



Available online at www.ptat.thaigov.net

# Climate Change and Mosquito Vectors

Chamnarn Apiwathnasorn

Department of Medical Entomology, Faculty of Tropical Medicine, Mahidol University,  
420/6 Ratchawithi Road, Bangkok 10400, Thailand

## Abstract

The effects of anthropogenic climate change are now impacting terrestrial ecosystems, and are playing a crucial role in changes to insect populations: on biology and diversity, on geographic distribution, on geographical range, number of generations, and on abundance levels. The precise consequences are still unknown, but the effects of climate change on insects have now been recognized from the level of individual species to communities, most notably in the form of temperature-related range shifts. No thorough explanation has been offered for how this will influence the spread of vector-borne diseases attributable to climate change. With regard to breeding requirements, there is evidence of adaptation of some mosquito species to fragmented-forest environments in Thailand, while *Anopheles dirus* larvae are now unreported in the rock pools of some bamboo forests and caves. Studies on a larger geographical scale may provide more insight into the adaptive selection of these alternative habitats by mosquito vectors. Regarding our own field observations on the bionomics of mosquito vectors, some generalizations can already be made about trends in Thailand. This manuscript discusses the subject of climate change and its potential impacts on these mosquito vectors, especially.

**Keywords:** climate change, insects, mosquito vectors, vector-borne diseases, Thailand

## การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศและยุงพาหะ

ในรายงานสรุปผลการสัมมนาเรื่อง นโยบายสิ่งแวดล้อมของสหภาพยุโรป: มาตรการต่อสู้โลกร้อนและผลกระทบต่อธุรกิจไทย ที่ประชุม EU Environment Policy Conference 2009 เมื่อวันที่ 16 กรกฎาคม 2552 ณ โรงแรมดุสิตธานี กรุงเทพฯ บันทึกว่า “ปัจจุบันประเทศไทยปล่อยก๊าซเรือนกระจกเป็นอันดับที่ 25 ของโลก ด้วยปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO<sub>2</sub> Equivalent) 344 ล้านตันต่อปี ภาคที่มีอัตราการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด คือภาคพลังงาน รองลงมาคือภาคเกษตร และภาคของเสียตามลำดับ ผลจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศหรือภาวะเรือนกระจกในประเทศไทยที่ความรุนแรงยิ่งขึ้นทุกวัน อุณหภูมิที่สูงขึ้นเป็นผลให้จำนวนวันที่อากาศร้อนเพิ่มขึ้น คลื่นความร้อนรุนแรงขึ้น เกิดภัยพิบัติเนื่องจากภูมิอากาศ เช่น พายุ

คลื่นลมแรง ไฟป่า ภัยแล้ง และน้ำท่วมที่บ่อยครั้งขึ้น ซึ่งเหตุการณ์เหล่านี้ส่งผลโดยตรงต่อสุขภาพอนามัยของคนไทยตั้งแต่ ปี ค.ศ. 2000 เมื่อผนวกภัยพิบัติที่ทวีความรุนแรงขึ้น เข้ากับปัญหามลพิษในประเทศไทย ทำให้คาดการณ์ได้ว่าอัตราการเกิดของโรค และอัตราความชุกของโรคจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างมาก องค์การอนามัยโลก (World Health Organization: WHO) จึงจัดให้ประเทศไทยอยู่ในกลุ่มประเทศที่มีความเสี่ยงต่อโรคที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งโรคที่เกิดจากยุง และหนู เป็นพาหะ” ดังนั้นเพื่อความเข้าใจเหตุและผลของความจริงของรายงานดังกล่าวบทความนี้จะนำเสนอข้อมูลที่แสดงให้เห็นปัจจัยต่างๆ และผลกระทบของภูมิอากาศที่กำลังเปลี่ยนแปลงอันเกิดจากภาวะโลกร้อนที่มีต่อยุงพาหะเพื่อจะได้ตระหนักถึงปัญหาสุขภาพที่กำลังเข้ามาใกล้เราทุกขณะซึ่งต้องศึกษารายละเอียดเป็นองค์รวมทุกปัจจัยจึงจะทราบผลที่แท้จริง

## Correspondence:

Chamnarn Apiwathnasorn,  
Email: <chamnarn.api@mahidol.ac.th>

ตามหลักฐานซากฟอสซิลทำให้สามารถประมาณได้ว่าแมลงปรากฏตัวบนโลกมานานกว่า 450 ล้านปี โดยถือกำเนิดจากบรรพบุรุษที่อาศัยบนโลกมาก่อนกว่า 3 พันล้านปี [1] นัก

ชีววิทยาจัดให้แมลงเป็นสิ่งมีชีวิตซึ่งประสบความสำเร็จในการดำรงชีวิตบนโลกสูงที่สุด โดยยืนยันทันจากความสำเร็จ 2 ด้านคือ ทางด้านวิวัฒนาการ เช่น ความหลากหลายของชนิด (species diversity) ระยะเวลาทางธรณีวิทยา (geological duration) และการแพร่กระจายทางภูมิศาสตร์ (geographical distribution) และความสำเร็จทางนิเวศวิทยา เช่น ผลกระทบของแมลงแต่ละชนิดที่มีต่อระบบนิเวศวิทยา ปัจจุบันเราค้นพบแมลงมากกว่า 1.7 ล้านชนิด [2] ซึ่งมีปัจจัยหลายอย่างที่ส่งผลต่อการปรับตัวและวิวัฒนาการมาอย่างยาวนาน เช่น แมลงตัวเล็กทำให้แมลงมีแหล่งอาหาร ถิ่นที่อยู่และที่หลบภัยแทบจะไร้ขอบเขตจำกัดความสามารถในการบินที่มีส่วนช่วยให้แมลงสามารถเคลื่อนย้ายเปลี่ยนที่อยู่ใหม่เมื่อภัยมาถึงตัว บินไปหาแหล่งอาหาร และถิ่นที่อยู่ใหม่ที่เหมาะสมกว่าเดิมได้ ความแข็งแรงของร่างกายแมลงที่มีโครงสร้างกระดูกภายนอก (exoskeleton) และระยางค์เป็นข้อปล้องต่อหุ้มอวัยวะภายในไว้ช่วยป้องกันอันตราย และลดการสูญเสียน้ำออกจากตัว วงจรชีวิตที่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างและขนาด (metamorphosis) ในระหว่างการเจริญเติบโตทำให้แมลงสามารถปรับตัวเข้ากับสภาพสิ่งแวดล้อมได้อย่างรวดเร็ว และปัจจัยสุดท้ายคือศักยภาพในการขยายพันธุ์สูง สร้างโอกาสให้แมลงสามารถมีชีวิตรอดบนโลกมากกว่าสิ่งมีชีวิตอื่นทั้งหมด

