รหัสโครงการ FF3-303-65-12-98(22)

รายงานการวิจัย

การประเมินพันธุ์มันสำปะหลังต้านทานโรคโคนเน่าหัวเน่าและใบด่าง
(Evaluating of Cassava Varieties to Control Cassava Root Rot and Mosaic Virus Disease)

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

รหัสโครงการ FF3-303-65-12-98(22)

รายงานการวิจัย

การประเมินพันธุ์มันสำปะหลังต้านทานโรคโคนเน่าหัวเน่าและใบด่าง
(Evaluating of Cassava Varieties to Control Cassava Root Rot and Mosaic Virus Disease)

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กำไร เบือนสันเทียะ
สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช
สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผู้ร่วมวิจัย
นางสาวปริฉัตร นำประดิษฐ์ทรัพย์
นางสาวดุษฎี คิดดีจริง

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2565
ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว
มีนาคม 2566

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบุคคลและกลุ่มบุคคลต่าง ๆ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำและให้ความช่วยเหลือทางด้านวิชาการ และการดำเนินงานวิจัยเป็นอย่างดีอันได้แก่

นางสาวปริฉัตร นำประดิษฐ์ทรัพย์ ผู้ร่วมโครงการวิจัย ที่ร่วมวิจัย คอยดูแลและให้คำแนะนำ ตรวจสอบติดตามงานอย่างสม่ำเสมอ

นางสาวดุษฎี คิดดีจริง ผู้ร่วมโครงการวิจัย ที่ร่วมวิจัย ดูแลและติดตามงาน และช่วยตรวจแก้ไขโครงการวิจัยจนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้การสนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัย

ขอขอบพระคุณ คุณอรทัย นาชิน และคุณณัฐพล ประเสริฐ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการกีฏวิทยาและโรคพืช ที่ให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์วิทยาศาสตร์ และคอยอำนวยความสะดวกในทุก ๆ ด้าน

ขอขอบพระคุณ คุณศุภกาญจน์ บุญอยู่ เจ้าหน้าที่บริหารงานทั่วไป ที่ให้ความช่วยเหลือด้านการประสานงาน และเตรียมเอกสารต่าง ๆ

