ความหนาแน่น ความหลากหลายและกิจกรรมของกลุ่มสัตว์หน้าดิน ในสวนยางพาราที่อายุต่างกัน

Soil fauna density, diversity and activity in different ages of rubber plantations

ภูษณิศา หีบเงิน[1], วุฒิดา รัตนพิไชย[1], Frederic Gay[2,3], Alain Brauman[2,4], Philippe Thaler[2,3] และ กรรณิการ์ สัจจาพันธ์[5*]

Pusanisa Heepngoen[1], Wutthida Rattanapichai[1], Frederic Gay[2,3], Alain Brauman[2,4], Philippe Thaler[2,3] and Kannika Sajjaphan[5*]

บทคัดย่อ: ยางพาราเป็นไม้ยืนต้นและมีการผลัดใบทุกปี ซึ่งใบยางที่ร่วงหล่นจะถูกย่อยสลายและกลายเป็นอินทรียวัตถุในดิน โดยมีสัตว์หน้าดินเป็นปัจจัยสำคัญในการขับเคลื่อนให้เกิดกระบวนการย่อยเศษซากพืชซึ่งจะส่งผลต่อการหมุนเวียนธาตุอาหารพืช และปริมาณอินทรียวัตถุในดิน การศึกษาในครั้งนี้ จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความหนาแน่นและความหลากหลายของสัตว์หน้าดินด้วยวิธี Tropical Soil Biology and Fertility (TSBF) และประเมินกิจกรรมของสิ่งมีชีวิตด้วยวิธี Litter Description ในสวนยางพารา 3 ช่วงอายุ (6-8, 15-17 และ มากกว่า 25 ปี) ในอำเภอสนามชัยเขต จังหวัดฉะเชิงเทรา พบว่า ความหนาแน่นของสัตว์หน้าดินจะเพิ่มขึ้นตามอายุของสวนยางพารา โดยสวนยางพาราอายุมากกว่า 25 ปีมีความหนาแน่นของสัตว์หน้าดินมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากค่า Richness index พบว่าสวนยางพาราอายุ 6-8 ปีมีจำนวนชนิดของสัตว์หน้าดินมากที่สุด และลดลงตามอายุที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้สวนยางพาราอายุ 6-8 ปี มีค่าดัชนีความสม่ำเสมอของชนิด (Pielou's evenness index) สูงที่สุดและมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับสวนยางพาราอายุมากกว่า 25 ปี ขณะที่สวนยางพาราอายุ 15-17 ปี มีค่าดัชนีความหลากหลาย (Shannon's diversity index) สูงที่สุด ผลการศึกษากิจกรรมของสัตว์หน้าดิน พบว่าในแต่ละช่วงอายุจะพบ earthworm cast, wood และ fragment leaves ในปริมาณที่มากกว่าเศษซากพืชลักษณะอื่นโดย earthworm cast จะมีปริมาณมากขึ้นตามช่วงอายุของสวนยางพาราและ wood จะมากที่สุดในสวนยางพาราอายุ 15-17 ปี (39.87 %) และน้อยที่สุดในสวนยางพาราอายุมากกว่า 25 ปี (19.06 %) ในขณะที่ fragment leaves จะพบปริมาณมากที่สุดในสวนยางพาราอายุ 6-8 ปี และปริมาณใกล้เคียงกันระหว่างสวนยางพาราอายุ 15-17 ปี และมากกว่า 25 ปี จากผลการศึกษาพบว่าในสวนยางพาราอายุมากกว่า 25 ปี จะพบกิจกรรมการย่อยสลาย wood ดีที่สุด ขณะที่การย่อยสลายซากใบยางจะเกิดดีที่สุดในสวนยางพาราอายุ 15-17 ปี รองลงมาคือ สวนยางพาราอายุมากกว่า 25 ปี และ 6-8 ปี ส่วนของ fragment leaves, skeletonized leaves และ compacted litter จะพบมากที่สุดในสวนยางพาราอายุ 6-8 ปี ขณะที่มีปริมาณใกล้เคียงกันในสวนยางพาราอายุ 15-17 ปี และ มากกว่า 25 ปี แสดงให้เห็นว่าซากใบถูกย่อยสลายกลายเป็นอินทรียวัตถุได้เร็วในสวนยางพาราอายุ 6-8 ปี สำหรับ earthworm cast พบมากที่สุดในสวนยางพาราอายุมากกว่า 25 ปี รองลงมาคือ สวนยางพาราอายุ 15-17 ปี และ 6-8 ปี อาจเกิดจากการสะสมตามช่วงอายุต้นยางพารา แต่อย่างไรก็ตามจากการศึกษาพบว่าปริมาณไส้เดือนดินในสวนยางพาราอายุ 15-17 ปีจะพบมากที่สุด รองลงมาคือ สวนยางพาราอายุ 6-8 ปี และอายุมากกว่า 25 ปี จากการศึกษาจะเห็นได้ว่า ต้นยางพาราช่วงอายุ 15-17 ปี เป็นช่วงอายุที่พบความหลากหลายของสัตว์หน้าดินมากที่สุด และมีกิจกรรมของสัตว์หน้าดินมากที่สุด ส่งผลให้ปริมาณอินทรียวัตถุในดินของสวนยางพาราอายุ 15-17 ปีมีอัตราเพิ่มขึ้นจากช่วงอายุ 6-8 ปี (42 %) ซึ่งมากกว่า อัตราการเพิ่มขึ้นจากสวนยางพาราช่วงอายุ 15-17 ปี ถึง มากกว่า 25 ปี (18.3 %)

คำสำคัญ: สัตว์หน้าดิน, สวนยางพารา, วิศวกรในระบบนิเวศดิน

[1] ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900
Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok 10900
[2] Ecol & Sols, Univ Montpellier, IRD, CIRAD, INRA, Montpellier SupAgro, F-34398, Montpellier, France
[3] HRPP, Kasetsart University, Bangkok 10900
[4] LMI LUSES, Land Development Department, Bangkok 10900
[5] ภาควิชาปฐพีวิทยาและศูนย์วิทยาการขั้นสูงเพื่อเกษตรและอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900
Department of Soil Science and Center for Advanced Studies in Agriculture and Food, Kasetsart University, Bangkok 10900
* Corresponding author: agrkks@ku.ac.th

ABSTRACT: Rubber is the perennial and annual deciduous tree. Rubber leaves from defoliation are decomposed to soil organic matter. Soil fauna is the important driver of the litter degradation process which affects to nutrient cycling and amount of soil organic matter. The objectives of this study are to assess density and diversity of soil fauna by Tropical Soil Biology and Fertility (TSBF) method and evaluate soil fauna activity using Litter Description method in three different ages of rubber plantations (6-8, 15-17 and more than 25 year-old) at Sanamchaikhet, Chachoengsao province, Thailand. The studied results showed that the abundance of soil fauna increased with age of rubber plantation. The soil fauna abundance was highest in more than 25 year-old rubber plantation. Richness index showed that the number of soil fauna species was highest in 6-8 year-old rubber plantation and it decreased with increasing plantation age. Moreover, the highest value of Pielou's evenness index was found in 6-8 year-old rubber plantation and had statistically significant difference when compared to more than 25 year-old rubber plantation. Additionally, the Shannon's diversity index had the highest value in 15-17 year-old rubber plantation. From the evaluation of soil fauna activity, the amount of earthworm cast, wood and fragment leaves had higher than other litter types in all ages of rubber plantation. The amount of earthworm cast increased with age of rubber plantation. The amount of wood was the highest in 15-17 year-old rubber plantation (39.87%) and lowest in more than 25 year-old rubber plantation (19.06%) while the amount of fragment leaves was the highest in 6-8 year-old rubber plantation. The amount of fragment leaves in 15-17 year-old rubber plantation showed similar value with more than 25 year-old rubber plantation. Moreover, the results showed that the best of wood degradation was found in more than 25 year-old rubber plantation while the best of litter degradation was found in 15-17 year-old rubber plantation following by more than 25 and 6-8 year-old rubber plantation, respectively. The fragment leaves, compacted litter and skeletonized leaves had the highest amount in 6-8 year-old rubber plantation while these amounts in 15-17 year-old and more than 25 year-old rubber plantation were similar. This indicated that the litter was rapidly decomposed to organic matter in 6-8 year-old rubber plantation. The highest amount of earthworm cast was found in more than 25 year-old rubber plantation following by 15-17 year-old and 6-8 year-old rubber plantation, respectively. This was probably because accumulation from young rubber plantation. However, earthworm abundance was the highest in 15-17 year-old rubber plantation following by 6-8 year-old and more than 25 year-old rubber plantation, respectively. This study illustrated that 15-17 year-old rubber plantation had the highest value of soil fauna diversity and activity. The increasing rate of soil organic matter from 6-8 year-old rubber plantation to 15-17 year-old rubber plantation (42%) is higher than the rate from 15-17 year-old rubber plantation to more than 25 year-old rubber plantation (18.3%).
Keywords: soil fauna, rubber plantation, soil ecosystem engineer

