหล่านี้อาจส่งผลต่อผลผลิตยางพาราในเชิงคุณภาพและปริมาณได้ ดังนั้นการติดตามผลการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมในดินที่เกิดจากการจัดการทางการเกษตรที่แตกต่างกันผ่านตัวชี้วัดทางชีวภาพจะสามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานเพื่อส่งเสริมเกษตรกรให้มีแนวปฏิบัติทางการเกษตรในสวนยางพาราที่ดีและเป็นประโยชน์ต่อคุณภาพและโครงสร้างของดินในอนาคต (Xiao et al., 2014)

สิ่งมีชีวิตหลากหลายชนิดในดิน อาทิเช่น พืช สัตว์ขนาดใหญ่ (Macro fauna; แมลงในดิน ไส้เดือน แมงมุม เป็นต้น) ขนาดกลาง (Meso fauna; โปรโตซัว ไส้เดือนฝอย เป็นต้น) และขนาดเล็ก (Micro fauna; เชื้อรา แบคทีเรีย เป็นต้น) (Neher and Barbercheck, 1999) ล้วนมีบทบาทและหน้าที่สำคัญในระบบนิเวศ ดังนี้ 1) เป็นผู้ย่อยสลายอินทรีย์วัตถุ (Decomposition of organic matter) 2) ช่วยในการหมุนเวียนพลังงาน และแร่ธาตุ (Nutrient cycling) 3) ช่วยปรับเปลี่ยนโครงสร้างของดิน (Modification of soil structure) และ 4) ช่วยควบคุมประชากรสิ่งมีชีวิตในดิน (Biological control) (Lavelle et al., 1997) ไส้เดือนฝอยเป็นสิ่งมีชีวิตขนาดกลางอาศัยอยู่ในดินและสามารถพบได้ในดินทุกชนิดตั้งแต่ดินที่มีความอุดมสมบูรณ์และดินที่มีโครงสร้างดีจนถึงดินที่ปนเปื้อนมลพิษ (Bongers and Ferris, 1999) ชั้นผิวหนังของไส้เดือนฝอยมีคุณสมบัติพิเศษในการแลกเปลี่ยนสารได้ดีส่งผลให้สามารถตอบสนองหรืออ่อนไหวต่อสภาพแวดล้อมรอบตัวที่เปลี่ยนแปลงได้เป็นอย่างดี ไส้เดือนฝอยถูกนำมาใช้เป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพสิ่งแวดล้อมในน้ำครั้งแรกในปี ค.ศ. 1970 โดยการนำไส้เดือนฝอย *Panagrellus redivivus* มาใช้เป็นดัชนีชี้วัดความเข้มข้นของสารพิษในน้ำ (Zullini, 1976) จากนั้นในปี ค.ศ. 1980 เริ่มมีงานวิจัยใช้ไส้เดือนฝอยเป็นดัชนีชี้วัดทางชีวภาพเพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมบนบกมากขึ้น (Ferris et al., 2012) จากรายงานของ Nahar et al. (2006) กล่าวว่า ดินที่เก็บจากพื้นที่กสิกรรมจะพบไส้เดือนฝอยกลุ่มกินแบคทีเรีย (Bacterial-feeding nematodes) มากกว่าไส้เดือนฝอยกลุ่มอื่นและมีแนวโน้มเพิ่มปริมาณสูงขึ้นเมื่อดินถูกรบกวน รูปแบบการจัดการแปลงของเกษตรกรที่แตกต่างกัน อาทิเช่น การไถพรวน การปลูกพืชแซม หรือการใส่ปุ๋ย จะสามารถส่งผลโดยตรงต่อปริมาณไส้เดือนฝอยกลุ่มกินแบคทีเรียเนื่องจากไส้เดือนฝอยกลุ่มนี้ทำหน้าที่ย่อยสลายอินทรีย์วัตถุและส่งผลให้เกิดอัตราการปลดปล่อยไนโตรเจนในดินให้สูงขึ้น ขณะที่

ไส้เดือนฝอยกลุ่มกินเชื้อรา (Fungal-feeding nematodes) จะถูกพบเป็นจำนวนมากในดินที่ถูกรบกวนต่ำ เช่น ดินที่ไม่มีการไถพรวน ดินที่มีพืชปลูกอายุหลายปี และดินป่า (Ugarte and Zaborski, 2014) ถึงแม้จะมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้ไส้เดือนฝอยเพื่อเป็นตัวชี้วัดคุณภาพดินในต่างประเทศอยู่เป็นจำนวนมาก (Bongers, 1990; Bongers and Ferris, 1999; Berkelmans et al., 2003; Pattison et al., 2004; Sanchez-Moreno et al., 2006; Xiao et al., 2014) แต่ในประเทศไทยการศึกษาทางด้านนี้ยังมีน้อย ดังนั้นการศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของการจัดการสวนยางพาราที่อายุแตกต่างกันในจังหวัดขอนแก่นที่มีต่อคุณภาพดินโดยใช้ไส้เดือนฝอยเป็นดัชนีชี้วัดทางชีวภาพ

วิธีการศึกษา

1. พื้นที่ศึกษา

คัดเลือกพื้นที่ศึกษาอ้างอิงจากผลการวิจัยของคณะผู้วิจัย ซึ่งได้จากการสัมภาษณ์เกษตรกรจำนวน 159 ราย (257 สวนยางพารา) ภายในเขตพื้นที่ 4 อำเภอของจังหวัดขอนแก่น ได้แก่ อำเภอเมือง อุดมรัตน์ น้ำพอง และกระนวน ข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์สามารถนำมาแบ่งระดับการจัดการดูแลสวนและอายุยางพาราของเกษตรกรได้ 4 กรรมวิธี ตามแผนการทดลอง ดังนี้ 1) สวนยางพาราอายุระหว่าง 2-4 ปี ที่มีระดับการจัดการแบบสูง (Immature stage with high intensity agricultural practice; Im-H) 2) สวนยางพาราอายุระหว่าง 2-4 ปี ที่มีระดับการจัดการแปลงต่ำ (Immature stage with low intensity agricultural practice; Im-L) 3) สวนยางพาราอายุระหว่าง 8-10 ปี ที่มีระดับการจัดการแปลงสูง (Mature stage with high intensity agricultural practice; M-H) และ 4) สวนยางพาราอายุระหว่าง 8-10 ปี ที่มีระดับการจัดการแปลงต่ำ (Mature stage with low intensity agricultural practice; M-L) ระดับการจัดการแปลงสูงรวมถึงการจัดการที่มีการปลูก