กำไร เบือนสันเทียะ
หัวหน้าโครงการวิจัย

บทคัดย่อ

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินพันธุ์มันสำปะหลังต้านทานโรคโคนเน่าหัวเน่าและใบด่างโดยดำเนินการทดลองในแปลงเกษตรกร อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา วางแผนการทดลองแบบ Split plot in RCBD จำนวน 3 ซ้ำ ปัจจัยหลักประกอบด้วยมันสำปะหลัง 3 พันธุ์ ได้แก่ ซีเอ็มอาร์ 89 ระยอง 72 และ พิรุณ 6 ปัจจัยรองประกอบด้วยการฉีดพ่นและไม่ฉีดพ่นสาร 5 กรรมวิธี ได้แก่ นาโนอิลิซิเตอร์สูตร 1 นาโนอิลิซิเตอร์สูตร 2 นาโนซิงค์ออกไซด์® กรรมวิธีดั้งเดิมของเกษตรกร และกรรมวิธีควบคุม ปลูกทดลองระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนกันยายน 2565 ผลการทดลองพบว่า มันสำปะหลังทั้ง 3 พันธุ์ มีค่าเฉลี่ยความสูง ดัชนีการเกิดโรคใบด่าง โรคโคนเน่าหัวเน่า จำนวนหัวต่อต้น น้ำหนักหัวสด และผลผลิตแป้งที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ไม่มีผลให้เปอร์เซ็นต์แป้งแตกต่างกัน โดยมันสำปะหลังพันธุ์ พิรุณ 6 มีความรุนแรงการเกิดโรคใบด่างที่อายุ 2, 4 และ 8 เดือน (1.67, 3.17 และ 3.17% ตามลำดับ) และโคนเน่าหัวเน่าที่อายุ 8 เดือนต่ำที่สุด (1.67%) ซึ่งต่ำกว่า พันธุ์ CMR 89 และระยอง 72 ในขณะที่มันสำปะหลังพันธุ์ CMR 89 ให้ผลผลิต ได้แก่ จำนวนหัวต่อต้น น้ำหนักหัวสด และผลผลิตแป้งสูงที่สุด (10.57 หัว 7.71 และ 2.36 ตัน/ไร่ ตามลำดับ) เมื่อพิจารณาการไม่ฉีดพ่นและฉีดพ่นนาโนอิลิซิเตอร์ที่แตกต่างกัน มีผลให้ความสูง ดัชนีการเกิดโรค และผลผลิตแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยกรรมวิธีที่ฉีดพ่นด้วยนาโนอิลิซิเตอร์สูตรที่ 2 มีผลให้ดัชนีการเกิดโรคโคนเน่าหัวเน่าต่ำที่สุด (25.56%) และมีผลให้ความสูงที่ 8 เดือน จำนวนหัวต่อต้น น้ำหนักหัวสด และผลผลิตแป้งสูงที่สุด (184 เซนติเมตร, 11.22 หัว, 8.01 และ 2.42 ตัน/ไร่ ตามลำดับ) นอกจากนี้การใช้นาโนอิลิซิเตอร์สูตรที่ 1 มีผลให้เปอร์เซ็นต์แป้งสูงที่สุด (31.40%) และมีผลให้ดัชนีการเกิดโรคใบด่างที่อายุ 4 และ 8 เดือนต่ำที่สุด (5.00 และ 6.67% ตามลำดับ) และเมื่อพิจารณาการปลูกมันสำปะหลังแต่ละพันธุ์ร่วมกับการฉีดพ่นนาโนอิลิซิเตอร์ที่แตกต่างกัน มีผลให้ค่าเฉลี่ยความสูง ดัชนีการเกิดโรคใบด่าง โรคโคนเน่าหัวเน่า จำนวนหัวต่อต้น น้ำหนักหัวสด และผลผลิตแป้งแตกต่างกันทางสถิติ แต่ไม่มีผลให้เปอร์เซ็นต์แป้งแตกต่างกัน โดยการปลูกมันสำปะหลังพันธุ์ CMR 89 ร่วมกับการฉีดพ่นนาโนอิลิซิเตอร์สูตรที่ 2 มีผลให้น้ำหนักหัวสด และผลผลิตแป้งสูงที่สุด (9.94 และ3.02 ตัน/ไร่ ตามลำดับ) และมีดัชนีการเกิดโรคใบด่างและโคนเน่าหัวเน่าที่อายุ 8 เดือนในอัตราที่ต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีควบคุม กล่าวได้ว่าอนุภาคนาโนอิลิซิเตอร์สามารถช่วยให้พืชมีผลผลิตที่เพิ่มขึ้น จากการชักนำให้พืชเกิดการต้านทานต่อการเข้าทำลายของเชื้อก่อโรค ลดความเสียหาย และทำให้พืชสามารถเจริญเติบโตและให้ผลผลิตได้อย่างเต็มที่

Abstract

The objective of this study was evaluated cassava varieties to control root rot and Mosaic Virus Disease (CMD). The experiment was conducted in farmer plots, Pak Chong District, Nakhon Ratchasima province. Using the Split plot in RCBD with 3 replications. The main – plot consisted of 3 cassava cultivars, namely CMR 89, Rayong 72 and Pirun 6, the sub – plot consisted of 5 treatments, namely Nanoelicitor Formula 1, Nanoelicator Formula 2, Nano Zinc Oxide®, traditional methods and Control. The experiment was conducted during January -September 2022. The results showed that, the three cultivars showed significantly in height, CMD severity, root rot disease, root number per plant, fresh root weight and starch yield but were not significant in starch content. Pirun 6 cultivar had the lowest severity of CMD at 2, 4 and 8 months (1.67, 3.17 and 3.17%, respectively) and root rot disease at 8 months (1.67%), which was lower than CMR 89 and Rayong 72. While the CMR 89 cultivar gave the highest yield in terms of root number per plant, fresh root weight and starch yield (10.57 root per plant, 7.71 and 2.36 tons/rai, respectively). In non-treated and treated of Nanoelicitor, the result showed significantly in height, disease severity and the productivity of cassava. The nanoelicitor Formula 2 resulted in lowest severity of root rot disease (25.56%) and gave the highest height at 8 months, root number per plant, fresh root weight and starch yield (184 cm., 11.22 root per plant, 8.01 and 2.42 tons/rai, respectively). In addition, nanoelicitor Formula 1 gave the highest of starch content (31.40%) and the lowest severity of CMD at 4 and 8 months (5.00 and 6.67%, respectively), The cultivars x treatments resulted significantly in height, CMD severity, root rot disease, root number per plant, fresh root weight and starch yield but were not significant in starch content. The CMR 89 treated with nanoelicitor Formula 2 gave the highest fresh root weight and starch yield (9.94 and 3.02 ton/rai, respectively), and showed lower disease severity of CMD and root rot disease at 8 months than the control. In other words, nanoelicitor can help plants to increase yields by inducing resistant to pathogen, reduce damage and enable the plant to grow and yield fully.

