

กิจกรรมการหาอาหารตามฤดูกาลและชนิดของปลวกที่พบในพื้นที่ป่าในเมือง

Seasonal foraging activity and composition of termites in an urban-forest mosaic

ณัฏฐา วัฒนธำเน่น¹, Chun-I Chiu^{2*} และ ยูวธิดา ศรีพลแทน^{1*}

Chatchaton Wanthathaeen¹, Chun-I Chiu^{2*} and Yuwatida SriPontan^{1*}

¹ สาขาวิชาภูมิวิทยาและโรคพืชวิทยา คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ขอนแก่น 40002

¹ Department of Entomology and Plant Pathology, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University, Khon Kaen, 40002

² ภาควิชาภูมิวิทยาและโรคพืชวิทยา คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50200

² Department of Entomology and Plant Pathology, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai, 50200

บทคัดย่อ: กิจกรรมการหาอาหารตามฤดูกาลของแมลงมีความสำคัญในแง่การพยากรณ์การระบาดของชนิดแมลงศัตรู โดยอุณหภูมิต่ำในฤดูหนาวมีผลทำให้กิจกรรมการเผาผลาญพลังงานของแมลงลดลง อย่างไรก็ตามในพื้นที่เขตร้อนที่ไม่มีฤดูหนาวที่แท้จริงแมลงจะอาศัยการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ความชื้น และปริมาณน้ำฝนในการทำหนดการเปลี่ยนผืนตามฤดูกาล เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของฤดูกาลที่มีผลต่อกิจกรรมการหาอาหารของปลวกในพื้นที่เขตร้อนได้ทำการติดตั้งกับดักปลวกใต้ดินจำนวน 150 กับดัก ในพื้นที่ป่าในเมืองจังหวัดขอนแก่น ประเทศไทย โดยมีการตรวจสอบกับดักทุก 2 สัปดาห์เพื่อติดตามความหลากหลายของปลวกเป็นเวลา 1 ปี จากผลการศึกษาพบปลวกทั้งหมด 16 ชนิด โดยในช่วงฤดูฝนมีความหลากหลายและความอุดมสมบูรณ์ของปลวก 13 ชนิดจาก 6 สกุล ในวงศ์ย่อย Macrotermitinae ซึ่งปลวกสกุล *Microtermes* เป็นชนิดเด่นที่สุดและพบมากที่สุดตลอดทั้งปี รองลงมาคือ *Macrotermes*, *Odontotermes*, *Ancistrotermes*, *Microcerotermes* และ *Globitermes* ตามลำดับ สำหรับฤดูหนาวพบปลวกเพียง 5 สกุล โดยไม่พบสกุล *Microcerotermes* ส่วนในฤดูร้อนความอุดมสมบูรณ์ของชนิดปลวกต่ำสุดเพียง 10 ชนิดจาก 6 สกุล ในวงศ์ย่อย Macrotermitinae และ Nasutitermitinae โดยพบปลวกสกุล *Microtermes* มากที่สุด รองลงมาคือ *Ancistrotermes*, *Macrotermes*, *Odontotermes*, *Microcerotermes* และ *Nasutitermes* ตามลำดับ นอกจากนี้ความแตกต่างของฤดูกาลยังมีผลต่อกิจกรรมการหาอาหารของปลวกทั้งในปลวกขนาดเล็ก *Microtermes*, *Ancistrotermes* และ *Odontotermes* ในส่วนปลวกขนาดใหญ่ *Macrotermes* พบว่ามีกิจกรรมการหาอาหารสูงสุดในช่วงฤดูฝน ดังนั้นจึงเป็นไปตามสมมติฐานที่ว่ากิจกรรมการหาอาหารของปลวกมีการผันแปรไปตามฤดูกาลและปัจจัยทางสภาพแวดล้อมที่ส่งผลกระทบต่อกิจกรรมการหาอาหารของปลวกในพื้นที่เขตร้อน

คำสำคัญ: ความหลากหลาย; เขตร้อน; ประเทศไทย; Macrotermitinae; กับดักปลวก

ABSTRACT: Seasonality of insects' foraging activity is necessary for predicting the occurrence of pest species and is generally related to the low temperature in winter which reduces insects' metabolism. However, in tropical areas, there is no winter, and insects' seasonality is proposed driven by seasonal variation of rainfall, temperature, and humidity. To understand the seasonality of termites' foraging activity in tropical area, we installed a total of 150 underground traps in an urban-forest mosaic area, Khon Kaen Province, Thailand. The traps were examined every 2 weeks to monitor termite occurrence for one year. Our results showed that a total of 16 termite species occur in underground traps. High diversity and abundance of 13 species 6 genera in subfamily Macrotermitinae. *Microtermes* are the most prominent species that can occur all year round, followed by *Macrotermes*, *Odontotermes*, *Ancistrotermes*, *Microcerotermes*, and *Globitermes* were observed in wet-hot season. In the cool-dry season, only 5 genera of termites were occurred, without *Microcerotermes*. In the hot-dry season, low abundance of termite species, with only 10 species 6 genera in the subfamily Macrotermitinae and Nasutitermitinae. *Microtermes* were

* Corresponding author: yuwasr@kku.ac.th, chuni.chiu@cmu.ac.th

Received: date; December 14, 2022 Accepted: date; March 1, 2023 Published: date; May 10, 2023

found the most, followed by *Ancistrotermes*, *Macrotermes*, *Odontotermes*, *Microcerotermes*, and *Nasutitermes*. In addition, seasonality differences affect the termites' foraging activity, especially in smaller termites for *Microtermes*, *Ancistrotermes*, and *Odontotermes*, as well as the large termites *Macrotermes* high foraging activity in the hot-wet season. Therefore, does support the hypothesis that termite foraging activity varies with season and environmental factors influencing termite foraging activity in tropical areas.

Keywords: diversity; tropical area; Thailand; Macrotermitinae; termite trap

บทนำ

การเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลเป็นปรากฏการณ์ทั่วไปในกลุ่มสิ่งมีชีวิตจำพวกแมลง (Wolda and Wong, 1988) ความอุดมสมบูรณ์ของแมลงขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น การเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศและความอุดมสมบูรณ์ของอาหาร (Wolda, 1988) ซึ่งแมลงส่วนใหญ่รวมทั้งปลวกตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของฤดูกาลทั้งในทางนิเวศวิทยา พฤติกรรม และระดับกิจกรรม (Wolda, 1988; Pinheiro et al., 2002; Barrow and Parr, 2008) ปลวก (Blattodea: Termitidae) จัดเป็นแมลงที่มีความเป็นอยู่แบบสังคม (Social insects) และมีความหลากหลายอย่างมากโดยมีการค้นพบกว่า 2,937 ชนิดทั่วโลก (Krishna et al., 2013) ปลวกถือเป็นผู้ย่อยสลายหลักในระบบนิเวศและช่วยหมุนเวียนธาตุอาหารภายในดิน แม้ว่าปลวกจะมีประโยชน์มากมายแต่บางชนิดสามารถสร้างความเสียหายอย่างรุนแรงแก่พืชผล ป่าไม้ อาคารบ้านเรือน ตลอดจนสิ่งก่อสร้างและวัสดุสิ่งของต่างๆ ที่ทำด้วยไม้หรือเซลลูโลส (Su and Scheffrahn, 2000; Stansly et al., 2001; Rouland-Lefevre, 2011; Zorzenon and Campos, 2015) นอกจากนี้ปลวกมีการกินอาหารที่หลากหลาย เช่น ไม้ อินทรียวตฤ ดิน หญ้า ใบไม้ เชื้อรา สาหร่าย ไส้คน มูลสัตว์ และเศษซากต่างๆ (Abe, 1987; Eggleton and Tayasu, 2001) โดยปลวกแต่ละชนิดจะมีพฤติกรรมและช่วงเวลาการหาอาหารที่แตกต่างกันออกไป ยกตัวอย่างเช่น *Macrotermes carbonarius* (Hagen) จะหาอาหารในช่วงฤดูแล้งเท่านั้น (Dry season) และเฉพาะในช่วงเวลากลางคืน ซึ่งปลวกชนิดนี้เป็นชนิดเดียวที่หาอาหารในบริเวณที่โล่งแจ้ง (Materu et al., 2013) ในทางตรงกันข้าม *Macrotermes bellicosus* (Smeathman) มีกิจกรรมการหาอาหารตลอดทั้งปี แต่จะพบมากในช่วงฤดูฝน (Wet season) (Korb and linsenmair, 2001) ซึ่งกิจกรรมการออกหาอาหารของปลวกขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยทั้งอุณหภูมิและความชื้นในสภาพแวดล้อม โดยจะสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลรวมถึงความพร้อมของแหล่งอาหาร (Janzen, 1973; Korb and linsenmair, 2001) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงฤดูกาลในภูมิภาคที่มีสภาพอากาศอยู่ในเขตร้อน เขตอบอุ่น และเขตร้อนจะมีความแตกต่างกันอย่างมาก (Scholes, 1997) แต่สำหรับประเทศไทยที่มีตำแหน่งที่ตั้งของภูมิภาคอยู่ในเขตร้อนใกล้กับบริเวณเส้นศูนย์สูตร สภาพอากาศโดยทั่วไปจึงมีความร้อนอบอ้าวเกือบตลอดทั้งปีอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดปีของประเทศไทยอยู่ที่ 27.46°C ซึ่งไม่ได้แตกต่างกันมากกับอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงฤดูหนาว (25.63°C) (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2565) อาจกล่าวได้ว่าประเทศไทยไม่มีฤดูหนาวที่แท้จริง ในส่วนการแพร่ระบาดของปลวกสามารถพบได้ทั่วไปในเขตร้อนและเขตกึ่งร้อน (Bignell and Eggleton, 2000) สอดคล้องกับลักษณะสภาพอากาศและการแพร่กระจายของปลวกที่พบได้ในทุกภูมิภาคของประเทศไทย จากรายงานของ Ahmad (1965) พบความหลากหลายของปลวกจำนวน 74 ชนิด ต่อมา Morimoto (1973) ได้รายงานจำนวนชนิดของปลวกที่พบในประเทศไทยรวมทั้งสิ้น 90 ชนิด จนถึงปัจจุบัน Sornnuwat et al. (2004) พบความหลากหลายของปลวกจำนวน 199 ชนิดจาก 39 สกุล นอกจากนั้นการขยายตัวของพื้นที่ป่าสู่การเปลี่ยนแปลงเป็นพื้นที่ชุมชนขนาดเล็กจนถึงชุมชนเมืองขนาดใหญ่ ในปัจจุบันมีความสัมพันธ์กับกิจกรรมการหาอาหารของปลวกในแต่ละชนิด (กระทรวงมหาดไทย, 2539) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ป่าสู่การเป็นพื้นที่ชุมชนเป็นลักษณะของสภาพพื้นที่ป่าในเมือง (Urban-forest mosaic) โดยเป็นพื้นที่ที่มีพืชพรรณตั้งอยู่ในบริเวณที่อยู่อาศัยของมนุษย์อย่างหนาแน่น ตั้งแต่ชุมชนขนาดเล็กถึงชุมชนขนาดใหญ่รวมไปจนถึงป่าในเมืองที่ใช้ประโยชน์ในเชิงเศรษฐกิจ (Miller, 1996) ดังนั้นการเข้าใจความสัมพันธ์ของกิจกรรมการหาอาหารของปลวกตามฤดูกาลจึงเป็นสิ่งจำเป็นที่จะสามารถคาดการณ์การแพร่ระบาดของศัตรูพืชและแนวโน้มการเข้าทำลายของปลวกในอนาคต การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างฤดูกาลและกิจกรรมการหาอาหารของปลวกทั้งในฤดูร้อน (Hot-Dry season) ฤดูฝน (Hot-Wet season) และฤดูหนาว (Cool-Dry season) เพื่อทดสอบสมมติฐาน 2 ข้อ: (1) กิจกรรมการหาอาหารของปลวกมีการเปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาล (2) ปัจจัยทางสภาพแวดล้อมส่งผลกระทบต่อกิจกรรมการหาอาหารของปลวก ซึ่งในพื้นที่เขตร้อนไม่มีฤดูหนาวที่แท้จริงจึงใช้ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำฝน

