



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการระบาดของโรคมาลาเรียตามกลุ่มอายุของผู้ป่วย
และฤดูกาลในประเทศไทย

**Mathematical model of Malaria transmission by age group of patients and
season in Thailand**

นางสาว พันชนี พงศ์สัมพันธ์
(หัวหน้าโครงการ)

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณรายได้ประจำปีงบประมาณ 2555
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ Professor Dr. I-Ming Tang, Mahidol University, Thailand และ Professor Dr. Marc A. Dubois, Service de Physique de l'Etat Condensé, Commissariat à l'Energie Atomique CEA Saclay –Orme des Merisiers, Cedex, France เป็นอย่างสูง ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำต่างๆ ในการทำงานวิจัย และดูแลเอาใจใส่การทำงานและให้ความรู้ พร้อมกับประสบการณ์ที่ดีต่างๆ ตลอดมา

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์สาขาคณิตศาสตร์ รวมถึงเจ้าหน้าที่ประจำสาขาวิชาทุกท่านที่ช่วยเหลือในด้านการอำนวยความสะดวกเกี่ยวกับอุปกรณ์ที่จำเป็นต่างๆ

ขอกราบขอบพระคุณครอบครัว ที่ได้ให้การสนับสนุนทุกประการทางด้านการทำวิจัย และยังให้กำลังใจตลอดมาจนถึงปัจจุบัน และต้องขอขอบคุณเพื่อนๆ ทุกท่านที่ช่วยเหลือให้คำแนะนำต่างๆ จนงานวิจัยสำเร็จสมบูรณ์ยิ่งขึ้นยิ่งขึ้น รวมทั้งนางสาว ธาธีรัตน์ ธนคัลพาณิชย์ และนางสาว วรณิศสา มุมทองซึ่งเป็นผู้ช่วยวิจัยของงานวิจัยฉบับนี้

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากปัญหาพิเศษฉบับนี้ ผู้จัดทำขออุทิศแด่ บิดา มารดา และผู้มีพระคุณทุกท่าน

การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จากแหล่งทุน งบประมาณเงินรายได้ ประจำปี 2555 สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ให้ทุนสนับสนุนการทำงานวิจัยนี้

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พันธนี พงศ์สัมพันธ์

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการระบาดของโรคมาลาเรียตามกลุ่มอายุของผู้ป่วยและฤดูกาลในประเทศไทย

ชื่อโครงการ(ภาษาอังกฤษ) Mathematical model of Malaria transmission by age group of patients and season in Thailand

แหล่งเงิน คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ประจำปีงบประมาณ 2555 จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 35,000 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ เดือน ตุลาคม ปี 2554 ถึงเดือน กันยายน ปี 2555

หัวหน้าโครงการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พันธุ์ พงศ์สัมพันธ์

สาขาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

e-mail: kppuntan@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

โรคมาลาเรียเป็นโรคติดเชื้อที่เกิดจากการกัดของยุงก้นปล่อง โรคนี้เกิดจากเชื้อปรสิตสกุลพลาสโมเดียมมีทั้งหมดสี่ชนิด คือ พลาสโมเดียมไวแวกซ์ พลาสโมเดียมฟัลซิพารัม พลาสโมเดียมโอวาล์ และ พลาสโมเดียมมาลาเรีย ในประเทศไทยคนไข้มาลาเรียส่วนใหญ่เกิดจากการติดเชื้อ พลาสโมเดียมไวแวกซ์ และ พลาสโมเดียมฟัลซิพารัม โรคมาลาเรียชนิดไวแวกซ์ แตกต่างจากโรคมาลาเรียชนิดฟัลซิพารัมตรงที่คนไข้โรคมาลาเรียชนิดไวแวกซ์นั้นสามารถเกิดอาการไข้กลับได้ จากข้อมูลของผู้ป่วยโรคมาลาเรียในประเทศไทยพบว่า อายุ และฤดูกาลมีผลต่อการระบาดของโรคนี้ ในงานวิจัยนี้โรคมาลาเรียได้นำมาศึกษาโดยการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยพิจารณากลุ่มอายุของผู้ป่วยและฤดูกาลในประเทศไทยซึ่งพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ขึ้นมาใหม่จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โรคมาลาเรียของ A.Kammanee และคณะ (2001) โดยการเพิ่มอิทธิพลของอายุและฤดูกาล เราประยุกต์วิธีการของแบบจำลองพลวัตเชิงมาตรฐานมาวิเคราะห์ลักษณะของคำตอบในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แต่ละแบบ พร้อมทั้งแสดงเงื่อนไขของตัวแปรที่ทำให้เกิดความเสถียรภายใน (local asymptotically stable) ของจุดสมดุลภายใต้สภาวะไร้โรค (disease free state) และสภาวะระบาดอย่างเรื้อรัง (disease endemic state) ผลลัพธ์เชิงตัวเลขของแบบจำลองได้ถูกนำมาแสดง เพื่อใช้ในการสนับสนุนสมมติฐานในการศึกษา

คำสำคัญ โรคมาลาเรีย แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ สภาวะระบาดไร้โรค สภาวะระบาดเรื้อรัง
ความเสถียรภายใน

Research Title: Mathematical model of Malaria transmission by age group of patients and season in Thailand

Researcher: Asst.Prof.Dr.Puntani Pongsumpun

Faculty: Faculty of Science **Department:** Department of Mathematics
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

ABSTRACT

Malaria is an infectious disease caused by biting of an infective female *Anopheles mosquito*. This disease is occurred by the parasite genus *Plasmodium*. There are four species of this parasite causing malaria, namely, *Plasmodium vivax*, *Plasmodium falciparum*, *Plasmodium ovale* and *Plasmodium malariae*. In Thailand, most Malaria patients are due to *Plasmodium vivax* and *Plasmodium falciparum*. *Plasmodium vivax* malaria differs from *Plasmodium falciparum* malaria in that a person suffering from *P. vivax* malaria can experience relapses of the disease. From the data of Malaria patients in Thailand, we found that age and season influence to the transmission of this disease. In this research, Malaria disease is studied by formulating the mathematical model includes the age group of patients and season in Thailand. The mathematical model is developed from the mathematical model of A.Kammanee et al (2001) by adding the age group of patients and season in Thailand. We apply the standard dynamical modeling method to analyze the behaviors of our solutions. We obtain the conditions required of the parameters for the disease free and endemic equilibrium points to be local asymptotically stable. Numerical solutions are obtained to support the theoretical predictions.

