

นิพนธ์ต้นฉบับ

การกระจาย และประชากรของแตนสร้างปมยูคาลิปตัสในประเทศไทย

Distribution and Population of Eucalyptus Gall Wasp in Thailand

อธิป ภมระภา^{1,2}Atip Pamarapa^{1,2}วัฒนชัย ตาเสน^{1,*}Wattanachai Tasen^{1,*}ยงยุทธ ไตรสุรัตน์¹Yongyut Trisurat¹Simon Lawson³Simon Lawson³Madaline Healey³Madaline Healey³¹คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จตุจักร กรุงเทพฯ 10900

Department of Forest Biology, Faculty of Forestry, Kasetsart University, Chatuchak, Bangkok 10900, Thailand

²ส่วนทรัพยากรธรรมชาติ สำนักงานทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมจังหวัดสมุทรสงคราม เมืองสมุทรสงคราม สมุทรสงคราม 75000

Natural Resources Section, Samut Songkhram Provincial Offices for Natural Resources and Environment, Samut Songkhram 75000, Thailand

³Forest Research Institute, University of the Sunshine Coast, Queensland 4556 Australia

*Corresponding Author, E-mail: fforwct@ku.ac.th

รับต้นฉบับ 9 พฤศจิกายน 2563

รับแก้ไข 20 ธันวาคม 2563

รับตีพิมพ์ 28 ธันวาคม 2563

ABSTRACT

The distribution and population of eucalyptus gall wasps was studied at a eucalyptus plantation under the forest industry organization and private forest plantations in Thailand. Randomized sample plots were analyzed, during the months from July to December 2019, using geographic information system (GIS) and maximum entropy (MaxEnt) on secondary data obtained from government agencies, to generate a distribution map. Two species of eucalyptus gall wasps were identified as eucalyptus gall wasp (*Leptocybe invasa*) and a parasitoid of eucalyptus gall wasp (*Quadrastichus mendeli*). The average population density ratio between the eucalyptus gall wasp and parasitoid was 2,170:19,530 per square kilometer and the percent ratio of parasitoids was 1:9, respectively, with an average parasitoid frequency of 90.00%. The efficiency values, as determined by the area under curve (AUC) from the receiver operation characteristic (ROC) model, in the area of distribution of eucalyptus and parasitoid of eucalyptus gall wasp, was 0.98 and 0.97, respectively. Environmental factors related to the distribution of eucalyptus gall wasp and parasitoid of eucalyptus gall wasp were determined as the soil series and monthly average rainfall, respectively.

Keywords: Distribution, Eucalyptus gall wasp, Parasitoid wasp

บทคัดย่อ

การศึกษาการกระจายและประชากรของแตนสร้างปมยูคาลิปตัส ได้ทำการสำรวจบริเวณพื้นที่สวนป่ายูคาลิปตัสขององค์การอุตสาหกรรมป่าไม้และสวนป่าภาคเอกชนในประเทศไทย ทำการวางแผนตัวอย่างชั่วคราวและสุ่มอย่างเป็นระบบร่วมกับการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) และโปรแกรมสำเร็จรูป (maximum entropy: MaxEnt) และขอรับการสนับสนุนข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์จากหน่วยงานภาครัฐ ดำเนินการศึกษาระหว่างเดือนกรกฎาคมถึงธันวาคม 2562 ผลการศึกษาพบแตนสร้างปมยูคาลิปตัสจำนวน 2 ชนิดคือแตนฝอยปมยูคาลิปตัส (*Leptocybe invasa*) และแตนเบียนแตนฝอยปมยูคาลิปตัส (*Quadrastichus mendeli*) ความหนาแน่นประชากรแตนฝอยปมยูคาลิปตัสและแตนเบียนของประเทศไทยเฉลี่ยเท่ากับ 2,170:19,530 ตัวต่อตารางกิโลเมตร คิดเป็นสัดส่วน 1:9 ตามลำดับ ร้อยละการเป็นแตนเบียนเฉลี่ยเท่ากับ 90.00 เมื่อวิเคราะห์การกระจายพบว่าค่าประสิทธิภาพของแบบจำลองจาก receiver operation characteristic (ROC) ของพื้นที่การกระจายของแตนฝอยปมยูคาลิปตัสและแตนเบียนที่ได้จากพื้นที่ใต้กราฟ (area under curve; AUC) มีค่าเท่ากับ 0.98 และ 0.97 ตามลำดับ โดยปัจจัยแวดล้อมที่มีค่าสัดส่วนความสัมพันธ์ต่อการกระจายของแตนฝอยปมยูคาลิปตัสและแตนเบียนมากที่สุดเป็นชุดดินและปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือนตามลำดับ

คำสำคัญ: การกระจาย แตนฝอยปมยูคาลิปตัส แตนเบียน

คำนำ

แตนสร้างปมยูคาลิปตัส (eucalyptus gall wasp) เป็นแมลงศัตรูพืช (insect pests) ที่เข้าทำลายสร้างความเสียหาย และลดการเจริญเติบโตของต้นยูคาลิปตัส โดยเฉพาะแตนฝอยปมยูคาลิปตัส (*Leptocybe invasa* Fisher & La Salle, 2004) ซึ่งมีจุดกำเนิดในประเทศออสเตรเลีย มักสร้างความเสียหายโดยเข้าทำลายต้นยูคาลิปตัสเป็นหลัก (Garnas *et al.*, 2012) เป็นแมลงที่มีการปรับตัวต่อสภาพอากาศต่าง ๆ ได้ดี แพร่กระจายประชากรได้อย่างรวดเร็วในระยะเวลาอันสั้น สร้างความเสียหายเป็นบริเวณกว้างและรุนแรงที่สุดที่ทำให้เกิดปมกับต้นยูคาลิปตัส (Mendel *et al.*, 2004) รายงานพบการเข้าทำลายยูคาลิปตัสครั้งแรกในทวีปแอฟริกา และแพร่ระบาดในหลายทวีปทั่วโลก เช่น ทวีปยุโรป ทวีปอเมริกาเหนือ ทวีปเอเชีย

และเอเชีย-ตะวันออกเฉียงใต้ แตนฝอยปมยูคาลิปตัสเริ่มมีการแพร่ระบาดในประเทศอุกันด้าปี พ.ศ. 2543 จากนั้นในปี พ.ศ. 2545 พบการระบาดในประเทศอินเดีย และในประเทศแทนซาเนียปี พ.ศ. 2548 ส่วนในประเทศไทยรายงานพบในปี พ.ศ. 2547 (Thaitsu, 2006) สำหรับประเทศไทย Wiwatwitaya (2015) ได้รายงานว่าแตนฝอยปมยูคาลิปตัสสร้างความเสียหายกับสวนป่าบริเวณภาคตะวันตกของประเทศ แต่จากการสำรวจร่วมกับนักวิจัยชาวต่างชาติในเดือนกรกฎาคม 2558 ระบุว่ามีการแพร่กระจายไปภาคตะวันออกเฉียงใต้กับชายแดนกัมพูชาด้วย โดยเฉพาะในกลุ่มบริษัททำไม้และผลิตเยื่อกระดาษ และในบริษัทดับเบิลเอ จำกัด (มหาชน) และยังได้สำรวจพบแตนสร้างปมอีกชนิดหนึ่ง คือ *Ophelimus maskelli* Ashmead, 2005 (Hymenoptera: Eulophidae) นับเป็น