อุณหภูมิ และความชื้นเพื่ออธิบายการเปลี่ยนแปลงพันธุกรรม โดยการศึกษาจะสามารถคาดการณ์การระบาดของปลวกได้ในอนาคต และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการควบคุมกำจัด เป็นข้อมูลพื้นฐานในการศึกษารวมไปจนถึงการเลือกช่วงเวลาการเก็บตัวอย่างที่เหมาะสมกับความหนาแน่นของประชากรปลวกในชนิดที่ต้องการศึกษาต่อไป

วิธีการศึกษา

พื้นที่ศึกษาและการเก็บตัวอย่างปลวก

การศึกษาความแตกต่างของกิจกรรมการหาอาหารของปลวกในแต่ละฤดูกาลใช้วิธีการสุ่มแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely randomized design, CRD) เพื่อเลือกพื้นที่ในการติดตั้งกับดักปลวกในเขตจังหวัดขอนแก่น ประเทศไทย รวมทั้งหมด 15 สภาพพื้นที่ (Table 1) ซึ่งองค์ประกอบหลักในแต่ละพื้นที่ศึกษาคือไม้ยืนต้นและครอบคลุมป่าในเมืองที่มีการใช้ประโยชน์จากสภาพพื้นที่แตกต่างกัน ประกอบด้วยป่าในเมืองที่มีการปลูกต้นไม้เพื่อปรับปรุงทัศนียภาพ ความสวยงาม และความร่มรื่น เช่น สวนในเมือง หรือพื้นที่สีเขียวบริเวณรอบอาคารสิ่งปลูกสร้าง ป่าในเมืองเพื่ออนุรักษ์ธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมโดยมีลักษณะเป็นป่าประเภทป่าเต็งรังที่ตั้งอยู่ในพื้นที่เขตเมือง และป่าในเมืองที่มีการใช้ประโยชน์ระหว่างพื้นที่สีเขียวร่วมกับการปลูกพืช เช่น แปลงอ้อย มันสำปะหลัง ข้าวโพด เป็นต้น โดยในแต่ละสภาพพื้นที่ศึกษามีระยะห่างกันมากกว่า 100 ม. กับดักปลวกถูกดัดแปลงจากวิธีการของ Su et al. (1996) ทำจากกล่องพลาสติกขนาดความยาว 21.1 ซม. ความกว้าง 16.5 ซม. และสูง 10.8 ซม. ด้านล่างของกล่องตัดเป็นรูสี่เหลี่ยมจัตุรัสเพื่อเป็นทางเข้าออกของปลวก ภายในกล่องบรรจุม้วนกระดาษขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 13 ซม. สูง 9.8 ซม. (Figure 1A) จากนั้นฝังกับดักปลวกใต้ดินลึก 10 ซม. โดยแต่ละกับดักเว้นระยะห่างกัน 5 ม. ในหนึ่งสถานที่ประกอบด้วย 10 กับดัก (Figure 1B) หลังจากติดตั้งกับดักปลวกจะทำการเก็บข้อมูลทุกๆ 2 สัปดาห์ บันทึกข้อมูลกิจกรรมการหาอาหารของปลวกประเมินจากผลของการเข้าทำลายม้วนกระดาษในกับดักปลวกใต้ดิน ซึ่งหากพบการกินของปลวกในกับดักหมายถึงปลวกมีกิจกรรมการหาอาหารเกิดขึ้นและเปลี่ยนม้วนกระดาษหากพบการกินมากกว่า 50% จากนั้นเก็บตัวอย่างปลวก 30 ตัว/กับดัก (วรรณะทหาร 15 ตัว และวรรณะกรรมกร 15 ตัว) ใส่ในขวดตวงแมลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 ซม. สูง 5 ซม. ภายในบรรจุแอลกอฮอล์ 60% เพื่อนำมาระบุชนิดในห้องปฏิบัติการ โดยติดตั้งกับดักปลวกเดือนสิงหาคม 2564 ถึงเดือนสิงหาคม 2565 รวมระยะเวลา 1 ปี ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ฤดูกาล ได้แก่ ฤดูร้อน (Hot-Dry season) (กลางเดือนกุมภาพันธ์-กลางเดือนพฤษภาคม) ฤดูฝน (Hot-Wet season) (กลางเดือนพฤษภาคม-กลางเดือนตุลาคม) และฤดูหนาว (Cool-Dry season) (กลางเดือนตุลาคม-กลางเดือนกุมภาพันธ์) โดยมีการเก็บข้อมูลอุณหภูมิ ความชื้น และปริมาณน้ำฝนตลอดทั้งปีโดยใช้สถานีตรวจวัดสภาพแวดล้อม (Weather station) U30-NRC-SYS-C เชื่อมต่อเข้ากับโปรแกรม HOBOware Pro (V.3.7.23) ที่ตำแหน่ง GPS: 16.4731555555556°N; 102.811772222222°E

Table 1 The sampling localities of termites

Location	Latitude	Longitude
1	16.47423056°N	102.8186694°E
2	16.47217778°N	102.8176°E
3	16.45947222°N	102.8151194°E
4	16.45766667°N	102.8161306°E
5	16.45576944°N	102.81555°E
6	16.47903889°N	102.809175°E
7	16.47886944°N	102.8120389°E
8	16.47901944°N	102.8236111°E
9	16.47665556°N	102.8198167°E
10	16.476525°N	102.8247056°E
11	16.46979444°N	102.8088889°E
12	16.47213056°N	102.8093611°E
13	16.47291111°N	102.8094472°E
14	16.47614722°N	102.8097639°E
15	16.47683611°N	102.8114139°E

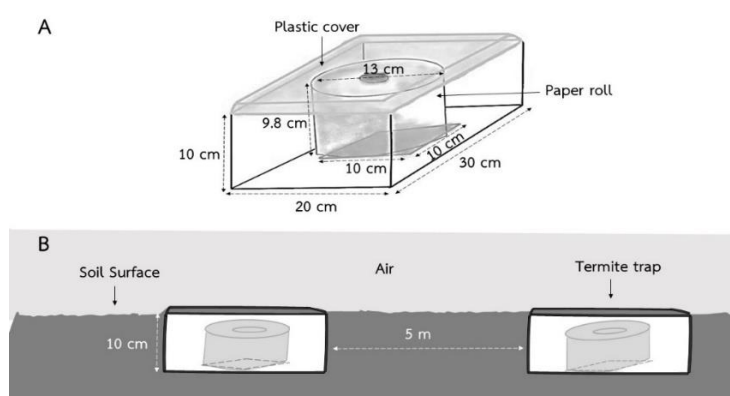


Figure 1 The underground monitoring stations for trapping termites, with a paper roll placed inside as lure, the bottom of the underground station was cut off allowing termites to access the paper roll (A). Method to install traps, traps were installed with a depth of 10 cm and a 5-meter interval (B).