Keywords : Malaria, Mathematical model, Disease free state, Disease endemic state, Local stability.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	i
บทคัดย่อภาษาไทย	ii
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	iii
สารบัญ	iv
สารบัญตาราง	v
สารบัญภาพ	vi
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.5 ระเบียบวิธีการวิจัย	3
1.6 ทฤษฎีหรือกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย	4
บทที่ 2 โรคมะเร็ง	5
บทที่ 3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์โรคมะเร็งของผู้เสี่ยง และผู้ติดเชื้อสำหรับเด็ก และผู้ใหญ่ และการวิเคราะห์	20
บทที่ 4 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์โรคมะเร็งสำหรับเด็กและผู้ใหญ่ เมื่อพิจารณาการฟื้นไข้กลับของเชื้อพลาสมาเดียม และการวิเคราะห์	74
บทที่ 5 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์โรคมะเร็งสำหรับประชากรแต่ละช่วงอายุตามฤดูกาลในประเทศไทย และการวิเคราะห์	123
บทที่ 6 สรุป วิเคราะห์ และเสนอแนะงานวิจัยในอนาคต	166
บรรณานุกรม	167
ภาคผนวก ก นิยามและทฤษฎีบทที่เกี่ยวข้อง	172
ภาคผนวก ข ผลงานการวิจัย	185
ภาคผนวก ค ข้อมูลประวัติผู้วิจัย	214

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 5.1 แสดงการกำหนดพารามิเตอร์ของแบบจำลอง	124
ตารางที่ 5.2 แสดงการกำหนดพารามิเตอร์ตามนิยามของแบบจำลอง	130

สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 Hippocrates บิดาทางการแพทย์และนักมาลาเรียวิทยาคนแรกของโลก	7
รูปที่ 2.2 พลาสโมเดียมซัลซิฟารัม	8
รูปที่ 2.3 ขุบกัณฑ์ป้องกันพาหะนำโรคมมาลาเรีย	9
รูปที่ 2.4 วัฏจักรของโรคมมาลาเรีย	10
รูปที่ 2.5 การแพร่ระบาดของโรคมมาลาเรียโดยวิธีธรรมชาติและวิธีแพร่ผ่านทารก	12
รูปที่ 2.6 แผนภาพแสดงความหนาแน่นของแต่ละบริเวณที่พบผู้ป่วยมาลาเรียใน ปี 2553 (มกราคม – 13 ธันวาคม)	16
รูปที่ 2.7 กราฟแสดงอัตราผู้ป่วยของโรคมมาลาเรียในแต่ละปีในประเทศไทยตั้งแต่ปี 2529 ถึง 13 ธันวาคม 2553	17
รูปที่ 2.8 กราฟแสดงอัตราผู้ป่วยของโรคมมาลาเรียในแต่ละเดือนในประเทศไทย ตั้งแต่ปี 2541 ถึง 2553	17
รูปที่ 2.9 กราฟแสดงอัตราการตายในแต่ละปีของโรคมมาลาเรียในประเทศไทย ตั้งแต่ปี 2546 ถึง 13 ธันวาคม 2553	18
รูปที่ 2.10 กราฟแสดงอัตราผู้ป่วยของโรคมมาลาเรียในแต่ละช่วงอายุในประเทศไทย ตั้งแต่ปี 2546 ถึง 2552	18

รูปที่ 2.11 กราฟแสดงอัตราผู้ป่วยของโรคมาลาเรียรายภาคในประเทศไทยตั้งแต่ปี 2546 19

ถึง 13 ธันวาคม 2553

รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับโรคไข้มาลาเรียเมื่อประชากร 21

คน แบ่งออกเป็นเด็ก และผู้ใหญ่

รูปที่ 3.2 ผลเฉลยเชิงตัวเลขของสัดส่วนผู้ใหญ่ที่ติดเชื้อเมื่อเทียบกับเวลา 57

ค่าของพารามิเตอร์ คือ $N_h=1,000$, $N_v=9,500$, $\mu_h=1/(365*65) \text{ day}^{-1}$, $d_h=1/(365*65) \text{ day}^{-1}$,

$D=40,000$, $\gamma_A=1/365*2 \text{ day}^{-1}$, $\gamma_J=1/365*1 \text{ day}^{-1}$, $\delta=1/365*15$, $\mu_v=1/25$,

$D_0=0.287901$, $\beta_h=0.009$, $\beta_v=0.0000000007$

รูปที่ 3.3 ผลเฉลยเชิงตัวเลขของสัดส่วนเด็กที่ติดเชื้อเมื่อเทียบกับเวลา 58

ค่าของพารามิเตอร์ คือ $N_h=1,000$, $N_v=9,500$, $\mu_h=1/(365*65) \text{ day}^{-1}$, $d_h=1/(365*65) \text{ day}^{-1}$,

$D=40,000$, $\gamma_A=1/365*2 \text{ day}^{-1}$, $\gamma_J=1/365*1 \text{ day}^{-1}$, $\delta=1/365*15$, $\mu_v=1/25$,

$D_0=0.287901$, $\beta_h=0.009$, $\beta_v=0.0000000007$.

รูปที่ 3.4 ผลเฉลยเชิงตัวเลขของสัดส่วนยุงติดเชื้อเมื่อเทียบกับเวลา 59

ค่าของพารามิเตอร์ คือ $N_h=1,000$, $N_v=9,500$, $\mu_h=1/(365*65) \text{ day}^{-1}$, $d_h=1/(365*65) \text{ day}^{-1}$,

$D=40,000$, $\gamma_A=1/365*2 \text{ day}^{-1}$, $\gamma_J=1/365*1 \text{ day}^{-1}$, $\delta=1/365*15$, $\mu_v=1/25$,

$D_0=0.287901$, $\beta_h=0.009$, $\beta_v=0.0000000007$.

รูปที่ 3.5 ผลเฉลยเชิงตัวเลขของสัดส่วนเด็กที่ติดเชื้อกับสัดส่วนของผู้ใหญ่ที่ติดเชื้อ 60

ค่าของพารามิเตอร์ คือ $N_h=1,000$, $N_v=9,500$, $\mu_h=1/(365*65) \text{ day}^{-1}$, $d_h=1/(365*65) \text{ day}^{-1}$,

$D=40,000$, $\gamma_A=1/365*2 \text{ day}^{-1}$, $\gamma_J=1/365*1 \text{ day}^{-1}$, $\delta=1/365*15$, $\mu_v=1/25$,

$D_0=0.287901$, $\beta_h=0.009$, $\beta_v=0.0000000007$.