สารบัญ

เรื่อง **หน้า**

กิตติกรรมประกาศ .... ก
บทคัดย่อภาษาไทย .... ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .... ค
สารบัญ .... ง
สารบัญตาราง .... จ
สารบัญภาพ .... ฉ

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย........ 3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย 3
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย 4

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความสำคัญและปัญหาของการผลิตมันสำปะหลัง 5
2.2 พันธุ์มันสำปะหลังที่ทนต่อโรคใบด่างและโคนเน่าหัวเน่า........ 6
2.3 โรคมันสำปะหลังที่สร้างความเสียหายทางเศรษฐกิจ........ 8
2.4 การจัดการโรคมันสำปะหลังแบบผสมผสาน........ 16

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การประเมินพันธุ์มันสำปะหลังที่มีการจัดการแบบผสมผสานเพื่อแก้ปัญหาโรคโคนเน่าหัวเน่าและใบด่างในระดับในแปลงทดลอง........ 19
3.2 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ........ 20

บทที่ 4 ผลการวิจัย

4.1 การประเมินพันธุ์มันสำปะหลังที่มีการจัดการแบบผสมผสานเพื่อแก้ปัญหาโรคโคนเน่าหัวเน่าและใบด่างในระดับแปลงทดลอง........ 21
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ 28
บรรณานุกรม 31
ภาคผนวก 40
ประวัติผู้วิจัย 42

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 ลักษณะที่สำคัญของโรคโคนเน่าหัวเน่าที่เกิดจากเชื้อราสาเหตุที่แตกต่างกัน.............. 15

4.1 ประสิทธิภาพของอนุภาคซิลเวอร์นาโนทางชีวภาพต่อการเจริญเติบโตด้านความสูงในมันสำปะหลัง 3 พันธุ์ ที่อายุ 2, 4 และ 8 เดือนหลังปลูก... 22

4.2 ประสิทธิภาพของอนุภาคซิลเวอร์นาโนทางชีวภาพต่อดัชนีการเกิดโรคใบด่างและโคนเน่าหัวเน่าในมันสำปะหลัง 3 พันธุ์... 24

4.3 ประสิทธิภาพของอนุภาคซิลเวอร์นาโนทางชีวภาพต่อจำนวนหัว น้ำหนักหัวสดเปอร์เซ็นต์แป้ง และผลผลิตแป้งในมันสำปะหลัง3 พันธุ์ ที่อายุเก็บเกี่ยว 8 เดือน........... 26

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

2.1 ลักษณะสัณฐานวิทยาของมันสำปะหลังพันธุ์ ระยอง 72.. 6

2.2 ลักษณะสัณฐานวิทยาของมันสำปะหลังพันธุ์ ซีเอ็มอาร์ 89.. 7

2.3 ลักษณะสัณฐานวิทยาของมันสำปะหลังพันธุ์ พิรุณ 6... 8

2.4 แสดงลักษณะอาการของโรคมันสำปะหลังที่สร้างความเสียหายทางเศรษฐกิจ ได้แก่ โรคใบไหม้ โรคใบจุดสีน้ำตาล และโรคแอนแทรคโนส.................................... 9