ความหลากหลายทั้งชนิด รูปร่าง และวิถีชีวิตความเป็นอยู่กำหนดแมลงให้มีบทบาทหลายประการต่อสมดุลย์ของระบบนิเวศวิทยานบนบกและในน้ำ [3] ได้แก่ แมลงกินพืช (insect herbivores) เช่น ตั๊กแตนกินใบไม้และดอกไม้เป็นอาหารแล้วขับถ่ายมูลออกมาให้ความสมบูรณ์กับดิน แมลงผสมเกสร (pollinators) เช่น ผึ้ง แตน ผีเสื้อ แมลงวัน ทำหน้าที่ผสมเกสรพืชดอกและพืชเมล็ดมากกว่า 65% ของชนิดทั้งหมดบนโลก แมลงย่อยสลายซาก (decomposers) เช่น ตัวง แคล้ว หนอน แมลงวัน ไร กินและย่อยสลายซากพืชและซากสัตว์ให้ปุ๋ยกับดิน นักล่า (predators) เช่น แมงมุม แมงป่อง มด เป็นกลไกหนึ่งในการควบคุมประชากรของสัตว์โลก อย่างไรก็ตามในแง่ของมนุษย์แมลงมีทั้งที่เป็นโทษและมีประโยชน์ ที่เป็นโทษได้แก่ พวกที่ทำลายพืชผลการเกษตร เครื่องใช้และของตกแต่งบ้านต่างๆ หรือนำโรคมาลู่คนและสัตว์ แต่ในขณะเดียวกันแมลงมีประโยชน์อย่างมากมาย เช่น แมลงหลายชนิดช่วยผสมเกสรพืชทำให้เพิ่มผลผลิตหลายชนิดให้ผลิตภัณฑ์ธรรมชาติได้แก่ น้ำผึ้ง เส้นไหม ครั้ง ที่มนุษย์นำไปใช้เป็นประโยชน์ แมลงหลายชนิดเป็นศัตรูธรรมชาติ (natural enemies) โดยไปทำลายแมลงศัตรูพืช ทำให้ไม่จำเป็นต้องใช้สารเคมีป้องกันหรือกำจัดศัตรูพืช ที่อาจเกิดพิษตกค้างเป็นอันตรายต่อผู้บริโภคและผู้บริโภค เราใช้แมลงบางชนิดเป็นดัชนีชี้วัดความอุดมสมบูรณ์ หรือความสัมพันธ์ของสิ่งแวดล้อม เช่น แมลงชีปะขาว แมลงหางคืด และหิ่งห้อย เป็นต้น

ตลอดระยะเวลาที่แมลงปรับตัวและวิวัฒนาการมา ยิ่งทำให้แมลงมีความเข้มแข็งมากขึ้น แม้ว่าจะมีแมลงหลายชนิดเช่นกันสูญพันธุ์ไป "ทฤษฎีวิวัฒนาการ" ของชาร์ลส์ ดาร์วิน สรุปว่า สิ่งมีชีวิตที่เข้มแข็งที่สุดเท่านั้นที่จะอยู่รอด (survival of the fittest) วิชาการแ่ง

นี้อาจต้องขยายความเรื่องความแข็งแรงว่าไม่ได้หมายถึงพลังกำลังอย่างเดียว แต่ต้องรวมความถึง ความสามารถในการปรับตัวต่อสิ่งแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงด้วย แมลงมีปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและขยายพันธุ์ ได้แก่ ศักยภาพในการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมซึ่งจะมีผลกระทบต่อการปรับตัว (adaptation) วิวัฒนาการ (evolution) และอัตราการเจริญเติบโต ซึ่งจะขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมของสิ่งมีชีวิตในขณะนั้น ปัจจัยสภาพแวดล้อมทางชีวภาพ เช่น ปรสิต แบคทีเรีย หรือไวรัส ภายในตัวแมลงอาจทำลายเนื้อเยื่อหรือแย่งดูดสารอาหาร ทำให้การเติบโตผิดปกติไปหรือตายได้ ปัจจัยสภาพแวดล้อมทางกายภาพเช่น ความร้อน แสงสว่าง สารเคมีที่มีผลต่อการเจริญเติบโต ทั้งนี้ในรอบ 600 ปีที่ผ่านมา แมลงประมาณ 44,000 ชนิดสูญพันธุ์จากโลก และคาดว่าในอีก 50 ปีข้างหน้า เชื่อว่าแมลงมากกว่าแสนชนิดต้องสูญพันธุ์ไป [4] สาเหตุอาจเนื่องมาจากการคุกคามจากมลภาวะทางสิ่งแวดล้อมสภาวะอากาศที่ผันผวนอันเนื่องมาจากโลกร้อนขึ้นยากต่อการพยากรณ์ในปัจจุบัน ทำให้แหล่งที่อยู่อาศัยทางธรรมชาติลดน้อยลงและสูญไป (habitat loss) นักวิทยาศาสตร์คาดการณ์เกี่ยวกับภาวะโลกร้อนที่มีต่อสิ่งมีชีวิต จากผลการศึกษาใน 6 เขตที่มีความหลากหลายทางชีวภาพสูง (ตั้งแต่ทวีปออสเตรเลียไปจนถึงแอฟริกาใต้ คิดเป็นพื้นที่ประมาณ 20% ของแผ่นดินโลก) ว่ามากกว่า 60% ของถิ่นอาศัยของสัตว์ทางซีกโลกเหนือ จะได้รับอิทธิพลจากภาวะโลกร้อน สิ่งมีชีวิตทั้งพืชและสัตว์ทั่วโลกมากกว่า 1,000,000 ชนิด จะสูญพันธุ์ภายในปี ค.ศ. 2050 แมลงหลายชนิดต้องสูญพันธุ์ตามไปกับสิ่งมีชีวิตอื่นด้วย (coextinction) เพราะต้องพึ่งพาทั้งพืชและสัตว์เหล่านั้นเป็นทั้งแหล่งอาหารและถิ่นอาศัย พืชและสัตว์ไม่ต่ำกว่า 279 ชนิดมีการตอบสนองต่อภาวะโลกร้อน เห็นได้จากความพยายามย้ายถิ่นฐานเข้าใกล้ขั้วโลกมากขึ้น มีหลักฐานเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เกี่ยวกับการสูญพันธุ์ของสรรพสัตว์ จนมีการเทียบเคียงว่าอาจจะเป็นวิกฤตการณ์สูญพันธุ์ครั้งยิ่งใหญ่ครั้งที่ 6 ของโลก (the sixth extinction crisis) จากการสูญเสียนิเวศวิทยา ซึ่งได้รับอิทธิพลอย่างรุนแรงจากการรบกวนและรุกรานของมนุษย์ เช่น การตัดไม้ทำลายป่า การเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร โดยเฉพาะการปลูกพืชชนิดเดียว (mono cropping) ได้แก่ กาแฟ และชา มักจัดการแบบเดิมความเข้มข้นทางการเกษตร (agricultural intensification) โดยใช้แรงงาน ปุ๋ยเคมี และสารเคมีกำจัดเชื้อรา วัชพืช และแมลงรบกวนในปริมาณสูง และการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ [5-9]

การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศอาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่อชีวิตของแมลงในหลายด้าน เช่น การกระจายทางภูมิศาสตร์ การเข้าสู่ฤดูจำศีล อัตราเร่งการเจริญเติบโต การเพิ่มจำนวนรุ่น การขยายพันธุ์ยืดยาวขึ้น การเปลี่ยนแปลงปฏิสัมพันธ์ระหว่างประชากรแมลงต่างชนิดกัน การเพิ่มโอกาสอพยพของแมลงต่างถิ่นและแมลงรุกราน เป็นต้น [10-12] นอกจากนี้แสงสว่างจะมีอิทธิพลต่อกิจกรรมที่ทำตามฤดูกาล (seasonality) ดังนั้นผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศต่อแมลงจึงพอสรุปอย่างกว้างๆ ได้ 4 ด้านดังนี้

1. ผลกระทบที่มีต่อสรีรวิทยาโดยเฉพาะ อุณหภูมิซึ่งมีผลโดยตรงต่ออัตราการเจริญเติบโต อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจะเปลี่ยนแปลงระดับความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) และความเข้มข้นของ ions ส่งผลโดยตรงต่อโมเลกุลขนาดใหญ่เช่น โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต DNA และ RNA ภายในเซลล์ เยื่อหุ้มนิวเคลียส ไมโทคอนเดรีย และไรโบโซม อุณหภูมิสูงขึ้นนี้จะทำให้ความเป็นกรดสูงขึ้นตามในอัตรา 0.015-0.2 pH units ต่อองศาเซลเซียส ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อการทำงานของโปรตีน กรดนิวคลีอิก และเมมเบรน [13] ดังนั้นแมลงจึงมักจะมีการพัฒนาและเจริญเติบโตเหมาะสมที่สุดในช่วงกว้างของอุณหภูมิเช่น หนอนทำลายแอปเปิล (codling moth) เติบโตได้ดีที่สุดระหว่างอุณหภูมิ 10-30 องศาเซลเซียส [14] แมลงอาศัยตามส่วนต่างๆ ของโลกที่มีภูมิอากาศแตกต่างกัน กระนั้นแมลงสามารถทนต่ออุณหภูมิที่สูงในช่วงไม่ห่างกันมากคือไม่เกิน 40-50 องศาเซลเซียส [15] แมลงส่วนมากจึงมักหลีกเลี่ยงแหล่งที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส และสูงกว่า 40 องศาเซลเซียส ซึ่งจะหยุดการเจริญเติบโตหรือฆ่าแมลงได้ เพราะ metabolism ของแมลงจะมีประสิทธิภาพสูงสุดที่อุณหภูมิ 30-40 องศาเซลเซียส ปฏิกิริยาของเอนไซม์ที่ใช้ในการเผาผลาญอาหารจะเพิ่มขึ้น 2 เท่า เมื่ออุณหภูมิภายในของแมลงเพิ่มขึ้น 10 องศาเซลเซียส [16] ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิอุ่นขึ้นแมลงจะเจริญเติบโตเร็วขึ้น นอกจากนี้ความชื้นจะมีผลต่ออายุขัยของแมลง (longevity) ยุงอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในช่วงแคบ 2 องศาเซลเซียส [17]

ยุงเจริญเติบโตจากไข่ไปเป็นตัวเต็มวัย มักใช้เวลาตั้งแต่ 7-14 วัน ที่อุณหภูมิ 31 องศาเซลเซียส และที่ 28 องศาเซลเซียส ยุงมีวงจรชีวิต 10-12 วัน และวงจรชีวิตอาจนานถึง 20 วันเมื่ออุณหภูมิต่ำลงถึง 20 องศาเซลเซียส ภายหลังกินเลือดไปในท้องยุงจะใช้เวลาเจริญเติบโต 4-5 วัน ที่ 28 องศาเซลเซียส แต่ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ยุงจะใช้เวลาเพียง 7 วันเท่านั้น และการเจริญเติบโตของไข่ในท้องยุงภายหลังกินเลือดจะลดลงเหลือเพียง 2-3 วัน ดังนั้นเมื่อโลกมีอุณหภูมิสูงขึ้นยุงกินเลือด วางไข่ และกัดก็ง่ายขึ้น

2. ผลกระทบต่อการแพร่กระจายโดยเฉพาะที่มาจากอุณหภูมิที่สูงขึ้น ในประเทศโคลัมเบียยุงลายบ้านเคยพบอยู่ในถิ่นที่มีความสูงจากระดับน้ำทะเลไม่เกิน 1,500 เมตร แต่ปัจจุบันกลับพบยุงชนิดนี้ในระดับสูงจากระดับน้ำทะเล 2,200 เมตร สันนิษฐานว่าอาจเนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ [18]

3. ด้านชีวลักษณะ (phenology: ศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างภูมิอากาศและปรากฏการณ์ทางชีววิทยาที่เกี่ยวข้องกับเวลา เช่น การกระจาย ความหลากหลายและชุกชุมของสิ่งมีชีวิตตามฤดูกาล) วงจรชีวิตของแมลงถูกควบคุมโดยสวิตช์ทางพันธุกรรมซึ่งเชื่อมโยงกับความยาวของวัน หรือระยะเวลาที่มีแสงในรอบวัน (photoperiod) [19] คณะผู้วิจัย Bradshaw และ Holzapfel [20] พบว่าฤดูใบไม้ผลิที่เริ่มเร็วขึ้นในช่วง 2 ทศวรรษที่ผ่านมาสามารถทำให้ยุงชนิดหนึ่ง (*Wyeomyia smithii*) ซึ่งเพาะพันธุ์ในดินหม้อข้าวหม้อแกงลิง (pitcher plants) แลบทะวันออกเฉียง

เหนือของทวีปอเมริกาเหนือ เกิดการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรมในระดับวิวัฒนาการต่อการตอบสนองต่อแสงเวลากลางวันได้รวดเร็วมากเพียง 5 ปีเท่านั้น

4. อิทธิพลต่อการปรับตัวกับสภาพแวดล้อม ในสภาวะกดดันที่เกิดกับถิ่นอาศัยของแมลง แมลงจะมีการตอบสนองใน 3 รูปแบบคือ ย้ายถิ่นฐาน หรือปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนไปด้วยวิธี เปลี่ยนแปลงลักษณะของสัณฐานวิทยาเช่น ลักษณะปรากฏปลอม (phenotypic plasticity) หรือวิวัฒนาการ (evolution)

