การคาดการณ์การติดเชื้อไข้เลือดออกในอนาคตภายใต้สภาพอากาศโลก

Forecast of future dengue infection under global climate Change Model

บารมี กันทะวงศ์[1] เทพไท ไชยทอง[2] และ เปรม รังสิวณิชพงศ์[3,*]

[1,3] ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จ.กรุงเทพมหานคร
[2] สาขาวิชาภูมิศาสตร์ คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จ.กรุงเทพมหานคร
**Corresponding author; E-mail address: prem.r@ku.th*

บทคัดย่อ

โรคไข้เลือดออกเป็นโรคที่เกิดจากเชื้อไวรัสที่มียุงเป็นพาหะ ส่งผลกระทบต่อผู้คนนับล้านทั่วโลก ซึ่งเป็นความท้าทายด้านสาธารณสุขที่สำคัญ คาดว่าการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศจะทำให้สถานการณ์รุนแรงขึ้นโดยการขยายถิ่นที่อยู่ของยุงลาย ซึ่งเป็นพาหะหลักในการแพร่เชื้อไข้เลือดออก ซึ่งบทความนี้ได้ทำการวิเคราะห์การคาดการณ์ผลกระทบที่เกิดจากโรคไข้เลือดออกภายใต้ผลการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศในอนาคต โดยการใช้ผลการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศที่ได้จากแบบแบบจำลองสภาพภูมิอากาศโลก (GCMs) ห้าแบบ ได้แก่ CMCC, IPSL, NESM3, TaiESM1 และ MIROC6 ในการประมาณค่าการติดเชื้อไข้เลือดออกในอนาคตในจังหวัดเชียงใหม่โดยใช้ multiple linear regression และ Quartile mapping จากการศึกษาแสดงให้เห็นว่าปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมหลายปัจจัยมีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อการแพร่กระจายของโรค ได้แก่ อุณหภูมิ ปริมาณน้ำฝน และช่วงอุณหภูมิ ซึ่งปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมเหล่านี้มีความสัมพันธ์กับข้อมูลจำนวนผู้ติดเชื้อไข้เลือดออกโดยเมื่อนำข้อมูลดังกล่าวมาประมาณการข้อมูลผู้ติดเชื้อไข้เลือดออกในอนาคตในจังหวัดเชียงใหม่พบว่าสามารถคาดการณ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากมีจำนวนผู้ติดเชื้อที่ได้จากการคาดการณ์มีความใกล้เคียงกับสถานการณ์ปัจจุบัน

คำสำคัญ: ปริมาณฝน, อุณหภูมิ, ไข้เลือดออก, แบบจำลองการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก, เชียงใหม่

Abstract

Dengue fever is a disease caused by a virus transmitted through mosquitoes, impacting millions of people worldwide and posing a significant public health challenge. Climate change is expected to exacerbate the situation by expanding the habitat of Aedes mosquitoes, the primary carriers of the virus. This article analyzes the projected impact of climate change on dengue fever in Chiang Mai province, using five global climate models (GCMs) - CMCC, IPSL, NESM3, TaiESM1, and MIROC6 - to estimate future dengue fever infections. The study employs multiple linear regression and quartile mapping techniques, focusing on environmental factors such as temperature, rainfall, and temperature ranges, which significantly impact the disease's spread. The goal is to assess the effectiveness of these models in predicting future dengue fever cases while maintaining the average number of infections close to current levels. This prediction can serve as a valuable tool for healthcare organizations in Chiang Mai province to prepare for the potential spread of dengue fever in the future.