2.5 แสดงอนุภาคของ African cassava mosaic virus (ACMV) ที่ส่องภายใต้กล้อง Transmission electron micrograph ขนาดบาร์ 50 นาโนเมตร........................... 10

2.6 แสดงลักษณะอาการของโรคใบด่างมันสำปะหลังที่ติดเชื้อไวรัสจากท่อนพันธุ์ และแมลงหวี่ขาว.. 11

2.7 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของโคโลนีเชื้อรา *Fusarium solani*. ที่เลี้ยงบนอาหาร PDA microconidia macroconidia และ chlamydospores. 12

2.8 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเชื้อรา *Lasiodiplodia theobromae* ที่เลี้ยงบนอาหาร PDA (A) paraphyses โคนิเดียในระยะ immature ซึ่งมีลักษณะใสไม่มีผนังกั้น จากนั้นเปลี่ยนเป็นโคนิเดียระยะ mature ที่มีสีน้ำตาลถึงดำมี 1 septum สเกลบาร์ = 10 ไมครอน... 13

2.9 แสดงลักษณะอาการของโรคหัวเน่ามันสำปะหลังที่พบในจังหวัดนครราชสีมา.............. 14

4.1 เปอร์เซ็นต์ความงอกมันสำปะหลังพันธุ์ ซีเอ็มอาร์ 89 ระยอง 72 และพิรุณ 6 ที่อายุ 1 เดือนหลังปลูก.. 22

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย

ประเทศไทยเป็นผู้ผลิตมันสำปะหลังอันดับ 2 ของโลก มีพื้นที่เพาะปลูกประมาณ 10.9 ล้านไร่ จำนวน 760,228 ครัวเรือน ผลผลิตเฉลี่ยประมาณ 35 ล้านตันต่อปี (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2564) และเป็นผู้ส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังรายใหญ่ที่สุดของโลก คิดเป็นมูลค่าประมาณแสนล้านบาทต่อปี ทั้งนี้ในช่วงระหว่างปี 2553 – 2558 ผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังราคาอยู่ในเกณฑ์ดีมาอย่างต่อเนื่อง ราคาหัวมันสดคละเฉลี่ย 2.19 บาท/กก. มันสำปะหลังเป็นที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจและสังคมของประเทศไทยอย่างมาก ปัจจุบันความต้องการผลผลิตมันสำปะหลังในประเทศมีแนวโน้มสูงขึ้น เนื่องจากการขยายตัวของอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ที่นำผลผลิตมันสำปะหลังไปใช้ทดแทนผลผลิตข้าวโพดที่มีราคาสูง ประกอบกับความต้องการแป้งมันสำปะหลังในอุตสาหกรรมต่อเนื่อง ทั้งอาหาร กระดาษ และสารเพิ่มความหวาน นอกจากนี้จากราคาที่อ่อนตัวลงเล็กน้อยเป็นเหตุจูงใจให้นำผลผลิตมันสำปะหลังไปใช้ผลิตเอทานอลเพิ่มขึ้น จึงทำให้เกษตรกรมีการขยายพื้นที่ปลูกมันสำปะหลังมากขึ้น พื้นที่ปลูกมันสำปะหลังส่วนใหญ่ของไทยอยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลางและภาคตะวันออก อย่างไรก็ตามเกษตรกรผู้ปลูกส่วนใหญ่ยังขาดการใช้ปัจจัยการผลิตเพื่อเพิ่มผลผลิต และปัญหาในการยกระดับผลผลิตอีกประการหนึ่ง คือ การแพร่ระบาดของโรคและแมลงศัตรูของสำปะหลัง ในปี พ.ศ. 2556 พบการระบาดของโรคโคนเน่าหัวเน่าในหลายพื้นที่ โรคนี้มีเชื้อสาเหตุหลายชนิด ได้แก่ เชื้อรา 36 ชนิด และ บักเตรี 4 ชนิด (อรุณี, 2547) จากการวินิจฉัยพบว่า เชื้อสาเหตุสำคัญ คือ *Lasiodiplodia*, *Fusarium* และ *Phytophthora* ซึ่งสามารถทำความเสียหายได้มากกว่า 80% เดือนสิงหาคม 2560 ที่ผ่านมามีรายงานการแพร่ระบาดของโรคใบด่างมันสำปะหลังรุนแรงในพื้นที่ประเทศสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว เวียดนาม และกัมพูชา ซึ่งส่งผลกระทบต่อผลผลิตมันสำปะหลังในเวียดนามและกัมพูชาลดลงเหลือ 7 - 10 ล้านตัน โรคใบด่างมันสำปะหลังเกิดจากเชื้อไวรัส Cassava Mosaic Virus ซึ่งในปี 2559 พบการระบาดครั้งแรกในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ที่ประเทศเวียดนามและกัมพูชา คือ สายพันธุ์ Sri Lankan cassava mosaic virus (SLCMV) สำหรับประเทศไทย ปี 2561 กรมวิชาการเกษตรรายงานพบโรคใบด่างมันสำปะหลังระบาด ในจังหวัดปราจีนบุรี สุรินทร์ และจังหวัดศรีสะเกษ และได้ดำเนินการกำจัดเรียบร้อยแล้ว ต่อมาปี 2562 พบต้นมันสำปะหลังแสดงอาการใบด่างที่จังหวัดสระแก้ว ปัจจุบันพบการระบาดของโรคใบด่างมันสำปะหลังระบาดหลายพื้นที่ ได้แก่ จังหวัดนครราชสีมา ดังนั้น จึงควรติดตามและเฝ้าระวังการระบาดของ โรคใบด่างมันสำปะหลังอย่างสม่ำเสมอ หากพบอาการต้องสงสัยให้รีบแจ้งเจ้าหน้าที่กรมส่งเสริมการเกษตร การแพร่ระบาดของโรคใบด่างมันสำปะหลังสามารถแพร่ระบาดได้โดยท่อนพันธุ์มันสำปะหลังที่ติดเชื้อไวรัสและแมลงหวี่ขาวยาสูบ (*Bemisia tabaci*) หากระบาดรุนแรงสามารถสร้างความเสียหายทำให้ผลผลิตมันสำปะหลังลดลงได้มากถึงร้อยละ 80 - 100 ลักษณะอาการพืชแสดงอาการใบด่าง เหลือง ใบลดรูป และเสียรูปทรง ลำต้นแคระแกร็น ไม่มี