พืชแซม การใช้สารกำจัดศัตรูพืช การไถพรวนดิน และใส่ปุ๋ย ขณะที่ระดับการจัดการแปลงต่ำหมายถึงแปลงที่ไม่มีการจัดการใดๆ ยกเว้นการใส่ปุ๋ยเพียงอย่างเดียว ซึ่งในแต่ละกรรมวิธีจะดำเนินการสุ่มตัวอย่างไส้เดือนฝอยจำนวน 3 แปลง(ซ้ำ)ต่อกรรมวิธี รวมทั้งสิ้น 12 แปลง

2. วิธีการสุ่มและเก็บตัวอย่างไส้เดือนฝอยจากดิน

สุ่มเก็บตัวอย่างดินในแต่ละแปลงตามแผนการวิจัยข้างต้นแปลงละ 3 จุด ระหว่างแถวของต้นยางพารา โดยแต่ละจุดขุดดินด้วยจอบหรือเสียมให้มีขนาดหน้าตัดของดินที่ 25*25 เซนติเมตร ลึก 10 เซนติเมตร นำตัวอย่างดินที่ได้ทั้ง 3 จุด (ซ้ำ) ผสมให้เข้ากันเพื่อให้ได้ปริมาตรสุทธิ 1 กิโลกรัม (Villanave, 2013) บรรจุตัวอย่างดินลงในถุงพลาสติกขนาด 6*9 นิ้ว เก็บในที่มืดและเย็น ดินที่ได้จะถูกนำไปสกัดแยกไส้เดือนฝอยในห้องปฏิบัติการต่อไป

3. การแยกไส้เดือนฝอยจากตัวอย่างดิน

ไส้เดือนฝอยจะถูกสกัดออกมาจากตัวอย่างดินตามวิธีการของ Seinhorst (1956) อ้างโดย Bezooijen (2006) โดยเริ่มจากนำดินที่ได้จากการสุ่มเก็บตัวอย่างในแต่ละพื้นที่มาซึ่งให้ได้ปริมาตร 150 กรัม จากนั้นบรรจุดินใส่ลงในขวดพลาสติกขนาด 1 ลิตร (ขวดที่ 1) เติมน้ำกลั่นปริมาตร 750 มิลลิลิตร ผสมกับดินในขวดพลาสติกและเขย่าขวดเพื่อให้ไส้เดือนฝอยเคลื่อนที่ออกมาจากอนุภาคดิน คว่ำขวดพลาสติกลงบนโหลแก้วขนาด 0.75 ลิตรที่มีแผ่นพลาสติกสีเหลี่ยมขนาด 15*15 เซนติเมตร ตัดเป็นวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 เซนติเมตร ตรงกลางเพื่อรองรับกับคอขวดพลาสติกภายในโหลแก้วบรรจุน้ำกลั่นปริมาตร 550 มิลลิลิตร ทิ้งไว้นาน 3-5 นาที เพื่อให้ไส้เดือนฝอยแยกชั้นออกจากดิน ดินที่มีน้ำหนักมากจะจมลงด้านล่างขวดโหลแก้ว ส่วนไส้เดือนฝอยที่มีน้ำหนักเบาจะลอยอยู่ด้านบนขวดพลาสติก ทำซ้ำกระบวนการข้างต้นอีกครั้งโดยเก็บของเหลวที่อยู่ในขวดพลาสติกที่ 1 ไว้เพื่อรอร่องไส้เดือนฝอย และนำของเหลวและตะกอนดินในโหลแก้วเทใส่ขวดพลาสติกขนาด 1 ลิตร (ขวดที่ 2) นำของเหลว

ที่ได้จากขวดพลาสติกทั้ง 2 ขวดกรองผ่านตะแกรงกรองขนาด 50 ไมโครเมตร จากนั้นนำไส้เดือนฝอยที่กรองได้ไปใส่ในบีกเกอร์โดยใช้น้ำสะอาดฉีดล้างไส้เดือนฝอยที่ติดอยู่บนตะแกรง เทไส้เดือนฝอยที่อยู่ในบีกเกอร์ลงบนกระดาษกรองวางบนตะแกรงกรองขนาดเล็กขนาด 50 ไมโครเมตร นำตะแกรงกรองที่ได้วางบนภาชนะที่เติมน้ำให้ชุ่มกระดาษกรองและย้ายไปเก็บในห้องมืดที่มีอากาศถ่ายเทที่อุณหภูมิห้องปกติไม่เกิน 30 องศาเซลเซียส โดยใช้เครื่องวัดอุณหภูมิ (Nicety รุ่น TH 801) ในการวัดอุณหภูมิ เป็นเวลา 48 ชั่วโมง เพื่อให้ไส้เดือนฝอยเคลื่อนที่ผ่านรูตะแกรงกรองลงไปในภาชนะรอง

4. การนับจำนวน และจำแนกชนิดไส้เดือนฝอย

ไส้เดือนฝอยที่ผ่านการแยกจากกระดาษกรองจะถูกนำมาผสมน้ำกลั่นเพื่อให้ได้ปริมาตรสุทธิ 50 มิลลิลิตร สุ่มนับจำนวนไส้เดือนฝอยโดยใช้ปิเปตดูดของเหลวจากหลอดทดลองออกมาปริมาตร 5 มิลลิลิตร ใส่ลงใน Petri dish ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 55 มิลลิลิตร ที่มีเส้นตารางตีเป็นช่องขนาด 1*1 เซนติเมตร เพื่อให้ง่ายต่อการนับจำนวน ไส้เดือนฝอยจะถูกนับจำนวนและแยกชนิดภายใต้กล้องจุลทรรศน์สเตอริโอ (รุ่น OLYMPUS SZ61) ทำการสุ่ม 3 ครั้งต่อซ้ำ บันทึกจำนวนและชนิดไส้เดือนฝอยเพื่อนำไปคำนวณหาค่าเฉลี่ยความหนาแน่นต่อพื้นที่และชนิดไส้เดือนฝอย ไส้เดือนฝอยที่ยังไม่สามารถจำแนกชนิดได้ในทันทีจะถูกเก็บรักษาไว้ในสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ 4% เพื่อคงสภาพรูปร่างของไส้เดือนฝอยไม่ให้เน่าเปื่อย และง่ายต่อการจำแนกในภายหลัง การจำแนกชนิดไส้เดือนฝอยอ้างอิงตามฐานฐานวิทยาโดยใช้ลักษณะโครงสร้างของปาก (Bonger and Ferris, 1999) และพฤติกรรมการกิน (Yeates et al., 1993)