การจำแนกชนิดปลวก

นำตัวอย่างปลวกที่ได้จากการเก็บรวบรวมในแต่ละสัปดาห์มายังห้องปฏิบัติการเพื่อจำแนกชนิด โดยใช้ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของปลวกวรรณะทหารอย่างน้อย 10 ตัว/กับดัก เพื่อตรวจสอบชนิดปลวกที่พบ เกณฑ์การจัดจำแนกตามหลักการของ Sornnuwat et al. (2004) และ Ahmad (1965) โดยใช้กล้อง Nikon SMZ 745T stereomicroscope (งานวิจัยนี้ผ่านการพิจารณาของคณะกรรมการกำกับดูแลการดำเนินการต่อสัตว์เพื่องานทางวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, จส.มข. 23/65)

การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติประกอบด้วย

1. วิเคราะห์ความแตกต่างของปัจจัยทางสภาพแวดล้อมในแต่ละฤดูกาล ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้น และปริมาณน้ำฝน โดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey's HSD ในโปรแกรม Statistix 10 (v.4.08) ที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ($P<0.01$)

2. การเปรียบเทียบร้อยละของกิจกรรมการหาอาหารของปลวกต่อพื้นที่ในแต่ละฤดูกาล

เนื่องจากเมื่อพบการกินหรือการปรากฏของปลวกในกับดัก หมายถึงปลวกมีกิจกรรมการหาอาหารเกิดขึ้น ดังนั้นการวิเคราะห์ข้อมูลจึงใช้การคำนวณจากจำนวนครั้งที่พบการปรากฏของปลวกในกับดัก (พบ=1 และ ไม่พบ=0) จากทั้งหมด 15 พื้นที่ศึกษา โดยวิเคราะห์เป็นค่าเฉลี่ยต่อพื้นที่ศึกษาในแต่ละฤดูกาล จากนั้นนำข้อมูลข้างต้นมาใช้ในการวิเคราะห์ร้อยละของกิจกรรมการหาอาหารของปลวก โดยมีวิธีการคำนวณดังต่อไปนี้

$$\text{ร้อยละของกิจกรรมการหาอาหารของปลวกต่อพื้นที่ในแต่ละฤดูกาล} = \frac{\text{จำนวนครั้งการปรากฏของปลวกในกับดักต่อพื้นที่ในแต่ละฤดูกาล}}{\text{ผลรวมจำนวนครั้งการปรากฏของปลวกในกับดักต่อพื้นที่ตลอดระยะเวลา 1 ปี}} \times 100\%$$

จากนั้นเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey's HSD ในโปรแกรม Statistix 10 (v.4.08) ที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ($P<0.01$)

3. วิเคราะห์ความแตกต่างและความหนาแน่นของสกุลและชนิดปลวกที่พบในแต่ละฤดูกาล โดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ปัจจัยทางสภาพแวดล้อม

ฤดูกาลมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิและความชื้นในสภาพแวดล้อม การเปรียบเทียบความแตกต่างของอุณหภูมิในแต่ละฤดูกาลพบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงฤดูฝนและฤดูร้อนไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่มีความแตกต่างกับอุณหภูมิในฤดูหนาวอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P<0.01$) โดยอุณหภูมิเฉลี่ยในฤดูฝน ฤดูร้อน และฤดูหนาว อยู่ที่ 28.33 ± 5.81 , 27.57 ± 3.02 และ $24.82\pm 7.21^{\circ}\text{C}$ ตามลำดับ (Figure 2A) การเปรียบเทียบปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ พบว่ามีความชื้นสัมพัทธ์สูงสุดในช่วงฤดูฝน แต่ในช่วงฤดูร้อนและฤดูหนาวความชื้นสัมพัทธ์ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P<0.01$) โดยความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยของฤดูฝน ฤดูร้อน และฤดูหนาว อยู่ที่ 82.78 ± 5.81 , 72.76 ± 9.08 และ $69.44\pm 7.21\%$ ตามลำดับ (Figure 2B) ในช่วงฤดูฝนมีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 206.55 ± 72.4046 มม./เดือน แตกต่างทางสถิติกับฤดูร้อนและฤดูหนาวโดยมีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยอยู่ที่ 51.28 ± 19.55 มม./เดือน และ 14.58 ± 18.53 มม./เดือน ตามลำดับ (Figure 2C) โดยจะเห็นว่าช่วงฤดูฝนมีอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่าฤดูร้อนและฤดูหนาวสอดคล้องกับ Choosai et al. (2009) พบว่าช่วงฤดูฝน (Wet season) ตั้งแต่เดือนมิถุนายน-พฤศจิกายนในพื้นที่จังหวัดขอนแก่น มีอุณหภูมิตั้งแต่ $25-33^{\circ}\text{C}$ ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 82% และมีปริมาณน้ำฝนอยู่ที่ 1300 มม. ซึ่งเพิ่มขึ้นจากฤดูแล้งกว่า 90% โดยในช่วงฤดูแล้ง (Dry season) มีอุณหภูมิตั้งแต่ $16-30^{\circ}\text{C}$ และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 70% จะเห็นว่าปัจจัยทางสภาพแวดล้อมโดยเฉพาะปริมาณน้ำฝนจะมีผลต่อทั้งอุณหภูมิและความชื้นภายในดินซึ่งจะทำให้อุณหภูมิดินลดลงและเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ภายในดิน ซึ่งปัจจัยดังกล่าวนี้ส่งผลต่อการเพิ่มกิจกรรมการหาอาหารของปลวกใต้ดิน (Collin et al., 1973; La Fage et al., 1976; Black and Wood, 1989)

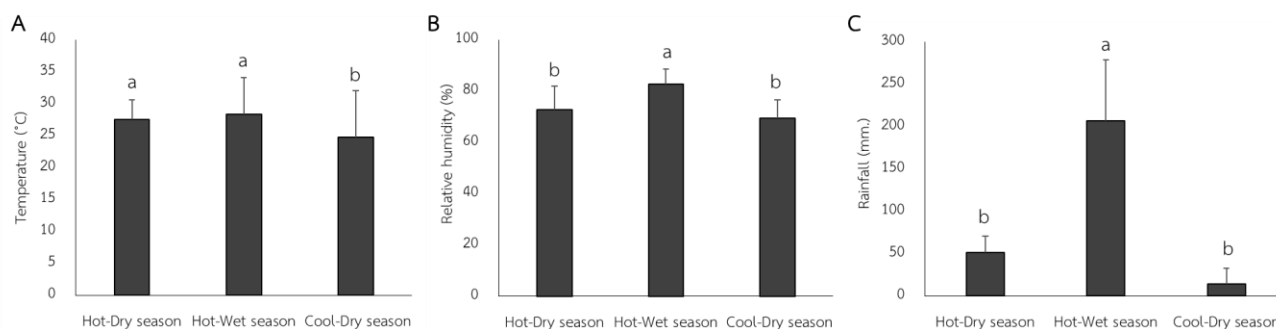


Figure 2 Temperature (A) and relative humidity (B) rainfall (C) in each season. Data are presented as mean $\pm$ SD, bars with the same lowercase letter are not significantly different at $P > 0.01$ (Tukey's HSD)