การค้นพบแตนสร้างปมชนิดนี้ครั้งแรกในประเทศไทย ในการสร้างปมของแตนฝอยปมยูคาลิปตัสเป็นการเข้าไปหาอาหาร และอาศัยในบริเวณส่วนต่าง ๆ ของพืช (host) เช่น ลำต้น กิ่ง ก้าน หรือใบ เป็นต้น โดยเริ่มจากแมลงเข้าไปหาอาหารกับเนื้อเยื่อของพืช (plant tissue) ทำให้ระบบทางเดินอาหารของพืช (phloem) ได้รับความเสียหายและขัดขวางการเจริญเติบโตตามปกติของพืช ต่อมาพืชจึงได้ตอบสนอง (plant perception) โดยการผลิตน้ำดีหรือปมขึ้น (gall) แล้วตัวอ่อนของแมลง (larva) ก็เข้าไปอยู่อาศัย กินอาหาร และเติบโตขึ้นในปมนั้น หลังจากนั้นตัวอ่อนของแมลงจะเริ่มมีการพัฒนาภายในปมโดยการขยายขนาดปมบนส่วนของก้านใบ เส้นกลางใบ และลำต้นอ่อนของยูคาลิปตัส ซึ่งเป็นส่วนที่มักพบการแทงอวัยวะวางไข่ของแตนฝอยปมยูคาลิปตัสมากที่สุด (Sangtongpraow, 2011) เมื่อเจริญเติบโตจนถึงขั้นตัวโตเต็มวัยแล้ว (adult) แตนฝอยปมยูคาลิปตัสจะเจาะรูและบินออกไปจากปมนั้นไป เพื่อทำการผสมพันธุ์และวางไข่ (EPPO, 2007) แตนฝอยปมยูคาลิปตัสเป็นแมลงที่สามารถผสมพันธุ์ได้ในตัวเอง (uniparental species) สามารถผลิตประชากรได้ปีละ 2-3 รุ่น โดยมีช่วงอายุขัยประมาณ 4-5 เดือน ช่วงตัวเต็มวัยสั้นประมาณ 5-10 วัน เมื่อเป็นตัวโตเต็มวัยจะรีบวางไข่โดยวางไข่ครั้งละ 80-100 ฟอง และส่วนมากเป็นเพศเมีย จึงเป็นสาเหตุให้การแพร่กระจายหรือการเพิ่มจำนวนประชากรของแตนฝอยปมยูคาลิปตัสเป็นไปอย่างรวดเร็ว (Wiley and Skelly, 2008) ซึ่งในปัจจุบันมีแนวคิดที่จะนำเอาแมลงหรือสัตว์อื่น ๆ ที่มีอยู่แล้วตามธรรมชาติมาช่วยกำจัดแตนฝอยปมยูคาลิปตัสให้อยู่ในระดับต่ำกว่าที่จะก่อให้เกิดความเสียหายต่อผลผลิตของสวนป่า เป็นกรรมวิธีน่าจะมีชีวิตตามธรรมชาติมาใช้ให้เกิดประโยชน์ โดยการเลียนแบบการควบคุมศัตรูพืชโดยธรรมชาติ ที่เรียกว่า การควบคุมแมลง

ศัตรูพืชโดยชีววิธี (biological control of insect pest) (Suasard and Charoensom, 1999) ซึ่งสามารถกระทำได้หลากหลายวิธี เช่น วิธีใช้แมลงศัตรูธรรมชาติ (insect parasitoids) เข้ามาควบคุมประชากรแตนฝอยปมยูคาลิปตัส โดยการเข้าไปเกาะกินสัตว์ หรือแมลงชนิดอื่น (host) ทำให้สัตว์หรือแมลงที่นั้นอ่อนแอและตายในที่สุด (Kongkaew, 2014) จากการศึกษาวิจัยในปัจจุบันพบว่า แมลงที่คาดว่าเป็นแมลงศัตรูธรรมชาติของแตนฝอยปมยูคาลิปตัส (แตนเบียน) (parasitoids of the eucalyptus gall wasp) 2 ชนิด น่าจะเป็น *Megastigmus* sp. และ *Quadrastichus* sp. (Office of Forest Research and Development, Royal Forest Department, n.d.) ซึ่งการให้น้ำหรือสารละลายน้ำหวานจะช่วยยืดอายุของแตนเบียนให้ยาวนานขึ้น (Mendel et al., 2004) และยังช่วยให้การระยะเวลาการพัฒนาเฉลี่ยของแตนเบียนสั้นกว่า host ด้วย จึงเป็นเหตุผลสำคัญที่จะสามารถนำมาใช้ควบคุมประชากรแตนฝอยปม อีกทั้งวิธีการพัฒนาลักษณะทางสัณฐานวิทยา (morphological development) ของต้นยูคาลิปตัสให้ผลต่อพฤติกรรมเมตาบอลิซึม (metabolism) ของศัตรูพืชทำให้เกิดการยับยั้งการเพิ่มขึ้นของประชากรศัตรูพืชได้ (Tantasawat, 2011) โดยการทำให้เนื้อเยื่อคอลเลจิม (collenchyma) ในชั้นผนังเซลล์ที่ติดกับเนื้อเยื่อพื้นหนา ซึ่งจะเป็นอุปสรรคต่อการแทงอวัยวะวางไข่และการเคลื่อนตัวของตัวอ่อนของแตนฝอยปม (Bhuchaisri, 2013) จากปัญหาการแพร่ระบาดของแตนฝอยปมยูคาลิปตัส คณะรัฐมนตรีจึงมีมติเมื่อวันที่ 28 เมษายน 2552 พิจารณาแตนฝอยปมยูคาลิปตัส ให้จัดอยู่ในกลุ่มทะเบียนชนิดพันธุ์ต่างถิ่นที่ควรป้องกันควบคุมกำจัดของประเทศไทย รายการที่ 1 (ชนิดพันธุ์ต่างถิ่นที่รุกรานแล้ว) กล่าวคือ อาจทำให้ชนิดพันธุ์ท้องถิ่นหรือชนิดพันธุ์พื้นเมืองสูญพันธุ์ คุณค่าความหลากหลาย

ทางชีวภาพ ก่อให้เกิดความสูญเสียทางสิ่งแวดล้อม เศรษฐกิจ และสุขอนามัยของมนุษย์ (Office of Natural Resources and Environmental Policy and Planning, 2018) เพื่อวิเคราะห์พื้นที่ที่เหมาะสมของการกระจายและความหนาแน่นประชากรแตนฝอยปมยูคาลิปตัสในประเทศไทย ที่อาจส่งผลกระทบต่อการปลูกสร้างสวนป่ายูคาลิปตัสของประเทศ ซึ่งคาดว่าผลจากการวิเคราะห์ปัจจัยแวดล้อมที่สามารถที่จะนำมาวางแผนควบคุมทางชีววิธีในเชิงพื้นที่ได้ เช่น การจำกัดปัจจัยแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการกระจายของแตนสร้างปม และเพิ่มปัจจัยแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการกระจายของตัวเบียน (Austin, 2002) ซึ่งจะเป็นแนวทางควบคุมทางชีววิธีที่สามารถแก้ไขปัญหาแมลงศัตรูยูคาลิปตัสได้ในอนาคต

อุปกรณ์และวิธีการ

พื้นที่ศึกษา

สำรวจกระจายทั่วประเทศ โดยเลือกพื้นที่ที่เคยสำรวจพบสวนป่ายูคาลิปตัสเมื่อปี 2558 จนถึงปี 2560 โดยใช้ข้อมูลพิกัดภูมิศาสตร์ของแปลงสำรวจในปดังก้าว ได้แก่งอที่ จังหวัดกาญจนบุรี กาฬสินธุ์ กำแพงเพชร ขอนแก่น ฉะเชิงเทรา ชลบุรี ตาก นครพนม นครราชสีมา นครสวรรค์ บุรีรัมย์ ประจวบคีรีขันธ์ ปราจีนบุรี พิจิตร พิษณุโลก เพชรบุรี มุกดาหาร ร้อยเอ็ด ระยอง ราชบุรี สกลนคร สระแก้ว สระบุรี สุโขทัย สุพรรณบุรี สุรินทร์ อยุธยา อุดรดิตถ์ และจังหวัดอุทัยธานี รวม 29 จังหวัด จำนวน 141 จุดสำรวจหรือจุดบันทึกข้อมูล (Wiwatwitaya, 2015) (Figure 1)

การศึกษาการปรากฏของแตนฝอยปมยูคาลิปตัส

จากพื้นที่ศึกษา ในบริเวณแต่ละจุดสำรวจสวนป่ายูคาลิปตัสทำการวางแปลงตัวอย่างชั่วคราว

ด้วยวิธีการสุ่มตัวอย่างเป็นระบบ (systematic sampling) จำนวน 3 แปลง แต่ละแปลงมีขนาด 2x8 เมตร (ที่ระยะปลูก 2x2 เมตร) โดยให้ทั้ง 3 แปลงกระจายครอบคลุมทั่วทั้งบริเวณจุดสำรวจสวนป่ายูคาลิปตัส จะได้ตัวอย่างต้นยูคาลิปตัสแปลงละ 10 ต้น จำนวน 3 แปลง รวมทั้งสิ้น 30 ต้น และเก็บตัวอย่างทุกต้น ๆ ละ 2 ตัวอย่าง ด้วยวิธีการคัดเลือกแบบ

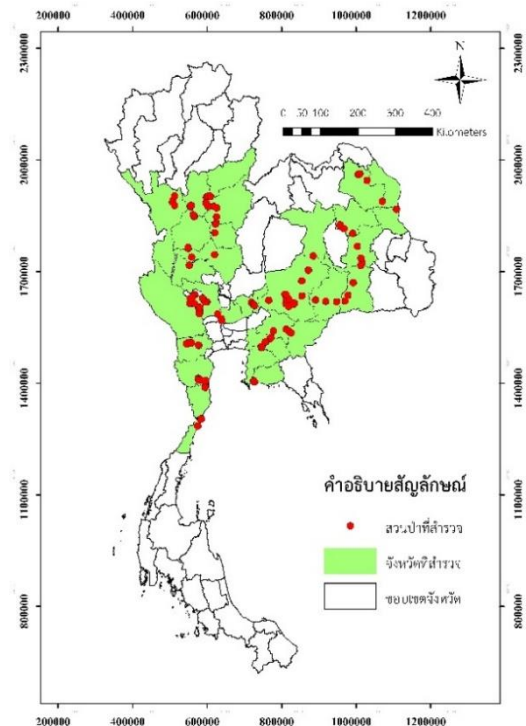


Figure 1 The eucalyptus plantation forests used in the survey to collect sample data.