5. การคำนวณค่าดัชนีชีวิต

การคำนวณค่าดัชนีสภาพระบบนิเวศและความสัมพันธ์ของสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศดิน (Indices of ecosystem condition and function) ผ่านตัวชี้วัดต่างๆ อาทิ เช่น Maturity index, Enrichment index และ Structure index เป็นต้น ในการคำนวณค่าดัชนีชีวิต

ข้างต้นนี้จำเป็นต้องทราบค่า Colonizer-persister (c-p) (Neher et al., 2004) ในการคำนวณ โดยสามารถหาได้จากกลุ่มของไส้เดือนฝอยตามชุดลำดับค่า c-p ที่ลำดับ 1 ถึง 5 โดยไส้เดือนฝอยที่มีค่าต่ำสุดของระดับ c-p จะเป็นกลุ่ม colonizer และไส้เดือนฝอยที่มีค่าสูงสุดของระดับ c-p จะเป็นกลุ่ม persister ซึ่งอธิบายการจัดกลุ่มได้ ดังนี้

c-p1 ไส้เดือนฝอยที่อยู่ในกลุ่มนี้มีวงจรชีวิตสั้น สามารถผลิตไข่ขนาดเล็กจำนวนมาก ส่วนใหญ่เป็นกลุ่มไส้เดือนฝอยกินแบคทีเรียซึ่งมีกิจกรรมการเผาผลาญอาหารสูง ทนทานต่อมลพิษสูงและผลผลิตที่ได้จากกระบวนการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุในดิน

c-p2 วงจรชีวิตสั้น อัตราการสืบพันธุ์ค่อนข้างสูงแต่ยังต่ำกว่าไส้เดือนฝอยในกลุ่ม c-p1 ไส้เดือนฝอยกลุ่มนี้ตอบสนองต่อความอุดมสมบูรณ์ในดินต่ำกว่ากลุ่มแรก สามารถพบได้ในทุกสภาพแวดล้อม ตั้งแต่ดินที่มีความอุดมสมบูรณ์หรือขาดแคลนธาตุอาหาร ทนทานต่อมลพิษและสิ่งรบกวนอื่น ประกอบด้วยไส้เดือนฝอยกินแบคทีเรีย เชื้อรา และตัวห้ำบางชนิด

c-p3 วงจรชีวิตนานกว่าไส้เดือนฝอย c-p2 ไวต่อสภาพแวดล้อมที่ถูกรบกวน ประกอบด้วยไส้เดือนฝอยกินแบคทีเรีย เชื้อรา และตัวห้ำบางชนิด

c-p4 วงจรชีวิตนาน ไวต่อสภาพแวดล้อมที่ถูกรบกวนสูง ถ้าเป็นไส้เดือนฝอยกลุ่มทำลายพืชจะมีนิสัยอยู่ร่วมกับ ขณะที่ไส้เดือนฝอยทำลายสัตว์อื่นจะมีการเคลื่อนที่หาเหยื่อ กลุ่มนี้ส่วนใหญ่ประกอบด้วยไส้เดือนทำลายสัตว์อื่น ตามด้วย ไส้เดือนฝอยที่ทำลายทั้งพืชและสัตว์ และไส้เดือนฝอยกินแบคทีเรียบางชนิด

c-p5 วงจรชีวิตนาน อัตราการสืบพันธุ์และเผาผลาญอาหารต่ำ เคลื่อนที่ช้า ต่อเมเพศมีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับขนาดร่างกาย ไข่มีขนาดใหญ่แต่ผลิตได้น้อย ไวต่อสารพิษและสิ่งรบกวน กลุ่มนี้ส่วนใหญ่เป็นพวกทำลายทั้งพืชและสัตว์ และตัวห้ำ

ภายใต้การจัดกลุ่ม Colonizer-persister (c-p) สามารถแยกกลุ่มไส้เดือนฝอยตามสภาพแวดล้อมภายในดิน 3 กลุ่ม ดังนี้ 1) Basal conditions (b) ประกอบด้วยไส้เดือนฝอยชนิดกินแบคทีเรีย (Ba) และไส้เดือนฝอยชนิดกินเชื้อรา (Fu) ในกลุ่ม c-p2 2) Enrichment conditions (e) ประกอบด้วยไส้เดือนฝอย

ชนิดกินแบคทีเรีย (Ba) และไส้เดือนฝอยชนิดกินเชื้อรา (Fu) ในกลุ่ม c-p1 หรือ c-p2 และ 3) Structured conditions (s) ประกอบด้วยไส้เดือนฝอยชนิดกินแบคทีเรีย (Ba) ไส้เดือนฝอยชนิดกินเชื้อรา (Fu) ไส้เดือนฝอยตัวห้ำ (Ca) และไส้เดือนฝอยที่กินทั้งพืชและสัตว์อื่น (Om) ในกลุ่ม c-p3, c-p4 หรือ c-p5 ซึ่งค่าดัชนีต่างๆ นี้สามารถใช้ในการบ่งบอกถึงความเสี่ยงของระบบนิเวศและความซับซ้อนของสายใยอาหารในดินได้ (Bonger and Ferris, 1999) ค่าดัชนีชี้วัดต่างๆ สามารถคำนวณได้จากสูตรดังนี้

Maturity Index คือ ดัชนีบ่งชี้สภาวะของระบบนิเวศในดินที่ถูกรบกวนจากปัจจัยทางสภาพแวดล้อมต่างๆ ค่า MI ต่ำแสดงให้เห็นถึงสภาพแวดล้อมนั้นเกิดสภาวะเครียดจากปัจจัยรอบข้างสูง ขณะที่ค่า MI สูงแสดงให้เห็นว่าสภาพแวดล้อมของสิ่งมีชีวิตภายในดินได้รับผลกระทบจากการรบกวนของปัจจัยภายในและภายนอกต่ำ ส่งผลให้ระบบนิเวศในดินของสภาพแวดล้อมนั้นมีความเสถียรและซับซ้อนยิ่งขึ้น ในการคำนวณค่าดัชนีนี้จะไม่ใช้ไส้เดือนฝอยกลุ่มศัตรูพืชมาคำนวณ (Bongers and Bongers, 1998; Ferris et al., 2001; Neher et al., 2004) โดยมีสูตรดังนี้

$$MI = \sum (vi \cdot fi) / n$$

เมื่อ vi = ค่าที่กำหนดให้กับไส้เดือนฝอยตามชุดลำดับ c-p (เมื่อ $i=1,2,3,4,5$)