ความแตกต่างของฤดูกาลที่มีผลต่อกิจกรรมการหาอาหารและการปรากฏของชนิดปลวก

จากการติดตามกิจกรรมการหาอาหารของปลวกใต้ดินตลอดระยะเวลา 1 ปี พบการปรากฏของปลวกทั้งหมด 16 ชนิด อยู่ในวงศ์ Termitidae ประกอบด้วย 7 สกุล ได้แก่ *Macrotermes*, *Microtermes*, *Odontotermes*, *Ancistrotermes*, *Microcerotermes*, *Nasutitermes* และ *Globitermes* ซึ่งใกล้เคียงกับการศึกษาของ Davies (1997) ได้ศึกษาความหลากหลายของปลวกในพื้นที่ป่าเต็งรัง (Dry deciduous dipterocarp forest) อุทยานแห่งชาติดอยสุเทพ-ปุย ภาคเหนือของประเทศไทย โดยพบปลวกทั้งหมด 16 ชนิด และปลวกที่พบส่วนใหญ่จัดอยู่ในวงศ์ Termitidae เช่นเดียวกัน ผลการศึกษาพบว่าในช่วงฤดูฝนปลวกมีกิจกรรมการหาอาหารสูงสุดประมาณ 56.56% เมื่อเทียบกับฤดูกาลอื่นซึ่งมากกว่าฤดูหนาวและฤดูร้อนกว่า 2 เท่า โดยมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P < 0.01$) ส่วนในฤดูหนาวและฤดูร้อนพบว่ากิจกรรมการหาอาหารของปลวกต่ำสุดอยู่ที่ 22.51% และ 20.92% (Figure 3) ในทำนองเดียวกัน Davies et al. (2015) พบว่าการเปลี่ยนแปลงของฤดูกาลมีผลต่อความหนาแน่นของชนิดปลวกโดยปลวกมีความหนาแน่นสูงสุดในช่วงฤดูฝน (Wet season) และช่วงเปลี่ยนผ่านฤดูกาล (Transitional season) จากผลการศึกษาในช่วงฤดูฝน (Hot-Wet season) พบการปรากฏของปลวกทั้งหมด 13 ชนิด (Figure 4B) จาก 6 สกุล โดยมีร้อยละของกิจกรรมการหาอาหารที่เกิดขึ้นในกับดักใต้ดินสูงสุดในปลวกสกุล *Microtermes* (43.53%) รองลงมาคือสกุล *Macrotermes* (26.18%), *Odontotermes* (19.24%), *Ancistrotermes* (9.78%), *Microcerotermes* (0.94%) และ *Globitermes* (0.31%) ตามลำดับ (Figure 4A และ Figure 8) ส่วนในช่วงฤดูหนาว (Cool-Dry season) พบปลวกจำนวน 13 ชนิด (Figure 5B) จาก 5 สกุล โดยมีร้อยละของกิจกรรมการหาอาหารที่เกิดขึ้นในกับดักใต้ดินสูงสุดในปลวกสกุล *Microtermes* (31.74%) รองลงมาคือสกุล *Macrotermes* (30.15%), *Odontotermes* (19.04%), *Ancistrotermes* (18.25%) และ *Globitermes* (0.79%) ตามลำดับ (Figure 5A และ Figure 8) โดยไม่พบปลวกสกุล *Microcerotermes* ส่วนในช่วงฤดูร้อน (Hot-Dry season) พบว่ามีความอุดมสมบูรณ์ของชนิดปลวกลดน้อยที่สุด โดยพบปลวกเพียง 10 ชนิด (Figure 6B) จาก 6 สกุล โดยพบการหาอาหารสูงสุดในสกุล *Microtermes* (53.33%) รองลงมาคือ *Ancistrotermes* (20.83%), *Macrotermes* (13.33%), *Odontotermes* (10%), *Microcerotermes* (1.66%) และน้อยที่สุดในสกุล *Nasutitermes* (0.83%) ซึ่งพบการหาอาหารเฉพาะในฤดูร้อนเท่านั้น (Figure 6A และ Figure 8)

จากผลการศึกษาพบว่าฤดูกาลส่งผลต่อปลวกแต่ละชนิดแตกต่างกัน อย่างเช่น การสูญเสียในปลวกขนาดเล็กและปลวกขนาดใหญ่ การแสดงออกของพฤติกรรมหาอาหารทั้งการสร้างท่อพักพิงและระยะทางในการเดินทางหาอาหารรวมทั้งความพร้อมของแหล่งอาหารและประเภทของอาหาร สำหรับปลวกขนาดเล็ก ได้แก่ *Microtermes*, *Ancistrotermes* และ *Odontotermes* พบว่ามีกิจกรรมการหาอาหารเพิ่มสูงขึ้นในช่วงฤดูฝน (Figure 7) โดยเฉพาะปลวก *Microtermes* sp. สามารถพบได้ตลอดทั้งปี แต่ในช่วงฤดูร้อนจะพบมากที่สุดเมื่อเทียบกับปลวกชนิดอื่นในฤดูกาลเดียวกันอยู่ที่ 53.33% (Figure 6) รองลงมาคือฤดูฝน 43.53% (Figure 4) และน้อยที่สุดในฤดูหนาว 31.74% (Figure 5) จากการสังเกตร้อยละของกิจกรรมการหาอาหารของปลวกแต่ละชนิดที่เกิดขึ้นในกับดักพบว่า *Microtermes* sp. หาอาหารสูงสุดในทุกฤดูกาล รองลงมาคือ *Ancistrotermes* sp. พบมากเป็นอันดับที่ 2 ทั้งในช่วงฤดูร้อนและ

ฤดูหนาว (Figure 5, 6) ผลการศึกษาสอดคล้องกับ Mora et al. (1996) ศึกษากิจกรรมการหาอาหารและการเข้าทำลายของปลวก *Microtermes subhyalinus* Silvestri ในพื้นที่แปลงอ้อยพบว่าปลวกมีกิจกรรมการหาอาหารและสร้างความเสียหายอย่างรุนแรงในช่วงฤดูแล้ง (Dry season) เนื่องจากในช่วงฤดูแล้งนั้นเป็นช่วงที่พืชมีการเจริญเติบโตเต็มที่และสภาพแวดล้อมของแปลงอ้อยมีการให้น้ำแก่พืชอย่างสม่ำเสมอจึงทำให้มีความชื้นสูงในสภาพแวดล้อมและมีความพร้อมของแหล่งอาหารที่เหมาะสมต่อการหาอาหารของปลวก ซึ่งโดยทั่วไปกิจกรรมการหาอาหารของปลวกใต้ดิน (Subterranean termites) มักจะเพิ่มขึ้นตามระดับความชื้นสัมพัทธ์ที่สูงขึ้น (Evans, 2003; Su and Puche, 2003; Kulis et al., 2008) และอุณหภูมิดินส่งผลต่อการหาอาหารของปลวก (Ueckert et al., 1976; Johnson et al., 1981) ในทำนองเดียวกัน Collins (1977) ศึกษากิจกรรมการหาอาหารและการเข้าทำลายของปลวกโดยใช้เหยื่อล่อในพื้นที่เขตรักษาพันธุ์พืชทุ่งหญ้าสะวันนา พบว่ากิจกรรมการหาอาหารของปลวกมีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลโดยปลวกสกุล *Microtermes*, *Ancistrotermes* และ *Odontotermes* มีการหาอาหารสูงสุดในช่วงฤดูฝน (Wet season) สอดคล้องกับปริมาณน้ำฝนในช่วงฤดูฝนมีค่าเฉลี่ยสูงที่สุด นอกจากนี้มีการศึกษาที่คล้ายกันพบว่ารูปแบบกิจกรรมการหาอาหารของปลวกสกุล *Microtermes*, *Odontotermes*, *Allodotermes* และ *Ancistrotermes* มักจะสูงสุดในช่วงฤดูฝน (Wet season) และลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อเข้าสู่ช่วงฤดูแล้ง (Dry season) (Collins, 1981) เนื่องจากปลวกในกลุ่มนี้เป็นปลวกที่มีขนาดเล็ก ดังนั้นความทนทานต่อการสูญเสียน้ำของปลวกจึงอยู่ในระดับที่ต่ำ (Woon et al., 2019) โดยปลวกจะสูญเสียน้ำผ่านทางผนังลำตัวเป็นหลักซึ่งมีความสัมพันธ์กับขนาดลำตัว ลักษณะของผนังลำตัว และองค์ประกอบภายในชั้นผนังลำตัว ปลวกที่มีขนาดเล็กจะมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของความชื้นในสภาพแวดล้อม (Chown et al., 2011; Bujan et al., 2016) ปลวกบางชนิดจึงมีการปรับตัวเพื่อให้สามารถหาอาหารได้นานขึ้น ยกตัวอย่างเช่น *Odontotermes* spp. หาอาหารโดยการสร้างท่อพักพิงเพื่อลดการสูญเสียน้ำในร่างกาย นอกจากนี้ท่อพักพิงยังสามารถทนทานต่อหยดน้ำในขณะที่ยังฝนตก (Chiu et al., 2018) จึงส่งผลให้กิจกรรมการหาอาหารเพิ่มสูงขึ้นในช่วงฤดูฝน ในทางกลับกันแมลงที่มีขนาดใหญ่กว่ามักสามารถกักเก็บน้ำในร่างกายไว้ได้มากกว่า อีกทั้งการมีไขมันที่มากกว่าจะทำให้สามารถเปลี่ยนเป็นน้ำจากกระบวนการเมแทบอลิซึมได้มากกว่าจึงมีความทนทานต่อการสูญเสียน้ำได้สูง (Hadley, 1994) รวมไปถึงลักษณะของผนังลำตัว ปลวกที่มีผนังลำตัวบางจะไม่สามารถกักเก็บน้ำไว้ได้หากอยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น แต่ในทางตรงกันข้ามปลวกที่มีร่างกายแบบ sclerotization จะช่วยให้ปลวกสามารถทนทานต่อการสูญเสียน้ำได้เพิ่มมากขึ้นเนื่องจากความหนาและความแข็งของผนังลำตัว (Appel and Tanley, 1999; Singh et al., 2009) รวมไปถึงองค์ประกอบภายในชั้นผนังลำตัว ปลวกที่มีโครงสร้างผนังลำตัวชั้น wax layer ที่หนาและผนังลำตัวมีความแข็งจะสามารถทนทานต่อการสูญเสียน้ำได้มากกว่า (Zukowski and Su, 2020) อย่างไรก็ตามสำหรับปลวกขนาดใหญ่ *Macrotermes* พบว่ากิจกรรมการหาอาหารเพิ่มสูงขึ้นในช่วงฤดูฝนเช่นเดียวกับปลวกขนาดเล็ก (Figure 7) แต่พบว่าปลวกในสกุลนี้มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจนในด้านพฤติกรรมหาอาหารระหว่าง *Macrotermes chaglogi* และ *Macrotermes gilvus* โดยในช่วงฤดูฝน *Macrotermes chaglogi* มีกิจกรรมการหาอาหารสูงขึ้นพบมากเป็นอันดับ 2 รองจาก *Microtermes* sp. (Figure 4) ในขณะที่ *Macrotermes gilvus* มีกิจกรรมการหาอาหารเพิ่มสูงขึ้นในช่วงฤดูหนาว (Figure 5) จากการสังเกตพฤติกรรมหาอาหารของ *Macrotermes chaglogi* พบว่าปลวกชนิดนี้จะไม่สร้างท่อพักพิงในขณะหาอาหารโดยจะออกหาอาหารในที่โล่งแจ้งสามารถพบได้ตามพื้นดิน ซึ่งต่างจากพฤติกรรมหาอาหารของ *Macrotermes gilvus* มักหาอาหารใต้พื้นดินเป็นหลักและมีการสร้างท่อพักพิงเพื่อป้องกันการสูญเสียน้ำ โดยวัสดุในการสร้างท่อพักพิงประกอบด้วยวัสดุที่เป็นไม้ ดิน อุจจาระ และน้ำลาย ซึ่งสัดส่วนของวัสดุในการสร้างรังและท่อพักพิงมีความซับซ้อนและแตกต่างกันออกไปในแต่ละกลุ่มเนื่องจากพฤติกรรมของการสร้างรังและแหล่งที่อยู่อาศัย (Wood, 1988) อย่างไรก็ตามลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่มีผลต่อการแสดงออกทางพฤติกรรมของปลวกด้วยเช่นกัน โดยปลวก *Macrotermes gilvus* มีขนาดตัวที่เล็กกว่าเมื่อเทียบกับ *Macrotermes chaglogi* ซึ่งโดยทั่วไปปลวกที่มีขนาดใหญ่จะกักเก็บน้ำไว้ในร่างกายได้มากกว่าปลวกขนาดเล็ก (Hu et al., 2012) รวมทั้งผนังลำตัวมีความหนาและแข็งยังสามารถช่วยลดการสูญเสียน้ำของปลวกได้อีกด้วย (Appel and Tanley, 1999; Singh et al., 2009) ทั้งหมดนี้แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมต่างๆและการปรับกิจกรรมการหาอาหารเพื่อลดการสูญเสียน้ำในร่างกายซึ่งส่งผลให้ปลวกสามารถหาอาหารได้นานขึ้น สำหรับปลวกสกุล *Nasutitermes* และ *Microcerotermes* เป็นปลวกที่กินเนื้อไม้เป็นอาหาร (Arboreal wood-feeding) พฤติกรรมโดยทั่วไปมักสร้างรังอยู่บนต้นไม้ (Light, 1933) ซึ่งสูงกว่าพื้นดินถึง 10 ม. (Abe, 1979) และจะเดินลงมาหาอาหารตาม