ป่าไม้เป็นทรัพยากรธรรมชาติที่สำคัญและมีคุณประโยชน์ต่อสิ่งมีชีวิตทุกชนิด การทำลายป่าในมุมมองของนิเวศวิทยา นอกจากเป็นการสนับสนุนภาวะโลกร้อนโดยทำให้เกิดการสะสมก๊าซกักเก็บความร้อนทำให้มีผลต่ออุณหภูมิและความชื้นท้องถิ่น แล้วยังทำให้เกิดการแตกแยกของภูมิทัศน์ธรรมชาติทั่วโลก [21] นอกจากการทำลายป่า จะมีส่วนเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศอันเนื่องมาจากการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกชนิดต่างๆ ออกมา เช่น จากไฟฟ้า หรือการใช้ต้นไม้ที่ถูกตัดเป็นฟืน พร้อมๆ กันนั้นต้นไม้ที่เป็นตัวดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ลดจำนวนลง ใน 150 ปีที่ผ่านมา คาดว่าคาร์บอนไดออกไซด์ 30% ที่เพิ่มขึ้นในบรรยากาศ มาจากการทำลายป่า นอกจากนี้การทำลายป่า กำลังคุกคามความหลากหลายทางชีวภาพบนโลกในเวลาเดียวกัน ด้วยการเปลี่ยนแปลงและทำลายถิ่นที่อยู่ ก่อให้เกิดความแปรปรวนของอุณหภูมิ ความชื้น ปริมาณน้ำฝน ฤดูกาล ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการดำรงอยู่ของสิ่งมีชีวิตที่จะต้องปรับตัว ให้เข้ากับสภาพภูมิอากาศ ในบริเวณที่สิ่งมีชีวิตนั้นอาศัยอยู่ แหล่งอาหาร แหล่งน้ำ และแหล่งหลบภัย ถูกทำลายหรือเปลี่ยนสภาพ ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของขนาดพื้นที่ป่า หรือพื้นที่ธรรมชาติที่อดีตเคยเป็นพื้นที่ใหญ่ต่อเนื่องเป็นผืนเดียวกัน มาเป็นป่าที่มีพื้นที่แตกกระจาย (fragmentation) เกิดเป็นหย่อมป่า (patches) ที่มีขนาดใหญ่บ้าง เล็กบ้างกระจายตัวอยู่ท่ามกลางสภาพพื้นที่โดยรอบที่มีการพัฒนาจากกิจกรรมของมนุษย์ [22] เช่นการเข้าไปตั้งถิ่นฐาน การตัดไม้ การทำเหมืองแร่ การเผา การสร้างถนน การเก็บหาของป่า การเกษตรกรรม การเลี้ยงสัตว์ และกิจกรรมการท่องเที่ยว อุณหภูมิเฉลี่ยของผิวดินภายในป่าทึบ มักมีอุณหภูมิต่ำกว่าพื้นที่โล่งภายนอกถึง 10 องศาเซลเซียส เช่นเดียวกับอุณหภูมิภายในและภายนอกบ้าน จะมีความแตกต่างกันมาก ขึ้นอยู่กับรูปแบบ วัสดุก่อสร้าง และการระบายอากาศของบ้าน ยุงจะใช้ประโยชน์จากความแตกต่างในเรื่องเวลาและสถานที่นั้น เพื่อปรับตัวและดำรงชีวิตในถิ่นอาศัยเหล่านั้น เช่น ยุงกินปล้อง *An. gambiae* ยุงพาทะนาบาลาเรียของทวีปแอฟริกา จะลอกคราบออกเป็นตัวเต็มวัยช่วงพลบค่ำตลอดเวลา ไม่ว่าจะเป็นฤดูกาลใด [23] เมื่อพื้นที่แตกกระจาย ผ่นวกกับผลกระทบตามขอบป่า (edge effect) แล้วจะส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมการเปลี่ยนแปลงเป็นวงกว้าง ทั้งแบบถาวรและชั่วคราว ทำให้เกิดไฟป่า (wildfire) ต้นไม้ไหม้ตายเป็นจำนวนมาก สูญเสียถิ่นที่อาศัย (habitat loss) ขาดแคลนแหล่งอาหาร แหล่งน้ำ ที่หลบภัย มีการแก่งแย่งทรัพยากรเพื่อการดำรงชีวิตในบริเวณนั้น เป็นอุปสรรคต่อ

การเคลื่อนย้าย การกระจายพันธุ์ การสืบพันธุ์ และกลไกการคัดเลือกตามกระบวนการธรรมชาติ รวมทั้งทำให้เกิดการรุกรานของสัตว์ต่างถิ่นได้ง่ายขึ้น จนทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบโดยรวม ของชนิดของพืชและสัตว์ป่า (species composition) สัตว์ป่าจะอ่อนแอขาดความสมบูรณ์ ขยายพันธุ์ไม่สมบูรณ์ และอาจล้มตายด้วยโรคระบาด และสาเหตุอื่นๆ ส่งผลทำให้สัตว์ป่าลดจำนวนลงในที่สุด นอกจากนี้ยังส่งเสริมการกระจายของเมล็ดพันธุ์ (seed distribution) เพิ่มการล่าสัตว์และหาประโยชน์จากทรัพยากรธรรมชาติของป่ามากขึ้น [24] โดยสรุปคุณลักษณะของภูมิทัศน์ เช่น สัดส่วนของขอบถิ่นอาศัย (edge habitat) ต่อพื้นที่ทั้งหมด การโดดเดี่ยวของพื้นที่ที่แตกแยก ลักษณะของหย่อมพื้นที่ (patch area) เช่น ขนาด คุณภาพและความหลากหลาย และปัจจัยทางอุนิควิทยาในระดับที่ใกล้ตัวแมลงมาก (microclimate) ถิ่นมีอิทธิพลต่อจำนวนชนิด (richness) และความชุกชุม (abundance) [25]

ประเทศไทย เป็นหนึ่งในพื้นที่ที่จะได้รับผลกระทบ ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศมากที่สุด ตั้งแต่ พ.ศ. 2504-2541 พื้นที่ป่าไม้ของประเทศไทยได้ถูกบุกรุกทำลายอย่างหนัก จากที่เคยมีอยู่ในปี พ.ศ. 2504 เป็นจำนวนถึง 171,017,812.50 ไร่ คิดเป็น 53.33% ของเนื้อที่ประเทศ ในปี พ.ศ. 2541 มีเหลืออยู่เพียง 81,076,428 ไร่ คิดเป็น 25.28% ของเนื้อที่ประเทศเท่านั้น [26] พื้นที่ป่าของไทยในปัจจุบันคงเหลือไม่ถึง 10% ของพื้นที่ทั้งหมดเพราะถูกทำลายมากขึ้นเรื่อยๆ เพื่อทำไร่เลื่อนลอย ตั้งถิ่นฐานของชุมชน และลักลอบทำไม้เถื่อน โดยเฉพาะระหว่างปี พ.ศ. 2504-2527 ป่าไม้ของเราถูกทำลายในอัตราสูงที่สุดเฉลี่ย 5,190 ตารางกิโลเมตรต่อปี ถึงแม้อัตราในปัจจุบันจะลดลงแล้ว แต่ประเทศไทยยังจัดว่า มีอัตราการทำลายป่าไม้สูงสุดในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ [27] การทำลายป่าส่งผลร้ายแรงต่อความสมบูรณ์ของดิน บรรยากาศใกล้ผิวดิน ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อมากมายกับภูมิภาคแถบนี้ เช่น