การเจริญเติบโต หรือมีการเจริญเติบโตน้อย โดยสถานการณ์และประมาณการมูลค่าความเสียหายปี 2563 กรมส่งเสริมการเกษตร ได้รายงานสถานการณ์ใบด่างมันสำปะหลังในพื้นที่ 29 จังหวัด ได้แก่ กาญจนบุรี กาฬสินธุ์ ขอนแก่น ฉะเชิงเทรา ชลบุรี ชัยนาท ชัยภูมิ นครราชสีมา นครสวรรค์ บุรีรัมย์ ปราจีนบุรี มหาสารคาม มุกดาหาร ร้อยเอ็ด ระยอง ลพบุรี ลำปาง ศรีสะเกษ สระแก้ว สระบุรี สุพรรณบุรี สุรินทร์ อำนาจเจริญ อุทัยธานี และอุบลราชธานี ซึ่งมีพื้นที่ปลูกมันสำปะหลังรวม 4,912,866 ไร่ และมีพื้นที่ได้รับผลกระทบจากการระบาดของโรคใบด่าง จำนวน 352,095 ไร่ ศูนย์ข้อมูลเกษตรแห่งชาติ (ศกช.) ได้ติดตามสถานการณ์โรคใบด่างมันสำปะหลัง พบว่าหากเกิด การระบาดของโรคดังกล่าวรุนแรงจะทำให้เกิดความเสียหายต่อผลผลิตมันสำปะหลัง โดยผลผลิตลดลงประมาณร้อยละ 80 - 100 (กรมวิชาการเกษตร, 2562) ทั้งนี้ ศกช. ดำเนินการวิเคราะห์ผลกระทบทางเศรษฐกิจโดยประมาณการมูลค่าความเสียหายจากสถานการณ์โรคใบด่างมันสำปะหลังในพื้นที่ดังกล่าว ผลกระทบที่เกิดขึ้นในพื้นที่ระบาด 25 จังหวัด พบว่า ปริมาณผลผลิตมันสำปะหลังเสียหาย (ร้อยละ 80) ปริมาณ 905,589 ตัน คาดว่ามีมูลค่าความเสียหาย 1,712 ล้านบาท และปริมาณผลผลิตมันสำปะหลังเสียหาย (ร้อยละ 100) ปริมาณ 1,131,986 ตัน คาดว่ามีมูลค่าความเสียหาย 2,139 ล้านบาท (คิดค้า, 2654) ปัจจุบันรัฐบาลข้อเสนอแนะและการให้ความช่วยเหลือ ดังนี้ 1) ควบคุมการระบาดอย่างเข้มข้น เนื่องจากหากเกิดโรคใบด่างในพื้นที่ต่าง ๆ เพิ่มขึ้น จะส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อผลผลิตมันสำปะหลังสูงมากถึงร้อยละ 80-100 2) ในกรณีที่เกิดความเสียหาย ให้กรมส่งเสริมการเกษตรเร่งให้ความช่วยเหลือเกษตรกร เช่น การสนับสนุนท่อนพันธุ์ปลูกใหม่ การสนับสนุนศัตรูธรรมชาติ (ตัวห้ำตัวเบียน) หรือสนับสนุนพ่อแม่พันธุ์ให้เกษตรกรผลิตขยายเพิ่มปริมาณ เพื่อช่วยลดปริมาณพาหะของโรค 3) กรมส่งเสริมการเกษตร และกรมวิชาการเกษตร สร้างความเข้มแข็งให้กับชุมชน/เกษตรกรให้ทราบถึงวิธีการจัดการโรคใบด่างในมันสำปะหลังที่เหมาะสม เช่น การทำลายแปลงมันสำปะหลังที่เกิดโรคเพื่อเป็นการยับยั้งการระบาดของโรคใบด่างมันสำปะหลัง 4) เร่งรัดดำเนินการตามขั้นตอน เพื่อให้ความช่วยเหลือเกษตรกรตามมติคณะรัฐมนตรี (ครม.) นอกจากนี้มีการแนะนำให้เกษตรกรทั้ง 53 จังหวัดที่ปลูกมันสำปะหลัง ให้เลือกซื้อท่อนพันธุ์มันสำปะหลังจากแหล่งที่ไม่มีการระบาดตามที่แนะนำ และไม่ควรใช้พันธุ์ 89 ที่อ่อนแอต่อโรคใบด่าง ให้ปลูกพันธุ์ ระยอง 72 หรือ KU 50 จะมีความทนทานต่อโรคใบด่าง นอกจากนี้แนวทางการแก้ปัญหาโรคโคนเน่าหัวเน่า Emmanuel (2007) ได้แนะนำหลักปฏิบัติ คือ การปรับเปลี่ยนพืชปลูก เก็บเศษพืชที่เป็นโรคออกจากแปลงและเผา ทำลาย เลือกพื้นที่ปลูกที่มีการระบายน้ำดีและ มีหน้าดินลึก กรณีปลูกในดินเหนียวควรยกร่องปลูก เลือกพันธุ์มันสำปะหลังที่ดีและแข็งแรงมาปลูก ถ้าจำเป็นต้องใช้ท่อนพันธุ์จากแหล่งที่มีการระบาดของโรค ควรแช่ท่อนพันธุ์ ในสารเมทาแลกซิล (metalaxyl) หรือแช่ท่อนพันธุ์ในน้ำร้อน 49 องศาเซลซียส นาน 49 นาทีก่อนปลูก นอกจากนี้แนวทางในการแก้ปัญหาโรคใบด่าง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์และหน่วยงานที่เกี่ยวข้องได้แนะนำไม่ให้เกษตรกรนำเข้าท่อนพันธุ์หรือส่วนขยายพันธุ์จากต่างประเทศ ยกเว้นมันเส้นและหัวมันสด ที่ไม่ติดเหง้าหรือส่วนขยายพันธุ์มาด้วย เลือกใช้ท่อนพันธุ์ที่ปลอดโรคและทราบแหล่งที่มา สำรวจแปลงมันสำปะหลังอย่างสม่ำเสมอ กำจัดแมลงพาหะนำโรค นอกจากนี้ หากพบมันสำปะหลังที่มีอาการข้างต้นให้รีบแจ้งสำนักงานเกษตรอำเภอหรือสำนักงานเกษตร