---

บทนำ

สัตว์หน้าดิน คือ สัตว์ที่อาศัยอยู่ในดินชั้นบนและชั้นอินทรียวัตถุ ซึ่งสามารถแบ่งกลุ่มตามขนาดได้ 3 กลุ่ม คือ 1) สัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ (soil macrofauna) มีขนาดตั้งแต่ 2 มิลลิเมตร ขึ้นไป เช่น ตะขาบ กิ้งกือ แมงมุม มด และปลวก เป็นต้น 2) สัตว์หน้าดินขนาดกลาง (soil mesofauna) มีขนาดตั้งแต่ 0.1-2 มิลลิเมตร เช่น ไส้เดือนฝอย แมลงหางดีด แมลงสองง่าม และด้วง เป็นต้น 3) สัตว์หน้าดินขนาดเล็ก (soil microfauna) มีขนาดเล็กกว่า 0.1 มิลลิเมตร เช่น ไส้เดือนฝอย โปรโตซัว เป็นต้น บทบาทหน้าที่ที่สำคัญของสัตว์หน้าดิน คือ 1) การเปลี่ยนรูปคาร์บอนผ่านกระบวนการย่อยสลายซากพืชจนเป็นอินทรียวัตถุ ซึ่งกระบวนนี้ยังเป็นตัวขับเคลื่อนการหมุนเวียนธาตุอาหารพืช รวมถึงการรักษาเสถียรภาพของโครงสร้างดินด้วย

2) การหมุนเวียนธาตุอาหารพืช เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส ซัลเฟอร์ รวมถึงการปลดปล่อยแก๊สไนตรัสออกไซด์ 3) การรักษาโครงสร้างของดิน เพิ่มความเสถียรภาพของเม็ดดิน และเพิ่มช่องว่างในดิน 4) การควบคุมประชากรทางชีวภาพ รวมทั้งแมลงศัตรูพืชและโรคพืชด้วย (Kibblewhite et al., 2008) ปัจจัยที่มีผลต่อกิจกรรมของสัตว์หน้าดินนั้นมีทั้งกายภาพและชีวภาพ เช่น อุณหภูมิดิน ความชื้นในดิน โครงสร้างดิน ปริมาณและชนิดซากพืชบนผิวดิน สมบัติทางเคมีของดิน รวมถึงชนิดของสัตว์หน้าดินเองด้วย (Gongalsky et al., 2004; Gongalsky et al., 2008; Rombke et al., 2006; Filzek et al., 2004; Geissen and Brummer, 1999; Hamel et al., 2007; Osler and Sommerkorn, 2007; Helling et al., 1998)

อินทรียวัตถุเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในดินและมีอิทธิพลต่อสมบัติทางฟิสิกส์ ทางเคมี และทางชีวภาพของดิน เนื่องจากอินทรียวัตถุสามารถดูดซับไอออนได้ ดูดซับน้ำได้มาก ต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลง pH ของดินได้ดี เป็นสารเชื่อมอนุภาคดิน ทำให้เกิดเม็ดดิน เป็นแหล่งอาหารของจุลินทรีย์ดิน และเป็นแหล่งธาตุอาหารของพืช โดยอินทรียวัตถุเหล่านี้ได้มาจากการย่อยสลายซากสิ่งมีชีวิตที่ทับถมอยู่บนผิวดิน (Brady and Weil, 2017) การทับถมของซากพืชจะไม่ค่อยได้พบเห็นในพืชเศรษฐกิจทั่วไป เพราะมีการเก็บผลผลิตออกจากแปลงแบบถอนรากถอนโคน ต่างจากต้นไม้ในป่าและไม้ยืนต้นที่มีการเก็บผลผลิตออกจากแปลงบางส่วน ยังมีการทับถมของซากพืชอยู่ ทั้งใบที่ร่วงหล่น กิ่งก้านที่หักโค่น หรือแม้แต่ผลไม้ที่สุกงอม ทำให้การย่อยสลายซากพืช (litter decomposition) เป็นกระบวนการที่สำคัญในไม้ยืนต้น ในยางพาราก็เช่นกันเนื่องจากเป็นพืชที่มีอายุการเก็บผลผลิตประมาณ 25-30 ปี และยังเป็นพืชที่มีการผลัดใบทุกปีในฤดูแล้ง โดยทั่วไปต้นยางพาราที่มีการเติบโตเต็มที่แล้วจะมีปริมาณซากพืชอยู่ในช่วง 5-7 ตันต่อเฮกตาร์ต่อปี (Watson, 1964; Shorrocks, 1965) ซึ่งซากพืชที่ร่วงหล่นทุกปีตลอดอายุการเก็บเกี่ยวที่มากกว่า 20 ปีนี้ที่เป็นแหล่งอินทรียวัตถุที่สำคัญในสวนยางพารา กระบวนการย่อยสลายซากพืชจะมีขั้นตอนหลักๆ อยู่ 2 ขั้นตอนคือ การแตกหักของซากพืชโดยสัตว์หน้าดินจำพวกผู้บริโภคซากอินทรีย์ (detritivores) (Vos et al., 2011; Yang et al., 2012; Handa et al., 2014) ทำให้มีขนาดเล็กลงเพื่อง่ายต่อการย่อยสลายของพวกจุลินทรีย์ และเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสให้แก่พวกจุลินทรีย์ดิน จุลินทรีย์กลุ่มผู้ย่อยสลายอย่างแบคทีเรียและราจะทำการย่อยสลายซากพืชที่แตกหักแล้วปลดปล่อยธาตุอาหารพืช เช่น แอมโมเนียม ฟอสเฟต น้ำ และคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา (Swift et al., 1979; Cadish and Giller 1997) การกัดกินซากพืชของสัตว์หน้าดินมีการปล่อยปลดธาตุอาหารพืชออกมาด้วย หรือเปลี่ยนรูปสารอินทรีย์ให้เป็นธาตุอาหารพืชในรูปที่เป็นประโยชน์ เช่น มูลไส้เดือนดิน (earthworm cast) จะเห็นได้ว่าสัตว์หน้าดินเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญต่อกระบวนการย่อยสลายซากพืช (Meentemeyer, 1978; Seastedt et al., 1983; Cadish and Giller, 1997; Finzi et al., 2001; González and Seastedt, 2001; Bradford et al., 2002) การศึกษาถึงปริมาณ ความหลากหลาย และกิจกรรมของสัตว์หน้าดินในพืชเศรษฐกิจที่เป็นไม้ยืนต้นอายุเก็บเกี่ยวนานยังมีการศึกษาอยู่น้อย การศึกษาส่วนใหญ่เป็นการศึกษาในทุ่งหญ้า การปลูกพืชแบบวนเกษตร และพืชล้มลุกที่มีอายุสั้น (Barros et al., 2002; Deyn et al., 2003; Zhu and Zhu 2015) ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาความหนาแน่น ความหลากหลาย และกิจกรรมของสัตว์หน้าดินในสวนยางพารา 3 ช่วงอายุคือ 6-8 ปี, 15-17 ปี และมากกว่า 25 ปี เพื่อนำข้อมูลเหล่านี้ไปใช้ในการจัดการสวนยางพาราให้เกิดประโยชน์อย่างคุ้มค่า ทำให้เกษตรกรสามารถจัดการความอุดมสมบูรณ์ของดินเช่น การใส่ปุ๋ย การปรับปรุงบำรุงดิน และการจัดการอินทรียวัตถุในดินสวนยางพาราได้อย่างเหมาะสม รวมถึงการลดการใช้ปุ๋ยเคมี