ทางเดินลำต้นของต้นไม้ จากการศึกษาของ Feener (1988) พบว่าปลวกสกุล *Nasutitermes* สามารถหาอาหารได้ทั้งในฤดูฝนและฤดูแล้ง ในขณะเดียวกัน Moura et al. (2006) พบว่าวงศ์ย่อย *Nasutitermitinae* มีกิจกรรมการหาอาหารสูงสุดในช่วงฤดูฝน (Wet season) โดยมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับการเพิ่มขึ้นของความชื้นสัมพัทธ์ แต่อย่างไรก็ตามในช่วงฤดูแล้ง (Dry season) ปลวกมีความยาวของเส้นทางการเดินหาอาหารมากกว่าในช่วงฤดูฝนโดยความยาวทางเดินเฉลี่ยของฤดูแล้งอยู่ที่ 6.4 ± 2.7 ม. และฤดูฝน 5.3 ± 2.6 ม. ซึ่งอาจแสดงให้เห็นว่าปลวกสกุล *Nasutitermes* สามารถทนทานต่อการสูญเสียน้ำได้ โดยปลวกในกลุ่มนี้มีการสร้างท่อพักพิงในขณะที่หาอาหาร ในทำนองเดียวกัน Chiu et al. (2022) พบว่าการสร้างท่อพักพิงของ *Nasutitermes takasagoensis* สามารถลดการสูญเสียน้ำภายในท่อพักพิงได้อีกทั้งยังทนทานต่อน้ำฝน ด้วยพฤติกรรมที่กล่าวมานี้ทั้งพฤติกรรมการเดินที่มากกว่าและการสร้างท่อพักพิงในขณะที่หาอาหารจึงอาจเป็นเหตุผลสำคัญที่ทำให้พบกิจกรรมการหาอาหารของปลวกสกุล *Nasutitermes* ในกับดักปลวกใต้ดินช่วงฤดูร้อน

สิ่งที่น่าสังเกตจากการศึกษานี้คือไม่พบกิจกรรมการหาอาหารของปลวกในสกุล *Coptotermes* ในพื้นที่ศึกษาตลอดทั้งปี จากการรายงานก่อนหน้านี้พบว่าในประเทศไทย ปลวก *Coptotermes* spp. เป็นปลวกชนิดที่กินเนื้อไม้เป็นอาหาร (Wood feeders) จึงเป็นแมลงศัตรูพืชที่สำคัญและสร้างความเสียหายมากที่สุดในพื้นที่เมืองและพื้นที่เกษตรกรรม (Su and Scheffrahn, 1990) รวมทั้งพื้นที่ป่า (Chiu et al., 2016) โดยจะสามารถดักจับหรือติดตามการเข้าทำลายของปลวกได้โดยใช้กระดาษและกล่องพลาสติก ตัวอย่างเช่น การศึกษาของ Sornnuwat et al. (1996) ใช้กับดักใต้ดินภายในบรรจุม้วนกระดาษลูกฟูกและแท่งไม้ยางพารา (*Hevea brasiliensis* Muell) เพื่อเก็บรวบรวม *Coptotermes gestroi* ในทำนองเดียวกัน Chiu et al. (2016) ตัดแปลงกับดักใต้ดินจาก Su et al. (1993) เพื่อติดตามการเข้าทำลายของ *Coptotermes gestroi* แต่อย่างไรก็ตามกิจกรรมการหาอาหารของ *Coptotermes* ในดินนั้นค่อนข้างต่ำ เนื่องจากการแข่งขันกับปลวกกลุ่มที่กินเศษกิ่งไม้ใบไม้ใต้ดิน ซึ่งตั้งสมมติฐานโดย Chiu et al. (2016) ผลการศึกษาพบว่าปลวกในวงศ์ย่อย *Macrotermitinae* เป็นกลุ่มที่มีบทบาทที่โดดเด่นในการช่วยย่อยเศษกิ่งไม้ใบไม้จากธรรมชาติ ได้แก่ *Microtermes*, *Macrotermes*, *Odontotermes* และ *Ancistrotermes* โดยสามารถย่อยได้ถึง 20-30% ของเศษกิ่งไม้ใบไม้ตลอดทั้งปี ซึ่งมากถึง 65% ของเศษใบไม้กิ่งไม้ทั้งหมด (Leaf litter feeders) (Bignell and Eggleton, 2000) อีกทั้งลักษณะของป่าในเมืองที่ทำการศึกษามีความหลากหลายของพื้นที่การใช้ประโยชน์และความหลากหลายของต้นไม้กว่า 75 ชนิด (โครงการสำรวจสวนร่มเกล้ากล้วยพฤกษ์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2529) ซึ่งป่าในเมืองบริเวณรอบๆอาคารสิ่งปลูกสร้าง ป่าในเมืองประเภทป่าเต็งรังที่ตั้งอยู่ในเขตของชุมชนเมือง และป่าในเมืองที่มีการจัดการทางเกษตรในทุกพื้นที่ที่ศึกษามีเศษใบไม้กิ่งไม้ตกอยู่ตามบริเวณพื้นดินค่อนข้างมาก ซึ่งเป็นแหล่งอาหารของปลวกกลุ่มที่กินเศษกิ่งไม้ใบไม้จากธรรมชาติ โดยความหนาแน่นและความหลากหลายของแมลงย่อยสลายจะขึ้นอยู่กับชนิดของป่า (Schowalter, 1994; Schowalter and Ganio, 1999) และความอุดมสมบูรณ์ของอาหาร (Seeber et al., 2008) อย่างไรก็ตามจากผลของข้อมูลชนิดและกิจกรรมการหาอาหารของปลวกสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการควบคุมกำจัดได้ โดยหากทราบชนิดของปลวกที่เข้าทำลายจะทำให้สามารถเลือกวิธีการควบคุมกำจัดที่เหมาะสมกับชนิดของปลวก และการทราบช่วงเวลาที่ปลวกมีกิจกรรมการหาอาหารสูงสุดทำให้สามารถเลือกช่วงเวลาเพื่อควบคุมค่าในการป้องกันกำจัดอีกด้วย