จังหวัดทันที โดย Alvarez (2009) ทั้งหมด 4 วิธี ประกอบด้วย การให้เกษตรกร 1) ปรับเปลี่ยนพืชปลูก 2) คัดเลือกท่อนพันธุ์ที่สมบูรณ์ 3) เปลี่ยนพันธุ์ปลูก 4) เก็บเศษซากออกจากแปลง และ 5) แช่ท่อนพันธุ์ในสารเคมี พบว่า การเปลี่ยนพันธุ์และการปรับเปลี่ยนพืชปลูก เป็นวิธีการที่เกษตรกรยอมรับมากที่สุดและได้ผลดีที่สุด เพราะเป็นการตัดวงจรของเชื้อโรค ส่วนแนวทางในการแก้ไขปัญหาโรคใบด่างในมันสำปะหลัง ซึ่งในปัจจุบันยังไม่มีรายงานพันธุ์มันสำปะหลังที่ต้านทานต่อการเข้าทำลายและการถ่ายทอดเชื้อไวรัสใบด่างมันสำปะหลัง และองค์ความรู้เกี่ยวกับไวรัสใบด่างมันสำปะหลังในประเทศไทยนั้นยังไม่มีการศึกษามากนัก มีเพียงความรู้จากการรายงานในต่างประเทศที่มีการศึกษาเกี่ยวกับการเกิดโรคไวรัสใบด่างมันสำปะหลัง วิธีการตรวจเชื้อไวรัสใบด่างที่มีประสิทธิภาพ และแนวทางในการควบคุมการแพร่ระบาดของท่อนพันธุ์ติดเชื้อและแมลงหวี่ขาวเท่านั้น