Keywords: Rainfall, Temperature, Dengue Fever, Global Climate Change Model, Chiang Mai

คำนำ

โรคไข้เลือดออกเป็นปัญหาด้านสาธารณสุขที่สำคัญในจังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งเป็นสถานที่ท่องเที่ยวยอดนิยมทางภาคเหนือของประเทศไทย โรคนี้แพร่กระจายโดยยุงลายซึ่งแพร่ระบาดในเขตเมืองและชานเมืองตามภาคเหนือ ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา มีรายงานผู้ป่วยไข้เลือดออกเพิ่มขึ้น โดยในปี พ.ศ. 2563 เพียงปีเดียวมีผู้ป่วยมากกว่า 5,000 คน โดยอาการของโรคไข้เลือดออกอาจรุนแรงและอาจถึงแก่ชีวิตได้ในบางกรณี ทำให้เป็นภัยคุกคามร้ายแรงต่อสุขภาพของภูมิภาค ในปี ค.ศ. 2018 Hii, Y.L และคณะ [1]พบว่าการโรคไข้เลือดออกโดยทั่วไปทำได้หลายวิธี เช่น การควบคุมยุงและการรณรงค์ให้ความรู้แก่ประชาชนในจังหวัดเชียงใหม่ให้ใช้มาตรการป้องกันของโรคในพื้นที่สาธารณะ มีความสำคัญอย่างยิ่งในการควบคุมการแพร่กระจายแพร่กระจายของโรคไข้เลือดออกเป็นกลุ่มในบางพื้นที่และบางช่วงเวลา ซึ่งบ่งชี้ถึงประสิทธิผลของมาตรการควบคุมโรค ในปี ค.ศ. 2019 Chompootavep, S. และ คณะ. [2] พบว่าการอาศัยอยู่ในพื้นที่ที่มียุงหนาแน่น มีน้ำขังใกล้บ้าน และไม่ใช้ยากันยุงเป็นปัจจัยเสี่ยงที่สำคัญสำหรับการติดเชื้อไข้เลือดออก ในปี ค.ศ.2022 พฤกษ์ประเสริฐ ป. และคณะ[3] พบว่าบุคลากรทางการแพทย์มีความรู้เกี่ยวกับโรคไข้เลือดออกเป็นอย่างดี

แบบจำลองสภาพภูมิอากาศโลก (GCMs) เ นอ บจำลอ ดแ ย

อ ชี่รใช เว ที่ ควาดใช้ล ร% ปีและ าลกาค สภา อากา

ของเราเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอดีต ปัจจุบัน และอนาคตการศึกษาล่าสุดชิ้นหนึ่งใช้แบบจำลอง CMIP6 เพื่อตรวจสอบผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อเหตุการณ์ฝนตกหนักในประเทศจีน โดยพบว่าเหตุการณ์ดังกล่าวคาดว่าจะเกิดบ่อยและรุนแรงมากขึ้นในอนาคต[4] อีกการศึกษาหนึ่งใช้แบบจำลอง CMIP6 เพื่อประเมินผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อการกระจายพันธุ์พืชและวัฏจักรคาร์บอนในจีน ซึ่งบ่งชี้ว่าสภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลงจะส่งผลกระทบต่อสมดุลคาร์บอนภาคพื้นดินในภูมิภาคนี้อย่างมีนัยสำคัญ[5] โดยรวมแล้ว CMIP6 และ GCM มีบทบาทสำคัญในการพัฒนาความเข้าใจของเราเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและผลกระทบที่อาจเกิดขึ้น