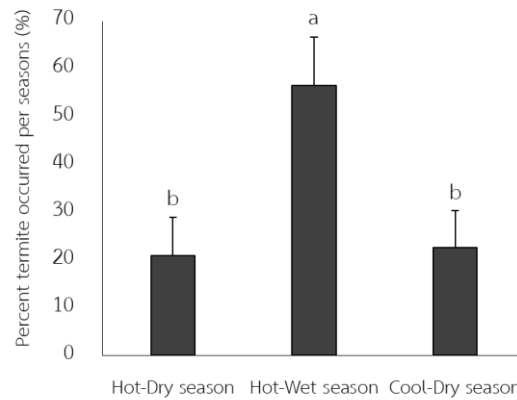


Figure 3 Percent termites occurred in different seasons. Data are presented as mean $\pm$ SD, bars with the same lowercase letter are not significantly different at $P > 0.01$ (Tukey'HSD)

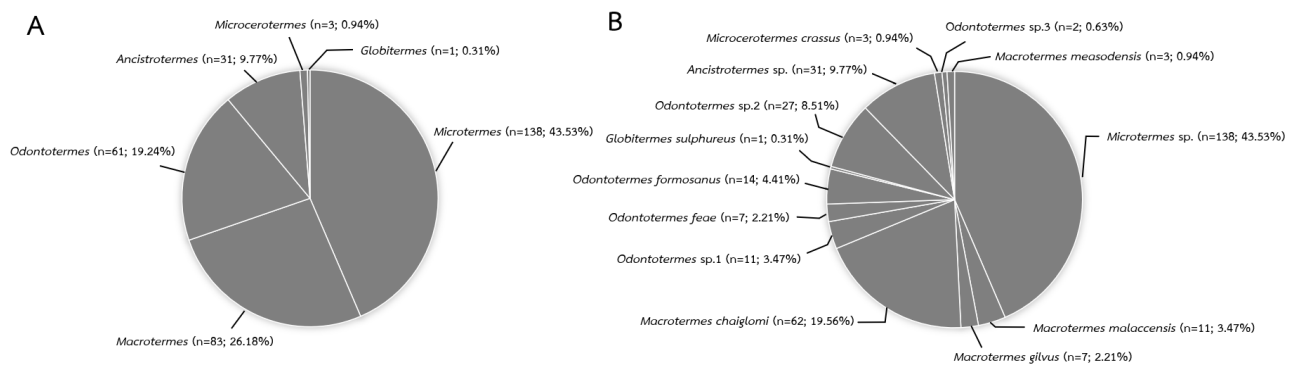


Figure 4 Percent of termite genera (A) and species (B) that occurred during the hot-wet season.

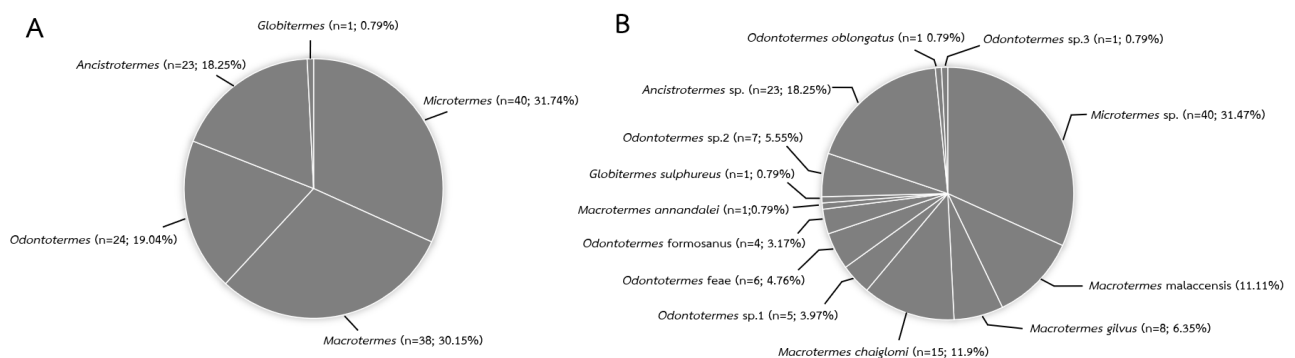


Figure 5 Percent of termite genera (A) and species (B) that occurred during the cool-dry season.

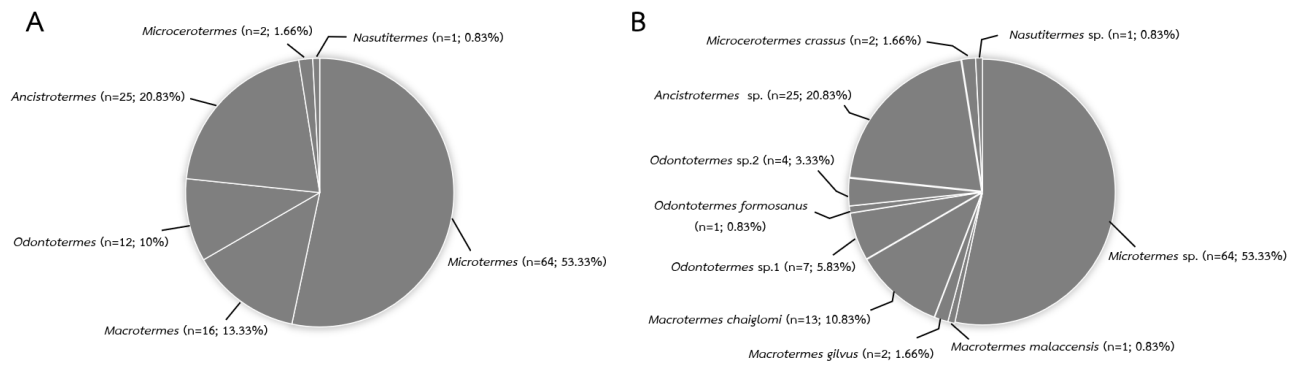


Figure 6 Percent of termite genera (A) and species (B) that occurred during the hot-dry season.

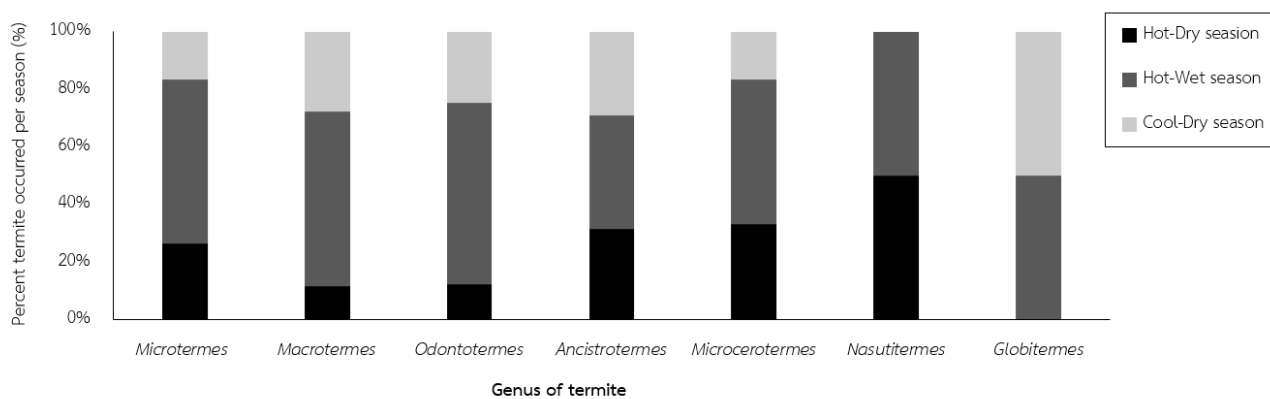


Figure 7 Differences in seasonality and the percentage of termites occurred of various genera.