ดังนั้น การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินพันธุ์มันสำปะหลังและนาโนอิลิซิเตอร์เพื่อจัดการโรคโคนเน่าหัวเน่าและใบด่างมันสำปะหลัง โดยการประเมินพันธุ์มันสำปะหลัง ศึกษาเทคโนโลยีการขยายพันธุ์มันสำปะหลังต้านทานใบด่าง ศึกษาชนิดและกลไกการถ่ายทอดเชื้อไวรัสใบด่างของแมลงหวี่ขาว นอกจากนี้ศึกษาโมเดลการแพร่ระบาดของโรคใบด่างมันสำปะหลังที่สร้างความเสียหายทางผลผลิตของเกษตรกร และความเสียหายทางเศรษฐกิจด้วยเครื่องมือทางคณิตศาสตร์ของตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ที่มีส่วนช่วยในการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นจากโรคระบาดของพืชต่างๆ โดยจำลองประชากรที่เสี่ยงติดเชื้อ ตัวเชื้อโรค ตัวพาหะนำโรค และผลผลิตที่ติดเชื้อ แปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปสมการทางคณิตศาสตร์ เพื่ออธิบายลักษณะและการดำเนินการของโรคระบาดในพื้นที่จังหวัดนครราชสีมา

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อประเมินพันธุ์มันสำปะหลังต้านทานโรคโคนเน่าหัวเน่าและใบด่าง