- การที่อุณหภูมิอากาศร้อนขึ้น การทำลายป่าดิบชื้น สามารถทำให้อุณหภูมิบริเวณที่ป่าถูกทำลาย สูงเพิ่มขึ้น 3 องศาเซลเซียสต่อปี สำหรับประเทศไทยมีอุณหภูมิเฉลี่ยค่อนข้างสูง ช่วงที่ความร้อนน้อยที่สุดคือเดือนมกราคมประมาณ 19 องศาเซลเซียส และช่วงที่ความร้อนมากที่สุดคือเดือนเมษายน ประมาณ 36-42 องศาเซลเซียส อุณหภูมิของเรารู้สึกประมาณ 1 องศาเซลเซียส ในช่วง 40 ปี
- การเกิดน้ำท่วม ดินเลื่อนไหล

ยังพบได้ทั่วโลกยกเว้นที่ทวีปแอนตาร์กติกา ที่อยู่รอบขั้วโลกใต้ของโลก ยุงถูกค้นพบแล้วมากกว่า 3,500 สายพันธุ์ ซึ่งสามในสี่ของชนิดพบในเขตร้อนชื้นและอบอุ่น มีผู้รายงานว่ามียุงในประเทศไทยมากกว่า 430 สายพันธุ์ จัดอยู่ใน 23 สกุล [28] ในจำนวนนี้พบว่ายุงป่าหลายสายพันธุ์ ซึ่งต้องการแหล่งอาศัยที่มีความชื้นสูง มีโอกาสที่จะค้นหากันไม่พบอีกในปัจจุบัน เช่น ยุง *Ae. niveus* subgroup อาศัยในป่าไผ่ เพาะพันธุ์ตามกอไผ่และโพรงไม้ ชุกชุมมากในฤดูฝน แถบป่าสมบูรณ์ในจังหวัดที่มีพรมแดน

ติดต่อกับประเทศพม่า เช่น แม่ฮ่องสอน ตาก กาญจนบุรี ระนอง นอกจากนี้ยังพบได้ที่จังหวัดพังงา กลุ่มยุงก้นปล่องป่าเช่น *An. aberrans*, *An. insulaeflorum*, *An. tigerti* เป็นต้น ยุงเหล่านี้อาศัยชอบที่ร่มครึ้มเย็น มีความชื้นสูง เพาะพันธุ์ตามแอ่งดินน้ำขังในป่าดิบ ไม่ชอบแสง โดยเฉพาะยุงก้นปล่อง *An. sintonoides* และ *An. culiciformis* อาศัยเพาะพันธุ์ในโพรงไม้ โดยทั่วไปยุงก้นปล่องพาหะนำมาลาเรียมักเพาะพันธุ์ตามแหล่งน้ำธรรมชาติ เช่น ลำธารไหลเอื่อย ซึ่งมีอุณหภูมิที่ 28 องศาเซลเซียส เหมาะที่สุดสำหรับชีวิตของลูกน้ำ และที่ 32 องศาเซลเซียส ดีที่สุดสำหรับการดำรงชีวิตของยุงเต็มวัย อย่างไรก็ตามการทำลายป่า อาจเอื้อให้มีประชากรยุงสูงขึ้นได้ เช่นในกรณีของยุงพาหะนำมาลาเรียชนิด *An. minimus* complex และ *An. maculatus* complex เนื่องจากทั้งสองสายพันธุ์นี้ ชอบเพาะพันธุ์ตามลำธารในป่า ที่มีแสงแดดส่องถึงบ้าง ไม่เหมือนกับ *An. dirus* complex ที่ชอบป่าที่ไม่ชอบแสงแดด การทำลายป่า จึงเป็นการลดบทบาทของยุงพาหะนำมาลาเรียชนิดหนึ่ง แล้วมาเพิ่มให้ยุงอีกชนิดหนึ่ง อย่างไรก็ตามจากการสำรวจยุงที่ อ. ไทรโยคน้อย จังหวัดกาญจนบุรี ในเขตอุทยานแห่งชาติไทรโยค ซึ่งมีสภาพป่าเป็นป่าเบญจพรรณ 84.47% ของพื้นที่ กระจายอยู่ทั่วไปในพื้นที่ที่มีความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง 150-600 เมตร พื้นที่ที่เหลือเป็น ป่าดิบแล้ง ป่าเต็งรัง และมีป่าดิบชื้นเพียงเล็กน้อย ข้อมูลภูมิอากาศในช่วงปี พ.ศ. 2516-2546 ที่ทองผาภูมิ มีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 79% (56-93%) อุณหภูมิเฉลี่ยที่ 26.8 องศาเซลเซียส (20.4-33.4 องศาเซลเซียส) [29] ในรอบ 10 ปีที่ผ่านมา พบแหล่งเพาะพันธุ์ของยุงก้นปล่อง *An. dirus* A ในแอ่งหิน บริเวณป่าโปร่ง และภายในถ้ำหินปูนหลายแห่ง และ *An. minimus* ในโอ่งน้ำดื่มของชาวบ้าน ใกล้ลำธาร ซึ่งถือว่าเป็นแหล่งเพาะพันธุ์ที่ผิดปกติอย่างยิ่งของยุงทั้งสองชนิดนี้ (ชำนาญ อภิวัฒน์ศร, การติดต่อส่วนตัว, 5 เมษายน 2555) การค้นพบนี้ อาจเป็นหลักฐานของการปรับตัวของยุงพาหะนำมาลาเรียนี้ ให้สามารถดำรงชีวิตในสภาพแวดล้อมของป่าที่เปลี่ยนแปลงนี้ได้ เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Omlin และคณะ [30] ที่รายงานว่ายุงพาหะนำมาลาเรีย *An. gambiae* complex แถบภูมิภาคแอฟริกา ทางตอนใต้ของทะเลทรายซาฮารา ซึ่งปกติเพาะพันธุ์ตามแอ่งน้ำขังบนดินใกล้ชุมชน หรือในนาข้าว ริมลำธาร และชายขอบหนองน้ำ กลับมาเพาะพันธุ์ในโพรงไม้หลายชนิด ที่ปลูกในเขตชุมชนเมืองแถบเคนยาตะวันตกได้ เป็นการแสดงให้เห็นถึงศักยภาพ ในการพัฒนาและปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนไป การศึกษาของ Vitto และคณะ [31] ในป่าเมซอนประเทศเปรู เช่นกันพบว่า ยุงพาหะนำมาลาเรีย *An. darlingi* มีประชากรเพิ่มขึ้นโดยมีอัตราการกัดคนสูงขึ้น 278 เท่า ในบริเวณที่ป่าถูกทำลาย มากกว่าที่ยังไม่ถูกทำลาย ซึ่งคณะผู้วิจัยพบว่าเป็นการเพิ่มพื้นที่แหล่งเพาะพันธุ์ให้กับยุงนี้ โดยทำให้แหล่งน้ำเปิดรับแสงมากขึ้น นอกจากนี้ภาวะโลกร้อน เอื้อต่อการดำรงชีวิตของยุงบางชนิด เช่น ยุงป่าอาศัยตามชายฝั่งทะเล เช่น ยุงพาหะนำมาลาเรีย *An. epiroticus* และยุงรำคาญชายทะเล *Culex sitiens* ซึ่งเป็นยุงรบกวนโดยการเข้รุมกัด (มากกว่า 100 ตัว