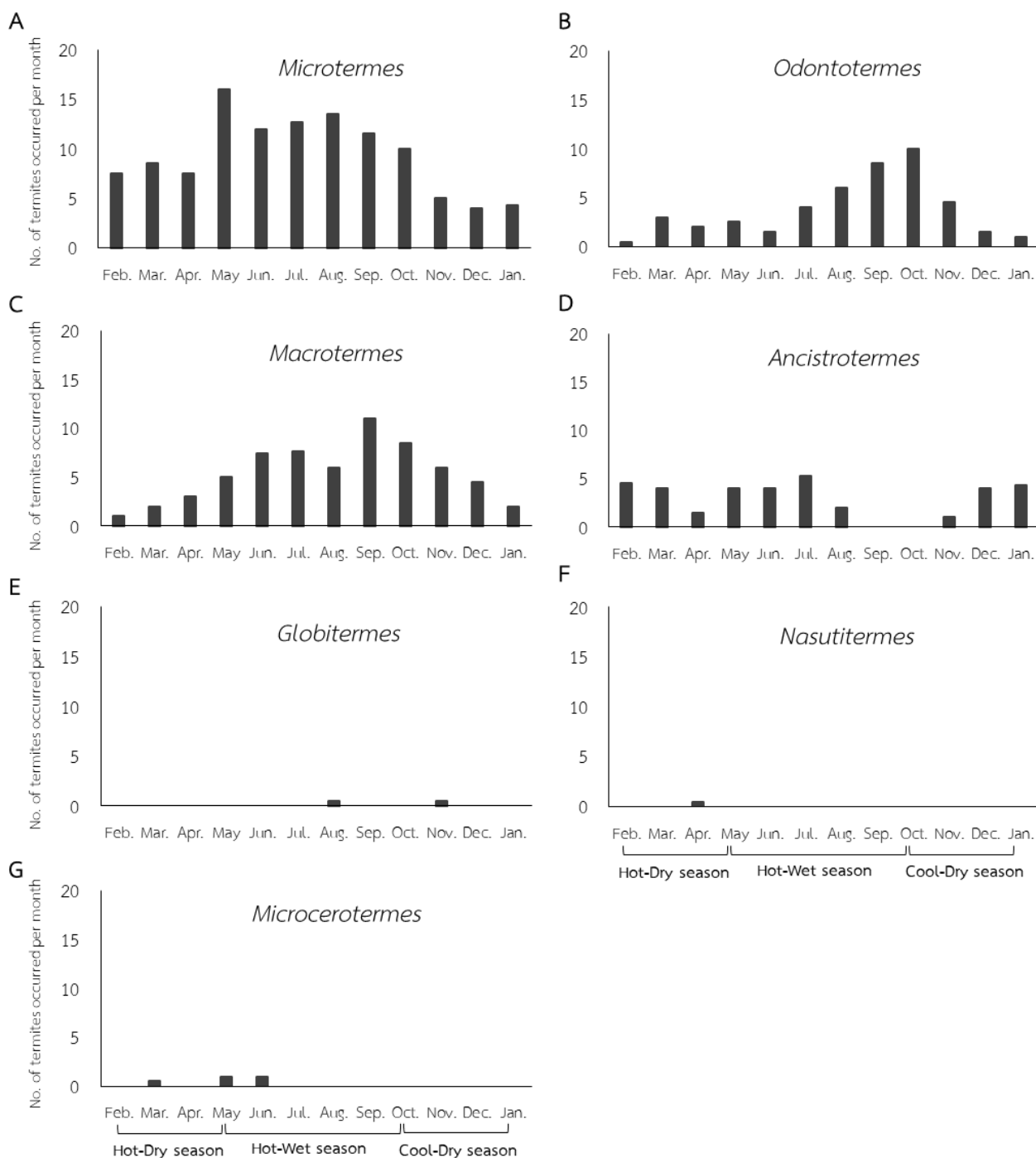


Figure 8 The number of termites occurrence per month on various seasons for *Microtermes* (A), *Odontotermes* (B), *Macrotermes* (C), *Ancistrotermes* (D), *Globitermes* (E), *Nasutitermes* (F), and *Microcerotermes* (G).

สรุป

กิจกรรมการหาอาหารของปลวกมีการเปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาล ปัจจัยทางสภาพแวดล้อมส่งผลกระทบต่อกิจกรรมการหาอาหารของปลวก โดยเฉพาะในปลวกขนาดเล็กสกุล *Microtermes*, *Ancistrotermes* และ *Odontotermes* รวมทั้งปลวกขนาดใหญ่ *Macrotermes* พบว่ามีการหาอาหารสูงสุดในช่วงฤดูฝน โดยมีความหลากหลายและความอุดมสมบูรณ์ของปลวกสูงที่สุด 13

ชนิดจาก 6 สกุล ในทำนองเดียวกันในช่วงฤดูหนาวพบปลวก 13 ชนิด แต่ชนิดปลวกที่พบมีความแตกต่างกันรวมทั้งมีกิจกรรมการหาอาหารต่ำกว่า ส่วนในฤดูร้อนความอุดมสมบูรณ์ของชนิดปลวกต่ำสุดซึ่งพบปลวกเพียง 10 ชนิด และมีกิจกรรมการหาอาหารต่ำที่สุด

คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากคุณสุชาติ ลีละยุทธโยธิน ประธานบริษัทคิงส์ เซอร์วิส เซ็นเตอร์ และ CMU, Project ID: R000031656 ขอขอบคุณสาขากีฏวิทยาและโรคพืชวิทยา คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่อนุเคราะห์สถานที่และอุปกรณ์ในการดำเนินงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- กรมอุตุนิยมวิทยา. 2565. สรุปสภาพอากาศทั่วไปในรอบปี. แหล่งข้อมูล: <https://www3.tmd.go.th> ค้นเมื่อ 20 กันยายน 2565.
- กรมอุตุนิยมวิทยา. 2565. การแบ่งฤดูกาลในประเทศไทย. แหล่งข้อมูล: <https://www3.tmd.go.th> ค้นเมื่อ 27 ตุลาคม 2565.
- กระทรวงมหาดไทย. 2539. รายงานการกำหนดแนวทางในการประสานแผนด้านการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานทางสังคมใช้พื้นที่บริเวณชายฝั่งทะเลตะวันออกระยะเร่งด่วน. กรุงเทพฯ: กระทรวงมหาดไทย.
- โครงการสำรวจสวนร่มเกล้ากล้วยพฤษภูมิ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 2529. สวนร่มเกล้ากล้วยพฤษภูมิมหาวิทยาลัยขอนแก่น. แหล่งข้อมูล: <https://tree.kku.ac.th/project-tree1/> ค้นเมื่อ 7 กุมภาพันธ์ 2566.
- Abe, T. 1987. Evolution of life types in termites. P.126-148. In: S. Kawano, J. H. Connell, and T. Hidaka. Evolution and coadaptation in biotic communities. University of Tokyo Press, Tokyo, Japan.
- Abe, T., and T. Matsumoto. 1979. Studies on the distribution and ecological role of termites in a lowland rain forest of west Malaysia (3) distribution and abundance of termites in Pasoh Forest Reserve. Japanese Journal of Ecology. 29(4): 337-351.
- Ahmad, M. 1965. Termite (Isoptera) of Thailand. Bulletin of the American Museum of Natural History. 131: 3-113.
- Appel, A. G., and M. J. Tanley. 1999. Water composition and loss by body color and form mutants of the German cockroach (Dictyoptera: Blattellidae). Comparative Biochemistry and Physiology, Part A: Molecular and Integrative Physiology. 122(4): 415-420.
- Barrow, L., and C. L. Parr. 2008. A preliminary investigation of temporal patterns in semiarid ant communities: variation with habitat type. Austral Ecology. 33(5): 653-662.
- Bignell, D. E., and P. Eggleton. 2000. Termites in ecosystems. P.363-387. In: T. Abe and M. Higashi. Termites: evolution, sociality, symbiosis, ecology. Kluwer Academic Publishers, Netherlands.
- Black, H. I. J., and T. G. Wood. 1989. The effects of cultivation on the vertical distribution of *Microtermes* spp. (Isoptera: Termitidae: Macrotermitinae) in soil at Mokwa, Nigeria. Sociobiology. 15(2): 133-138.
- Bujan, J., S.P. Yanoviak, and M. Kaspari. 2016. Desiccation resistance in tropical insects: causes and mechanisms underlying variability in a Panama ant community. Ecology and Evolution. 6: 6282-6291.
- Chiu, C. I., B. Y. Chen, F. C. Chang, K. C. Kuan, and H. F. Li. 2022. Functional plasticity of foraging shelter tubes built by termites. Environmental Entomology. 51(4): 649-659.
- Chiu, C. I., H. T. Yeh, M. J. Tsai, and H. F. Li. 2016. Naturalization and control of *Coptotermes gestroi* (Blattodea: Rhinotermitidae) in a Taiwanese forest. Journal of Economic Entomology. 109(3): 1317-1325.
- Chiu, C. I., H. T. Yeh, P. L. Li, C. Y. Kuo, M. J. Tsai, and H. F. Li. 2018. Foraging phenology of the fungus-growing termite *Odontotermes formosanus* (Blattodea: Termitidae). Environmental Entomology. 47(6): 1509-1516.