วิธีการศึกษา

พื้นที่ศึกษา

การศึกษาสัตว์หน้าดินในครั้งนี้ได้ทำการศึกษาในสวนยางพาราของเกษตรกร ณ ตำบลลาดกระทิง อำเภอสนามชัยเขต จังหวัดฉะเชิงเทรา ในเดือนพฤศจิกายน 2558 ซึ่งอยู่ในช่วงปลายฤดูฝน มีปริมาณน้ำฝน 95.6 มม. (ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยเดือนกันยายน – พฤศจิกายน 189.73 มม.) อุณหภูมิเฉลี่ย 27.4 °C (อุณหภูมิเฉลี่ยเดือนกันยายน – พฤศจิกายน 27.3 °C) โดยการเก็บตัวอย่างแบ่งเป็น 3 ช่วงอายุของต้นยาง คือ สวนยางพาราอายุ 6-8 ปี (อายุยางพาราก่อน

เปิดกรีด; before tapping) สวนยางพาราอายุ 15-17 ปี (อายุยางช่วงเปิดกรีดเมื่อเติบโตเต็มที่; tapping) และสวนยางพาราอายุมากกว่า 25 ปี (อายุยางใกล้โค่น; before replanting) แต่ละอายุมีการเก็บตัวอย่างดินแปลงละ 3 จุด ทำการวิเคราะห์ค่า pH (Mclean, 1982) วิเคราะห์ค่าการนำไฟฟ้าของดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (ทัศนีย์ และจงรักษ์, 2542) วิเคราะห์ปริมาณอินทรียวัตถุด้วยวิธีของ Walkley และ Black (Walkley and Black, 1934) วิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ด้วยเครื่อง Organic elemental analyzer (Thermo Fisher Scientific Inc., Germany) วิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ด้วยวิธี Bray II (Bray and Kurzt, 1945) วิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ โดยการสกัดด้วย NH_4OAc วิเคราะห์ปริมาณแคลเซียมและปริมาณแมกนีเซียม ด้วยเครื่อง Atomic absorption spectrophotometer (Varian AA-220., USA) วิเคราะห์ปริมาณอนุภาคทราย อนุภาคทรายแป้งและอนุภาคดินเหนียวด้วย Hydrometer (Bouyoucos, 1962)

การประเมินความหนาแน่นและความหลากหลายของสัตว์หน้าดิน

การประเมินความหนาแน่นและความหลากหลายของสัตว์หน้าดินด้วยวิธี Tropical soil biology and fertility (TSBF) (Anderson and Ingram, 1993) ในแต่ละแปลงจะสุ่มเก็บตัวอย่าง 3 จุด โดยเลือกบริเวณที่ทำการสุ่มให้กระจายทั่วแปลง ได้แก่ บริเวณหัว กลาง และท้ายแปลง ทำการสุ่มตัวอย่างแบบวางแปลง (Quadrat sampling method) ซึ่งจะใช้กรอบสี่เหลี่ยมขนาดความกว้าง 25 ซม. ความยาว 25 ซม. ความลึก 10 ซม. สุ่มวางบริเวณที่เลือกไว้และทำการเก็บตัวอย่างสัตว์หน้าดินในชั้นซากพืชที่ทับถมภายในกรอบสี่เหลี่ยม จากนั้นขุดดินภายใต้กรอบสี่เหลี่ยมความลึก 10 ซม. (Figure 1) เพื่อเก็บตัวอย่างสัตว์หน้าดินที่สังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่าในดินระดับ 0-10 ซม. ไว้ในเอทานอลบริสุทธิ์ (absolute ethanol) จากนั้นนำสัตว์หน้าดินในเอทานอลมาแยกชนิดนับจำนวน และประเมินความหลากหลายของสัตว์หน้าดินในห้องปฏิบัติการ (Swift and Bignell, 2001) ภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบ stereo (Nikon SMZ 745T model, Japan)

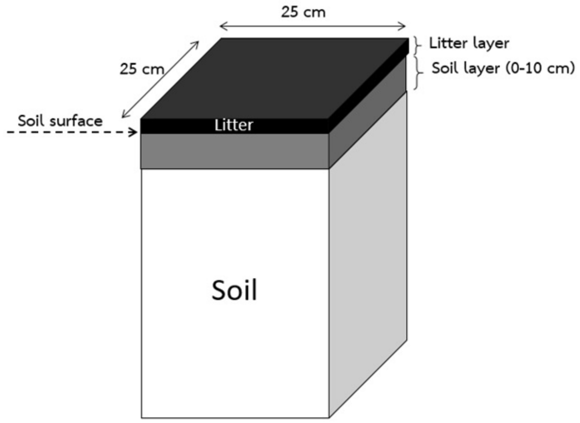

Figure 1 Schematic of soil and litter layer for collecting, identifying and counting soil fauna

การประเมินกิจกรรมของสัตว์หน้าดิน

ทำการประเมินกิจกรรมของสัตว์หน้าดินด้วยวิธีสังเกตลักษณะของซากพืชที่สะสมบนผิวดิน (litter description) (Ponge, 1999; Zanella et al., 2011) ด้วยวิธีการสุ่มด้วยกรอบสี่เหลี่ยมขนาดความกว้าง 25 ซม. และความยาว 25 ซม. โดยในแต่ละแปลงจะสุ่มเก็บตัวอย่าง 3 จุด ซึ่งพื้นที่ที่สุ่มนี้จะอยู่ไม่ไกลจากบริเวณที่เก็บตัวอย่างสัตว์หน้าดิน หลังจากการสุ่มเลือกด้วยกรอบสี่เหลี่ยมจะนำซากพืชทั้งหมดในกรอบสี่เหลี่ยมมาทำการคัดแยกด้วยมือตามลักษณะ หลังจากนั้นนำตัวอย่างซากพืชมาอบที่อุณหภูมิ 65°C 24 ซม. จากนั้นนำมาชั่งน้ำหนัก คำนวณน้ำหนักแห้งต่อพื้นที่ 1 ตร.ม. และคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของแต่ละลักษณะ โดยรายละเอียดของทั้ง 6 ลักษณะ มีดังนี้

1) entire leaves คือใบที่ยังมีเนื้อใบอยู่มากกว่า 50% 2) skeletonize leaves คือใบที่เนื้อใบโดนย่อยสลายจนเห็นเส้นใบ และ เส้นกลางใบ โดยมีเนื้อใบเหลืออยู่น้อยกว่า 50% 3) fragment leaves คือใบที่โดนย่อยทั้งเนื้อใบ และเส้นใบจนเหลือน้อยกว่า 50% 4) wood คือส่วนของกิ่งและก้านที่ร่วงหล่นมาทับถมบนผิวดินรวมทั้งผลของยางพาราด้วย 5) earthworm cast คือมูลไส้เดือนดินมีลักษณะคล้ายดินเป็นก้อนเล็กๆ บนผิวดิน 6) compacted litter คือชิ้นส่วนใบที่ถูกย่อยสลายเป็นชิ้นเล็กชิ้นน้อยแล้วอัดตัวรวมกันด้วยกระบวนการทางชีวภาพ

