นัทธ์ดนัย จันลาวงศ์ : การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อควบคุมการแพร่ระบาดของโรคใบด่างมันสำปะหลังภายใต้ความไม่แน่นอนของการระบาด (MATHEMATICAL MODEL DEVELOPMENT TO CONTROL THE OUTBREAK OF CASSAVA MOSAIC DISEASE IN STOCHASTIC EPIDEMICS) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พงษ์ชัย จิตตะมัย, 149 หน้า

โรคใบด่างมันสำปะหลังเป็นโรคระบาดในพืช ซึ่งลดขนาดหัวและสัดส่วนแป้งของมันสำปะหลังจากต้นน้ำในห่วงโซ่อุปทานมันสำปะหลัง ส่งผลต่อการลดลงของยอดขายพืชผลมันสำปะหลัง เป้าหมายของงานวิจัยนี้คือเพื่อพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ซึ่งแสดงพลวัตการระบาดของโรคใบด่างมันสำปะหลัง โดยมีสาเหตุการระบาดมาจากแมลงหวี่ขาวหรือการปลูกด้วยท่อนพันธุ์ที่ติดเชื้อ พลวัตของประชากรมันสำปะหลังและแมลงหวี่ขาวสามารถศึกษาได้จากการใช้แบบจำลองดังกล่าว โดยมีสถานะของพืช 4 สถานะ คือ สถานะทนทานโรค สถานะเสี่ยงติดเชื้อ สถานะแฝงเชื้อ และสถานะติดเชื้อโดยแสดงอาการ และมีสถานะของแมลงหวี่ขาว 2 สถานะ คือ สถานะเสี่ยงติดเชื้อ และสถานะติดเชื้อ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ถูกใช้ในการวิเคราะห์พฤติกรรมการระบาดของโรคใบด่างมันสำปะหลังและนโยบายที่เหมาะสมก็สามารถถูกกำหนดได้จากแบบจำลองดังกล่าว

ความรุนแรงของการแพร่ระบาดโรคใบด่างมันสำปะหลังถูกตรวจสอบได้จากค่าระดับการติดเชื้อพื้นฐาน (R_0) ซึ่งคำนวณจากวิธีการเดอะเน็กซ์เจเนเรชั่น พบว่าเกิดเสถียรภาพกำกับเฉพาะที่ ณ จุดเสถียรภาพปลอดโรคเมื่อ $R_0 < 1$ โดยใช้เกณฑ์ของเราธ์-เฮอร์วิทซ์ ขณะที่การตรวจสอบการมีเสถียรภาพวงกว้าง ณ จุดเสถียรภาพปลอดโรคและ ณ จุดเสถียรภาพการแพร่ระบาดสามารถตรวจสอบได้โดยทฤษฎีเลียปูนอฟและลาซาล ผลการวิเคราะห์ชี้ว่า ณ จุดเสถียรภาพปลอดโรคมีเสถียรภาพวงกว้างและ $R_0 \leq 1$ ส่งผลให้โรคระบาดถูกควบคุมได้ อย่างไรก็ตาม โรคระบาดจะยังคงอยู่หาก ณ จุดเสถียรภาพการแพร่ระบาดมีเสถียรภาพวงกว้างและ $R_0 > 1$

การวิเคราะห์ความไวถูกใช้เพื่อตรวจสอบพารามิเตอร์ที่เป็นสาเหตุของการแพร่ระบาด โดยพารามิเตอร์ที่มีค่าความไวต่อค่า R_0 มากที่สุดจะบ่งบอกว่าเป็นสาเหตุสำคัญของการแพร่ระบาด ผลลัพธ์เชิงตัวเลขแสดงให้เห็นว่าการลดจำนวนแมลงหวี่ขาวโดยการฉีดพ่นย่าฆ่าแมลง การถอนทำลายต้นที่ติดเชื้อ การเลือกท่อนพันธุ์ที่ไม่ติดเชื้อมาปลูก และการปลูกท่อนพันธุ์ทนทานโรค ช่วยในการควบคุมโรคและลดความรุนแรงในการระบาดได้ อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีวิธีการคำนวณความคุ้มค่าด้านต้นทุนในการควบคุมการแพร่ระบาดอย่างชัดเจน