บังเอิญ (accidental selection) ได้ตัวอย่างใบยูคาลิปตัสที่พบการปรากฏของปมจากการเข้าทำลายของแตนฝอยปมยูคาลิปตัส จำนวน 60 ตัวอย่าง (เฉลี่ยแปลงละ 20 ตัวอย่าง) ทำการบันทึกรายละเอียดของข้อมูลกายภาพในพื้นที่ลงในแบบบันทึกข้อมูล เก็บตัวอย่างไว้ในถุงน้ำแข็ง (ice bag) เมื่อถึงที่พักจึงตัด

แต่งตัวอย่างให้เหลือเฉพาะบริเวณที่เป็นปม และใส่ในถุงพลาสติกซิปล็อค (zip lock) ขนาดเล็ก นำไปแขวนในที่อากาศถ่ายเทและไม่โดนแสงแดดโดยตรง สําหรับการปรากฏของแตนฝอยปมยุงคาลิปดัสที่ออกมาจากปม ทุก ๆ 2 วัน จนครบ 10 วัน เมื่อพบการปรากฏแล้ว เขียนแมลงลงในขวดเก็บตัวอย่างแมลง รวบรวมตัวอย่างแมลงที่ได้มาแยกชนิด และเพศ ภายใต้กล้องจุลทรรศน์สเตอริโอไมโครสโคป (stereo microscope) ในห้องปฏิบัติการ

การวิเคราะห์ความหนาแน่นของประชากร และร้อยละการเป็นแตนเบียน

นำข้อมูลจากการสำรวจ มาคำนวณหาความหนาแน่นของประชากรแตนฝอยปมยุงคาลิปดัสและแตนเบียน สมการ (1) และคำนวณร้อยละการเป็นแตนเบียนกับโฮสต์ (% parasitism) สมการ (2) (ACIAR, 2016)

ความหนาแน่นประชากร

$$= \frac{\text{จำนวนตัวอย่างที่พบ}}{\text{ขนาดพื้นที่สำรวจ} \times \text{จำนวนแปลงสำรวจ}} \quad (1)$$

ร้อยละการเป็นแตนเบียนกับโฮสต์

$$= \frac{\text{จำนวนแตนเบียนที่ปรากฏ}}{\text{ผลรวมของ (แตนที่สร้างปม+แตนเบียน)}} \times 100 \quad (2)$$

การวิเคราะห์การกระจายของแตนฝอยปมยุงคาลิปดัส

การจัดเตรียมข้อมูลปัจจัยทางด้านนิเวศใช้โปรแกรมระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ (ArcGIS 10.3) จัดเตรียมให้อยู่ในรูปข้อมูลเชิงพื้นที่ (raster data) มีขนาดกริด เท่ากับ 1x1 กิโลเมตร พิจารณาปัจจัยแวดล้อมที่ทำให้เกิดการแพร่ระบาดของศัตรูพืช ได้แก่ปัจจัยแวดล้อมที่ไม่มีชีวิต เช่น อุณหภูมิ ความชื้น

น้ำฝน แสงแดด ดิน สภาพภูมิประเทศ ฯลฯ (Otieno *et al.*, 2019) และปัจจัยสิ่งมีชีวิต คือ มนุษย์ สัตว์ หรือศัตรูตามธรรมชาติที่อาศัยการเคลื่อนที่ด้วยตนเอง หรือผ่านการคมนาคมโดยใช้ยานพาหนะ เช่น ระยะห่างจากถนนหรือแหล่งน้ำ (Sontirat, 1997) จึงประกอบด้วยข้อมูลปัจจัยแวดล้อมทั้งหมด 10 ปัจจัย โดยรวบรวมข้อมูลชุดดิน และข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน จากกรมพัฒนาที่ดิน ข้อมูลน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือน ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายเดือน ความเร็วลมเฉลี่ยรายเดือน และอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนในปี 2562 จากกรมอุตุนิยมวิทยา ข้อมูลระยะห่างจากแหล่งน้ำ จากกรมชลประทาน ข้อมูลระยะห่างจากถนน ข้อมูลความลาดชัน และข้อมูลชั้นความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลางจากแผนที่ภูมิประเทศ และแปลงข้อมูลปัจจัยแวดล้อมให้เป็นข้อมูล ASCII ที่มีขนาดจุดภาพเท่ากันทุกชั้นข้อมูล (Pomoim, 2015) สร้างแผนที่การกระจายของแตนฝอยปมยุงคาลิปดัสและแตนเบียน แล้วทำการคำนวณพื้นที่แพร่กระจายของประเทศไทย โดยนำข้อมูลปัจจัยแวดล้อมข้างต้นมาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Maxent Software Version 3.4.1 (Otieno *et al.*, 2019; Philips and Dudik, 2008) โดยกำหนดตามค่า default ของแบบจำลอง วิเคราะห์ข้อมูลจำนวน 5 ครั้ง (replications) เพื่อลดความคลาดเคลื่อนในการจำลองข้อมูล (Trisurat *et al.*, 2014) ผลจากการวิเคราะห์ ค่าบทบาทของปัจจัยแวดล้อมต่อการกระจายของแตนฝอยปมยุงคาลิปดัสและแตนเบียน (contribution) และค่าความน่าเชื่อถือแบบจำลอง Area Under Curve (AUC) ของสมการ ถ้า AUC เข้าใกล้ 1 แสดงว่าแบบจำลองมีความน่าเชื่อถือมาก (Philips and Dudik, 2008) และผลที่ได้จากการวิเคราะห์จะได้ค่า logistic threshold ค่าความน่าจะเป็นโอกาสของการปรากฏ (probability of presence) มีค่าระหว่าง 0-1 จากการศึกษาเลือกจุดตัดการ

ปรากฏ (cut-of value) จำนวน 1 ค่า คือ ใช้ค่า Maximum Training Sensitivity Plus Specificity Logistic Threshold (MTRSPS) เนื่องจากที่ให้ค่าความถูกต้องสูงสุด (Liu *et al.*, 2005; Trisurat and Bhumpakphan, 2018)

ผลและวิจารณ์

ประชากร และความหนาแน่นของแตนสร้าง ปมยูคาลิปตัส

จากการศึกษาได้สำรวจประชากรแตนสร้างปมยูคาลิปตัสในประเทศไทยทั้งหมด 141 ตำแหน่ง บันทึกข้อมูล พบปมของแตนสร้างปมยูคาลิปตัสจำนวนทั้งสิ้น 19 ตำแหน่ง ในพื้นที่ 9 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดกาญจนบุรี กำแพงเพชร ฉะเชิงเทรา ชลบุรี นครราชสีมา บุรีรัมย์ ระยอง สุโขทัย และจังหวัดอุดรดิตถ์ ไม่พบปมของแตนสร้างปมยูคาลิปตัส 122 ตำแหน่ง ในพื้นที่ 20 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดกาฬสินธุ์ ขอนแก่น ตาก นครสวรรค์ ประจวบคีรีขันธ์ ปราจีนบุรี พิจิตร พิษณุโลก เพชรบุรี มุกดาหาร ราชนบุรี สระแก้ว สระบุรี สุพรรณบุรี สุรินทร์ และจังหวัดอยุธยา เมื่อทำการศึกษากำหนดของยูคาลิปตัสที่พบในแต่ละพื้นที่ที่ปรากฏพบว่าเป็นแตนฝอยปมยูคาลิปตัส (*Leptocybe invasa*) (Figure 2A) และแตนเบียนแตนฝอยปมยูคาลิปตัส (*Quadrastichus mendeli*) (Figure 2B) โดยนำมาวิเคราะห์ความหนาแน่นของประชากรแตนฝอยปมยูคาลิปตัสและแตนเบียนที่สำรวจพบทั้งหมด พบว่ามีค่าเท่ากับ 2,170:19,530 ตัวต่อตารางกิโลเมตร คิดเป็นสัดส่วนประมาณ 1:9 ตัว และพบว่าจังหวัดกำแพงเพชร มีความหนาแน่นของประชากรแตนฝอยปมยูคาลิปตัสมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 33 ของแตนฝอยปมยูคาลิปตัสทั้งหมดที่สำรวจพบ ส่วนจังหวัดระยองมีความหนาแน่นของประชากรแตน

เบียนมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 26 ของแตนเบียนทั้งหมดที่สำรวจพบ ร้อยละการเป็นแตนเบียนกับโฮสต์มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 92.61 ความหนาแน่นของประชากรแตนเบียนอยู่ในระดับสูงกว่าแตนฝอยปมยูคาลิปตัสสำหรับประเทศไทย ซึ่งประเทศอิตาลีและอิสราเอลนำ *Q. mendeli* ไปใช้ควบคุมปรากฏการณ์การเป็นแตนเบียนกับโฮสต์ เท่ากับ 73 และ 94.03 ซึ่งถือว่าประสบความสำเร็จในการควบคุมทางชีววิธี (Kim *et al.*, 2008; Shylesha, 2008) จากการศึกษาการใช้วนวัฒนวิธีและการควบคุมปัจจัยทางชีวภาพควบคู่กัน ในทวีปแอฟริกาสามารถควบคุมจำนวนแตนฝอยปมยูคาลิปตัสที่ระบาดได้และเป็นวิธีที่นิยมอย่างกว้างขวางในการจัดการสวนป่า โดยใช้แตนเบียนชนิด *Megastigmus* sp. และ *Quadrastichus* sp. (TPCP, 2005)

เมื่อพิจารณาชนิดของสายต้นยูคาลิปตัสที่ได้จากการสำรวจ สามารถจำแนกออกได้เป็น 3 สายต้นหลัก ที่พบมีการปลูกมากคือ สายต้น K7 (ลูกผสมข้ามชนิดระหว่าง *E. camaldulensis* และ *E. deglupta*) สายต้น K58 (สายต้นที่พัฒนามาจากสายพันธุ์ *E. urophylla*) (Phakdee, 2015) และสายต้นยูคาลิปตัสชนิดอื่น ๆ (*Eucalyptus* spp.) โดยพบการเข้าทำลายของแตนฝอยปมยูคาลิปตัสของสายต้น K7 มากที่สุด รองลงมาเป็นสายต้นยูคาลิปตัสชนิดอื่น ๆ (*Eucalyptus* spp.) และสายต้น K58 คิดเป็นร้อยละ 27.27, 14.29 และ 10.71 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาสายต้นที่มีความไวต่อการเข้าทำลายของแตนฝอยปมยูคาลิปตัส พบว่าสายต้นที่พัฒนามาจาก *E. camaldulensis* เป็นสายต้นที่มีความไวที่แตนฝอยปมยูคาลิปตัสเข้าทำลายมากที่สุด เช่น สายต้น CT70 สายต้น K25 สายต้น K7 สายต้น K51 สายต้น K59 เป็นสายต้นที่ไม่ต้านทานต่อการทำลายของแตนฝอยปม (Pham *et al.*, 2009; Fang-li *et al.*, 2012;

TPCP, 2012) สำหรับสายต้น K58 จากการทดสอบสายต้น (clonal trial) มักไม่พบการเข้าทำลายและสามารถเจริญเติบโตได้ดีสม่ำเสมอ (Phakdee, 2015) ส่วนสายต้น K7 ที่พบการเข้าทำลายของแตนสร้างปมมากนั้น จากการศึกษาของ (Bhuchaisri, 2013) รายงานว่าไม่ปรากฏเนื้อเยื่อคอลเลงคิมา (collenchyma)

ในเนื้อเยื่อพื้นของเส้นกลางใบด้านล่าง เนื่องจากเนื้อเยื่อคอลเลงคิมาในชั้นผนังเซลล์ ที่ติดกับเนื้อเยื่อพื้นหนาซึ่งจะเป็นอุปสรรคต่อการแทงอวัยวะวางไข่และการเคลื่อนตัวของตัวอ่อนของแตนฝอยปมจึงเป็นเหตุผลหนึ่งที่สามารถเกิดความอ่อนแอและง่ายต่อการเข้าทำลายของแตนฝอยปมยูคาลิปตัสได้



Figure 2 Eucalyptus gall wasps; A) *Leptocybe invasa* Fisher & La Salle and B) *Quadrastichus mendeli* Kim & La Salle.

การกระจายของแตนฝอยปมยูคาลิปตัสและแตนเบียนในประเทศไทย

ผลการศึกษาโอกาสการปรากฏของแตนฝอยปมยูคาลิปตัสและแตนเบียนในประเทศไทย พบว่า มีค่าประสิทธิภาพของแบบจำลองจาก ROC พื้นที่การกระจายของแตนฝอยปมยูคาลิปตัสและแตนเบียนที่ได้จากพื้นที่ได้กราฟ AUC มีค่าเท่ากับ 0.98 และ 0.97 ตามลำดับ

1. การกระจายของแตนฝอยปมยูคาลิปตัส

ค่าสัดส่วนความสัมพันธ์ของปัจจัยแวดล้อม (percent contribution) ที่มีโอกาสต่อการปรากฏของแตนฝอยปมยูคาลิปตัสมากที่สุด คือ ชุดดิน

ระยะห่างจากแหล่งน้ำ ความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือน การใช้ประโยชน์ที่ดิน ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายเดือน ความลาดชัน ความเร็วลมเฉลี่ยรายเดือน มีค่าเท่ากับร้อยละ 57, 16.6, 11.3, 6.2, 4.7, 1.9, 1.6 และ 0.7 ตามลำดับ สำหรับระยะห่างจากถนน และอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือน ไม่มีความสัมพันธ์ต่อโอกาสการปรากฏของแตนฝอยปมยูคาลิปตัส วิเคราะห์การกระจายของแตนฝอยปมยูคาลิปตัส จากค่า Heuristic Estimate พบว่า ชุดดิน บ้านบึงและสัตหีบ (หมายเลข 7) ซึ่งเป็นชุดดินที่มีโอกาสพบแตนฝอยปมยูคาลิปตัสเนื่องจากความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ง่ายต่อการเข้าทำลายของโรคและแมลง จึง

นิยมปลูกยูคาลิปตัส (Royal Forest Department, 2009) (Figure 3A) ระยะห่างจากแหล่งน้ำ ติดแหล่งน้ำมีโอกาสพบแตนฝอยปมยูคาลิปตัส เพราะน้ำจะทำให้แตนเบียนมีชีวิตนานขึ้น (Mendel *et al.*, 2004) (Figure 3B) ความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง ที่มีโอกาสพบแตนฝอยปมยูคาลิปตัส คือ 0 เมตร ด้วยการปลูกสร้างสวนป่าในเชิงเศรษฐกิจนิยมกระทำในพื้นที่ราบมากกว่าที่ลาดชันจึงมีโอกาสพบแตนฝอยปมยูคาลิปตัส (Royal Forest Department, 2009) (Figure 3C) ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือนที่ 50 มิลลิเมตร มีโอกาสพบแตนฝอยปมยูคาลิปตัส เนื่องจากได้รับน้ำฝน (Mendel *et al.*, 2004) (Figure 3D) การใช้ประโยชน์ที่ดินในรูปแบบการปลูกข้าวและทำเกษตรกรรมมีโอกาสพบแตนฝอยปมยูคาลิปตัส (หมายเลข 35) เพราะมักจะพบการปลูกยูคาลิปตัสอยู่ในพื้นที่โดยรอบ (Royal Forest Department, 2009) (Figure 3E) ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายเดือนร้อยละ 57 มีโอกาสพบแตนฝอยปมซึ่งมีความสัมพันธ์กับฤดูกาลและส่งผลต่อการระบาดของแมลงบางชนิดมากขึ้นได้ (Chanpaisaeng, 2013) (Figure 3F) ความเร็วลมเฉลี่ยรายเดือนมีโอกาสพบแตนฝอยปมยูคาลิปตัสไม่มาก (Figure 3G)