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

คำนวณหาความหนาแน่นสัตว์หน้าดินต่อพื้นที่ 1 ตร.ม. และวิเคราะห์ดัชนีความร่ำรวยของชนิดด้วย richness index ซึ่งเป็นค่าดัชนีที่แสดงจำนวนของชนิดสัตว์หน้าดินทั้งหมดที่พบ ค่าดัชนีความสม่ำเสมอของชนิดด้วยวิธีของ Pielou (Begon et al., 1996) โดยค่าดัชนีความสม่ำเสมอจะมีค่าสูงเมื่อพบสัตว์หน้าดินแต่ละชนิดมีจำนวนประชากรใกล้เคียงกัน และค่าดัชนีความหลากหลายด้วยวิธีของ Shannon (Magurran, 1988) เป็นค่าที่แสดงความหลากหลายของกลุ่มสังคมสัตว์หน้าดิน โดยขึ้นอยู่กับจำนวนชนิดและความสม่ำเสมอของแต่ละชนิด จากนั้นวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance, ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างทรีตเมนต์โดยใช้วิธี Least Significant Difference (LSD)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

สมบัติดินของพื้นที่ทำการทดลอง

พื้นที่ทั้งหมดในการศึกษานี้อยู่ในชุดดินกบินทร์บุรี (Kb) ซึ่งมีลักษณะดินแบบ clayey-skeletal, kaolinitic, isohyperthermic Typic Paleustults มีค่า pH ระหว่าง 4.48-4.83 อยู่ในระดับกรดจัดมาก ค่าการนำไฟฟ้าของดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำอยู่ระหว่าง 0.58-1.09 เดซิซีเมนส์/ม. อยู่ในระดับไม่เค็ม ปริมาณอินทรียวัตถุอยู่ระหว่าง 1.50-2.52 % อยู่ในระดับปานกลาง ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดอยู่ระหว่าง 0.07-0.11 % ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ระหว่าง 8.10-18.50 มก./กก. โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ระหว่าง 1.50-2.52 มก./กก. (**Table 1**) และนอกจากนี้ยังมีปริมาณแคลเซียมอยู่ระหว่าง 291.17-348.33 มก./กก. ปริมาณแมกนีเซียมอยู่ระหว่าง 53.67-71.00 มก./กก. ปริมาณอนุภาคทรายอยู่ระหว่าง 57.96-59.29 % ปริมาณอนุภาคทรายแป้งอยู่ระหว่าง 18.77-22.77 % และปริมาณอนุภาคดินเหนียวอยู่ระหว่าง 17.93-22.60 % ซึ่งจัดอยู่ในเนื้อปานกลาง ระหว่างดินร่วนปนทรายถึงดินร่วนเหนียวปนทราย

Table 1 Soil properties of 6-8, 15-17, and > 25 year-old rubber plantations. Numbers represented mean± SD, n=3.

Soil properties	Rubber plantation age (year-old)		
	6-8	15-17	>25
pH (1:1)	4.48±0.29	4.83±0.55	4.58±0.48
ECe (dS/m)	0.58±0.13	0.70±0.13	1.09±0.13
OM (%)	1.50±0.26	2.13±0.53	2.52±0.08
Total N (%)	0.07±0.02	0.10±0.03	0.11±0.02
Available P (mg/kg)	18.50±3.28	51.00±79.68	13.83±10.61
Exchangeable K (mg/kg)	48.10±6.27	92.30±33.45	66.95±6.27

ความหนาแน่นและความหลากหลายของสัตว์หน้าดินในสวนยางพารา 3 ช่วงอายุ

จากการศึกษาสัตว์หน้าดินในสวนยางพารา 3 ช่วงอายุ พบสัตว์หน้าดินทั้งหมด 18 อันดับ (Figure 2) ประกอบด้วยอันดับ (order) อารัคเน่ (Araneae), แบลตทาเรีย (Blattaria), โคลีออพเทอร่า (Coleoptera), คอลเล็มโบล่า (Collembola), ดิพพลูร่า (Diplura), ดิพเทอร์ร่า (Diptera), จีโอฟิโลมอร์ฟา (Geophilomorpha), กลอเมอริดา (Glomerida), ไฮเมนนอพเทอร่า (Hymenoptera), ไอโซโพดา (Isopoda), ไอซอพเทอร่า (Isoptera), โอลิโกแซทา (Oligochaeta), ออร์ทอพเทอร่า (Orthoptera), โพลีเดสมิดา (Polydesmida), ไคโซไมดา (Schizomida), ซิมไฟลา (Symphyla), ไทแซนอพเทอร่า (Thysanoptera) และเวทิแก๊สโทรพดา (Vetigastropoda) โดยความหนาแน่นของสัตว์หน้าดินที่ระดับความลึก 0-10 ซม. มีมากกว่าสัตว์หน้าดินในชั้นซากพืช (litter layer) (Figure 3) ซึ่งในชั้นซากพืชพบสัตว์หน้าดินทั้งหมด 12 อันดับ (Figure 4) โดยพบอันดับ Coleoptera และ Orthoptera ในชั้นซากพืชมากกว่าในชั้นดินอย่างเด่นชัด ส่วนในดินพบสัตว์หน้าดินทั้งหมด 15 อันดับ (Figure 5) เมื่อพิจารณาความหนาแน่นของสัตว์หน้าดินโดยรวมจะพบว่าความหนาแน่นของสัตว์หน้าดินเพิ่มขึ้นตามอายุของสวนยางพาราอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยที่สวนยางพาราอายุมากกว่า 25 ปี จะมีความหนาแน่นของสัตว์หน้าดินมากที่สุดถึง 1,563 ตัว/ตร.ม. ส่วนสวนยางพาราอายุ 15-17 ปี จะมีความหนาแน่นลดลงเหลือ 489 ตัว/ตร.ม. และสวนยางพาราอายุ 6-8 ปี มีความหนาแน่นของสัตว์หน้าดินน้อยที่สุดที่ 252 ตัว/ตร.ม. (Table 2) ซึ่งมีความแตกต่างจากการทดลองของ Gilot et al. (1995) ที่ได้ทำการศึกษากิจกรรมทางชีวภาพภายใต้สวนยางพาราในสาธารณรัฐโกตดิวัวร์ พบว่า ความหนาแน่นของสัตว์หน้าดินเพิ่มขึ้นในช่วง 10 ปี แรก จากนั้นจะลดลงจนถึงอายุ 20 ปี เช่นเดียวกับการทดลองในสวนโกโก้แบบวนเกษตร พบว่ามีความหนาแน่นของสัตว์หน้าดินลดลงตามอายุของพืช (Kilowasid et al., 2013) ซึ่งแตกต่างจากการทดลองในครั้งนี้เช่นกัน และชนิดสัตว์หน้าดินที่พบมากในสวนยางพาราทั้ง 3 ช่วงอายุ คือ สัตว์หน้าดินในอันดับ Hymenoptera (มด), Isoptera (ปลวก) และ Oligochaeta (ไส้เดือนดิน) (Figure 2) ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่ม soil ecosystem engineer ที่ช่วยรักษาโครงสร้างดินและเพิ่มความเสถียรภาพของเม็ดดิน (Jones et al. 1994, Anderson 1995) โดยพบว่ามดจะมีความหนาแน่นลดลง เมื่อสวนยางพารามีอายุมากขึ้น ขณะที่ไส้เดือนดินจะมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นตามอายุของสวนยางพาราจนถึงอายุ 15 ปี จากนั้นความหนาแน่นของไส้เดือนดินจะลดลง ซึ่งตรงข้ามกับผลการทดลองของ Chaudhuri et al. (2013) ที่รายงานว่า ความหนาแน่นของไส้เดือนดินมีมากขึ้นเมื่ออายุของสวนยางพาราเพิ่มขึ้นจนกระทั่งสวนยางพารามีอายุ 25 ปี ส่วนปลวกมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นถึง 1,161 ตัว/ตร.ม. ในสวนยางพาราอายุมากกว่า 25 ปี ซึ่งเพิ่มขึ้นถึง 25 เท่าเมื่อเปรียบเทียบกับสวนยางพาราอายุ 6-8 ปี และเพิ่มขึ้นถึง 11 เท่าเมื่อเปรียบเทียบกับสวนยางพาราอายุ 15-17 ปี ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากปลวกเป็นสัตว์หน้าดินที่สามารถย่อยสลายซากพืชพวกกิ่ง ก้านได้ อีกทั้งกิ่ง ก้านเหล่านี้ต้องใช้เวลาในการย่อยสลายนานกว่าส่วนอื่นของพืช ทำให้เกิดการสะสมของกิ่งก้านที่เป็นอาหารของปลวก สัตว์หน้าดินกลุ่มนี้จึงมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ซึ่งสอดคล้องกับผลการประเมินกิจกรรมสัตว์หน้าดินที่พบ wood ในปริมาณน้อยกว่าที่พบในสวนยางพาราช่วงอายุ 6-8 ปี และ15-17 ปี จากการศึกษาสัตว์หน้าดินในสวนยางพาราทั้ง 3 ช่วงอายุ พบว่า สวนยางพาราอายุ 6-8, 15-17 และมากกว่า 25 ปี พบสัตว์หน้าดินทั้งหมด 12, 15 และ 13 อันดับตามลำดับ ซึ่งมีกลุ่มประชากรหลักที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน คือสัตว์หน้าดินในอันดับ Hymenoptera, Isoptera และ Oligochaeta โดยในสวนยางพาราอายุ 6-8 ปี พบกลุ่มประชากรในทั้ง 3 อันดับดังกล่าวคิดเป็น 41.55, 16.20 และ 25.35%ของประชากรทั้งหมดตามลำดับ ในสวนยางพาราอายุ 15-17 ปี พบกลุ่มประชากรในอันดับดังกล่าวคิดเป็น 25.09, 21.45 และ 34.91% ของประชากรทั้งหมด ตามลำดับ และ ในสวนยางพาราอายุมากกว่า 25 ปี พบกลุ่มประชากรในอันดับดังกล่าวคิดเป็น 9.22, 74.29 และ 9.78% ของประชากรทั้งหมด ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ดัชนีความร่ำรวยของชนิด (Richness index) ดัชนีความสม่ำเสมอ (Pielou’s evenness index) และดัชนีความหลากหลาย (Shannon’s diversity index) (Table 2) พบว่าดัชนีความร่ำรวยของชนิด และดัชนีความสม่ำเสมอมีค่าลดลงเมื่อสวนยางพารามีอายุมากขึ้น โดยดัชนีความสม่ำเสมอของสัตว์หน้าดิน