ต่อคนต่อชั่วโมง) และเพาะพันธุ์ในแหล่งที่ได้รับแสงแดดจัด ไม่ต้องการร่มเงา มักมีอุณหภูมิระหว่าง 29.5-34.0 องศาเซลเซียส [32] สรุปลักษณะมีผลต่อชีวิตของยุงพาหะในด้านต่างๆ ได้แก่ การรอดชีวิต อัตราการติดเชื้อโรค อุณหภูมิสูงขึ้นขนาดพาหะลดลง อัตราการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น มีการเปลี่ยนแปลงความชุกชุมตามฤดูกาล และการกระจาย

ยุงลายสวน (*Ae. albopictus*) จัดเป็นยุงพาหะ ที่มีความสามารถในการนำเชื้อไวรัสหลายสายพันธุ์มาสู่คน โดยเฉพาะเชื้อไวรัสไข้เลือดออก [33] และยังคงเป็นแมลงรุกราน ที่มีความสามารถสูงสุด ในการปรับตัวให้ดำรงชีวิตแพร่ขยายพันธุ์ ในหลายภูมิภาคของโลกอีกด้วย [34] ในระยะเวลา 30 ปีที่ผ่านมา ยุงพาหะชนิดนี้ได้แพร่กระจายจากถิ่นกำเนิดในเอเชีย ข้ามโลกไปปักหลักขยายพันธุ์อยู่ใน 28 ประเทศของทุกทวีป [34] ยุงลายสวนอพยพเป็นระยะทางไกล ผ่านทางการขนส่งสินค้าทางทะเลประเภทยางรถยนต์ใช้แล้ว และกระถางไม้ไฟ ซึ่งพาทั้งไข่และลูกน้ำจำนวนมากไป [35,36] โดยทั่วไป ยุงลายสวนดำรงชีวิตใกล้ชิดกับธรรมชาติที่หลากหลาย ทั้งในสภาพแวดล้อมที่เป็นป่า [37] และชนบท โดยเฉพาะเพาะพันธุ์ในแหล่งขังน้ำธรรมชาติ เช่น ตอไม้ กะลามะพร้าว [38] ปัจจุบันพบว่า ยุงลายสวนของประเทศไทยสามารถแพร่กระจายเข้ามาอาศัยร่วมชายคาบ้านคนมากขึ้น โดยมีรายงานการพบยุงลายสวนในชุมชนเมือง เช่น ในกรุงเทพมหานครมากขึ้น [39] จากการเปรียบเทียบลักษณะพันธุกรรมของยุงลายสวน ที่อาศัยในป่าห่างไกลผู้คน ที่อาศัยอยู่ตามชนบท และชุมชนเมือง พบยุงในเมือง ไม่มีการแลกเปลี่ยนสารพันธุกรรม กับยุงที่อาศัยในชนบทและในป่า [40] หรืออีกนัยหนึ่งคือ การแลกเปลี่ยนสารพันธุกรรม เป็นกลไกทำให้เกิดความหลากหลาย ทั้งนี้ไม่ว่าจะด้วยสาเหตุอะไร ที่คณะผู้วิจัยยังไม่ได้พิสูจน์หาเหตุผลอธิบายข้อเท็จจริงนี้ แต่การปรับตัวของยุงลายสวน ให้สามารถดำรงชีวิตอยู่ในสภาพแวดล้อมใหม่ อันอาจเนื่องมาจากอุณหภูมิที่สูงขึ้น เพราะการขยายตัวของเมือง ที่ส่งผลทำให้เกิดการลดลงของพื้นที่ริมเขาจากการปกคลุมของพืชพรรณ (urbanization and vegetation coverage) น่าจะเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่ง ส่วนจะเชื่อมโยงกับศักยภาพในการเป็นพาหะนำโรค หรือไม่นั้นคงต้องทำวิจัยต่อไป

องค์ประกอบที่ไม่มีชีวิต (Abiotic factors) ที่สำคัญ เช่น อุณหภูมิ มีบทบาทสำคัญในการกำหนดคุณลักษณะส่วนตัว (individual traits) เช่น ขนาดของยุง ซึ่งอาจส่งผลต่อศักยภาพการเป็นพาหะนำกลุ่ม arbovirus ได้ [41] การวิจัยในเรื่องนี้ยังเป็นที่ถกเถียงกันอยู่ อย่างไรก็ตามพบว่า ยุงลายพาหะนำโรคใช้เลือดออกขนาดใหญ่ มีชีวิตยาวนานกว่า และเป็นพาหะได้ดีกว่าพวกที่มีขนาดเล็ก [42,43] แต่ Scott และคณะ [44] และ Watts และคณะ [45] รายงานว่ายุงขนาดเล็กกินเลือดดีกว่ายุงขนาดใหญ่กว่า อุณหภูมิที่สูงขึ้นยังมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของยุงลายสวน เช่น ชีวิตของไข่ยุง การเจริญเติบโตของลูกน้ำ พฤติกรรมการกินเลือด ภาวะเจริญพันธุ์ของยุงตัวเมีย อายุขัยของยุง [46] ไม่เพียงแต่ความร้อนที่สูงขึ้น มีผลต่อการดำรงชีวิตของยุงเท่านั้น อุณหภูมิยังมีผลต่อการเจริญเติบโตของเชื้อโรคร้ายใน