โรคไข้เลือดออกเป็นโรคที่มียุงเป็นพาหะ ได้รับอิทธิพลอย่างมากจากสภาพอากาศ โดยเฉพาะอุณหภูมิและปริมาณน้ำฝน มีการใช้แบบจำลองการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก (GCMs) เพื่อคาดการณ์ผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคตต่อการแพร่กระจายและการแพร่ระบาดของโรคไข้เลือดออกงานวิจัยชิ้นหนึ่งใช้ GCMs เพื่อประเมินการเปลี่ยนแปลงที่อาจเกิดขึ้นในการแพร่ระบาดของไข้เลือดออกภายใต้สถานการณ์อุณหภูมิและปริมาณน้ำฝนที่แตกต่างกันในอนาคต ซึ่งบ่งชี้ว่าการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศสามารถเพิ่มความเสี่ยงของการแพร่ระบาดของโรคไข้เลือดออกในหลายภูมิภาค โดยเฉพาะในพื้นที่เขตร้อน[6]. การศึกษาอีกชิ้นหนึ่งใช้ GCM เพื่อตรวจสอบผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อการแพร่ระบาดของไข้เลือดออกในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ โดยพบว่าการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิและปริมาณน้ำฝนที่คาดการณ์ไว้อาจทำให้จำนวนผู้ป่วยไข้เลือดออกในภูมิภาคนี้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ[7].โดยรวมแล้ว การศึกษาเหล่านี้ชี้ให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกอาจทำให้การแพร่กระจายของโรคไข้เลือดออกรุนแรงขึ้น โดยเน้นย้ำถึงความจำเป็นในการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่มีประสิทธิภาพและกลยุทธ์ในการบรรเทาผลกระทบเพื่อลดความเสี่ยงที่เกี่ยวข้องกับโรคนี้ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อทำนายโรคไข้เลือดออกในอนาคตภายใต้แบบจำลองสภาพภูมิอากาศโลก

1. พื้นที่ศึกษา และ ข้อมูล

1.1 อุณหภูมิ

จาล□

1.3 ปริมาณน้ำฝน

ปริมาณน้ำฝนเป็นปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อการแพร่พันธุ์และการเจริญเติบโตของยุงซึ่งแพร่เชื้อไวรัสไข้เลือดออก ปริมาณน้ำฝนสามารถเอื้อต่อการแพร่พันธุ์ของยุง เนื่องจากสามารถทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของแหล่งน้ำนิ่งที่เป็นปัจจัยหลักต่อการขยายพันธุ์ของยุงลาย การเพิ่มขึ้นของประชากรยุงลายสามารถนำไปสู่อุบัติการณ์ของการติดเชื้อไข้เลือดออกที่สูงขึ้นในพื้นที่ มีงานวิจัยหลายชิ้นที่ตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝนกับการติดเชื้อไข้เลือดออก ตัวอย่างเช่น การศึกษาในบราซิลพบว่าปริมาณน้ำฝนที่เพิ่มขึ้นมีความสัมพันธ์กับการติดเชื้อของโรคไข้เลือดออกที่สูงขึ้น [13] ในทำนองเดียวกัน การศึกษาในประเทศไทยพบว่าปริมาณน้ำฝนที่เพิ่มขึ้นมีความสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของผู้ป่วยไข้เลือดออก [14] จากข้อมูลจากกรมชลประทานพบว่าในปัจจุบันจังหวัดเชียงใหม่มีปริมาณน้ำฝน 1123 มม.ต่อปี

1.4 แบบจำลองการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก

คณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (IPCC) ได้เปิดตัวแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกล่าสุดภายใต้โครงการ Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) ในบรรดารุ่นต่างๆ ได้แก่ IPSL-CM6A-LR, CMCC-CM2-SR5, MIROC6, NESM3 และ TaiESM1 แบบจำลองเหล่านี้ได้รับการพัฒนาโดยสถาบันวิจัยและคาดว่าจะให้การคาดการณ์ที่แม่นยำยิ่งขึ้นสำหรับสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ IPSL-CM6A-LR ซึ่งพัฒนาโดย Institut Pierre Simon Laplace ประกอบด้วยส่วนประกอบของมหาสมุทร ชั้นบรรยากาศ และผืนดินที่ได้รับการปรับปรุง ขณะที่รุ่น CMCC-CM2-SR5 ที่พัฒนาโดย Euro-Mediterranean Center on Climate Change รวมถึงการนำเสนอรายละเอียดเพิ่มเติมของเมฆและ ละอองฝุ่น MIROC6 ซึ่งพัฒนาโดย National Institute for Environmental Studies ในญี่ปุ่น ได้ปรับปรุงการไหลเวียนของมหาสมุทรและกระบวนการวัดจำนวนคาร์บอน ในขณะที่ NESM3 ซึ่งพัฒนาโดย Chinese Academy of Sciences ได้ปรับปรุงการเป็นตัวแทนของกระบวนการทางชีวธรณีเคมี TaiESM1 ซึ่งพัฒนาโดยมหาวิทยาลัยแห่งชาติไต้หวัน รวมถึงการนำเสนอรูปแบบใหม่ของละอองฝุ่นในชั้นบรรยากาศและไมโครฟิสิกส์ของเมฆที่ได้รับการปรับปรุงใหม่ แบบจำลองนี้ให้ข้อมูลที่สำคัญสำหรับผู้กำหนดนโยบาย นักวิจัย และสาธารณชนในการวางแผนและปรับตัวให้เข้ากับผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