fi = จำนวนไส้เดือนฝอยวงศ์ i

n = จำนวนของไส้เดือนฝอยทั้งหมดยกเว้นไส้เดือนฝอยกลุ่มศัตรูพืช

Enrichment Index คือ ดัชนีชี้วัดความอุดมสมบูรณ์ของธาตุอาหาร เป็นค่าที่แสดงให้เห็นถึงสภาพของระบบนิเวศในดินที่ถูกรบกวน ซึ่งการรบกวนที่เกิดขึ้นอาจรวมถึงการตายของสิ่งมีชีวิตในดิน การหมุนเวียนธาตุอาหารในดิน และการเคลื่อนย้ายธาตุอาหารจากหน้าดินลงสู่ชั้นดิน เป็นต้น การรบกวนเหล่านี้จะส่งผลให้ทรัพยากรสิ่งมีชีวิตในดินแปรสภาพเป็นสารอาหารที่มีประโยชน์แก่ดินเพิ่มขึ้นค่า EI สูง หมายถึง มีการไหลเวียนของทรัพยากรสิ่งมีชีวิตในดินเข้าสู่ระบบห่วงโซ่อาหารสูงส่งผลให้ดินมีธาตุอาหารสูงขึ้น ขณะที่ค่า EI ต่ำ หมายถึง ดินที่มีสภาพขาดแคลนธาตุอาหาร (Ferris et al., 2001; Neher et al., 2004) คำนวณโดยสูตร

$$EI = 100(e/(e+b))$$

เมื่อ $e = \sum w_e n_e$ (w_e คือ ค่าน้ำหนักของ w_1 และ w_2 และ n_e คือ จำนวนของไส้เดือนฝอยชนิด Ba_1 และ Fu_2)
 $b = \sum w_b n_b$ (w_b คือ ค่าน้ำหนักของ w_2 และ n_b คือ จำนวนของไส้เดือนฝอยชนิด Ba_2 และ Fu_2)

หมายเหตุ ($w_1 = 3.2$ และ $w_2 = 0.8$)

Structure Index คือ ดัชนีบ่งชี้ถึงสภาพของความสัมพันธ์ของสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศของดินว่าได้รับผลกระทบจากสภาวะเครียดหรือการรบกวนจากปัจจัยอื่นหรือไม่ กล่าวคือค่า SI สูงหมายถึงสภาวะที่เสถียรของโครงสร้างความสัมพันธ์ในทุกระดับของห่วงโซ่อาหาร ขณะที่ค่า SI ต่ำสามารถสะท้อนให้เห็นถึงการเสื่อมสภาพของโครงสร้างสายใยอาหารในดิน (Ferris et al., 2001; Neher et al., 2004)

$$SI = 100(s/(s+b))$$

เมื่อ $s = \sum w_s n_s$ (w_s คือ ค่าน้ำหนักของ w_3-w_5 และ n_s คือ จำนวนไส้เดือนฝอยชนิด Ba_3-Ba_5 , Fu_3-Fu_5 , Om_3-Om_5 , Ca_3-Ca_5)

$b = \sum w_b n_b$ (w_b คือ ค่าน้ำหนักของ w_2 และ n_b คือ จำนวนของไส้เดือนฝอยชนิด Ba_2 และ Fu_2)

หมายเหตุ ($w_3 = 1.8$, $w_4 = 3.2$, $w_5 = 5.0$)

Shannon-Wiener diversity index (H') หมายถึง ค่าดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพ คำนวณได้จากสูตร (Neher et al., 2004)

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

เมื่อ H' = ค่าดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพ

S = จำนวนวงศ์ของสิ่งมีชีวิตทั้งหมด

p_i = สัดส่วนของจำนวนสิ่งมีชีวิต (n) ในวงศ์ i ต่อจำนวนประชากรสิ่งมีชีวิตทั้งหมด

โดย $p_i = n_i / N$ เมื่อ $i = 1, 2, 3, \dots, S$

6. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ค่า Maturity Index, Enrichment Index, Structure Index และ Shannon-Wiener diversity index ที่ได้จากการคำนวณ จะถูกนำมาวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยใช้โปรแกรม XLSTAT

2006 (XLSTAT, New York, NY, USA) และเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของแต่ละกรรมวิธีด้วย Tukey's HSD test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ผลการศึกษาและวิจารณ์

1. ชนิดและความหนาแน่นของไส้เดือนฝอย

จากการศึกษาจำนวนประชากรไส้เดือนฝอยในทุกระบบวิธี จำนวน 12 แปลง พบไส้เดือนฝอยมีปริมาณทั้งสิ้น 781 ตัว สามารถแยกได้ 28 วงศ์ (Family) เมื่อนำไส้เดือนฝอยเหล่านี้มาจัดกลุ่มตามพฤติกรรมการกินอาหารสามารถแบ่งได้ 5 กลุ่ม ดังนี้ ไส้เดือนฝอยกินแบคทีเรีย (Bacterial feeders) ไส้เดือนฝอยกินเชื้อรา (Fungal feeders) ไส้เดือนฝอยตัวห้ำ (Carnivores) ไส้เดือนฝอยทำลายพืช (Plant feeders) และไส้เดือนฝอยทำลายทั้งพืชและสัตว์ (Omnivores) เมื่อเปรียบเทียบปริมาณวงศ์ของไส้เดือนฝอยในแต่ละกรรมวิธี พบว่าสวนยางพารา M-H มีจำนวนวงศ์ของไส้เดือนฝอยสูงที่สุด 21 วงศ์ ภายใต้กรรมวิธีนี้วงศ์ของไส้เดือนฝอยที่พบสูงที่สุด ได้แก่ Meloidogynidae รองลงมาเป็นสวนยางพาราแบบ Im-H และ Im-L จำนวน 20 วงศ์ ซึ่งพบวงศ์ Cephalobidae และ Tylenchidae สูงที่สุด สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Sánchez-Moreno et al. (2006) ที่กล่าวว่า ในพื้นที่ที่ไม่มีการไถพรวนดินจะพบจำนวนไส้เดือนฝอยวงศ์ Tylenchidae สูง ขณะที่สวนยางพาราแบบ M-L มีปริมาณต่ำสุดที่ 17 วงศ์ พบวงศ์ Leptonchidae สูงสุด (Table 1)

Table1 Average abundance of nematode's family of different agricultural practices and rubber ages from November 2013-May 2014 in Khon Kaen Province.