- Choosai C., J. Mathieu, Y. Hanboonsong, and P. Jouquet. 2009. Termite mounds and dykes are biodiversity refuges in paddy fields in north-eastern Thailand. *Environmental Conservation*. 36(1): 71-79.
- Chown, S. L., J. G. Sorensen, and J. S. Terblanche. 2011. Water loss in insects: an environmental change perspective. *Journal of Insect Physiology*. 57(8): 1070-1084.
- Collins, M. S., M. I. Haverty, J. P. La Fage, and W. L. Nutting. 1973. High-temperature tolerance in two species of subterranean termites from the Sonoran Desert in Arizona. *Environmental Entomology*. 2(6): 1122-1123.
- Collins, N. M. 1977. The population ecology and energetic of *Macrotermes bellicosus* Smeathman (Isoptera). University of London, London.
- Collins, N. M. 1981. The role of termites in the decomposition of wood and leaf litter in the Southern Guinea savanna of Nigeria. *Oecologia*. 51(3): 389-399.
- Davies, A. B., P. Eggleton, B. J. van Rensburg, and C. L. Parr. 2015. Seasonal activity patterns of African savanna termites vary across a rainfall gradient. *Insectes Sociaux*. 62(2): 157-165.
- Davies, R. G. 1997. Termite species richness in fire-prone and fire-protected dry deciduous dipterocarp forest in Doi Suthep-Pui National Park, northern Thailand. *Journal of Tropical Ecology*. 13(1): 153-160.
- Eggleton, P., and I. Tayasu. 2001. Feeding groups, lifetypes and the global ecology of termites. *Ecological Research*. 16(5): 941-960.
- Evans, T. A. 2003. The influence of soil heterogeneity on exploratory tunnelling by the subterranean termite *Coptotermes frenchi* (Isoptera: Rhinotermitidae). *Bulletin of Entomological Research*. 93(5): 413-423.
- Feener, D. H. 1988. Effects of parasites on foraging and defense behavior of a termitophagous ant, *Pheidole titanis* Wheeler (Hymenoptera: Formicidae). *Behavioral Ecology and Sociobiology*. 22(6): 421-427.
- Hadley, N. F. 1994. Water relations of terrestrial arthropods. Academic Press, San Diego, CA.
- Hu, J., K. B. Neoh, A. G. Appel, and C. Y. Lee. 2012. Subterranean termite open-air foraging and tolerance to desiccation: Comparative water relation of two sympatric *Macrotermes* spp. (Blattodea: Termitidae). *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular and Integrative Physiology*. 161(2): 201-207.
- Janzen, D. H. 1973. Sweep samples of tropical foliage insects: Effects of seasons, vegetation types, elevation, time of day, and insularity. *Ecology*. 54(3): 687-702.
- Johnson, R. A., R. W. Lamb, and T. G. Wood. 1981. Termite damage and crop loss studies in Nigeria-a survey of damage to groundnuts. *International Journal of Pest Management*. 27(3): 325-342.
- Krishna, K., D. A. Grimaldi, V. Krishna, and M. S. Engel. 2013. Treatise on the Isoptera of the world. *Bulletin of the American Museum of Natural History*. 377: 1-2704.
- Korb, J., and K. E. Linsenmair. 2001. Resource availability and distribution patterns, indicators of competition between *Macrotermes bellicosus* and other macro-detritivores in the Comoé National Park, Côte d'Ivoire. *African Journal of Ecology*. 39(3): 257-265.
- Kulis, J., A. S. Sajap, and C. Y. Loong. 2008. Effect of moisture and relative humidity on survival and feeding activity of the Asian Subterranean Termite, *Coptotermes gestroi* (Isoptera: Rhinotermitidae). *Sociobiology* 52(3): 579-587.

- La Fage, J. P., M. I. Haverty, and W. L. Nutting. 1976. Environmental factors correlated with the foraging behavior of a desert subterranean termite *Gnathamitermes perplexus* (Banks) (Isoptera: Termitidae). *Sociobiology*. 2: 155-169.
- Light, S. F. 1933. Termites of western Mexico. *University of California Publications in Entomology*. 6(5): 79-164.
- Miller, R. W., R. J. Hauer, and L. P. Werner. 2015. *Urban forestry: planning and managing urban greenspaces*. Waveland press, Upper Saddle River, New Jersey, USA.
- Materu, C., J. Yarro, B. Nyundo, C. Materu, and B. Nyundo. 2013. Seasonal changes on termite foraging behaviour under different habitats in Rufiji District Tanzania. *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*. 3: 6-12.
- Mora, P., C. E. Rouland, and J. Renoux. 1996. Foraging, nesting and damage caused by *Microtermes subhyalinus* (Isoptera: Termitidae) in a sugarcane plantation in the Central African Republic. *Bulletin of Entomological Research*. 86(4): 387-395.
- Moura, F. M. S., A. Vasconcellos, V. F. P. Araújo, and A. G. Bandeira. 2006. Seasonality in foraging behaviour of *Constrictotermes cyphergaster* (Termitidae, Nasutitermitinae) in the Caatinga of northeastern Brazil. *Insectes Sociaux*. 53(4): 472-479.
- Pinheiro, F., I. R. Diniz, D. Coelho, and M. P. S. Bandeira. 2002. Seasonal pattern of insect abundance in the Brazilian cerrado. *Austral Ecology*. 27(2): 132-136.
- Rouland-Lefevre, C. 2011. Termites as pests of agriculture. P.499-517. In: D. E. Bignell, Y. Roisin, and N. Lo. *Biology of termites: a modern synthesis*. Springer International Publishing, Dordrecht, Netherlands.
- Scholes, R. J. 1997. Savanna. P.258-277. In: R. M. Cowling, D. M. Richardson, and S. M. Pierce. *Vegetation of Southern Africa*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Schowalter, T. D. 1994. Invertebrate community structure and herbivory in a tropical rain forest canopy in Puerto Rico following Hurricane Hugo. *Biotropica*. 26(3): 312-319.
- Schowalter, T. D., and L. M. Ganio. 1999. Invertebrate communities in a tropical rain forest canopy in Puerto Rico following Hurricane Hugo. *Ecological Entomology*. 24(2): 191-201.
- Seeber, J., G. U. H. Seeber, R. Langel, S. Scheu, and E. Meyer. 2008. The effect of macroinvertebrates and plant litter of different quality on the release of N from litter to plant on alpine pastureland. *Biology and Fertility of Soils*. 44(5): 783-790.
- Seto K. C., B. Güneralp and L. R. Hutyrá. 2012. Global forecasts of urban expansion to 2030 and direct impacts on biodiversity and carbon pools. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 109(40): 16083-16088.
- Singh, S., S. Ramniwas, and R. Parkash. 2009. Fitness consequences of body melanization in *Drosophila immigrans* from montane habitats. *Entomological Research*. 39(3): 182-191.
- Sornnuwat, Y., C. Vongkaluang, and Y. Takematsu. 2004. A systematic key to termites of Thailand. *Kasetsart Journal (Natural Science)*. 38(3): 349-368.
- Sornnuwat, Y., K. Tsunoda, T. Yoshimura, M. Takahashi, and C. Vongkaluang. 1996. Foraging populations of *Coptotermes gestroi* (Isoptera: Rhinotermitidae) in an urban area. *Journal of Economic Entomology*. 89(6): 1485-1490.
- Stansly, P. A., N. Y. Su, and J. M. Conner. 2001. Management of subterranean termites, *Reticulitermes* spp. (Isoptera: Rhinotermitidae) in a citrus orchard with hexaflumuron bait. *Crop Protection*. 20(3): 199-206.

- Su, N. Y., and H. Puche. 2003. Tunneling activity of subterranean termites (Isoptera: Rhinotermitidae) in sand with moisture gradients. *Journal of Economic Entomology*. 96(1): 88-93.
- Su, N. Y., and R. H. Scheffrahn. 1990. Economically important termites in the United States and their control. *Sociobiology*. 17(1): 77-94.
- Su, N. Y., and R. H. Scheffrahn. 2000. Termites as pests of buildings. P.437-453. In: T. Abe, D. E. Bignell, and M. Higashi. *Termites: Evolution, Sociality, Symbioses, Ecology*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands.
- Su, N. Y., P. M. Ban, and R. H. Scheffrahn. 1993. A shallow sub-surface monitoring station for subterranean termites (Isoptera). *Sociobiology*. 23: 175-182.
- Ueckert, D. N., M. C. Bodine, and B. M. Spears. 1976. Population density and biomass of the desert termite *Gnathamitermes tubiformans* (Isoptera: Termitidae) in a shortgrass prairie: relationship to temperature and moisture. *Ecology*. 57(6): 1273-1280.
- Wolda, H. 1988. Insect seasonality: Why?. *Annual Review of Ecology and Systematics*. 19: 1-18.
- Wolda, H., and M. Wong. 1988. Tropical insect diversity and seasonality. Sweep-samples vs. light-traps. *Proceedings of the Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen. Series C. Biological and medical sciences*. 91(2): 203-216.
- Wood, T. G. 1988. Termites and the soil environment. *Biology and Fertility of Soils*. 6(3): 228-236.
- Woon, J. S., M. J. W. Boyle, R. M. Ewers, A. Chung, and P. Eggleton. 2019. Termite environmental tolerances are more linked to desiccation than temperature in modified tropical forests. *Insectes Sociaux*. 66(1): 57-64.
- Zorzenon, F. J., and A. E. C. Campos. 2015. Subterranean termites in urban forestry: tree preference and management. *Neotropical Entomology*. 44(2): 180-185.
- Zukowki, J., and N. Y. Su. 2020. A comparison of morphology among four termite species with different moisture requirements. *Insects*. 11(5): 262.