รูปที่ 3.6 ผลเฉลยเชิงตัวเลขของสัดส่วนยุงที่ติดเชื้อกับสัดส่วนของผู้ใหญ่ที่ติดเชื้อ 61

ค่าของพารามิเตอร์ คือ $N_h=1,000$, $N_v=9,500$, $\mu_h=1/(365*65) \text{ day}^{-1}$, $d_h=1/(365*65) \text{ day}^{-1}$,

$D=40,000$, $\gamma_A=1/365*2 \text{ day}^{-1}$, $\gamma_J=1/365*1 \text{ day}^{-1}$, $\delta=1/365*15$, $\mu_v=1/25$,

$D_0=0.287901$, $\beta_h=0.009$, $\beta_v=0.0000000007$.

รูปที่ 3.7 ผลเฉลยเชิงตัวเลขของสัดส่วนยุงติดเชื้อกับสัดส่วนของเด็กที่ติดเชื้อ 62

ค่าของพารามิเตอร์ คือ $N_h=1,000$, $N_v=9,500$, $\mu_h=1/(365*65) \text{ day}^{-1}$, $d_h=1/(365*65) \text{ day}^{-1}$,

$D=40,000$, $\gamma_A=1/365*2 \text{ day}^{-1}$, $\gamma_J=1/365*1 \text{ day}^{-1}$, $\delta=1/365*15$, $\mu_v=1/25$,

$D_0=0.287901$, $\beta_h=0.009$, $\beta_v=0.0000000007$.

รูปที่ 3.8 ผลเฉลยเชิงตัวเลขของผู้ใหญ่ที่ติดเชื้อเมื่อเทียบกับเวลา 63

ค่าของพารามิเตอร์ คือ $N_h=1,000$, $N_v=9,500$, $\mu_h=1/(365*65) \text{ day}^{-1}$, $d_h=1/(365*65) \text{ day}^{-1}$,

$D=40,000$, $\gamma_A=1/365*2 \text{ day}^{-1}$, $\gamma_J=1/365*1 \text{ day}^{-1}$, $\delta=1/365*15$, $\mu_v=1/25$,

$D_0=287.901$, $\beta_v=0.0009$, $\beta_h=0.0000000007$.

รูปที่ 3.9 ผลเฉลยเชิงตัวเลขของเด็กที่ติดเชื้อเมื่อเทียบกับเวลา 64

ค่าของพารามิเตอร์ คือ $N_h=1,000$, $N_v=9,500$, $\mu_h=1/(365*65)$ day-1, $d_h=1/(365*65)$ day-1,

$D=40,000$, $\gamma_A=1/365*2$ day-1, $\gamma_J=1/365*1$ day-1, $\delta=1/365*15$, $\mu_v=1/25$,

$D_0=287.901$, $\beta_v=0.0009$, $\beta_h=0.000000007$.

รูปที่ 3.10 ผลเฉลยเชิงตัวเลขของยุงที่ติดเชื้อเมื่อเทียบกับเวลา 65

ค่าของพารามิเตอร์ คือ $N_h=1,000$, $N_v=9,500$, $\mu_h=1/(365*65)$ day-1, $d_h=1/(365*65)$ day-1,

$D=40,000$, $\gamma_A=1/365*2$ day-1, $\gamma_J=1/365*1$ day-1, $\delta=1/365*15$, $\mu_v=1/25$,

$D_0=287.901$, $\beta_v=0.0009$, $\beta_h=0.000000007$.

รูปที่ 3.11 ผลเฉลยเชิงตัวเลขของสัดส่วนผู้ใหญ่ที่ติดเชื้อเทียบกับสัดส่วนของเด็กที่ติดเชื้อ 66

ค่าของพารามิเตอร์ คือ $N_h=1,000$, $N_v=9,500$, $\mu_h=1/(365*65)$ day-1, $d_h=1/(365*65)$ day-1,

$D=40,000$, $\gamma_A=1/365*2$ day-1, $\gamma_J=1/365*1$ day-1, $\delta=1/365*15$, $\mu_v=1/25$,

$D_0=287.901$, $\beta_v=0.0009$, $\beta_h=0.000000007$.

รูปที่ 3.12 ผลเฉลยเชิงตัวเลขของสัดส่วนยุงที่ติดเชื้อเทียบกับสัดส่วนของผู้ใหญ่ที่ติดเชื้อ 67

ค่าของพารามิเตอร์ คือ $N_h=1,000$, $N_v=9,500$, $\mu_h=1/(365*65)$ day-1, $d_h=1/(365*65)$ day-1,

$D=40,000$, $\gamma_A=1/365*2$ day-1, $\gamma_J=1/365*1$ day-1, $\delta=1/365*15$, $\mu_v=1/25$,

$D_0=287.901$, $\beta_v=0.0009$, $\beta_h=0.000000007$.

รูปที่ 3.13 ผลเฉลยเชิงตัวเลขของสัดส่วนยุงที่ติดเชื้อเทียบกับสัดส่วนของเด็กที่ติดเชื้อ 68

ค่าของพารามิเตอร์ คือ $N_h=1,000$, $N_v=9,500$, $\mu_h=1/(365*65)$ day⁻¹, $d_h=1/(365*65)$ day⁻¹,

$D=40,000$, $\gamma_A=1/365*2$ day⁻¹, $\gamma_J=1/365*1$ day⁻¹, $\delta=1/365*15$, $\mu_v=1/25$,

$D_0=287.901$, $\beta_v=0.0009$, $\beta_h=0.0000000007$.

รูปที่ 3.14 ผลเฉลยเชิงตัวเลขของผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อเมื่อค่าสืบพันธุ์พื้นฐานมีค่าต่างกัน 69

ค่าของพารามิเตอร์ คือ $N_h=1,000$, $N_v=9,500$, $\mu_h=1/(365*65)$ day⁻¹, $d_h=1/(365*65)$ day⁻¹,

$D=40,000$, $\gamma_A=1/365*2$ day⁻¹, $\gamma_J=1/365*1$ day⁻¹, $\delta=1/365*15$, $\mu_v=1/25$.

รูปที่ 3.15 ผลเฉลยเชิงตัวเลขของเด็กที่ติดเชื้อเมื่อค่าสืบพันธุ์พื้นฐานมีค่าต่างกัน 70

ค่าของพารามิเตอร์ คือ $N_h=1,000$, $N_v=9,500$, $\mu_h=1/(365*65)$ day⁻¹, $d_h=1/(365*65)$ day⁻¹,

$D=40,000$, $\gamma_A=1/365*2$ day⁻¹, $\gamma_J=1/365*1$ day⁻¹, $\delta=1/365*15$, $\mu_v=1/25$.