2. การกระจายแตนเบียน

ค่าสัดส่วนความสัมพันธ์ของปัจจัยแวดล้อมที่มีโอกาสต่อการปรากฏของแตนเบียนมากที่สุด คือ ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือน อุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือน การใช้ประโยชน์ที่ดิน ความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง ชุดดิน ระยะห่างจากแหล่งน้ำ ความเร็วลมเฉลี่ยรายเดือน ระยะห่างจากถนน ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายเดือน มีค่าเท่ากับร้อยละ 27.3, 18, 15.1, 14, 12.1, 9.9, 2.1, 1.0 และ 0.5 ตามลำดับ สำหรับความลาดชัน ไม่มีความสัมพันธ์ต่อโอกาสต่อการปรากฏของแตนเบียน วิเคราะห์การกระจายของแตนเบียนจากค่า Heuristic Estimate พบว่า ที่ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยราย

เดือนที่ประมาณ 52 มิลลิเมตร มีโอกาสพบแตนเบียน เพราะการมีน้ำช่วยเพิ่มโอกาสการรอดชีวิตมากขึ้น (Sangtongpraow and Charernsom, 2019) (Figure 4A) มีโอกาสพบแตนเบียนที่อุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนสูงกว่า 29.5 องศาเซลเซียส เพราะอุณหภูมิที่สูงขึ้นเร่งระยะเวลาการพัฒนาของแตนฝอยปมยูคาลิปตัสได้ (Kulkarni *et al.*, 2010) (Figure 4B) การใช้ประโยชน์ที่ดินปลูกข้าวทำเกษตรกรรม (หมายเลข 35) และทำสวนผลไม้ (หมายเลข 5) มีโอกาสพบแตนเบียน เพราะมักจะพบการปลูกยูคาลิปตัสอยู่ในพื้นที่โดยรอบ (Royal Forest Department, 2009) (Figure 4C) ที่ความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลางที่ระดับ 25 เมตร มีโอกาสพบแตนเบียนด้วยการปลูกสร้างสวนป่าในเชิงเศรษฐกิจนิยมกระทำในพื้นที่ราบมากกว่าที่ลาดชัน จึงมีโอกาสพบแตนเบียน (Royal Forest Department, 2009) (Figure 4D) ชุดดินบ้านบึงและสัดหีบ (หมายเลข 7) มีโอกาสพบแตนเบียน ซึ่งเป็นชุดดินที่มีโอกาสพบแตนฝอยปมยูคาลิปตัสจึงมีโอกาสพบแตนเบียนตามไปด้วยเพราะเป็นศัตรูตามธรรมชาติ (Royal Forest Department, 2009) (Figure 4E) ระยะห่างจากแหล่งน้ำ ติดแหล่งน้ำมีโอกาสพบแตนเบียนเพราะน้ำจะทำให้แตนเบียนมีชีวิตนานขึ้น (Mendel *et al.*, 2004) (Figure 4F) มีโอกาสพบแตนเบียนที่ความเร็วลมเฉลี่ย 1.6 เมตรต่อวินาที (Figure 4G) ระยะห่างจากถนน 0 เมตร มีโอกาสพบแตนเบียนเนื่องจากการเคลื่อนที่ ด้วยตนเองหรือผ่านทางรถคนมาคม (Sontirat, 1997) (Figure 4H) มีโอกาสพบแตนเบียนที่ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายเดือนร้อยละ 57 ซึ่งสัมพันธ์กับฤดูกาลและส่งผลต่อการระบาดของแมลงบางชนิดมากขึ้นได้ (Chanpaisaeng, 2013) (Figure 4I)

ผลลัพธ์ของแบบจำลอง MaxEnt คือความต่อเนื่องของโอกาสในการปรากฏ มีค่าระหว่าง 0-1 ค่าที่สูงกว่าหมายถึงความเหมาะสมที่มากกว่าและ

ในทางกลับกันสามารถทำนายโอกาสในการปรากฏค่าด้วย Logistic Threshold ซึ่งค่า Maximum Training Sensitivity Plus Specificity (MTRSPS) ได้รับการพิสูจน์แล้วว่าสามารถใช้ในการทำนายการกระจายพันธุ์ (Trisurat *et al.*, 2011a; Trisurat *et al.*, 2011b) และให้ค่าความถูกต้องสูงสุดจากการศึกษาครั้งนี้ จึงนำมาจัดระดับความน่าจะเป็นในการพบการปรากฏของแตนฝอยปมเพื่อสร้างแผนที่ความน่าจะเป็นในการกระจาย (Liu *et al.*, 2005) ได้ดังนี้

1. ความน่าจะเป็นในการพบการปรากฏแตนฝอยปมยุคาลิปตัสที่ $P(Y) \geq 0.452$ พบได้บริเวณจังหวัดกาญจนบุรี ราชบุรี เพชรบุรี ประจวบคีรีขันธ์ ฉะเชิงเทรา ชลบุรี ระยอง ลพบุรี นครสวรรค์ สุพรรณบุรี กำแพงเพชร เพชรบูรณ์ นครราชสีมา ขอนแก่น และจังหวัดร้อยเอ็ด ครอบคลุมพื้นที่ 27,620 ตารางกิโลเมตร หรือร้อยละ 5.48 ของพื้นที่ประเทศ (Figure 5A)

2. ความน่าจะเป็นในการพบการปรากฏแตนเบียนที่ $P(Y) \geq 0.538$ พบได้บริเวณจังหวัดกาญจนบุรี สุพรรณบุรี สุโขทัย กำแพงเพชร พิษณุโลก นครสวรรค์ ลพบุรี นครราชสีมา ฉะเชิงเทรา ชลบุรี และจังหวัดระยอง ครอบคลุมพื้นที่ 12,852 ตารางกิโลเมตร หรือร้อยละ 2.54 ของพื้นที่ประเทศ (Figure 5B)

เนื่องจากช่วงความน่าจะเป็นในการปรากฏของแตนฝอยปมยุคาลิปตัสมีค่า เท่ากับ 0.452-1.00 ค่าพื้นที่การกระจายในประเทศไทยที่คำนวณได้จึง

มากกว่า แต่สำหรับแตนเบียนช่วงค่าความน่าจะเป็นในการปรากฏ เท่ากับ 0.538-1.00 ซึ่งแคบกว่า จึงทำให้พื้นที่การกระจายของแตนเบียนน้อยกว่าและเมื่อนำแผนที่ทั้งสองมาซ้อนทับกันปรากฏว่า พื้นที่จังหวัดที่มีโอกาสพบทั้งแตนฝอยยุคาลิปตัสและแตนเบียนมากที่สุด คือบริเวณจังหวัดนครราชสีมา ฉะเชิงเทรา กาญจนบุรี และจังหวัดสุโขทัย ครอบคลุมพื้นที่ 6,559 ตารางกิโลเมตร หรือร้อยละ 1.30 ของพื้นที่ประเทศ (Figure 6) กล่าวคือในพื้นที่บริเวณจังหวัดดังกล่าวต้องหาแนวทางการควบคุมทางชีววิธีที่เหมาะสม หรือนำศัตรูตามธรรมชาติมาช่วยกำจัดแมลงศัตรูพืช (Suasard and Charoensom, 1999) เพื่อควบคุมการกระจายของแตนฝอยยุคาลิปตัส ซึ่งเป็นสิ่งที่นักวิจัยสนใจและใช้เป็นแนวทางจัดการสวนป่ากันมากขึ้น นอกจากนี้ควรหาแนวทางควบคุมปัจจัยแวดล้อมที่ส่งผลต่อการกระจายของประชากรแตนฝอยยุคาลิปตัส และควรเพิ่มปัจจัยแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของแตนเบียน จะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการควบคุมทางชีววิธีที่ดีด้วย (Austin, 2002)

ทั้งนี้ขนาดพื้นที่ที่วิเคราะห์ข้อมูลใช้ขนาดกริด เท่ากับ 1x1 กิโลเมตร อาจทำให้การประเมินแผนที่ความน่าจะเป็นในการกระจายเกิดความคลาดเคลื่อนได้ และควรมีการตรวจสอบความถูกต้องด้วยค่า Logistics Threshold ประเภทอื่น ๆ และนำแผนที่มาซ้อนทับกันเพื่อตรวจสอบความถูกต้องเพิ่มเติมด้วย