2. วิธีการ

2.1 multiple linear regression

multiple linear regressionเป็นเทคนิคทางสถิติที่ใช้ในการสำรวจความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามกับตัวแปรอิสระตั้งแต่สองตัวขึ้นไป เทคนิคนี้เกี่ยวข้องกับการประมาณค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรอิสระในสมการเชิงเส้นที่สามารถใช้ในการทำนายค่าของตัวแปรตาม ในmultiple linear regression ตัวแปรตามจะถือว่าเป็นผลรวมเชิงเส้นของตัวแปรอิสระ ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรอิสระแสดงถึงผลกระทบของตัวแปรอิสระแต่ละตัวที่มีต่อตัวแปรตาม ในขณะที่คำสกัดกั้นแสดงถึงค่าพื้นฐานโดยรวมของตัวแปรตาม สามารถเขียนสมการmultiple linear regressionได้เป็น:

$$DFH = \beta 0 + \beta 1X1 + \beta 2X2 + \ldots + \beta nXn + \varepsilon$$

โดยที่ *Y* คือตัวแปรตาม, *X1, X2, ..., Xn* คือตัวแปรอิสระ, *0* คือเทอมสกัดกั้น, *1, 2, ..., n* คือค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรอิสระ และ คือเทอมข้อผิดพลาด

2.2 Quartile mapping

Quartile mapping เป็นเทคนิคที่มีประโยชน์สำหรับการปรับเอาต์พุตของแบบจำลองให้ตรงกับการกระจายของข้อมูลที่สังเกตได้ เทคนิคนี้มีความสำคัญอย่างยิ่งสำหรับแบบจำลองทางสถิติ ซึ่งการคาดคะเนค่าสุดขั้วอย่างแม่นยำเป็นสิ่งสำคัญ วิธีหนึ่งในการทำแผนที่ควอไทล์คือการใช้ฟังก์ชันการแจกแจงแกมมาแกมมา ฟังก์ชันนี้มักใช้เพื่อสร้างแบบจำลองข้อมูลเชิงบวกที่ต่อเนื่อง และสามารถใช้เพื่อประเมินค่าพารามิเตอร์ของการแจกแจงจากข้อมูลที่สังเกตได้ เมื่อประมาณค่าพารามิเตอร์แล้ว ควอไทล์สามารถคำนวณและเปรียบเทียบระหว่างข้อมูลที่สังเกตได้และข้อมูลจำลองที่เกิดจากการแจกแจง ด้วยการปรับโมเดลการถดถอยระหว่างควอไทล์ที่สังเกตและจำลอง เอาต์พุตของโมเดลสามารถปรับให้ตรงกับการกระจายของข้อมูลที่สังเกตได้ เทคนิคนี้สามารถช่วยปรับปรุงความแม่นยำของการคาดคะเนโดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่ข้อมูลที่สังเกตมีค่ามากที่ผลลัพธ์ของแบบจำลอง

โดยรวมแล้ว การทำแผนที่ควอไทล์โดยใช้ฟังก์ชันการแจกแจงแกมม่าเป็นเทคนิคที่มีประสิทธิภาพในการปรับปรุงความแม่นยำของแบบจำลองทางสถิติ และสร้างความมั่นใจว่าแบบจำลองเหล่านั้นแสดงถึงการกระจายพื้นฐานของข้อมูลที่สังเกตได้อย่างถูกต้อง