รูปที่ 3.16 ผลเฉลยเชิงตัวเลขของเด็กที่ติดเชื้อเมื่อค่าสืบพันธุ์พื้นฐานมีค่าต่างกัน 71

ค่าของพารามิเตอร์ คือ $N_h=1,000$, $N_v=9,500$, $\mu_h=1/(365*65)$ day⁻¹, $d_h=1/(365*65)$ day⁻¹,

$D=40,000$, $\gamma_A=1/365*2$ day⁻¹, $\gamma_J=1/365*1$ day⁻¹, $\delta=1/365*15$, $\mu_v=1/25$.

รูปที่ 3.17 ผลเฉลยเชิงตัวเลขของยุงที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อเมื่อค่าสืบพันธุ์พื้นฐานมีค่าต่างกัน 72

ค่าของพารามิเตอร์ คือ $N_h=1,000$, $N_v=9,500$, $\mu_h=1/(365*65)$ day⁻¹, $d_h=1/(365*65)$ day⁻¹,

$D=40,000$, $\gamma_A=1/365*2$ day⁻¹, $\gamma_J=1/365*1$ day⁻¹, $\delta=1/365*15$, $\mu_v=1/25$.

รูปที่ 3.18 ผลเฉลยเชิงตัวเลขของยุงที่ติดเชื้อเมื่อค่าสืบทอดพื้นฐานมีค่าต่างกัน 73

ค่าของพารามิเตอร์ คือ $N_h=1,000$, $N_v=9,500$, $\mu_h=1/(365*65) \text{ day}^{-1}$, $d_h=1/(365*65) \text{ day}^{-1}$,

$D=40,000$, $\gamma_A=1/365*2 \text{ day}^{-1}$, $\gamma_J=1/365*1 \text{ day}^{-1}$, $\delta=1/365*15$, $\mu_v=1/25$.

รูปที่ 4.1 แผนภาพแสดงแบบจำลองนี้เมื่อพิจารณาการฟื้นฟูไขกลับของเชื้อพลาสมาเดียม 74

รูปที่ 4.2 ผลเฉลยเชิงตัวเลขเทียบกับเวลาของผู้ใหญ่ที่ติดเชื้อเมื่อกำหนดพารามิเตอร์ 107

ดังนี้ $N_T=500,000$, $N_v=100$, $\mu_h=1/(365*65) \text{ day}^{-1}$, $e_h=1/(365*65) \text{ day}^{-1}$, $A=10,000$, $\gamma_{A_1}=1/365*2 \text{ day}^{-1}$, $\gamma_{A_2}=1/14 \text{ day}^{-1}$, $\gamma_{J_1}=1/365*3 \text{ day}^{-1}$, $\gamma_{J_2}=1/14 \text{ day}^{-1}$, $\delta=1/365*15$, $\mu_v=1/25$. $R_0=0.103489$, $\beta_h=0.99$, $\beta_v=0.0007$.

รูปที่ 4.3 ผลเฉลยเชิงตัวเลขเทียบกับเวลาของเด็กที่ติดเชื้อเมื่อกำหนดพารามิเตอร์ 108

ดังนี้ $N_T=500,000$, $N_v=100$, $\mu_h=1/(365*65) \text{ day}^{-1}$, $e_h=1/(365*65) \text{ day}^{-1}$, $A=10,000$, $\gamma_{A_1}=1/365*2 \text{ day}^{-1}$, $\gamma_{A_2}=1/14 \text{ day}^{-1}$, $\gamma_{J_1}=1/365*3 \text{ day}^{-1}$, $\gamma_{J_2}=1/14 \text{ day}^{-1}$, $\delta=1/365*15$, $\mu_v=1/25$. $R_0=0.103489$, $\beta_h=0.99$, $\beta_v=0.0007$.

รูปที่ 4.4 ผลเฉลยเชิงตัวเลขเทียบกับเวลาของเด็กที่ฟื้นฟูไขเมื่อกำหนดพารามิเตอร์ดังนี้ 109

$N_T=500,000$, $N_v=100$, $\mu_h=1/(365*65) \text{ day}^{-1}$, $e_h=1/(365*65) \text{ day}^{-1}$, $A=10,000$, $\gamma_{A_1}=1/365*2 \text{ day}^{-1}$, $\gamma_{A_2}=1/14 \text{ day}^{-1}$, $\gamma_{J_1}=1/365*3 \text{ day}^{-1}$, $\gamma_{J_2}=1/14 \text{ day}^{-1}$, $\delta=1/365*15$, $\mu_v=1/25$. $R_0=0.103489$, $\beta_h=0.99$, $\beta_v=0.0007$.

รูปที่ 4.5 ผลเฉลยเชิงตัวเลขเทียบกับเวลาของผู้ใหญ่ที่ฟื้นฟูไขเมื่อกำหนดพารามิเตอร์ดังนี้ 110

$N_T=500,000$, $N_v=100$, $\mu_h=1/(365*65) \text{ day}^{-1}$, $e_h=1/(365*65) \text{ day}^{-1}$, $A=10,000$, $\gamma_{A_1}=1/365*2 \text{ day}^{-1}$, $\gamma_{A_2}=1/14 \text{ day}^{-1}$, $\gamma_{J_1}=1/365*3 \text{ day}^{-1}$, $\gamma_{J_2}=1/14 \text{ day}^{-1}$, $\delta=1/365*15$, $\mu_v=1/25$. $R_0=0.103489$, $\beta_h=0.99$, $\beta_v=0.0007$.

รูปที่ 4.6 ผลเฉลยเชิงตัวเลขเทียบกับเวลาของยุงที่ติดเชื้อเมื่อกำหนดพารามิเตอร์ดังนี้ 111

$$N_T=500,000, N_V=100, \mu_h=1/(365*65) \text{ day}^{-1}, e_h=1/(365*65) \text{ day}^{-1}, A=10,000, \\ \gamma_{A_1}=1/365*2 \text{ day}^{-1}, \gamma_{A_2}=1/14 \text{ day}^{-1}, \gamma_{J_1}=1/365*3 \text{ day}^{-1}, \gamma_{J_2}=1/14 \text{ day}^{-1}, \delta=1/365*15, \\ \mu_v=1/25, R_0=0.103489, \beta_h=0.99, \beta_v=0.00007.$$

รูปที่ 4.7 ผลเฉลยเชิงตัวเลขเทียบกับเวลาของผู้ใหญ่ที่ติดเชื้อเมื่อกำหนดพารามิเตอร์ดังนี้ 112

$$N_T=500,000, N_V=100, \mu_h=1/(365*65) \text{ day}^{-1}, e_h=1/(365*65) \text{ day}^{-1}, A=10,000, \\ \gamma_{A_1}=1/365*2 \text{ day}^{-1}, \gamma_{A_2}=1/14 \text{ day}^{-1}, \gamma_{J_1}=1/365*3 \text{ day}^{-1}, \gamma_{J_2}=1/14 \text{ day}^{-1}, \delta=1/365*15, \\ \mu_v=1/25, R_0=1.03489, \beta_v=0.99, \beta_h=0.00007.$$