ในสวนยางพาราอายุ 6-8 ปีมีค่าสูงที่สุด และมากกว่าสวนยางพาราอายุมากกว่า 25 ปี อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) ซึ่งอธิบายได้ว่าสวนยางพาราที่มีอายุระหว่าง 6-8 ปีมีปริมาณของสัตว์หน้าดินแต่ละชนิดใกล้เคียงกัน (มีความสม่ำเสมอ) มากกว่าสวนยางพาราอายุมากกว่า 25 ปี แต่อย่างไรก็ตามในสวนยางพาราอายุ 15-17 ปี มีดัชนีความหลากหลายสูงขึ้นจากสวนยางพาราที่มีอายุระหว่าง 6-8 ปี และลดลงเมื่อสวนยางพารามีอายุมากกว่า 25 ปี ซึ่งแตกต่างกับการศึกษาในโกโก้ที่มีดัชนีความร่ำรวยของชนิดใกล้เคียงกันตลอดจนถึงอายุ 16 ปี ส่วนดัชนีความสม่ำเสมอมีค่าลดลงจนถึงอายุ 10 ปี แล้วมีค่าเพิ่มขึ้นจนถึงอายุ 16 ปี ขณะที่ความหลากหลายของสัตว์หน้าดินในโกโก้มีค่าลดลงจนถึงอายุ 7 ปี จากนั้นมีค่าสูงขึ้นจนถึงอายุ 16 ปี (Kilowasid et al., 2013) สำหรับการศึกษาในครั้งนี้ที่พบว่าความหลากหลายของสัตว์หน้าดินลดลงอาจเนื่องมาจากการปลูกสวนยางพาราเป็นระยะเวลานานทำให้เกิดการคัดเลือก (selective) ตามสภาพแวดล้อมของกลุ่มสัตว์หน้าดินที่มีความจำเพาะกับประเภทของซากยางพาราที่ร่วงหล่นสะสมซึ่งเป็นแหล่งอาหารหลักของสัตว์หน้าดินในบริเวณนั้นๆ

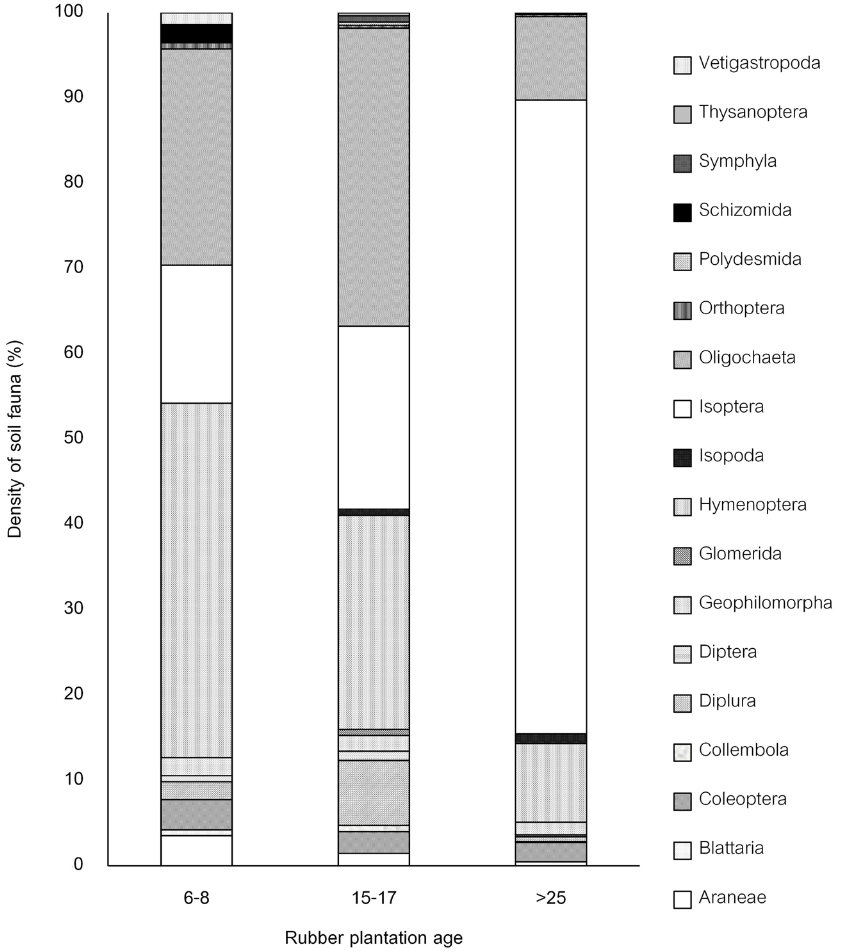

Figure 2 Percentage of soil fauna group abundance (in 1 m^2) in litter layer and soil layer (0-10 cm depth) in 6-8, 15-17 and >25 year-old rubber plantations.