ยุงพาหะอีกด้วย และส่งผลต่อการแพร่โรคมานสู่คนโดยตรง ยุงกินปล่องนำมาเลียได้ดีเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 15 องศาเซลเซียส เชื้อมาเลีย *P. falciparum* ใช้เวลาเจริญเติบโตไปเป็นระยะติดต่อกันที่ต่อมน้ำลาย 26 วัน ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส แต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น 5 องศาเซลเซียส มันจะใช้เวลาเพียง 13 วันเท่านั้น สำหรับยุงลายแพร่ไข้เลือดออกได้ดี เมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 30 องศาเซลเซียส แต่ถ้าอุณหภูมิต่ำกว่า 16 องศาเซลเซียส มันจะไม่สามารถแพร่เชื้อได้ จากการทดลองในห้องปฏิบัติการพบว่า ระยะฟักตัวภายนอกในยุง (extrinsic incubation period - ระยะเวลาเริ่มจากยุงได้รับเชื้อไวรัสจากผู้ป่วย ไปเจริญเติบโตเพิ่มจำนวนในตัว จนในที่สุดแพร่ไปสู่ผู้ป่วยคนใหม่) กินเวลา 12 วัน ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส แต่จะใช้เวลาเพียง 7 วัน ที่ 32-35 องศาเซลเซียส [45] โรคที่ระบาดในหลายประเทศแถบภูมิภาคเขตร้อน จะได้รับผลจากการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศ เช่น มาลาเรีย และไข้เลือดออก จะระบาดเป็นวงกว้างมากขึ้นถึง 12-27% และ 31-47% ตามลำดับ นอกจากนี้มาเลียสามารถระบาดได้ในพื้นที่ที่มีความสูงจากระดับน้ำทะเลถึง 7,000 ฟุต [47] เช่น ในบริเวณเทือกเขา Colombian และ Andes เป็นต้น ส่วนโรคพยาธิใบไม้ในเลือด schistosomiasis จะลดลง 11-17% [48]

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ไม่ว่าจะเกิดจากธรรมชาติหรือนี่มีมนุษย์ เกี่ยวพันกับความหลากหลายทางชีวภาพ เป็นที่ยอมรับอย่างกว้างขวาง และย่อมมีผลกระทบต่อประชากรแมลงอย่างสูง เนื่องจากความหลากหลายของแมลง ซึ่งคิดเป็น 75% ของสัตว์โลก แมลงเป็นสัตว์เลือดเย็น ไม่มีกระดูกสันหลัง และบทบาทของแมลงต่อระบบนิเวศวิทยา ส่วนจะเป็นผลกระทบเชิงบวกหรือลบต่อมนุษย์ ขึ้นอยู่กับความซับซ้อนและกลไกของการดำรงชีวิตร่วมกัน ในแต่ละถิ่นอาศัย อุณหภูมิมีผลโดยตรงต่ออัตราการเจริญเติบโต การแพร่พันธุ์ และอัตราการตาย ก็จะส่งผลต่อพลวัตของประชากรแมลง ภูมิอากาศซึ่งมีอิทธิพลโดยอ้อมต่อความชุ่มชื้น ความหนาแน่นของพืช/ดินไม่ยอมแปรเปลี่ยนให้สภาพแวดล้อมของถิ่นอาศัยต่างๆ เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของแมลงแต่ละชนิดในระบบนิเวศนั้น ซึ่งนำไปสู่การเชื่อมโยงกับระดับของห่วงโซ่อาหาร (นักล่า - ปรสิตร -เหยื่อ) แมลงมีศักยภาพในการปรับตัวต่อแรงกดดัน จากสภาพแวดล้อมสูง จากกลไกหลายระบบเช่น กายวิภาค สรีรวิทยา และพันธุกรรม ทำให้สามารถเคลื่อนตัวปักหลักอาศัยในถิ่นที่อยู่ต่างๆ ได้ ถึงแม้ว่าหลายชนิดต้องสูญพันธุ์ไป ในขณะที่ในบางแห่ง มีฝูงแมลงบุกครวเรือน การรักษาสสมดุลธรรมชาติ จะส่งเสริมให้สิ่งมีชีวิตสามารถปรับตัว ต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาวะของโลกในระยะยาวได้ และจะนำไปสู่หนทางแก้ไขสถานการณ์ เพื่อคุ้มครองธรรมชาติรอบตัวเรา ก่อให้เกิดความร่มเย็นเป็นสุข ของสังคมมนุษย์โดยรวม

## เอกสารอ้างอิง

1. Grimaldi D, Engel MS. Evolution of the insects. 1<sup>st</sup> ed. Cambridge: Cambridge University Press; 2005.

2. Heywood VH. Global biodiversity assessment. United Nations Environmental Programme. Cambridge: Cambridge University Press; 1995.
3. Weisser W, Siemann E. Insects and ecosystem function. Berlin: Springer-Verlag; 2004.
4. Pickrell J. Mass extinction of insects may be occurring undetected, 2005 September 20. Available from: [http://news.nationalgeographic.com/news/2005/09/0920\\_050920\\_extinct\\_insects.html](http://news.nationalgeographic.com/news/2005/09/0920_050920_extinct_insects.html).
5. Wilson EO. The biological crisis. *BioSci*. 1985;35:700-6.
6. Pimm S, Russell G, Gittleman J, Brooks T. The future of biodiversity. *Science*. 1995;269:347-50.
7. Chapin FS III, Zavaleta ES, Eviner VT, Naylor RL, Vitousek PM, Reynolds HL, *et al*. Consequences of changing biodiversity. *Nature*. 2000;405:234-42.
8. Thomas CD, Cameron A, Green RE, Bakkenes M, Beaumont LJ, Collingham YC, *et al*. Extinction risk from climate change. *Nature*. 2004;427:145-8.
9. Geiger F, Bengtsson J, Berendse F, Weisser WW, Emmerson M, Morales MB, *et al*. Persistent negative effects of pesticides on biodiversity and biological control potential on European farmland. *Basic Appl Ecol*. 2010;11:97-105.
10. Memmott J, Craze PG, Waser NM, Price MV. Global warming and the disruption of plant-pollinator interactions. *Eco Lett*. 2007;10:710-7.
11. Parmesan C. Influences of species, latitudes and methodologies on estimates of phenological response to global warming. *Glob Chang Biol*. 2007;13:1860-72.
12. Porter JH, Parry ML, Carter TR. The potential effects of climatic change on agricultural insect pests. *Agr Forest Meteorol*. 1991;57(1-3):221-40.
13. Hochachka PW, Sommero GN. Temperature adaptation. In: Hochachka PW, Sommero GN, editors. *Biochemical adaptation*. Princeton: Princeton University Press; 1984. p. 355-449.
14. Rock GC, Shaffer PL. Developmental rates of codling moth (Lepidoptera: Olethreutidae) reared on apple at four constant temperatures. *Environ Entomol*. 1983;12:831-4.
15. Heinrich B. Ecological and evolutionary perspectives. In: Heinrich B, editor. *Insect thermoregulation*. New York: Wiley; 1981. p. 236-302.
16. Sayle MH. The metabolism of insects. *Q Rev Biol*. 1928;3(4):542-53.
17. Platt R, Collins CL, Witherspoon JP. Reactions of *Anopheles quadrimaculatus* Say to moisture, temperature, and light. *Ecol Monograph*. 1957;27(3):303-24.
18. Suarez MF, Nelson MJ. Registro de altitud del *Aedes aegypti* en Colombia. *Biomedica*. 1981;1:225.
19. Bradshaw WE, Holzapfel CM. Circadian clock genes, ovarian development and diapause. *BMC Biol*. 2010;8:115.
20. Bradshaw WE, Holzapfel CM. Genetic shift in photoperiodic response correlated with global warming. *Proc Natl Acad Sci USA*. 2001;98(25):14509-11.
21. Whitmore TC. Tropical forest disturbance, disappearance, and species loss. In: Laurance WF, Bierregaard Jr. RO, editors. *Tropical forest remnants: ecology, management, and conservation of fragmented communities*. Illinois: University of Chicago Press; 1997. p. 3-12.
22. Gascon C, Lovejoy TE, Bierregaard Jr. RO, Malcolm JR, Stoucer PC, Vasconcelos H, *et al*. Matrix habitat and species persistence in tropical forest remnants. *Biol Cons*. 1999;91:231-9.
23. Geiger R. *The climate near the ground*. Harvard Trans. Scripta Technica, Inc., Harvard University Press, Revised Edition. Toronto: Saunders; 1965.
24. Broadbent EN, Gregory GP, Keller M, Knapp DE, Oliveira PJC, Silva JN. Forest fragmentation and edge effects from deforestation and selective logging in the Brazilian Amazon. *Biol Cons*. 2008;141:1745-57.
25. Hunter MD. Landscape structure, habitat fragmentation, and the ecology of insects. *Agr Forest Entomol*. 2002;4:159-66.
26. ธงชัย จารุพพัฒน์, สุรัชย์ รัตนะเสริมพงศ์, จีรวรรณ จารุพพัฒน์, สุวิทย์ อ่องสมหวัง, สุจินต์ ชันติสมบุญรณ์, อนุชิต