Trophic groups and c-p class ^{1/}	Nematode family	Abundance (Average number of individual per 100 grams of soil $\pm$ SD)			
		Im-H ^{2/}	Im-L ^{2/}	M-H ^{2/}	M-L ^{2/}
Ba ₁	Rhabditidae	4.61 $\pm$ 2.04	0	0.86 $\pm$ 0.55	1.45 $\pm$ 0.82
Ba ₂	Cephalobidae	16.64 $\pm$ 8.98	11.65 $\pm$ 7.98	1.05 $\pm$ 1.11	4.49 $\pm$ 2.12
	Monhysteridae	0.57 $\pm$ 0.50	0.39 $\pm$ 0.67	0.37 $\pm$ 0.64	2.66 $\pm$ 2.53
	Plectidae	3.69 $\pm$ 3.61	0.39 $\pm$ 0.67	0.46 $\pm$ 0.61	1.05 $\pm$ 1.46
Ba ₃	Achromadoridae	0.57 $\pm$ 0.50	1.95 $\pm$ 3.37	0.53 $\pm$ 0.55	0
	Bastianiidae	0	0	0	1.06 $\pm$ 1.84
	Halaphanolaimidae	0	0	0.77 $\pm$ 1.34	0
	Prismatolaimidae	2.63 $\pm$ 1.53	0.78 $\pm$ 1.35	1.50 $\pm$ 1.82	4.53 $\pm$ 6.51
	Teratocephalidae	0.29 $\pm$ 0.50	0	0	0
Ba ₄	Alaimidae	1.00 $\pm$ 1.73	0.99 $\pm$ 1.21	0.37 $\pm$ 0.64	2.73 $\pm$ 2.61
Fu ₂	Anguinidae-ditylenchus	1.40 $\pm$ 1.02	0	0.08 $\pm$ 0.14	0.15 $\pm$ 0.25
	Aphelenchidae	2.95 $\pm$ 2.30	0.65 $\pm$ 0.60	0.16 $\pm$ 0.28	0
	Aphelenchoididae	10.03 $\pm$ 14.85	2.32 $\pm$ 2.17	0.16 $\pm$ 0.28	1.39 $\pm$ 1.56
Fu ₃	Diphtherophoridae	0	0.39 $\pm$ 0.67	0.08 $\pm$ 0.14	0
Fu ₄	Leptonchidae	3.27 $\pm$ 1.47	13.44 $\pm$ 11.02	4.73 $\pm$ 5.07	28.60 $\pm$ 17.96
Om ₄	Dorylaimidae	2.58 $\pm$ 2.23	1.02 $\pm$ 0.96	0.46 $\pm$ 0.40	2.02 $\pm$ 1.80
	Qudsianematidae	0.43 $\pm$ 0.74	1.81 $\pm$ 2.81	0.67 $\pm$ 0.96	2.21 $\pm$ 1.69
Ca ₃	Tripylidae	0	1.04 $\pm$ 1.81	0	0
Ca ₄	Ironidae	0	0	0.07 $\pm$ 0.13	0
	Anatonchidae	0	0.21 $\pm$ 0.36	0	0.15 $\pm$ 0.25
	Mononchidae	0	0	0.23 $\pm$ 0.24	0
Pf ₂	Tylenchidae	15.15 $\pm$ 9.42	14.89 $\pm$ 15.45	1.42 $\pm$ 1.70	10.86 $\pm$ 10.88
Po ₃	Criconematidae	0.72 $\pm$ 1.24	0.21 $\pm$ 0.36	0	0.18 $\pm$ 0.31
	Hoplolaimidae	0	7.37 $\pm$ 12.76	0	0
	Meloidogynidae	13.43 $\pm$ 7.29	0	20.13 $\pm$ 18.71	17.15 $\pm$ 17.79
	Pratylenchidae	0.29 $\pm$ 0.50	0.84 $\pm$ 1.46	0.15 $\pm$ 0.13	0
	Telotylenchidae	0.54 $\pm$ 0.47	1.02 $\pm$ 0.96	0	0
Po ₄	Trichodoridae	0.14 $\pm$ 0.25	0.13 $\pm$ 0.23	1.16 $\pm$ 2.00	1.82 $\pm$ 3.15
	Total of family	20	20	21	17

^{1/} Ba=Bacterial feeders, Fu=Fungal feeders, Om=Omnivores, Ca=Carnivores, Po=Plant feeder (Obligatory), Pf=Plant feeder (Facultative)

^{2/} Im=Immature stage, M=Mature stage, H=High intensity agricultural practice, L=Low intensity agricultural practice

เมื่อจำแนกได้เดือนฝอยตามพฤติกรรมการกินอาหารพบว่าสวณยางพาราแบบ M-L มีความหนาแน่นของปริมาณได้เดือนฝอยต่อดิน 100 กรัม สูงสุด 82.50 ตัว โดยพบได้เดือนฝอยกินเชื้อราสูงสุดที่ 30.14 ตัว (Figure 2) รองลงมาคือสวณยางพาราแบบ Im-H Im-L และ M-H จำนวนเฉลี่ย 80.94 61.50 และ 35.42 ตัวต่อ

ดิน 100 กรัม ตามลำดับ (Table 2) ขณะที่สวณยางแบบ Im-H พบจำนวนได้เดือนฝอยประเภทกินแบคทีเรียสูงสุดจำนวน 30.01 ตัว (Figure 1) ผลที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Sánchez-Moreno et al. (2006) ที่รายงานว่าในสภาพพื้นที่เพาะปลูกที่มีการไถพรวนดิน จะสามารถพบ

จำนวนของไส้เดือนฝอยกลุ่มกินแบคทีเรียสูง ซึ่งมักพบในดินเพาะปลูกเนื่องจากมีความอุดมสมบูรณ์ของธาตุอาหารที่ได้จากการใส่ปุ๋ยของเกษตรกร ขณะที่ไส้เดือนฝอยทำลายทั้งพืชและสัตว์ (Omnivores) และไส้เดือนฝอยตัวห้ำ (Carnivores) มักไม่พบในดินที่มีการเพาะปลูก ในทางตรงกันข้ามจะพบจำนวนไส้เดือนฝอยกลุ่มกินเชื้อราสูงในสภาพพื้นที่เพาะปลูกที่ไม่มีการไถพรวนดิน เช่นเดียวกับผลของ Xiao et al. (2014) ที่พบความหนาแน่นของไส้เดือนฝอยกลุ่มกินแบคทีเรียต่อพื้นที่สูงในสวนยางพาราที่มีการปลูกต้นชาแซมมากกว่าสภาพพื้นที่ป่า Bongers and Ferris (1999) ให้เหตุผลว่าการที่ไส้เดือนฝอยกินแบคทีเรียมีจำนวนเพิ่มสูงขึ้นมา