รูปที่ 4.8 ผลเฉลยเชิงตัวเลขเทียบกับเวลาของเด็กที่ติดเชื้อเมื่อกำหนดพารามิเตอร์ดังนี้ 113

$$N_T=500,000, N_V=100, \mu_h=1/(365*65) \text{ day}^{-1}, e_h=1/(365*65) \text{ day}^{-1}, A=10,000, \\ \gamma_{A_1}=1/365*2 \text{ day}^{-1}, \gamma_{A_2}=1/14 \text{ day}^{-1}, \gamma_{J_1}=1/365*3 \text{ day}^{-1}, \gamma_{J_2}=1/14 \text{ day}^{-1}, \delta=1/365*15, \\ \mu_v=1/25, R_0=1.03489, \beta_v=0.99, \beta_h=0.00007.$$

รูปที่ 4.9 ผลเฉลยเชิงตัวเลขเทียบกับเวลาของเด็กที่ฟื้นฟูเมื่อกำหนดพารามิเตอร์ดังนี้ 114

$$N_T=500,000, N_V=100, \mu_h=1/(365*65) \text{ day}^{-1}, e_h=1/(365*65) \text{ day}^{-1}, A=10,000, \\ \gamma_{A_1}=1/365*2 \text{ day}^{-1}, \gamma_{A_2}=1/14 \text{ day}^{-1}, \gamma_{J_1}=1/365*3 \text{ day}^{-1}, \gamma_{J_2}=1/14 \text{ day}^{-1}, \delta=1/365*15, \\ \mu_v=1/25, R_0=1.03489, \beta_v=0.99, \beta_h=0.00007.$$

รูปที่ 4.10 ผลเฉลยเชิงตัวเลขเทียบกับเวลาของผู้ใหญ่ที่ฟื้นฟูเมื่อกำหนดพารามิเตอร์ดังนี้ 115

$$N_T=500,000, N_V=100, \mu_h=1/(365*65) \text{ day}^{-1}, e_h=1/(365*65) \text{ day}^{-1}, A=10,000, \\ \gamma_{A_1}=1/365*2 \text{ day}^{-1}, \gamma_{A_2}=1/14 \text{ day}^{-1}, \gamma_{J_1}=1/365*3 \text{ day}^{-1}, \gamma_{J_2}=1/14 \text{ day}^{-1}, \delta=1/365*15, \\ \mu_v=1/25, R_0=1.03489, \beta_v=0.99, \beta_h=0.00007.$$

รูปที่ 4.11 ผลเฉลยเชิงตัวเลขเทียบกับเวลาของยุงที่ติดเชื้อเมื่อกำหนดพารามิเตอร์ดังนี้ 116

$$N_T=500,000, \quad N_V=100, \quad \mu_h=1/(365*65) \text{ day}^{-1}, \quad e_h=1/(365*65) \text{ day}^{-1}, \quad A=10,000, \\ \gamma_{A_1}=1/365*2 \text{ day}^{-1}, \quad \gamma_{A_2}=1/14 \text{ day}^{-1}, \quad \gamma_{J_1}=1/365*3 \text{ day}^{-1}, \quad \gamma_{J_2}=1/14 \text{ day}^{-1}, \quad \delta=1/365*15, \\ \mu_v=1/25, \quad R_0=1.03489, \beta_v=0.99, \beta_h=0.00007.$$

รูปที่ 4.12 ผลเฉลยเชิงตัวเลขของคนที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อเมื่อค่าสืบทอดพื้นฐานมีค่าต่างกัน 117

$$\text{ค่าของพารามิเตอร์ คือ } N_h=1,000, \quad N_v=9,500, \quad \mu_h=1/(365*65) \text{ day}^{-1}, \quad d_h=1/(365*65) \text{ day}^{-1},$$

$$D=40,000, \quad \gamma_A=1/365*2 \text{ day}^{-1}, \quad \gamma_J=1/365*1 \text{ day}^{-1}, \quad \delta=1/365*15, \mu_v=1/25.$$

รูปที่ 4.13 ผลเฉลยเชิงตัวเลขของผู้ใหญ่ที่ติดเชื้อเมื่อค่าสืบทอดพื้นฐานมีค่าต่างกัน 118

$$\text{ค่าของพารามิเตอร์ คือ } N_h=1,000, \quad N_v=9,500, \quad \mu_h=1/(365*65) \text{ day}^{-1}, \quad d_h=1/(365*65) \text{ day}^{-1},$$

$$D=40,000, \quad \gamma_A=1/365*2 \text{ day}^{-1}, \quad \gamma_J=1/365*1 \text{ day}^{-1}, \quad \delta=1/365*15, \mu_v=1/25$$

รูปที่ 4.14 ผลเฉลยเชิงตัวเลขของเด็กที่ติดเชื้อเมื่อค่าสืบทอดพื้นฐานมีค่าต่างกัน 119

$$\text{ค่าของพารามิเตอร์ คือ } N_h=1,000, \quad N_v=9,500, \quad \mu_h=1/(365*65) \text{ day}^{-1}, \quad d_h=1/(365*65) \text{ day}^{-1},$$

$$D=40,000, \quad \gamma_A=1/365*2 \text{ day}^{-1}, \quad \gamma_J=1/365*1 \text{ day}^{-1}, \quad \delta=1/365*15, \mu_v=1/25.$$

รูปที่ 4.15 ผลเฉลยเชิงตัวเลขของเด็กที่ฟื้นไข้เมื่อค่าสืบทอดพื้นฐานมีค่าต่างกัน 120

$$\text{ค่าของพารามิเตอร์ คือ } N_h=1,000, \quad N_v=9,500, \quad \mu_h=1/(365*65) \text{ day}^{-1}, \quad d_h=1/(365*65) \text{ day}^{-1},$$

$$D=40,000, \quad \gamma_A=1/365*2 \text{ day}^{-1}, \quad \gamma_J=1/365*1 \text{ day}^{-1}, \quad \delta=1/365*15, \mu_v=1/25.$$

รูปที่ 4.16 ผลเฉลยเชิงตัวเลขของผู้ใหญ่ที่ฟื้นไข้เมื่อค่าสืบทอดพื้นฐานมีค่าต่างกัน 121

ค่าของพารามิเตอร์ คือ $N_h=1,000$, $N_v=9,500$, $\mu_h=1/(365*65) \text{ day}^{-1}$, $d_h=1/(365*65) \text{ day}^{-1}$,

$D=40,000$, $\gamma_A=1/365*2 \text{ day}^{-1}$, $\gamma_J=1/365*1 \text{ day}^{-1}$, $\delta=1/365*15$, $\mu_v=1/25$.