โดยที่ F^{-1} คือ ฟังชั่นถดถอยของ Gamma distribution
F คือ ฟังชั่นของ Gamma distribution งตัวแปรอิสระ

3. ผลและวิจารณ์ผล

3.1 เปรียบเทียบผลจากแบบจำลองในอดีต

แบบจำลองการถดถอยหลายตัวแปรแสดงให้เห็นว่าปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมหลายประการ เช่น อุณหภูมิ ปริมาณน้ำฝน และช่วงอุณหภูมิ มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่ออุบัติการณ์ของโรคไข้เลือดออก ([15],[16]) การเจริญเติบโตที่เหมาะสมของยุงจะมีอุณหภูมิระหว่าง 23.75°C ถึง 34.24°C [17] อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตและการสืบพันธุ์คือ 27.1°C [18] นอกจากนี้ แบบจำลองยังพิจารณาถึงผลกระทบของการติดเชื้อในปีที่แล้ว ซึ่งอาจส่งผลต่อในปีปัจจุบัน [19] โดยการวิเคราะห์ปัจจัยเหล่านี้ เจ้าหน้าที่สาธารณสุขและผู้กำหนดนโยบายสามารถพัฒนาวิธีการที่กำหนดเป้าหมายเพื่อลดการแพร่กระจายของไข้เลือดออก [20] ซึ่งค่าเงื่อนไขและค่า β ดังตารางที่1 การประยุกต์ใช้ quartile mapping ในการแก้ไขข้อมูลกรณีไข้เลือดออกแสดงให้เห็นถึงศักยภาพ โดยมีค่าใกล้เคียงกับจำนวนผู้ติดเชื้อซึ่งแสดงผลดังในตารางที่2

ตารางที่ 1 สรุปค่าพารามิเตอร์และเงื่อนไขที่ใช้ในmultiple linear regression

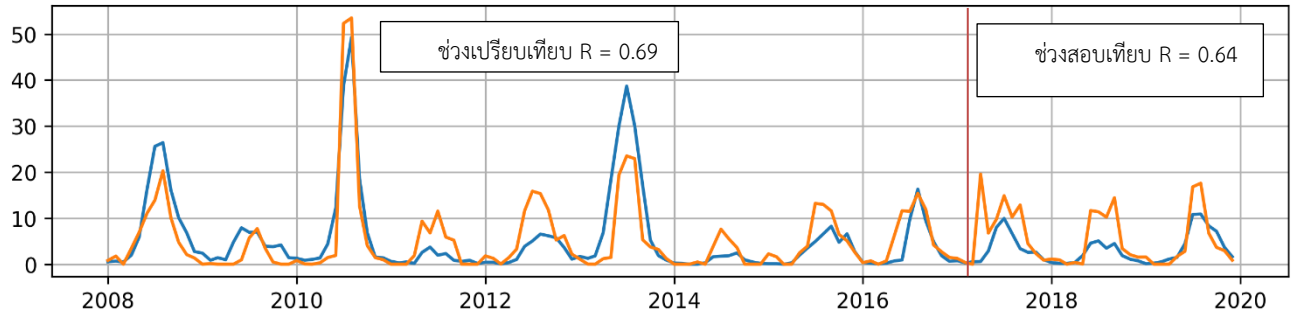
ชนิดข้อมูล( )	เงื่อนไข	
อุณหภูมิ °		
ปริมาณฝน(		
อุณหภูมิต่ำสุด °		
อุณหภูมิสูงสุด °		
ช่วงของอุณหภูมิ Δ °	Δ	
ผู้ติดเชื้อปีก่อนหน้า(	———	
เทอมข้อผิดพลาด		