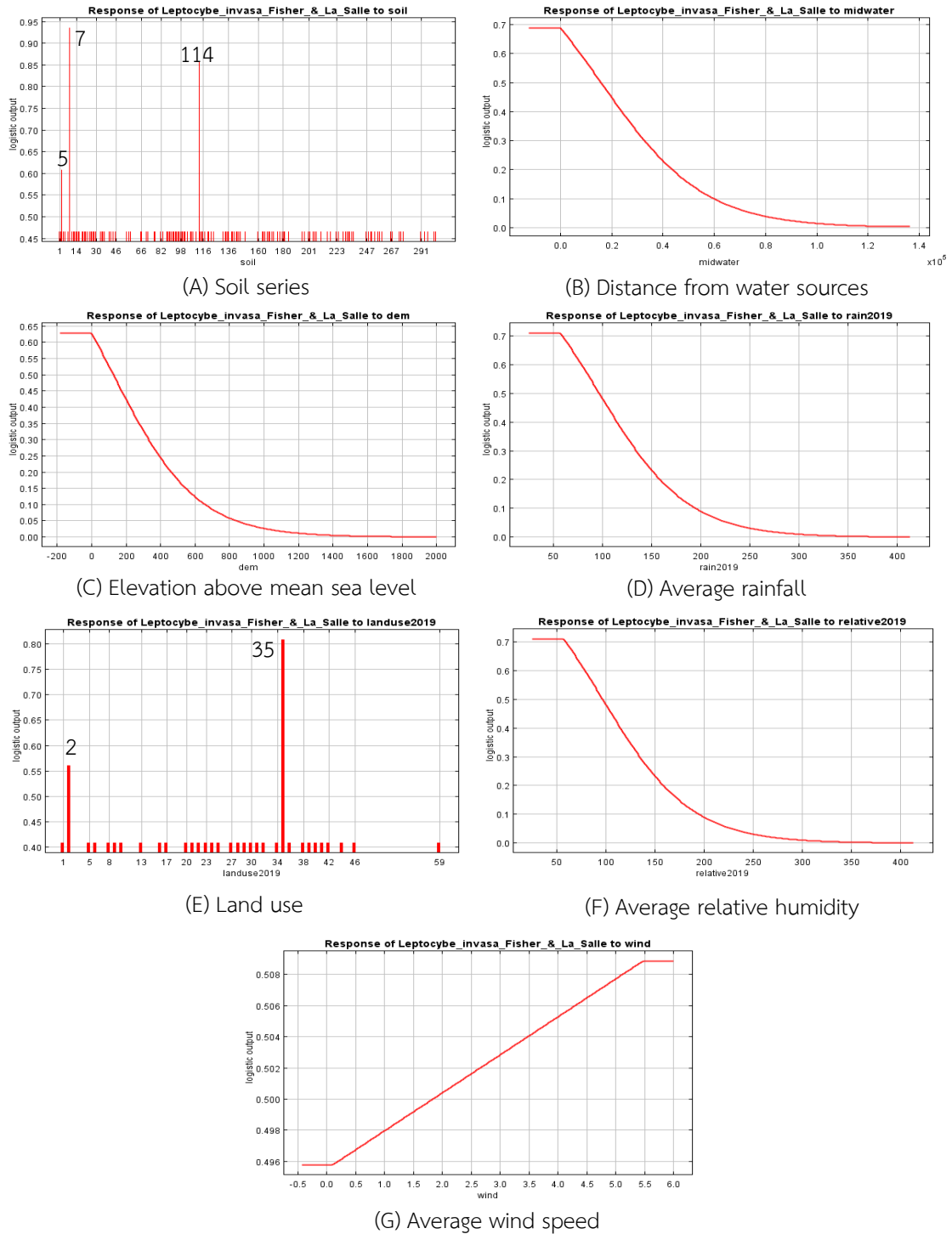
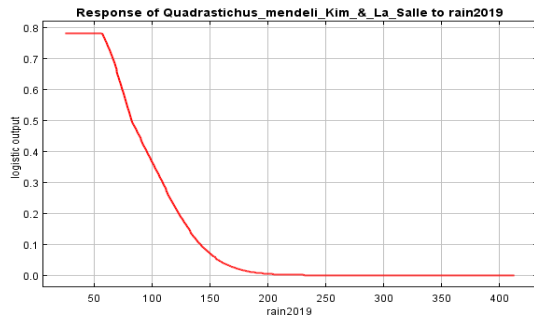
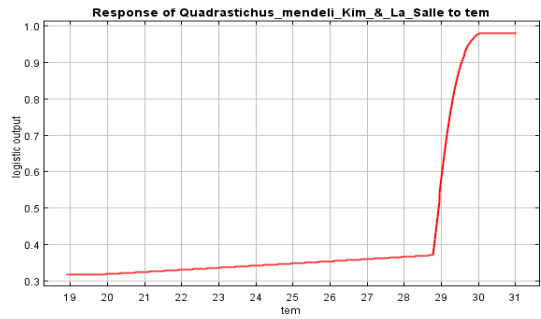


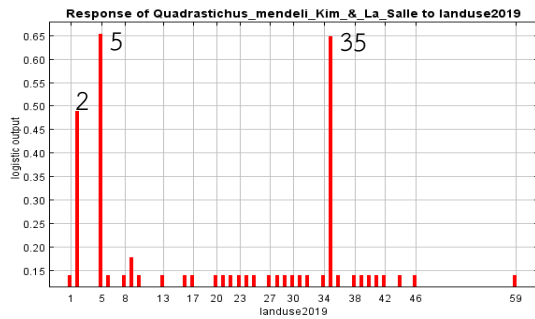
Figure 3 The relationship between the percent contribution influencing the appearance of eucalyptus gall wasp (*L. invasa*) in Thailand.



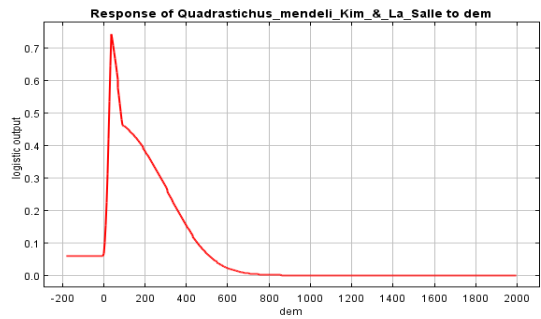
(A) Average rainfall



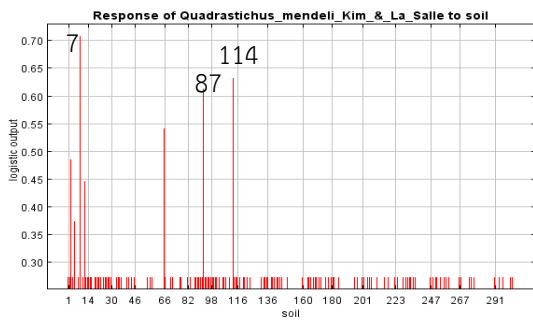
(B) Average temperature



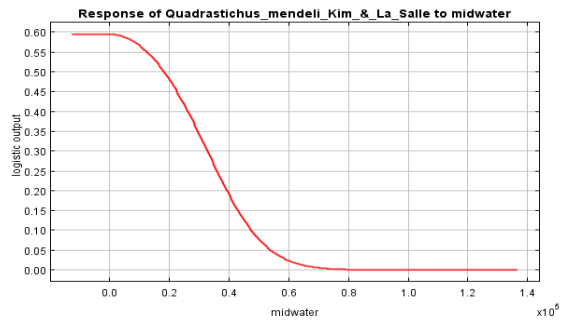
(C) Land use



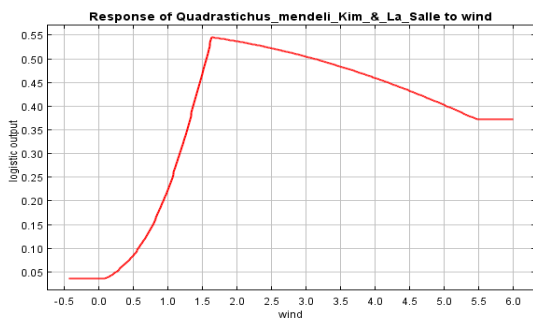
(D) Elevation above mean sea level



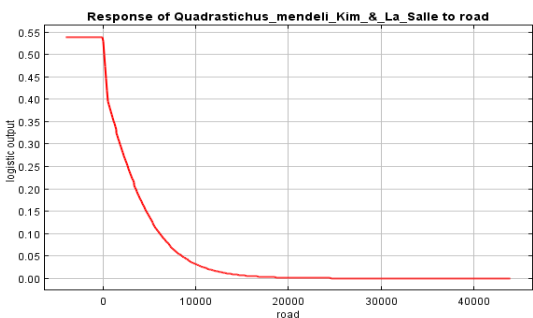
(E) Soil series



(F) Distance from water sources

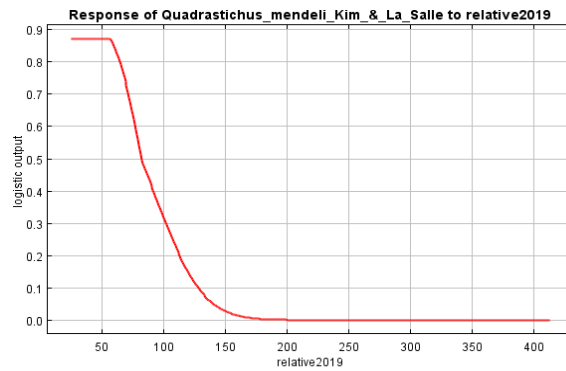


(G) Average wind speed



(H) Distance from road

Figure 4 The relationship between the percent contribution influencing the appearance of the eucalyptus insect pest or parasitoid (*Q. mendeli*) in Thailand.