- รัตนสุวรรณ, และคณะ. การสำรวจข้อมูลระยะไกล ด้วยภาพถ่ายจากดาวเทียม ในการติดตามการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ป่าไม้เขตร้อนระดับโลก. ใน: สรุปผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์ ภายใต้โครงการวิจัยเรื่องการเปลี่ยนแปลงสภาพป่าในเขตร้อนและผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลง. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, กรุงเทพฯ: 2544. หน้า 1-5.
27. สำนักนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม. รายงานสถานการณ์คุณภาพสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2535-36. กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ: 2538.
  28. Harrison BA, Rattanarithikul RI, Peyton EL, Mongkolpya K. Taxonomic changes, revised occurrence records and notes on the Culicidae of Thailand and neighboring countries. *Mosq Syst.* 1990;22:196-227.
  29. Meteorological Department. Climatological data from Thong Pha Phum Climatic Station, Kanchanaburi Province, 1973-2003. Data Processing Subdivision, Climatology Division, Meteorological Department, Bangkok: 2003.
  30. Omlin FX, Carlson JC, Ogbunugafor CB, Hassanali A. *Anopheles gambiae* exploits the treehole ecosystem in western Kenya: a new urban malaria risk? *Am J Trop Med Hyg.* 2007;77 Suppl 6:264-9.
  31. Vittor AY, Gilman RH, Tielsch J, Glass G, Shields T, Lozano WS, *et al.* The effect of deforestation on the human-biting rate of *Anopheles darlingi*, the primary vector of *Falciparum malaria* in the Peruvian Amazon. *Am J Trop Med Hyg.* 2006;74:3-11.
  32. Sumruayphol S, Apiwathnasorn C, Komalamisra N, Ruangsittichai J, Samung Y, Chavalitshewinkoon-Petmitr P. Bionomic status of *Anopheles epiroticus* Linton & Harbach, a coastal malaria vector, in Rayong Province, Thailand. *Southeast Asian J Trop Med Public Health.* 2010;41(3):541-7.
  33. Gratz N. Critical review of the vector status of *Aedes albopictus*. *Med Vet Entomol.* 2004;18(3):215-27.
  34. Benedict MQ, Levine RS, Hawley WA, Lounibos LP. Spread of the tiger: Global risk of invasion by the mosquito *Aedes albopictus*. *Vector-borne Zoonotic Dis.* 2007;7:76-85.
  35. Hawley WA, Reiter P, Copeland RS, Pumpuni CB, Craig GB. *Aedes albopictus* in North America probable introduction in used tires from northern Asia. *Science.* 1987;236,1114-6.
  36. Scholte EJ, Dijkstra E, Blok H, De Vries A, Takken W, Hofhuis A, *et al.* Accidental importation of the mosquito *Aedes albopictus* into the Netherlands: a survey of mosquito distribution and the presence of dengue virus. *Med Vet Entomol.* 2008;22:352-8.
  37. Rao TR. Distribution, density and seasonal prevalence of *Aedes aegypti* in Indian subcontinent and South-East Asia. *Bull WHO.* 1967;36:541-51.
  38. Hawley WA. The biology of *Aedes albopictus*. *J Am Mosq Control Assoc Suppl.* 1988;4:1-40.
  39. Samung Y, Prummongkol S, Phayakaphon A, Apiwathnasorn C. Occurrence, distribution and prevalence of *Aedes albopictus* in Bangkok metropolitan. Poster presented at the XVII<sup>th</sup> International Congress for Tropical Medicine and Malaria, Jeju Island, Korea, 29 September - 3 October 2008.
  40. Potiwat R, Samung Y, Prummongkol S, Apiwathnasorn C. Genetic structure of natural populations of *Aedes albopictus*; urban, rural and sylvatic strain. Poster presented at the JITMM 2009 & FBPZ6, Centara Grand, Bangkok, 2-4 December 2009.
  41. Alto BW, Lounibos LP, Higgs S, Juliano SA. Larval competition differentially affects arbovirus infection in *Aedes mosquitoes*. *Ecology.* 2005;86:3279-88.
  42. Hawley WA. The effect of larval density on adult longevity of a mosquito, *Aedes sierrensis*: epidemiological consequences. *J Anim Ecol.* 1985;54:955-64.
  43. Nasci RC. The size of emerging and host-seeking *Aedes aegypti* and the relation of size to blood-feeding success in the field. *J Am Mosq Control Assoc.* 1986;2:61-2.
  44. Scott TW, Amerasinghe PH, Morrison AC, Lorenz LH, Clark GG, Strickman D, *et al.* Longitudinal studies of *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) in Thailand and Puerto Rico: blood feeding frequency. *J Med Entomol.* 2000;37:89-101.
  45. Watts DM, Burke DS, Harrison BA, Whitmire

- RE, Nisalak A. Effect of temperature on the vector efficiency of *Aedes aegypti* for dengue 2 virus. *Am J Trop Med Hyg.* 1987;36:143-52.
46. Alto BW, Juliano SA. Temperature effects on the dynamics of *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) populations in the laboratory. *J Med Entomol.* 2001;38:548-56.
47. Gore AI, Perf. *An Inconvenient Truth*. Dir. Davis Guggenheim. Lawrence Bender Productions, Paramount, 2006. Film.
48. Martens WJM, Jetten TH, Focks DA. Sensitivity of malaria, schistosomiasis and dengue to global warming. *Climatic Change.* 1997;35:145-56.