*** จัดทำโดยการใช้ sklearn.linear_model ในภาษา Pyton*
โดยใช้อมูลอุตุนิยมวิทยารายเดือนและจำนวนผู้ติดเชื้อรายเดือน

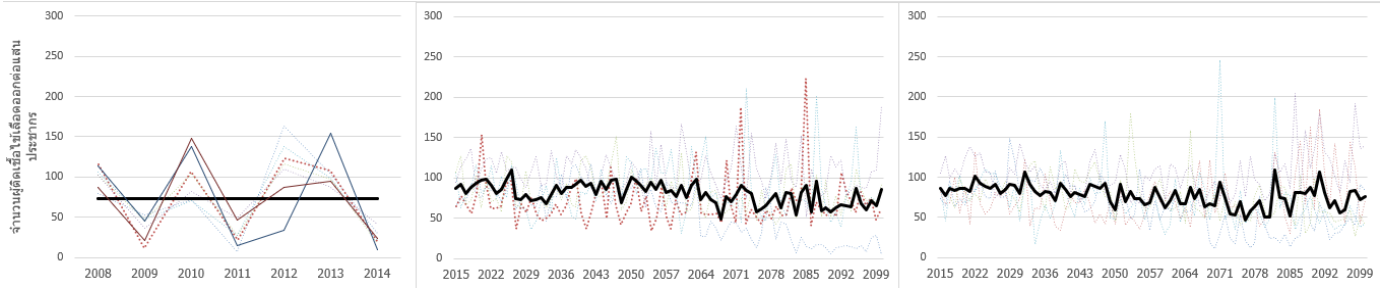
ตารางที่ 2 สรุปค่าความคาดเคลื่อนจากแบบจำลองเมื่อเทียบกับค่าจริง

รายการ			*(ผู้ติดเชื้อต่อแสนคน)*	
	ก่อนปรับ	หลังปรับ	ก่อนปรับ	หลังปรับ
*1.*สถานีตรวจวัด				
ช่วงเปรียบเทียบ				
ช่วงสอบเทียบ				
*2.*IPSL-CM6A-LR				
3.CMCC-CM2-SR5				
4.NESM3				
5.MIROC6				
6.TaiESM1				

*** จัดทำโดยการใช้การเปรียบเทียบจำนวนผู้ติดเชื้อโรคไข้เลือดออกต่อแสนประชากร*
ซึ่งค่า R^2 ควรมีค่ามากกว่า0.6ซึ่งอยู่ในความสัมพันธ์ที่ดี



รูปที่ 2 กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบ จำนวนผู้ติดเชื้อจริงและจำนวนผู้ติดเชื้อที่ได้จากแบบจำลองโดยใช้ข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา



รูปที่ 3 กราฟข้อมูลผู้ติดเชื้อไข้เลือดออก ปีค.ศ. 2008-2014

รูปที่ 4 กราฟข้อมูลผู้ติดเชื้อไข้เลือดออก SSP2.45 ปีค.ศ. 2015-2100

รูปที่ 5 กราฟข้อมูลผู้ติดเชื้อไข้เลือดออก SSP5.85ปีค.ศ. 2015-2100

จากแบบจำลองสภาพภูมิอากาศโลกเพื่อทำนายจำนวนผู้ป่วยโรคไข้เลือดออกระหว่างปี พ.ศ. 2558 ถึง พ.ศ. 2643 เทียบกับค่าเฉลี่ยปัจจุบัน (พ.ศ.2551 - พ.ศ.2557)ที่ 72 ราย ตามข้อมูลที่รวบรวมจากแบบจำลองสภาพภูมิอากาศต่างๆ รวมถึง CMCC-SSP5.85, IPSL-SSP5.85, MIROC6-SSP5.85, NESM3-SSP5.85, TAIESM1-SSP5.85 และค่าเฉลี่ย คาดว่าอุบัติการณ์ของโรคไข้เลือดออกจะเพิ่มขึ้นอย่างมาก ในอนาคตจากการคากการณ์ด้วยแบบจำลองGCM SSP 2.45 จำนวนผู้ป่วยโดยเฉลี่ยต่อปีคาดว่าจะเพิ่มขึ้นเป็นในปี 2558 อยู่ที่ 72 ราย และคาดว่าจะเพิ่มขึ้นเป็น 87 รายในปี 2558 98 รายในปี 2564 91 รายในปี 2573 และ 85 ราย ภายในปี 2643 จำนวนผู้ป่วยโดยเฉลี่ยจะอยู่ที่ประมาณ 80 ถึง 100 ราย และจากแบบจำลองGCM SSP 5.85 86 รายในปี 2558, 92 รายในปี 2563, 100 รายในปี 2573 และ 106 รายในปี