รูปที่ 4.17 ผลเฉลยเชิงตัวเลขของยุงที่ติดเชื้อเมื่อค่าสืบทอดพื้นฐานมีค่าต่างกัน 122

ค่าของพารามิเตอร์ คือ $N_h=1,000$, $N_v=9,500$, $\mu_h=1/(365*65) \text{ day}^{-1}$, $d_h=1/(365*65) \text{ day}^{-1}$,

$D=40,000$, $\gamma_A=1/365*2 \text{ day}^{-1}$, $\gamma_J=1/365*1 \text{ day}^{-1}$, $\delta=1/365*15$, $\mu_v=1/25$.

รูปที่ 5.1 แผนภาพแสดงแนวคิดในการสร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์ตามช่วงอายุและตามฤดูกาล 123

รูปที่ 5.2 ผลเฉลยเชิงตัวเลขของผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อเทียบกับเวลา โดยที่กำหนด 140

พารามิเตอร์ดังนี้ $\mu_h=1/(365*65)$, $\langle\beta_h\rangle=0.000001$, $\varepsilon=0.0001$, $S_1=1/(365*4)$, $S_2=$

$1/(365*3)$, $S_3=1/(365*5)$, $\theta=1/(365*5)$, $\beta=1/(365*5)$, $\mu_v:=1/25$, $\lambda'_v:=1/14$, $\langle\beta_v\rangle=$

0.000002 , $M=100$, $N_t=1000$.

รูปที่ 5.3 ผลเฉลยเชิงตัวเลขของผู้ติดเชื้อและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้เทียบกับเวลา 141

โดยที่กำหนดพารามิเตอร์ดังนี้ $\mu_h=1/(365*65)$, $\langle\beta_h\rangle=0.000001$, $\varepsilon=0.0001$, $S_1=1/(365*4)$,

$S_2=1/(365*3)$, $S_3=1/(365*5)$, $\theta=1/(365*5)$, $\beta=1/(365*5)$, $\mu_v:=1/25$, $\lambda'_v:=1/14$, $\langle\beta_v\rangle=$

0.000002 , $M=100$, $N_t=1000$.

รูปที่ 5.4 ผลเฉลยเชิงตัวเลขของผู้ที่มีเชื่อฟังตัวอยู่เทียบกับเวลา โดยที่กำหนดพารามิเตอร์ 142

ดังนี้ $\mu_h = 1/(365*65)$, $\langle \beta_h \rangle = 0.000001$, $\varepsilon = 0.0001$, $S_1 = 1/(365*4)$, $S_2 = 1/(365*3)$, $S_3 = 1/(365*5)$, $\theta = 1/(365*5)$, $\beta = 1/(365*5)$, $\mu_v := 1/25$, $\lambda'_v := 1/14$, $\langle \beta_v \rangle = 0.000002$, $M = 100$, $N_t = 1000$.

รูปที่ 5.5 ผลเฉลยเชิงตัวเลขของยุงที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อเทียบกับเวลา โดยที่กำหนด 143

พารามิเตอร์ดังนี้ $\mu_h = 1/(365*65)$, $\langle \beta_h \rangle = 0.000001$, $\varepsilon = 0.0001$, $S_1 = 1/(365*4)$, $S_2 = 1/(365*3)$, $S_3 = 1/(365*5)$, $\theta = 1/(365*5)$, $\beta = 1/(365*5)$, $\mu_v := 1/25$, $\lambda'_v := 1/14$, $\langle \beta_v \rangle = 0.000002$, $M = 100$, $N_t = 1000$.

รูปที่ 5.6 ผลเฉลยเชิงตัวเลขของยุงที่ติดเชื้อและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้เทียบกับเวลา 144

โดยที่กำหนดพารามิเตอร์ดังนี้ $\mu_h = 1/(365*65)$, $\langle \beta_h \rangle = 0.000001$, $\varepsilon = 0.0001$, $S_1 = 1/(365*4)$, $S_2 = 1/(365*3)$, $S_3 = 1/(365*5)$, $\theta = 1/(365*5)$, $\beta = 1/(365*5)$, $\mu_v := 1/25$, $\lambda'_v := 1/14$, $\langle \beta_v \rangle = 0.000002$, $M = 100$, $N_t = 1000$.

รูปที่ 5.7 ผลเฉลยเชิงตัวเลขของผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อเทียบกับเวลา โดยที่กำหนด 145

พารามิเตอร์ดังนี้ $\mu_h = 1/(365*65)$, $\langle \beta_h \rangle = 0.0001$, $\varepsilon = 0.0001$, $S_1 = 1/(365*4)$, $S_2 = 1/(365*3)$, $S_3 = 1/(365*5)$, $\theta = 1/(365*5)$, $\beta = 1/(365*5)$, $\mu_v := 1/25$, $\lambda'_v := 1/14$, $\langle \beta_v \rangle = 0.0002$, $M = 100$, $N_t = 1000$.

รูปที่ 5.8 ผลเฉลยเชิงตัวเลขของผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อเทียบกับเวลา โดยที่กำหนด 146

พารามิเตอร์ดังนี้ $\mu_h = 1/(365*65)$, $\langle \beta_h \rangle = 0.0001$, $\varepsilon = 0.0001$, $S_1 = 1/(365*4)$, $S_2 = 1/(365*3)$, $S_3 = 1/(365*5)$, $\theta = 1/(365*5)$, $\beta = 1/(365*5)$, $\mu_v := 1/25$, $\lambda'_v := 1/14$, $\langle \beta_v \rangle = 0.0002$, $M = 100$, $N_t = 1000$.

รูปที่ 5.9 ผลเฉลยเชิงตัวเลขของผู้ที่มีเชื้อฝังตัวอยู่เทียบกับเวลา โดยที่กำหนด 147

พารามิเตอร์ดังนี้ $\mu_h = 1/(365*65)$, $\langle \beta_h \rangle = 0.0001$, $\varepsilon = 0.0001$, $S_1 = 1/(365*4)$, $S_2 = 1/(365*3)$, $S_3 = 1/(365*5)$, $\theta = 1/(365*5)$, $\beta = 1/(365*5)$, $\mu_v := 1/25$, $\lambda'_v := 1/14$, $\langle \beta_v \rangle = 0.0002$, $M = 100$, $N_t = 1000$.