จากผลพวงที่ได้จากกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินที่เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งตัวกระตุ้นที่ทำให้เกิดกิจกรรมของจุลินทรีย์เหล่านี้รวมถึง การใส่ปุ๋ย พรวนดิน หรือการรบกวนดินในรูปแบบอื่นๆ เป็นต้น Ugarte and Zaborski (2014) อธิบายว่าไส้เดือนฝอยกินแบคทีเรียจะทำหน้าที่ส่งเสริมให้เกิดอัตราการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุและส่งผลให้แร่ธาตุในโตรเจนในดินมีปริมาณ สูงอีกด้วย ในขณะเดียวกันไส้เดือนฝอยกลุ่มกินเชื้อราจะมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นในดินที่มีการถูกรบกวนต่ำ เช่น ดินที่ไม่มีการไถพรวนดิน ดินที่ปลูกพืชอายุหลายปี และดินป่า เป็นต้น

Table 2 Average abundance of nematode's trophic groups of different agricultural practices and rubber ages from November 2013-May 2014 in Khon Kaen Province.

Agricultural practices ^{1/}	Abundance (Average number of individual per 100 grams of soil ± SD)						Total
	Bacterial feeders	Fungal feeders	Omnivores	Carnivores	Plant feeder		
					Obligatory	Facultative	
Im-H	30.01±5.52a ^{2/}	17.65±18.03a	3.01±2.68a	0±0a	15.12±5.82a	15.15±9.42a	80.94±31.32a
Im-L	16.14±11.68ab	16.80±12.94a	2.84±3.58a	1.25±1.66a	9.57±15.23a	14.89±15.45a	61.50±40.09a
M-H	5.90±3.14b	5.21±5.90a	1.13±1.22a	0.31±0.27a	21.44±20.57a	1.42±1.70a	35.42±14.47a
M-L	17.98±11.03ab	30.14±18.08a	4.23±2.94a	0.15±0.25a	19.15±15.86a	10.86±10.88a	82.50±8.56a

^{1/} Im=Immature stage, M=Mature stage, H=High intensity agricultural practice, L=Low intensity agricultural practice

^{2/} Means followed by the same letter within a column are not significantly different by Tukey's HSD test at $P < 0.05$

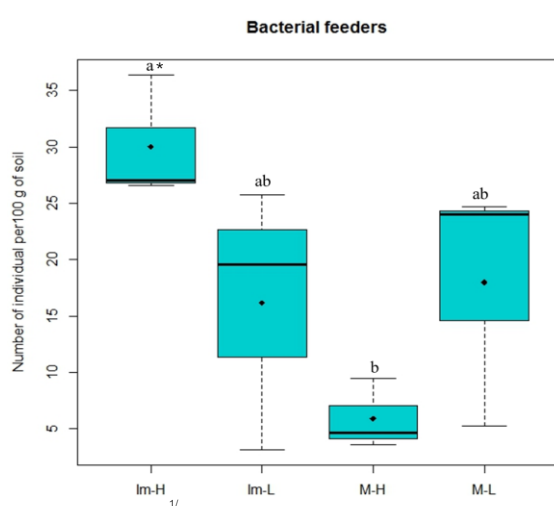


Figure 1 The abundance of bacterial feeders at different plantation stages and agricultural practices

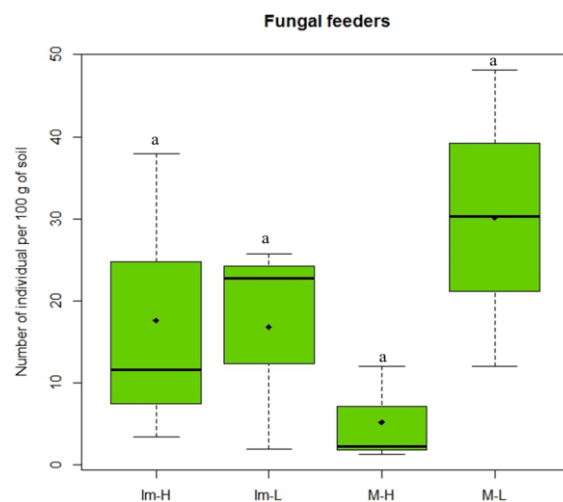


Figure 2 The abundance of fungal feeders at plantation stages and agricultural practices

* Same letter are not significantly different by Tukey's HSD test at $P < 0.05$

^{1/} Im=Immature stage, M=Mature stage, H=High intensity agricultural practice, L=Low intensity agricultural practice

2. ค่าดัชนีชี้วัดทางระบบนิเวศ

ค่า Shannon-Wiener diversity index (H') สามารถใช้บ่งชี้ความหลากหลายของสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศของดิน ค่า H' สูงสุดถูกพบในสวนยางพาราแบบ Im-H และต่ำสุดในสวนยางพาราแบบ M-H ซึ่งค่าดัชนีความหลากหลายชนิดของสิ่งมีชีวิตในดินของสวนยางพาราทั้ง 4 แบบไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% ค่าดัชนีบ่งชี้สถานะของระบบนิเวศในดินที่ถูกรบกวนจากปัจจัยทางสภาพแวดล้อมต่างๆ หรือค่า Maturity Index (MI) ในสวนยางพาราแบบ M-L มีค่าสูงสุดที่ 3.42 ซึ่งมีความแตกต่างกับทางสถิติเมื่อเทียบกับสวนยางแบบ Im-H ซึ่งมีค่าต่ำสุด 2.29 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ดังแสดงใน Table 3 การที่สวนยางพาราแบบ M-L ให้ค่า MI สูงที่สุด แสดงให้เห็นว่าสภาพแวดล้อมของสิ่งมีชีวิตภายในดินได้รับผลกระทบจากการรบกวนของปัจจัยภายในและภายนอกต่ำ อาทิเช่น พื้นที่ที่ไม่มีการไถพรวน ไม่มีการใช้สารเคมีกำจัดวัชพืช ไม่มีการปลูกพืชแซม และพืชคลุมดิน เป็นต้น ความเสถียรของระบบนิเวศในดินสูงเมื่อเทียบกับค่า MI ต่ำในสวนยางแบบอื่นๆ (Bonger, 1990) ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Xiao et al. (2014) ที่รายงานว่าค่า MI จะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อการจัดการแปลงลดลงและการที่ค่า MI ลดต่ำลงอาจมีผลสืบเนื่องจากกิจกรรมของจุลินทรีย์หรือมลพิษในดินที่เพิ่มสูงขึ้นซึ่งสามารถชักนำให้สิ่งมีชีวิตในดินเกิดสภาวะเครียดได้ ขณะที่ค่าดัชนีชี้วัดความอุดมสมบูรณ์ของธาตุอาหาร (Enrichment Index; EI) ในสวนยางพารา M-H มีค่ามากที่สุดเท่ากับ 57.84 รองลงมาคือ Im-H M-L และ Im-L มีค่าเท่ากับ 46.82, 42.65 และ 17.17 ตามลำดับ ค่า EI เป็นค่าที่แสดงให้เห็นถึงสภาพของระบบนิเวศในดินที่ถูกรบกวน ซึ่งการรบกวนที่เกิดขึ้นอาจรวมถึงการตายของสิ่งมีชีวิตในดิน การหมุนเวียนธาตุอาหารในดิน และการเคลื่อนย้ายธาตุอาหารจากหน้าดินลงสู่ชั้นดิน เป็นต้น การรบกวนเหล่านี้