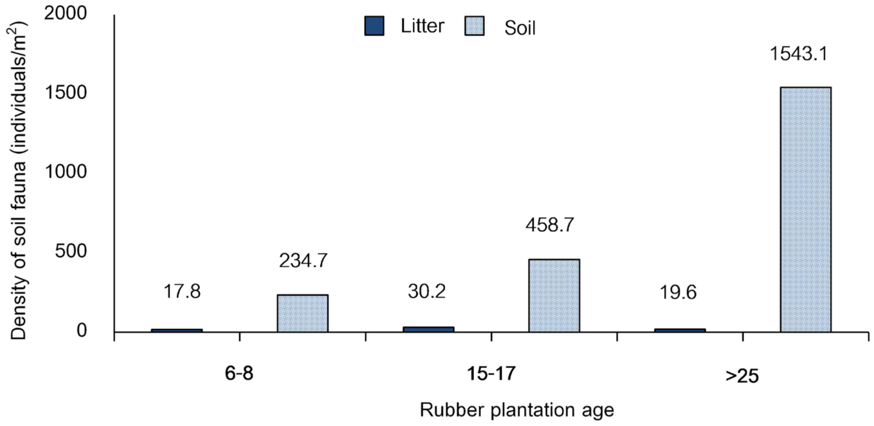

Figure 3 Total abundance of soil fauna density (individuals/m^2) in litter and soil layer (0-10 cm depth) in 6-8, 15-17 and >25 year-old rubber plantations.

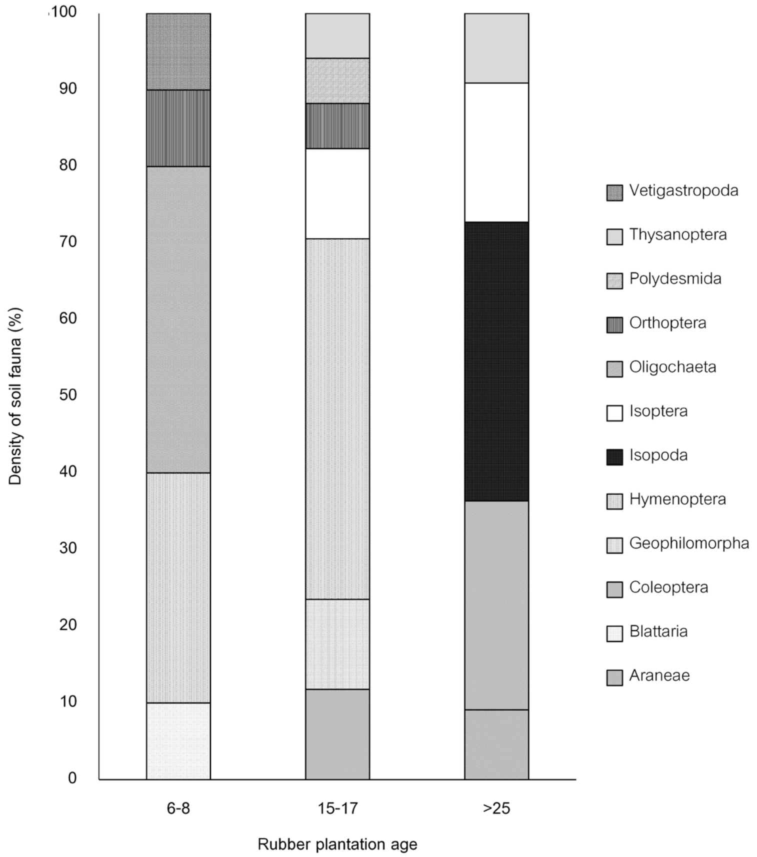

Figure 4 Percentage of soil fauna group abundance (in 1 m^2) in litter layer in 6-8, 15-17 and >25 year-old rubber plantations.

กิจกรรมของสัตว์หน้าดินในสวนยางพารา 3 ช่วงอายุ

สวนยางพาราทุกช่วงอายุจะมี earthworm cast, wood, และ fragment leaves ในปริมาณที่มากกว่าซากพืชในลักษณะอื่น โดย earthworm cast พบมากที่สุดในสวนยางพาราอายุมากกว่า 25 ปี (64.77%) รองลงมาคือ สวนยางพาราช่วงอายุ 15-17 ปี (48.54%) และ 6-8 ปี (18.15%) (Figure 5) ถึงแม้ว่าจากการศึกษาความหลากหลายของสัตว์หน้าดิน จะพบปริมาณไส้เดือนดินในสวนยางพาราช่วงอายุ 15-17 ปี มากที่สุด รองลงมาคือ สวนยางพาราช่วงอายุ 6-8 ปี และมากกว่า 25 ปี แต่ปริมาณ earthworm cast ที่พบมากในสวนยางพาราอายุมากกว่า 25 ปีนั้นอาจจะเกิดจากการสะสมโดยกิจกรรมของไส้เดือนดิน สำหรับ wood พบว่าในสวนยางพาราช่วงอายุ 6-8 ปี (32.61%) และ 15-17 ปี (39.87%) มีปริมาณใกล้เคียงกัน ในขณะที่ปริมาณ wood ในสวนยางพาราอายุมากกว่า 25 ปี พบปริมาณน้อยที่สุด (19.06%) ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณปลวกที่พบว่า มีความหนาแน่นมากที่สุดในสวนยางพาราอายุมากกว่า 25 ปี ทั้งนี้เนื่องจากปลวกมีความสามารถในการย่อยสลายกิ่ง ก้าน (wood) ได้ดีกว่าสัตว์หน้าดินชนิดอื่น ส่วน fragment, skeletonized, และ compacted litter จะพบปริมาณมากที่สุดในสวนยางพาราช่วงอายุ 6-8 ปี และพบปริมาณน้อยที่สุดในสวนยางพาราช่วงอายุ 15-17 ปี แสดงว่าซากพืชถูกย่อยสลายกลายเป็นอินทรียวัตถุได้ดีในช่วงอายุ 15-17 ปี และมีปริมาณใกล้เคียงกับสวนยางพาราอายุมากกว่า 25 ปี ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณอินทรียวัตถุในดินที่เพิ่มขึ้นจากสวนยางพาราช่วงอายุ 6-8 ปี ถึงสวนยางพาราช่วงอายุ 15-17 ปี (42%) และเพิ่มขึ้นจากสวนยางพาราช่วงอายุ 15-17 ปี ถึงสวนยางพาราอายุมากกว่า 25 ปี (18%)

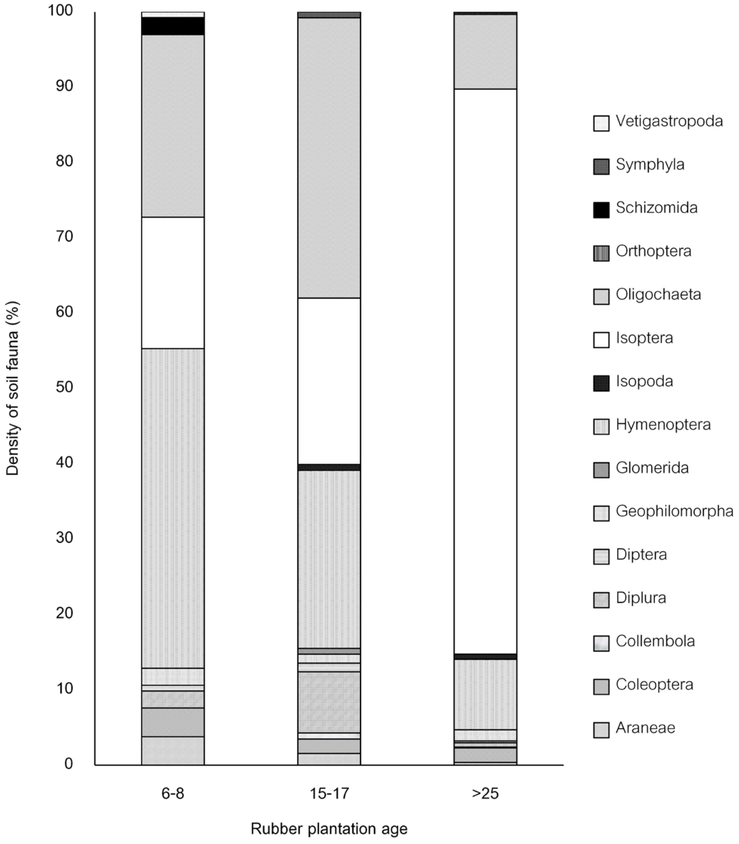

Figure 5 Percentage of soil fauna group abundance (in 1 m^2) in soil layer (10 cm depth) in 6-8, 15-17 and >25 year-old rubber plantations.