รูปที่ 5.10 ผลเฉลยเชิงตัวเลขของยุงที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อเทียบกับเวลา 148

โดยที่กำหนดพารามิเตอร์ดังนี้ $\mu_h = 1/(365*65)$, $\langle \beta_h \rangle = 0.0001$, $\varepsilon = 0.0001$, $S_1 = 1/(365*4)$, $S_2 = 1/(365*3)$, $S_3 = 1/(365*5)$, $\theta = 1/(365*5)$, $\beta = 1/(365*5)$, $\mu_v := 1/25$, $\lambda'_v := 1/14$, $\langle \beta_v \rangle = 0.0002$, $M = 100$, $N_t = 1000$.

รูปที่ 5.11 ผลเฉลยเชิงตัวเลขของยุงที่ติดเชื้อและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้เทียบกับเวลา 149

โดยที่กำหนดพารามิเตอร์ดังนี้ $\mu_h = 1/(365*65)$, $\langle \beta_h \rangle = 0.0001$, $\varepsilon = 0.0001$, $S_1 = 1/(365*4)$, $S_2 = 1/(365*3)$, $S_3 = 1/(365*5)$, $\theta = 1/(365*5)$, $\beta = 1/(365*5)$, $\mu_v := 1/25$, $\lambda'_v := 1/14$, $\langle \beta_v \rangle = 0.0002$, $M = 100$, $N_t = 1000$.

รูปที่ 5.12 ผลเฉลยเชิงตัวเลขของผู้ที่ติดเชื่อและสามารถถ่ายทอดเชื่อได้เทียบกับผู้ที่เสี่ยง 150

ต่อการติดเชื่อ โดยที่กำหนดพารามิเตอร์ดังนี้ $\mu_h = 1/(365*65)$, $\langle \beta_h \rangle = 0.0001$, $\varepsilon = 0.0001$, $S_1 = 1/(365*4)$, $S_2 = 1/(365*3)$, $S_3 = 1/(365*5)$, $\theta = 1/(365*5)$, $\beta = 1/(365*5)$, $\mu_v := 1/25$, $\lambda'_v := 1/14$, $\langle \beta_v \rangle = 0.0002$, $M = 100$, $N_t = 1000$.

รูปที่ 5.13 ผลเฉลยเชิงตัวเลขของผู้ที่มีเชื่อฝังตัวอยู่เทียบกับผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื่อ 151

โดยที่กำหนดพารามิเตอร์ดังนี้ $\mu_h = 1/(365*65)$, $\langle \beta_h \rangle = 0.0001$, $\varepsilon = 0.0001$, $S_1 = 1/(365*4)$, $S_2 = 1/(365*3)$, $S_3 = 1/(365*5)$, $\theta = 1/(365*5)$, $\beta = 1/(365*5)$, $\mu_v := 1/25$, $\lambda'_v := 1/14$, $\langle \beta_v \rangle = 0.0002$, $M = 100$, $N_t = 1000$.

รูปที่ 5.14 ผลเฉลยเชิงตัวเลขของยุงที่เสี่ยงต่อการติดเชื่อเทียบกับผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื่อ 152

โดยที่กำหนดพารามิเตอร์ดังนี้ $\mu_h = 1/(365*65)$, $\langle \beta_h \rangle = 0.0001$, $\varepsilon = 0.0001$, $S_1 = 1/(365*4)$, $S_2 = 1/(365*3)$, $S_3 = 1/(365*5)$, $\theta = 1/(365*5)$, $\beta = 1/(365*5)$, $\mu_v := 1/25$, $\lambda'_v := 1/14$, $\langle \beta_v \rangle = 0.0002$, $M = 100$, $N_t = 1000$.

รูปที่ 5.15 ผลเฉลยเชิงตัวเลขของยุงที่ติดเชื่อและสามารถถ่ายทอดเชื่อได้เทียบ 153

กับผู้ที่ยังเสี่ยงต่อการติดเชื่อ โดยที่กำหนดพารามิเตอร์ดังนี้ $\mu_h = 1/(365*65)$, $\langle \beta_h \rangle = 0.0001$, $\varepsilon = 0.0001$, $S_1 = 1/(365*4)$, $S_2 = 1/(365*3)$, $S_3 = 1/(365*5)$, $\theta = 1/(365*5)$, $\beta = 1/(365*5)$, $\mu_v := 1/25$, $\lambda'_v := 1/14$, $\langle \beta_v \rangle = 0.0002$, $M = 100$, $N_t = 1000$.

รูปที่ 5.16 ผลเฉลยเชิงตัวเลขของผู้ที่มีเชื่อฟังตัวอยู่เทียบกับผู้ที่ติดเชื่อและสามารถ 154

ถ่ายทอดเชื่อได้ โดยที่กำหนดพารามิเตอร์ดังนี้ $\mu_h = 1/(365*65)$, $\langle \beta_h \rangle = 0.0001$, $\varepsilon = 0.0001$,

$S_1 = 1/(365*4)$, $S_2 = 1/(365*3)$, $S_3 = 1/(365*5)$, $\theta = 1/(365*5)$, $\beta = 1/(365*5)$, $\mu_v := 1/25$, λ'_v

$:= 1/14$, $\langle \beta_v \rangle = 0.0002$, $M = 100$, $N_t = 1000$.

รูปที่ 5.17 ผลเฉลยเชิงตัวเลขของยุงที่เสี่ยงต่อการติดเชื่อเทียบกับผู้ที่ติดเชื่อ 155

และสามารถถ่ายทอดเชื่อได้ โดยที่กำหนดพารามิเตอร์ดังนี้ $\mu_h = 1/(365*65)$, $\langle \beta_h \rangle = 0.0001$,

$\varepsilon = 0.0001$, $S_1 = 1/(365*4)$, $S_2 = 1/(365*3)$, $S_3 = 1/(365*5)$, $\theta = 1/(365*5)$, $\beta = 1/(365*5)$,

$\mu_v := 1/25$, $\lambda'_v := 1/14$, $\langle \beta_v \rangle = 0.0002$, $M = 100$, $N_t = 1000$.

รูปที่ 5.18 ผลเฉลยเชิงตัวเลขของยุงที่ติดเชื่อและสามารถถ่ายทอดเชื่อได้เทียบกับ 156

ผู้ที่ติดเชื่อและสามารถถ่ายทอดเชื่อได้ โดยที่กำหนดพารามิเตอร์ดังนี้ $\mu_h = 1/(365*65)$, $\langle \beta_h \rangle =$

0.0001 , $\varepsilon = 0.0001$, $S_1 = 1/(365*4)$, $S_2 = 1/(365*3)$, $S_3 = 1/(365*5)$, $\theta = 1/(365*5)$, $\beta =$

$1/(365*5)$, $\mu_v := 1/25$, $\lambda'_v := 1/14$, $\langle \beta_v \rangle = 0.0002$, $M = 100$, $N_t = 1000$.