จะส่งผลให้ทรัพยากรสิ่งมีชีวิตในดินแปรสภาพเป็นสารอาหารที่มีประโยชน์แก่ดินเพิ่มขึ้น ยกตัวอย่างเช่น การเพิ่มขึ้นของอินทรีย์วัตถุในดินจะส่งผลให้ปริมาณของมวลชีวภาพ (Biomass) ที่ได้จากกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินเพิ่มขึ้นตามไปด้วย เราสามารถนำค่า EI มาใช้เป็นดัชนีชี้วัดความอุดมสมบูรณ์หรือการขาดแคลนของธาตุอาหารในระบบนิเวศของดินได้ พบว่าค่า EI ของสวนยางพาราแบบ M-H มีค่าสูงกว่าการจัดการแบบอื่นเนื่องจากสภาพสิ่งแวดล้อมในดินมีการรบกวนจากปัจจัยภายนอก อาทิเช่น การไถพรวน ใส่ปุ๋ย การกำจัดวัชพืช รวมถึงการเคลื่อนย้ายของอินทรีย์วัตถุจากหน้าดินลงสู่เนื้อดิน เช่น การย่อยสลายของใบยางพารา (Ferris et al., 2001) ค่าดัชนีชี้วัดโครงสร้างดิน หรือ Structure Index (SI) ของสวนยางพารา M-L มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 93.69 รองลงมาคือ M-H Im-L และ Im-H มีค่าเท่ากับ 92.85, 80.63 และ 52.37 ตามลำดับ ซึ่งสวนยางพาราแบบ Im-H มีความแตกต่างกับทางสถิติกับสวนยางพาราอื่นๆ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% Ferris et al. (2001) รายงานว่าค่า SI สามารถใช้ในการบ่งชี้ถึงสภาพของความสัมพันธ์ของสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศของดินว่าได้รับผลกระทบจากสภาวะเครียดหรือการรบกวนจากปัจจัยอื่นหรือไม่ กล่าวคือค่า SI สูงจะหมายถึงสถานะที่เสถียรของโครงสร้างความสัมพันธ์ในทุกระดับของห่วงโซ่อาหารซึ่งสามารถเห็นโครงสร้างนี้ได้ในระบบนิเวศของดินในพื้นที่ป่าไม้ ขณะที่ค่า SI ต่ำสามารถสะท้อนให้เห็นถึงการเสื่อมสภาพของโครงสร้างสายใยอาหารในดิน ซึ่งความเสื่อมนี้อาจมาจากการรบกวนจากปัจจัยภายนอกหรือสภาวะเครียด ซึ่งผลที่ได้จากการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าการจัดการสวนยางดำนั้นส่งเสริมให้โครงสร้างของระบบนิเวศในดินเสถียรขึ้น (Pattison et al., 2004)

Table 3 Indices of ecosystem conditions of different agricultural practices and rubber ages by using nematodes as bio-indicator.

Agricultural practices ^{1/}	Indices of diversity ^{2/}	Indices of ecosystem ^{3/}		
	H'	MI	EI	SI
Im-H	2.12a ^{4/}	2.29±0.19b	46.82±3.03ab	52.37±13.19b
Im-L	1.78a	2.94±0.27a	17.17±7.65b	80.63±6.47a
M-H	1.55a	3.12±0.30a	57.84±32.93a	92.85±3.03a
M-L	1.74a	3.42±0.31a	42.65±7.02ab	93.69±3.39a

^{1/} Im=Immature stage, M=Mature stage, H=High intensity agricultural practice, L=Low intensity agricultural practice

^{2/} H=Shannon index

^{3/} MI=Maturity index, EI=Enrichment index, SI=Structural index

^{4/} Means followed by the same letter within a column are not significantly different by Tukey's HSD test at P < 0.05

สรุป

จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าเมื่อยางพารา มีอายุสูงขึ้นและเกษตรกรมีรูปแบบการจัดการแปลงที่ต่ำ จะพบจำนวนไส้เดือนฝอยกินเชื้อราสูงกว่าพื้นที่อื่น ซึ่ง สวนยางพาราในรูปแบบนี้จะช่วยส่งเสริมให้โครงสร้าง ของระบบนิเวศในดินมีความเสถียรขึ้น ขณะที่แปลง ยางอายุน้อยที่มีกิจกรรมทางการเกษตรที่สูง อาทิเช่น การไถพรวนเปิดหน้าดิน การปลูกพืชแซม การใส่ปุ๋ย และการกำจัดวัชพืช จะพบไส้เดือนฝอยกินกลุ่ม แบคทีเรียในปริมาณสูง ซึ่งการจัดการสวนยางพาราของ เกษตรกรในรูปแบบที่แตกต่างกันจะส่งผลโดยตรงต่อ ระบบนิเวศในดิน กล่าวคือ กิจกรรมทางการเกษตรและ อายุยางพาราที่ต่างกันนั้นล้วนส่งผลต่อชนิดและความ หลากหลายของไส้เดือนฝอยซึ่งเป็นหนึ่งในองค์ประกอบ ที่มีชีวิตที่มีปฏิสัมพันธ์กับสิ่งมีชีวิตและสิ่งไม่มีชีวิตอื่นใน ห่วงโซ่อาหาร ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ในการ ประยุกต์ใช้ไส้เดือนฝอยเป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพ สิ่งแวดล้อมในดินเพื่อส่งเสริมให้เกษตรกรมีแนวปฏิบัติ ทางการเกษตรในสวนยางพาราที่ดีและเป็นประโยชน์ต่อ คุณภาพและโครงสร้างของดินในอนาคต