Table 2 The density, Richness, Pielou's evenness and Shannon's diversity index of soil fauna in the experiment areas. Numbers represented mean± SD, n=9. Test of LSD at P<0.05 (*P<0.05; ns-not significant)

Soil fauna data	Rubber plantation age (year-old)			LSD	P-value
	6-8	15-17	>25		
Total (individual/m^2)	252±62.24b	489±82.59b	1,563±497.49a	*	0.0184
Richness index	1.19±0.60	1.16±0.40	0.77±0.31	ns	0.0562
Pielou's evenness index	0.87±0.12a	0.76±0.13ab	0.58±0.24b	*	0.0129
Shannon's diversity index	1.16±0.41	1.32±0.31	1.03±0.45	ns	0.2917

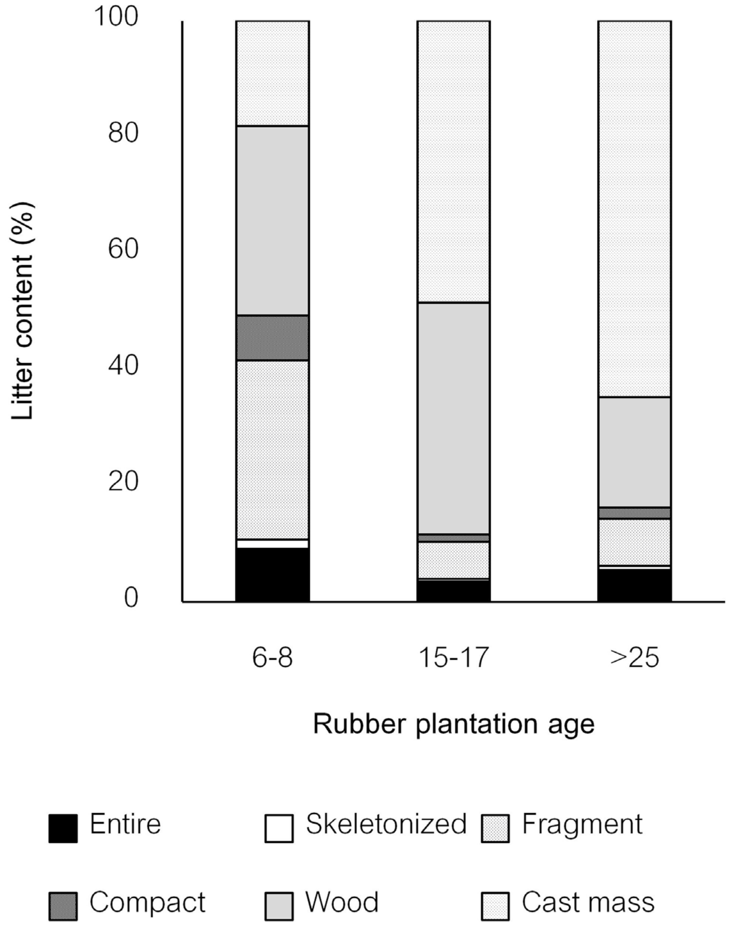

Figure 6 Activity of soil fauna from 6 types of litter description (entire leaves, skeletonized leaves, fragment leaves, compacted litter, wood and earthworm cast) in 6-8, 15-17 and >25 year-old rubber plantations

สรุป

สวนยางพาราของเกษตรกรในอำเภอสนามชัยเขต จังหวัดฉะเชิงเทรา ที่มีอายุมากขึ้น ความหนาแน่นของสัตว์หน้าดินก็จะเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งตรงกันข้ามกับความหลากหลายของสัตว์หน้าดินจะลดลงเมื่อสวนยางพารามีอายุมากขึ้น โดยสัตว์หน้าดินส่วนใหญ่ที่พบอยู่ในกลุ่มของ soil ecosystem engineer จำพวกมด ปลวก และไส้เดือนดิน โดยจะพบปลวกเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนในสวนยางพาราที่อายุมาก ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษากิจกรรมของสัตว์หน้าดินที่พบ wood ในสวนยางพาราอายุมากกว่า 25 ปีน้อยที่สุด แต่เมื่อพิจารณาดัชนีความหลากหลายพบว่าสวนยางพาราช่วงอายุ 15-17 ปีมีค่ามากที่สุด และพบ fragment leaves, skeletonized leaves, และ compacted litter ปริมาณน้อยที่สุดในสวนยางพาราช่วงอายุ 15-17 ปี ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีกิจกรรมของสัตว์หน้าดินมากที่สุดในการย่อยสลายซากใบให้เป็นอินทรียวัตถุในดิน ส่งผลให้ปริมาณอินทรียวัตถุในสวนยางพาราช่วงอายุ 15-17 ปี มีปริมาณเพิ่มขึ้นจากสวนยางพาราช่วงอายุ 6-8 ปี ถึง 42% ขณะที่ในสวนยางพาราอายุมากกว่า 25 ปี มีปริมาณอินทรียวัตถุเพิ่มขึ้นจากสวนยางพาราช่วงอายุ 15-17 ปี เพียง 18% ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณ fragment leaves, skeletonized leaves, และ compacted litter ที่พบในสวนยางพาราช่วงอายุ 15-17 ปีมีความใกล้เคียงกับสวนยางพาราอายุมากกว่า 25 ปี (2.5% และ 2.1% อินทรียวัตถุตามลำดับ) อย่างไรก็ตามสัตว์หน้าดินเป็นเพียงปัจจัยหนึ่งในการขับเคลื่อนกระบวนการย่อยสลายซากพืช ยังมีอีกหลายปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการย่อยสลายซากพืช เช่น คุณภาพซากพืช สภาพแวดล้อมโดยรอบอย่างอุณหภูมิและความชื้นในดิน หรือร่มเงาของต้นพืชที่ปลูกร่วม เป็นต้น ดังนั้นหากต้องการประเมินสถานการณ์การย่อยสลายซากพืชควรต้องมีการศึกษาปัจจัยอื่นร่วมด้วย

คำขอบคุณ

งานวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากโครงการปริญญาเอกกาญจนาภิเษก รุ่นที่ 17 (เลขที่สัญญา PHD/0136/2557) และขอขอบคุณวิทยากรและผู้เข้าร่วมการฝึกอบรม “Soil biodiversity training” ที่ช่วยสนับสนุนและดำเนินการให้การทดลองสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

ทัศนีย์ อัตตะนันทน์ และ จงรักษ์ จันทร์เจริญสุข. 2542. แบบฝึกหัดและคู่มือปฏิบัติการ วิเคราะห์ดินและพืช. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

Anderson, J.M. 1995. Soil organisms as engineers: microsite modulation of macroscale processes. P.94-106. In: C.G. Jones, and J.H. Lawton. Linking Species to Ecosystems. Chapman and Hall, New York

Anderson, J.M., and J. Ingram. 1993. Tropical Soil Biology and Fertility, A handbook of methods, 2nd eds., C.A.B., Oxford, UK.

Barros, E., B. Pashanasi, R. Constantino, and P. Lavelle. 2002. Effects of land-use system on the soil macrofauna in western Brazilian Amazonia. Biol Fertil Soils. 35: 338-347.

Begon, M., J.L. Harper, and C.R. Townsend. 1996. Ecology: individuals, populations and communities. 3rd eds. Blackwell Science. Oxford, UK.