นโยบายที่มีความคุ้มค่าด้านต้นทุนมากที่สุดถูกคำนวณได้จากการใช้ทฤษฎีระบบควบคุมแบบเหมาะสมที่สุดและค่าเฉลี่ยอัตราส่วนต้นทุนประสิทธิผล จากผลการทดลองแนะนำว่าการใช้

วิธีควบคุมร่วมกันระหว่างการปลูกด้วยพันธุ์ทนทาน การฉีดพ่นยาฆ่าแมลง และการถอนทำลายต้นที่ติดเชื้อเป็นนโยบายที่มีความคุ้มค่าด้านต้นทุนสูงสุดโดยมีค่าเฉลี่ยอัตราส่วนต้นทุนประสิทธิผล 1.643 การจำลองสถานการณ์เชิงตัวเลขชี้ว่าการควบคุมการแพร่ระบาดของแมลงหวี่ขาวไปสู่มันสำปะหลังและจากมันสำปะหลังไปสู่แมลงหวี่ขาวเป็นนโยบายที่สำคัญที่สุด

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ปีการศึกษา 2563

ลายมือชื่อนักศึกษา _____

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา _____

NATDANAI CHANLAWONG : MATHEMATICAL MODEL DEVELOPMENT TO CONTROL THE OUTBREAK OF CASSAVA MOSAIC DISEASE IN STOCHASTIC EPIDEMICS. THESIS ADVISOR : ASST. PROF. PHONGCHAI JITTAMAI, Ph.D., 149 PP.

CASSAVA MOSAIC DISEASE (CMD)/BASIC REPRODUCTION NUMBER LOCAL STABILITY ANALYSIS/GLOBAL STABILITY ANALYSIS/OPTIMAL CONTROL;

Cassava Mosaic Disease (CMD) is a plant disease that reduces tuber size and starch percentage upstream in cassava supply chain, leading to sales decrease of cassava crop. The aim of this study is to develop a mathematical model that represents dynamics of CMD caused by the whitefly or planting infected cuttings. Dynamics of the cassava and the whitefly populations can be traced using the proposed model. There are four plant states: tolerant, susceptible, exposed, and infected and two vector states: susceptible and infected. The model is used to analyze the behavior of CMD outbreak and the optimal control policy can be determined by the proposed model.

Severity of CMD spread is assessed by basic reproduction number (R_0), which is calculated by using the next-generation method. The locally-asymptotically-stable disease-free equilibrium point is established when $R_0 < 1$, using the Routh-Hurwitz criteria. The globally-asymptotically-stable disease-free and the endemic equilibrium points are established using Lyapunov-LaSalle's Theorem. Results indicate that disease-free equilibrium point is globally-asymptotically-stable and $R_0 \leq 1$, implying that the disease can be controlled. However, the disease will persist if the endemic equilibrium point is globally-asymptotically-stable and $R_0 > 1$.

Sensitivity analysis is used to evaluate all parameters for cause of disease spread. A parameter with the highest absolute value of R_0 signifies the critical cause of outbreak. Numerical results show that reducing the number of whitefly by spraying pesticide, rouging infected cassavas, selecting non-virus cuttings, or promoting tolerant cuttings helps containing the disease and reducing the severity of the outbreak. However, there is no clear cost-effective approach to control disease spread.

The most cost-effective policy is determined using the optimal control theory and average cost-effectiveness ratio analysis (ACER). Results suggest that the combined method of tolerant cuttings, spraying, and rouging is the most cost-effective policy with ACER = 1.643. Numerical simulations indicate that limiting transmission of whitefly-cassava and vice versa are therefore the key policy.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

School of Industrial Engineering

Academic Year 2020

Student's Signature _____

Advisor's Signature _____