รูปที่ 5.19 ผลเฉลยเชิงตัวเลขของยุงที่เสี่ยงต่อการติดเชื่อเทียบกับผู้ที่มีเชื่อฟังตัวอยู่ 157

โดยที่กำหนดพารามิเตอร์ดังนี้ $\mu_h = 1/(365*65)$, $\langle \beta_h \rangle = 0.0001$, $\varepsilon = 0.0001$, $S_1 = 1/(365*4)$,

$S_2 = 1/(365*3)$, $S_3 = 1/(365*5)$, $\theta = 1/(365*5)$, $\beta = 1/(365*5)$, $\mu_v := 1/25$, $\lambda'_v := 1/14$, $\langle \beta_v \rangle =$

0.0002 , $M = 100$, $N_t = 1000$.

รูปที่ 5.20 ผลเฉลยเชิงตัวเลขของยุงที่เสี่ยงติดเชื้อและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้เทียบ 158

กับผู้ที่มิเชื่อฟังตัวอยู่ โดยที่กำหนดพารามิเตอร์ดังนี้ $\mu_h = 1/(365*65)$, $\langle\beta_h\rangle = 0.0001$, $\varepsilon = 0.0001$, $S_1 = 1/(365*4)$, $S_2 = 1/(365*3)$, $S_3 = 1/(365*5)$, $\theta = 1/(365*5)$, $\beta = 1/(365*5)$, $\mu_v := 1/25$, $\lambda'_v := 1/14$, $\langle\beta_v\rangle = 0.0002$, $M = 100$, $N_t = 1000$.

รูปที่ 5.21 ผลเฉลยเชิงตัวเลขของยุงที่ติดเชื้อและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้เทียบ 159

กับยุงที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อ โดยที่กำหนดพารามิเตอร์ดังนี้ $\mu_h = 1/(365*65)$, $\langle\beta_h\rangle = 0.0001$, $\varepsilon = 0.0001$, $S_1 = 1/(365*4)$, $S_2 = 1/(365*3)$, $S_3 = 1/(365*5)$, $\theta = 1/(365*5)$, $\beta = 1/(365*5)$, $\mu_v := 1/25$, $\lambda'_v := 1/14$, $\langle\beta_v\rangle = 0.0002$, $M = 100$, $N_t = 1000$.

รูปที่ 5.22 ผลเฉลยเชิงตัวเลขของผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อเมื่อค่าสืบทอดพันธุพื้นฐานมีค่าต่างกัน 160

โดยที่กำหนดพารามิเตอร์ดังนี้ $\mu_h = 1/(365*65)$, $\varepsilon = 0.0001$, $S_1 = 1/(365*4)$, $S_2 = 1/(365*3)$, $S_3 = 1/(365*5)$, $\theta = 1/(365*5)$, $\beta = 1/(365*5)$, $\mu_v := 1/25$, $\lambda'_v := 1/14$, $M = 100$, $N_t = 1000$

รูปที่ 5.23 ผลเฉลยเชิงตัวเลขของผู้ที่มีเชื่อฟังตัวอยู่เมื่อค่าสืบทอดพันธุพื้นฐานมีค่าต่างกัน 161

โดยที่กำหนดพารามิเตอร์ดังนี้ $\mu_h = 1/(365*65)$, $\varepsilon = 0.0001$, $S_1 = 1/(365*4)$, $S_2 = 1/(365*3)$, $S_3 = 1/(365*5)$, $\theta = 1/(365*5)$, $\beta = 1/(365*5)$, $\mu_v := 1/25$, $\lambda'_v := 1/14$, $M = 100$, $N_t = 1000$

รูปที่ 5.24 ผลเฉลยเชิงตัวเลขของผู้ที่พ้นไขเมื่อค่าสืบพันธุ์พื้นฐานมีค่าต่างกัน 162

โดยที่กำหนดพารามิเตอร์ดังนี้ $\mu_h = 1/(365*65)$, $\varepsilon = 0.0001$, $S_1 = 1/(365*4)$, $S_2 = 1/(365*3)$,

$S_3 = 1/(365*5)$, $\theta = 1/(365*5)$, $\beta = 1/(365*5)$, $\mu_v := 1/25$, $\lambda'_v := 1/14$, $M = 100$, $N_t = 1000$

รูปที่ 5.25 ผลเฉลยเชิงตัวเลขของยุงที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อเมื่อค่าสืบพันธุ์พื้นฐานมีค่าต่างกัน 163

โดยที่กำหนดพารามิเตอร์ดังนี้ $\mu_h = 1/(365*65)$, $\varepsilon = 0.0001$, $S_1 = 1/(365*4)$, $S_2 = 1/(365*3)$,

$S_3 = 1/(365*5)$, $\theta = 1/(365*5)$, $\beta = 1/(365*5)$, $\mu_v := 1/25$, $\lambda'_v := 1/14$, $M = 100$, $N_t = 1000$

รูปที่ 5.26 ผลเฉลยเชิงตัวเลขของยุงที่ติดเชื้อแต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้เมื่อค่าสืบพันธุ์ 164

พื้นฐานมีค่าต่างกัน โดยที่กำหนดพารามิเตอร์ดังนี้ $\mu_h = 1/(365*65)$, $\varepsilon = 0.0001$, $S_1 =$

$1/(365*4)$, $S_2 = 1/(365*3)$, $S_3 = 1/(365*5)$, $\theta = 1/(365*5)$, $\beta = 1/(365*5)$, $\mu_v := 1/25$, $\lambda'_v :=$

$1/14$, $M = 100$, $N_t = 1000$

รูปที่ 5.27 ผลเฉลยเชิงตัวเลขของยุงที่ติดเชื้อและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้เมื่อ 165

ค่าสืบพันธุ์พื้นฐานมีค่าต่างกัน โดยที่กำหนดพารามิเตอร์ดังนี้ $\mu_h = 1/(365*65)$, $\varepsilon = 0.0001$,

$S_1 = 1/(365*4)$, $S_2 = 1/(365*3)$, $S_3 = 1/(365*5)$, $\theta = 1/(365*5)$, $\beta = 1/(365*5)$, $\mu_v := 1/25$,

$\lambda'_v := 1/14$, $M = 100$, $N_t = 1000$