Bouyoucos, G.J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. Agron. J. 54: 464-465.

Bradford, M.A., G.M. Tordof, T. Eggers, H. Jones, and J.E. Newington. 2002. Microbiota, fauna, and mesh size interaction in litter decomposition. Oikos. 99: 317-323.

Brady, N.C., and R.R. Weil. 2017. The nature and properties of soil. 15th eds. Pearson Education, Inc., USA.

Bray, R.H., and L.T. Kurtz. 1945. Determination of total, organic, and available forms of phosphorus in soils. Soil Science. 59: 39-45.

Cadish, G., and K.E. Giller. 1997. Driven by Nature. Plant Litter Quality and Decomposition. CAB International, Wallingford.

Chaudhuri, P.S., S. Bhattacharjee, A. Dey, S. Chattopadhyay, and D. Bhattacharya. Impact of age of rubber (*Hevea brasiliensis*) plantation on earthworm communities of West Tripura (India). J. Environ. Biol. 34: 59-65.

Deyn, G.B.D., C.E. Raaijmakers, H.R. Zoomer, M.P. Berg, P.C. de Ruiter, H.A. Verhoef, T.M. Bezemer and W. H. van der Putten. 2003. Soil invertebrate fauna enhances grassland succession and diversity. Nature. 422: 711-713.

Filzek, P.D.B., D.J. Spurgeon, G. Broll, C. Svendsen, and P.K. Hankard 2004. Metal effects on soil invertebrate feeding: Measurements using the bait lamina method. Ecotoxicology 13: 807-816.

Finzi, A.C., A.S. Allen, E.H. DeLucia, D.S. Ellsworth, and W.H. Schlesinger 2001. Forest litter production, chemistry, and decomposition following two years of free-air C02 enrichment. Ecology. 82: 470-484.

Geissen, V., and G.W. Brummer. 1999. Decomposition rates and feeding activities of soil fauna in deciduous forest soils in relation to soil chemical parameters following liming and fertilization. Biol. Fertility Soils. 29: 335-342.

Gilot, C., P. Lavelle., E. Blanchart, J. Keli, P. Kouassi, and G. Guillaume. 1995. Biological activity of soil under rubber plantations in Côte d'Ivoire. 1995. Acta. Zool. Fennica. 196: 186-189.

Gongalsky, K.B., T. Persson, and A.D. Pokarzheuskii. 2008. Effects of soil temperature and moisture on the feeding activity of soil animals as determined by the baitlamina test. Appl. Soil Ecol. 39: 84-90.

Gongalsky, K.B., A.D. Pokarzhevskii, Z.V. Filimonova, and F.A. Savin. 2004. Stratification and dynamics of bait-lamina perforation in three forest soils along a northsouth gradient in Russia. Appl. Soil Ecol. 25: 111-122.

González, G., and T.R. Seastedt. 2001. Soil fauna and plant litter decomposition in tropical and subalpine forests. Ecology. 82: 955-964

Hamel, C., M.P. Schellenberg, K. Hanson, and H. Wang. 2007. Evaluation of the "baitlamina test" to assess soil microfauna feeding activity in mixed grassland. Appl. Soil Ecol. 36: 199-204.

Handa, I.T., R. Aerts, F. Berendse, M.P. Berg, A. Bruder, O. Butenschoen, E. Chauvet, M.O. Gessner, J. Jabiol M. Makkonen, B.G. McKie, B. Malmqvist, E.T.H.M. Peeters, S. Scheu, B. Schmid, J. van Ruijven, V.C.A. Vos, and S. Hättenschwiler. 2014. Consequences of biodiversity loss for litter decomposition across biomes. Nature. 509: 218-221.

Helling, B., G. Pfeiff, and O. Larink. 1998. A comparison of feeding activity of collembolan and enchytraeid in laboratory studies using the bait-lamina test. Appl. Soil Ecol. 7: 207-212.

Jones, C.G., J.H. Lawton, and M. Shachak. 1994. Organisms as ecosystem engineers. Oikos. 69: 373-386.

Kibblewhite, M.G., K. Ritz, and M.J. Swift. 2008. Soil health in agricultural systems. Phil. Trans. R. Soc. B. 363: 685-701.

Kilowasid, L.M.H., T.S. Syamsudin, F.X. Susilo, E. Sulistyawati, and H. Syaf. 2013. Characteristics of Soil Fauna Communities and Habitat in Small-Holder Cocoa Plantation in South Konawe. J. Trop. Soils. 18: 149-159.

Magurran, A.E. 1988. Ecological diversity and its measurement. Princeton University, Princeton, New Jersey, USA.

Mclean, E.O. 1982. Soil pH and Lime Requirement, P.199-209. In: A.L. Page. Method of Soil Analysis Part 2: Chemical and Microbiological Properties 2 nd. Soil Science Society of America Inc., Wisconsin.

Meentemeyer, V. 1978. Macroclimate and lignin control of litter decomposition dynamics. Ecology. 59: 465-472.

Osler, G.H.R., and M. Sommerkorn. 2007. Toward a complete soil C and N cycle: Incorporating the soil fauna. Ecology. 88: 1611-1621.

Ponge, J.F. 1999. Horizons and Humus Forms in Beech Forests of the Belgian Ardennes. Soil Sci. Soc. Am. J. 63: 1888-1901.

Rombke J., H. Hofer, M.V.B. Garcia, and C. Martius. 2006. Feeding activities of soil organisms at four different forest sites in central amazonia using the bait lamina method. J. Trop. Ecol. 22: 313-320.

Seastedt, T.R., D.A. Crossley, V. Meentemeyer, and J.B. Waide. 1983. A two-year study of leaf litter decomposition as related to microclimatic factors and microarthropod abundance in the southern Appalachians. Holoartic. Ecol. 6: 11-16.

Shorrocks, V.M. 1965. Mineral nutrition, growth and nutrient cycle of Hevea brasiliensis. I. Growth and nutrient content. Journal of rubber research institute of Malaya. 19: 32-42.

Swift, M.J., O.W. Heal, and J.M. Anderson. 1979. Decomposition in Terrestrial Ecosystems. University of California Press, Berkley.

Swift, M., and D. Bignell. 2001. Standard methods for assessment of soil biodiversity and land use practice. International Centre for Research in Agroforestry Southeast Asian Regional Research Programme, Bogor, Indonesia.

Vos, V.C., J.van Ruijven, M.P. Berg, E.T. Peeters, and F. Berendse. 2011. Macro-detritivore identity drives leaf litter diversity effects. Oikos. 120: 1092-1098.

Yang, X., Z. Yang, M.W. Warren, and J. Chen. 2012. Mechanical fragmentation enhances the contribution of Collembola to leaf litter decomposition. Eur. J. Soil Biol. 53: 23-31.

Walkley, A., and I. A. Black. 1934. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science. 37: 29-37.

Watson, G.A. 1964. Maintenance of soil fertility in the permanent cultivation of *Hevea brasiliensis* in Malaya. Journal of rubber research institute of Malaya. 16: 103-109.

Zanella, A., B. Jabiol, J.F. Ponge, G. Sartori, R. De Waal, B. Van Delft, U. Graefe, N. Cools, K. Katzensteiner, H. Hager, M. Englisch, A. Brethes, G. Broll, J.M. Gobat, J.J. Brun G. Milbert, E. Kolb, U. Wolf, L. Frizzera, P. Galvan, R. Kolli, R. Baritz, R. Kemmers , A. Vacca, G. Serra , D. Banas, A. Garlato, S. Chersich, E. Klimo, and R. Langohr. 2011. EUROPEAN HUMUS FORMS REFERENCE BASE. Available: http://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00541496/. Accessed 1 April 2011.

Zhu, X., and B. Zhu. 2015. Diversity and abundance of soil fauna as influenced by long-term fertilization in cropland of purple soil, China. Soil Tillage Res. 146: 39-46.