(I) Average relative humidity

Figure 4 (Continued)

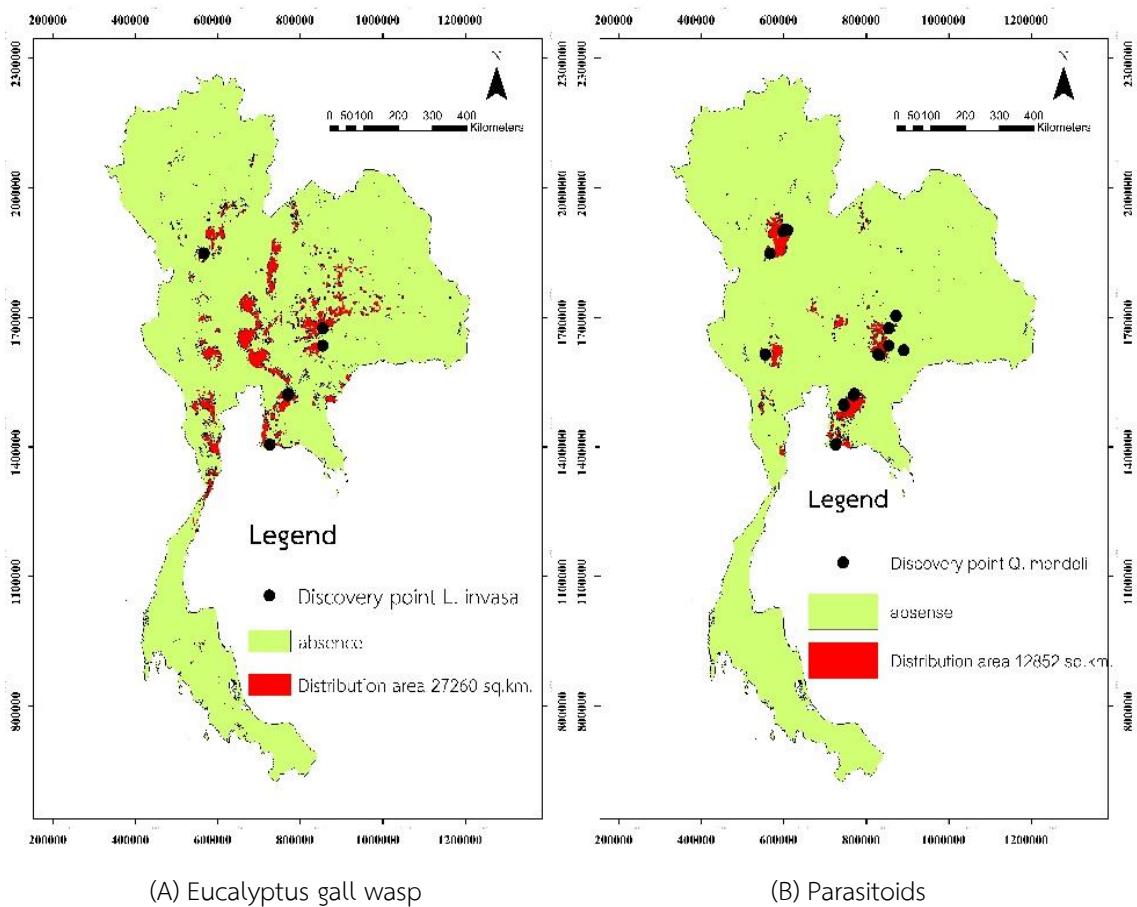


Figure 5 Distribution of eucalyptus gall wasp and parasitoid in Thailand, as determined by the MaxEnt model.

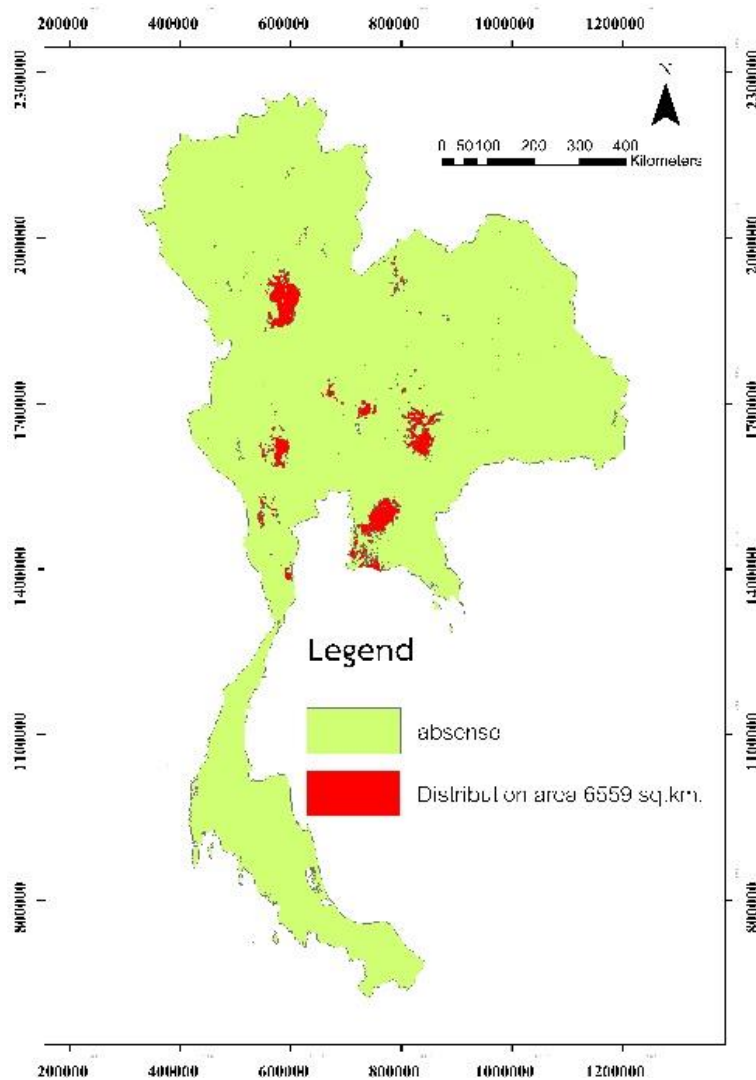


Figure 6 Distribution of the overlapping area of eucalyptus gall wasp and parasitoid in Thailand, as determined by the MaxEnt model.

สรุป

ในการศึกษาได้ทำการสำรวจครอบคลุมสวนป่ายูคาลิปตัสทั้งภาครัฐและเอกชนในพื้นที่ 29 จังหวัด 141 ตำบล พบความหนาแน่นของประชากรแตนฝอยปมยูคาลิปตัสต่อแตนเบียน เท่ากับ 2,170:19,530 ตัวต่อตารางกิโลเมตร คิดเป็นสัดส่วนโดยประมาณ 1:9

ร้อยละการเป็นแตนเบียนเฉลี่ย (% parasitoid) เท่ากับ 90.00 ถือว่าความสามารถในการควบคุมของแตนเบียนตามธรรมชาติได้ค่อนข้างดี สถานการณ์การเข้าทำลายต้นยูคาลิปตัสของแตนฝอยปมของประเทศไทยในปัจจุบันไม่รุนแรง และคาดว่าจะมีพื้นที่ที่พบการกระจายของประชากรแตนฝอยปมยูคาลิปตัสและแตนเบียน ประมาณ 27,620 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 5.48

ของพื้นที่ประเทศ) และ 12,852 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 2.54 ของพื้นที่ประเทศ) ตามลำดับ โดยปัจจัยแวดล้อมชุดดินและปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือน มีอิทธิพลต่อการปรากฏของแตนฝอยปมยูคาลิปตัสและแตนเบียนมากที่สุดตามลำดับ โอกาสพบการปรากฏของแตนฝอยปมและตัวเบียนของประเทศไทยส่วนใหญ่อยู่ในบริเวณภาคกลางและภาคตะวันออกของประเทศไทย