2583 ภายในปี 2643 จำนวนผู้ป่วยโดยเฉลี่ยคาดว่าจะเพิ่มขึ้นเป็น 88 ราย ผลการเพิ่มขึ้นของผู้ป่วยโรคไข้เลือดออกมีสาเหตุมาจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศได้นำไปสู่อุณหภูมิที่สูงขึ้นและเหตุการณ์สภาพอากาศที่รุนแรงบ่อยขึ้น ทำให้เกิดสภาวะที่เอื้ออำนวยต่อการแพร่พันธุ์ของยุงและการแพร่กระจายของไวรัส การขยายตัวของเมืองและการเติบโตของประชากรมีส่วนทำให้เกิดการแพร่ระบาดของโรคไข้เลือดออก เนื่องจากทำให้เกิดแหล่งเพาะพันธุ์ยุงมากขึ้น และเพิ่มการติดต่อกับมนุษย์กับผู้ติดเชื้อ

[12] Zhang, Y. และ คณะ. (2020). Climate variability and dengue fever transmission in Guangzhou, China: A time-series analysis. Environmental Research, 191, 110107.

[13] Lowe, R., Stewart-Ibarra, A. M., Petrova, D., García-Díez, M., & Borbor-Cordova, M. J. (2013). The dengue mosquito vector Aedes aegypti at high elevation in Ecuador. PLoS neglected tropical diseases, 7(5), e2238.

[14] Yoon, I. K., Getis, A., Aldstadt, J., Rothman, A. L., Tannitisupawong, D., Koenraadt, C. J., ... & Morrison, A. C. (2016). Fine scale spatiotemporal clustering of dengue virus transmission in children and Aedes aegypti in rural Thai villages. PLoS neglected tropical diseases, 10(8), e0004916.

[15] Hii, Y. L., Zhu, H., Ng, N., Ng, L. C., & Rocklöv, J. (2009). Forecast of dengue incidence using temperature and rainfall. PLoS Neglected Tropical Diseases, 3(11), e548.

[16] Johansson, M. A., Dominici, F., & Glass, G. E. (2010). Local and global effects of climate on dengue transmission in Puerto Rico. PLoS Neglected Tropical Diseases, 3(2), e382.

[17] Paaijmans, K. P., Heinig, R. L., Seliga, R. A., Blanford, J. I., Blanford, S., Murdock, C. C., Thomas, M. B. (2013). Temperature variation makes ectotherms more sensitive to climate change. Global Change Biology, 19(8), 2373-2380. https://doi.org/10.1111/gcb.12155

[18] Delatte, H., Desvars-Larrive, A., Bouétard, A., Bord, S., Gimonneau, G., Vourc'h, G., Fontenille, D. (2013). Blood-feeding behavior of Aedes albopictus, a vector of Chikungunya on La Réunion. Journal of Medical Entomology, 50(5), 1075-1081. https://doi.org/10.1603/me13026

[19] Nakhapakorn, K., & Tripathi, N. K. (2005). An information value based analysis of physical and climatic factors affecting dengue fever and dengue haemorrhagic fever incidence. International Journal of Health Geographics, 4, 13.

[20] Banu, S., Hu, W., & Guo, Y. (2011). Projecting the impact of climate change on dengue transmission in Dhaka, Bangladesh. Environment International, 37(8), 1376-1381.

[21] Campbell, K. M., Lin, C. D., Iamsirithaworn, S., & Scott, T. W. (2015). The complex relationship between weather and dengue virus transmission in Thailand. The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene, 93(6), 1214-1221.