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณ Jeunes Equipes AIRD Program (JEA), L'Institut de recherche pour le développement (IRD), LMI LUSES และศูนย์วิจัยควบคุมศัตรูพืชโดยชีวินท รีย์ แห่งชาติ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัย อุปกรณ์ และสถานที่สำหรับทำงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- กลุ่มวิจัยและพัฒนาการอนุรักษ์ดินและน้ำบนพื้นที่พืชไร่.
2548. เอกสารวิชาการ: ยางพารา. สำนักวิจัยและ พัฒนาการจัดการที่ดินกรมพัฒนาที่ดิน กระทรวง เกษตรและสหกรณ์.
- นุชนารถ กังพิสดาร, กรรณิการ์ ธีระวัฒนสุข, พิสมัย จันทุมมา, เพียร รมรัตน์สุขารมย์ และปรีดีเปรม ทัศนกุล. 2556. การจัดการสวนยางอย่างยั่งยืน. สถาบันวิจัยยาง กรม วิชาการเกษตร. โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตร แห่งประเทศไทย จำกัด, กรุงเทพฯ.
- ประสาธน์ เกศพิทักษ์, จิรากร โกศลเสวี, อนันต์ สุวรรณรัตน์, วราภรณ์ ขจรไชยกูล, นุชนารถ กังพิสดาร, สุภาพร บัว แก้ว, โกศล จรัสสูงเนิน, จันทวรรณ คงเจริญ, นุชนาฏ ณ ระนอง และรัศมี ด้านสกุลผล. 2545. ข้อมูล

- วิชาการยางพารา 2545. กรมวิชาการเกษตร สถาบันวิจัยยาง, กรุงเทพฯ.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2556. ความพร้อมของเกษตรกรไทยต่อการเข้าสู่ประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน. แหล่งข้อมูล: <https://goo.gl/nqW1hx>. ค้นเมื่อ 27 ตุลาคม 2559.
- สถาบันวิจัยยาง. 2554. คำแนะนำพันธุ์ยาง ปี 2554. กรมวิชาการเกษตร โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด, กรุงเทพฯ.
- สถาบันวิจัยยาง. 2555. ข้อมูลวิชาการยางพารา 2555. กรมวิชาการเกษตร โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด, กรุงเทพฯ.
- สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร. ม.ป.ป. การนำไปใช้ประโยชน์. แหล่งข้อมูล: <https://goo.gl/diLL5k>. ค้นเมื่อ 17 มิถุนายน 2557.
- สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม. ม.ป.ป. เอกสารเผยแพร่อุตสาหกรรมน้ำรู้ ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับอุตสาหกรรมยางพาราและผลิตภัณฑ์ยาง. บริษัท วงศ์สว่างพาณิชย์ จำกัด, กรุงเทพฯ.
- Berkelmans, R., H. Ferris, M. Tenuta, and A.H.C. van Bruggen. 2003. Effects of long-term crop management on nematode trophic levels other than plant feeders disappear after 1 year of disruptive soil. *Appl. Soil Ecology*. 23: 223-235.
- Bezooijen, J.V. 2006. Methods and techniques for nematology. Available: <https://goo.gl/rhGICa>. Accessed May 2, 2015.
- Bongers, T. 1990. The maturity index: an ecological measure of environmental disturbance based in species composition. *Oecologia*. 83: 14-19.
- Bongers, T., and M. Bongers. 1998. Functional diversity of nematodes. *Appl. Soil Ecology*. 10: 239-251.
- Bongers, T., and H. Ferris. 1999. Nematode community structure as a bioindicator in environmental monitoring. *Trends in Ecology and Evolution*. 14: 224-228.
- Ferris, H., T. Bongers, and R.G.M. de Goede. 2001. A framework for soil food web diagnostics: extension of the nematode faunal analysis concept. *Appl Soil Ecology*. 18: 13-29.
- Ferris, H., B.S. Griffith, D.L. Porazinsaka, T.O. Powers, K.H. Wang, and M. Tenuta. 2012. Reflections on Plant and Soil Nematode Ecology: Past, Present and Future. *Journal of Nematology*. 44(2): 115-126.
- Lavelle, P., D. Bignell, M. Lepage, V. Wolters, P. Roger, P. Ineson, O.W. Heal, and S. Dhillon. 1997. Soil function in a changing world: the role of invertebrate ecosystem engineers. *Eur. J. Soil Biol.* 33: 159-193.
- Nahar, M.S., P.S. Grewal, S.A. Miller, D. Stinner, B.R. Stinner, M.D. Kleinhenzc, A. Wszelaki, and D. Doohan. 2006. Differential effects of raw and composted manure on nematode community, and its indicative value for soil microbial, physical and chemical properties. *Appl Soil Ecology*. 34: 140-151.
- Neher, D.A., and M. E. Barbercheck. 1999. Diversity and Function of soil Mesofauna. P.27-47. In: D. Cella. *Biodiversity in Agroecosystems*. CRC Press, LLC.
- Neher, D., T. Bongers, and H. Ferris. 2004. Computation of Nematode community indices. Society of Workshop. Estes Park, Colorado.
- Pattison, T., K. Badcock, J. Armour, P. Moody, R. Velupillai, J. Cobon, and S. Lindsay, L. Gulino and L. Smith. 2004. Using nematodes as bioindicators for soil health in bananas. "SuperSoil". Proceedings of the International Soil Science Conference 5-9 December 2004. Sydney, Australia.
- Sanchez-Moreno, S., H. Minoshima, H. Ferri, and L.E. Jackson. 2006. Linking soil properties and nematode community composition: effects of soil management on soil food webs. *Nematology*. 8(5): 703-715.
- Ugarte, U.K., and C.E. Zaborski. 2014. Soil Nematodes in Organic Farming Systems. Available: <https://goo.gl/Jr4YX>. Accessed May 2, 2015.
- Villanave, C. 2013. Introduction to the characterization of soil nematode fauna an important soil bioindicator.

- International Training Course on 8-12 July, 2013 at Khon Kaen University, Thailand.
- Xiao, H.F., Y.H. Tian, H.P. Zhou, X.S. Ai, X.D. Yang, and D.A. Schaefer. 2014. Intensive rubber cultivation degrades soil nematode communities in Xishuangbanna, southwest China. *Soil Biology & Biochemistry*. 76: 161-169.
- Yeates, G.W., T. Bongers, R.G.M. de Goede, D.W. Freckman, and S.S. Georgieva. 1993. Feeding habits in soil nematode families and genera—an outline for soil ecologists. *Journal of Nematology*. 25: 315–331.
- Zullini, A. 1976. Nematodes as indicators of river pollution. *Nematol. Mediterr.* 4: 13–22.