REFERENCES

- Austin, M.P. 2002. Spatial prediction of species distribution: An interface between ecological theory and statistical modeling. **Ecological Modelling** 157(2-3): 101-118.
- Australian Centre for International Agricultural Research [ACIAR]. 2016. **Biological Control of Galling Insect Pests of Eucalypt Plantations in the Mekong Region**. Available Source: <https://www.aciar.gov.au/project/FST-2012-091>, June 18, 2019.
- Bhuchaisri, W. 2013. **Leaf Anatomy of The Eucalyptus Tolerating to Gall Wasp (*Leptocybe invasa* Fisher & La Salle)** M.S. Thesis, Kasetsart University. (in Thai)
- Chanpaisaeng, J. 2013. Factors affecting the infestation of pests. **Khakaset Journal** 37: 45. (in Thai)
- European and Mediterranean Plant Protection Organization [EPPO]. 2007. Pest and diseases, *In First Record of leptocybe invasa in Portugal* 2007/012. n.p., Portugal.
- Fang-li, Z., R.X. Shun, Q.L. Bao, H. Zhen and P.Q. Zheng. 2012. The abundance and population dynamics of *Leptocybe invasa* (Hymenoptera: Eulophidae) galls on Eucalyptus spp. in China. **Journal of Integrative Agriculture** 11(12): 2116-2123.
- Garnas, J., B. Hurley, B. Slippers and M. Wingfield. 2012. Biological control of forest plantation pests in an interconnected world requires greater international focus. **International Journal Pest Management** 58: 221-223.
- Kim, I., Z. Mendel, A. Protasov, D. Blumeberg and J.L. Salle. 2008. Taxonomy, biology and efficacy of two Australian parasitoids of the eucalyptus gall wasp, *Leptocybe invasa* Fischer & La Salle (Hymenoptera: Eulophidae:Tetrastichinae). **Zootaxa** 1910: 1-20.
- Kongkaew, N. 2014. **Social Capital Factors Affecting the Use of Parasitoid *Anagrus lopezi* to Control Pink Cassava Mealybug**. M.S. Thesis, Kasetsart University. (in Thai)
- Kulkarni, H., N. Kumari, A.S. Vastrad and K. Basavanagoud. 2010. Release and recovery of parasitoids in eucalyptus against gall wasp, *Leptocybe invasa*

- (Hymenoptera: Eulophidae) under green house. **Karnataka Journal Agriculture Science** 2010 23(1): 91-92
- Liu, C., P.M. Berry, T.P. Dawson and R.G. Pearson. 2005. Selecting thresholds of occurrence in the prediction of species distributions. **Ecography** 28: 385-393.
- Mendel, Z., A. Protosov, N. Fisher and J.L. Salle. 2004. Taxonomy and biology of *Leptocybe invasa* (Hymenoptera: Eulophidae) general and species review. an invasive gall inducer on Eucalyptus. **Australian Journal of Entomology** 43(2): 101-113.
- Office of Forest Research and Development, Royal Forest Department. n.d. *Leptocybe invasa*, a Major Pest for Eucalyptus. Available Source: <http://forprod.forest.go.th/forprod/nana/PDF/12.pdf>, June 29, 2019.
- Office of Natural Resources and Environmental Policy and Planning. 2018. **Alien Species with High Priority of Thailand and the Route of Epidemic**. 1st ed. Biodiversity Management Division, Office of Natural Resources and Environmental Policy and Planning, Bangkok. (in Thai)
- Otieno, B.A., H.F. Nahrung and M.J. Steinbauer. 2019. Where did you come from? Where did you go? Investigating the origin of Invasive *Leptocybe* Species using distribution modelling. **Forests** 10(2): 115.
- Phakdee, T. 2015. **Effectiveness of Kaolin on Gall Wasp Infestation, Photosynthesis and Growth of Eucalyptus, Clone K58, seedlings**. M.S. Thesis, Kasetsart University. (in Thai)
- Pham. Q.T., B. Dell and T.I. Burgess. 2009. Susceptibility of 18 eucalypts to the wasp *Leptocybe invasa* in the nursery and young plantations in Vietnam. **Scienceasia** 35(2): 113-117.
- Philips, S.J. and M. Dudik. 2008. Modeling of species distributions with Maxent: New extensions and a comprehensive evaluation. **Ecography** 31(2): 161-175.
- Pomoi, N. 2015. **Distribution and Conservation Status of Water Onion (*Crinum thaianum* J. Schulze) in Thailand**. M.S. Thesis, Kasetsart University. (in Thai)
- Royal Forest Department. 2009. *Eucalyptus camaldulensis*. 1st ed. Private Forest Division, Royal Forest Department, Bangkok. (in Thai)
- Sangtongpraow, B. 2011. **Biological Aspect of Eucalyptus Gall Wasp, *Leptocybe invasa* Fisher & La Salle (Hymenoptera: Eulophidae) and its Parasitoids in *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. Plantations, Tha Muang and Phanom Thuan Districts, Kanchanaburi Province**. Ph.D. Thesis, Kasetsart University. (in Thai)

- Sangtongpraow, B. and K. Charernsom. 2019. Biological traits of *Quadrastichus mendeli* (Hymenoptera: Eulophidae), parasitoid of the Eucalyptus Gall Wasp *Leptocybe invasa* (Hymenoptera: Eulophidae) in Thailand. **Parasite** 26: 8. (in Thai)
- Shylesha, A.N. 2008. **Classical Biological Control of Eucalyptus Gall Wasp *Leptocybe invasa* Fisher & La Salle**. Final project report on the management of emerging pests eucalyptus. Available Source: <http://www.dcpulppaper.org/gifs/report63.pdf>. June 25, 2019.
- Sontirat, S. 1997. **Plant Disease Management**. V.B. Book Center Lincoln Publishing House, Bangkok. (in Thai)
- Suasa-ard, W. and K. Charoensom. 1999. **Introduction to Biological Pest Control**. 3rd ed. J Film Process Co Ltd, Bangkok. (in Thai)
- Tantasawat, P. 2011. **Breeding for Plant Pest Resistance**. 1st ed. Korat Marketing and Production, Nakhon Ratchasima. (in Thai)
- Thaiutsa, B. 2006. *Leptocybe invasa* Fischer & La Salle, a new insect pest of eucalyptus. **Mailongmairoo Journal** 6(60): 27-29. (in Thai)
- Tree Protection Co-operative Programme [TPCP]. 2005. **Blue Gum Chalcid News**. Available Source: www.fabnet.up.ac.za/tpcp/Leptocybe, June 18, 2019.
- Tree Protection Co-operative Programme [TPCP]. 2012. ***Leptocybe invasa* the Blue Gum Chalcid Wasp. Information sheet**. Available Source: <http://www.forestry.co.za/uploads/File/home/notices/2011/ICFR%20IS01-2011gallwasp.pdf>, June 19, 2019.
- Trisurat, Y., R.P. Shrestha and R. Kjelgren. 2011a. Plant species vulnerability to climate change in Peninsular Thailand. **Applied geography** 31(2011): 1106-1114. *Cited* F. Cuest-Comocho, A. Ganzenmuller, M. Peralvo, J. Novoa and G. Riofrio. 2006. **Predicting Species Niche Distribution Shifts and Biodiversity Change within Climate Change Scenarios: A Regional Assessment for Bird and Plant Species in the Northern Tropical Andes**. Peru: Biodiversity Monitoring Program, EcoCiencia.
- Trisurat, Y., R.P. Shrestha and R. Kjelgren. 2011b. Plant species vulnerability to climate change in Peninsular Thailand. **Applied geography** 31(2011): 1106-1114. *Cited* C. Liu, P.M. Berry, T.P. Dawsons and R.G. Pearson. 2005. Selecting thresholds of occurrence in the prediction of species distributions. **Ecography** 28: 385-393.
- Trisurat, Y., B. Kanchanasaka and H. Kreft. 2014. Assessing potential effects of land use and climate change on mammal

- distribution in Northern Thailand. **Wildlife Research** 41(6): 522-536.
- Trisurat, Y. and N. Bhumpakphan. 2018. Effects of land use and climate change on Siamese Eld's Deer (*Rucervus eldii siamensis*) distribution in the transboundary conservation area in Thailand, Cambodia, and Lao PDR. **Frontiers in Environmental Science** 6: 1-15.
- Wiley, J., and P. Skely. 2008. **A Eucalyptus Pest, *Leptocybe invasa* Fisher & La Salle (Hymenoptera: Eulophidae) Genus and Species new to Florida and North America.** Division of Plant Industry, Florida.
- Wiwatwitaya, D. 2015. **Associate Dean for Research.** Faculty of Forestry, Kasetsart University, Bangkok. (in Thai)
-