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

โครงการวิจัยและพัฒนานี้เป็นการสรรค์สร้างนวัตกรรมด้านการจัดการโรคมันสำปะหลังที่เหมาะสำหรับอุตสาหกรรมมันสำปะหลังเพื่อยกระดับรายได้เกษตรกรชุมชนและผู้ประกอบการนวัตกรรมในท้องถิ่น โดยห้องปฏิบัติการชีวภัณฑ์สร้างสรรค์ ห้องปฏิบัติการกีฏวิทยา สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี มีบุคลากรที่มีความรู้ความสามารถในด้านต่าง ๆ อีกทั้งยังมีประสบการณ์ในการทำงานวิจัยทั้งในห้องปฏิบัติการ เรือนทดลอง หรือแปลงทดสอบจริงของเกษตรกร รวมถึงการเผยแพร่องค์ความรู้ด้านเทคโนโลยีการเกษตรให้แก่เกษตรกรผู้มีความสนใจ นอกจากนี้ยังทำงานวิจัยร่วมกับภาครัฐและภาคเอกชน เช่น กรมส่งเสริมการเกษตร บริษัท ซีเอส ทาปิโอก้า วิจัยและนวัตกรรม จำกัด ทำให้การทำงานในแต่ละโครงการย่อยมีศักยภาพมากขึ้น และอยู่ภายใต้จุดมุ่งหมายของแผนงานเดียวกัน โดยแผนงานนี้จะเป็นการพัฒนางานวิจัยด้านการปรับปรุงและประเมินพันธุ์ การจัดการโรคและแมลงศัตรูมันสำปะหลัง และโมเดลการแพร่ระบาดของโรคที่จะนำไปสู่การพัฒนาความเป็นเลิศทางวิชาการโดยการส่งเสริมการวิจัย การถ่ายทอดองค์ความรู้

ใหม่ ต้นแบบผลิตภัณฑ์ เทคโนโลยีและนวัตกรรมสู่ผู้ประกอบการ IDE ในท้องถิ่น รวมถึงมีผลงานวิจัยตีพิมพ์ที่มีคุณภาพสูง ที่มีผลกระทบสำคัญต่อการขับเคลื่อนประเทศ

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1. เกษตรกรได้ทราบว่ามันสำปะหลังพันธุ์ใดเหมาะสมและมีความทนทานต่อโรคใบด่างและโคนเน่าหัวเน่ามันสำปะหลัง อย่างน้อย 1 พันธุ์

2. การประเมินพันธุ์มันสำปะหลังในแปลงเกษตรกรที่มีการจัดการแบบผสมผสานเพื่อแก้ปัญหาโรคโคนเน่าหัวเน่าและใบด่างมันสำปะหลังในจังหวัดนครราชสีมา อย่างน้อย 1 เทคนิค

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความสำคัญและปัญหาของการผลิตมันสำปะหลัง

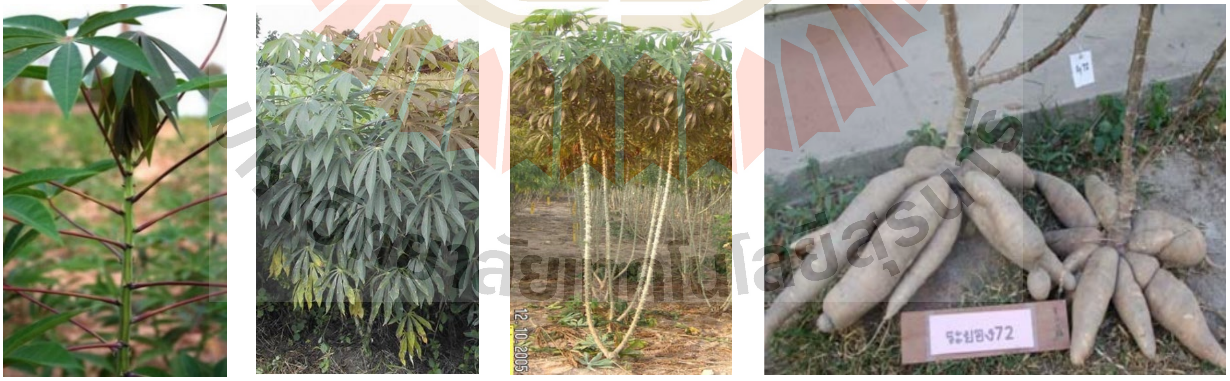
ประเทศไทยมีพืชเศรษฐกิจหลายชนิดที่สร้างมูลค่าและเป็นพืชหลักที่เกษตรกรนิยมปลูก ได้แก่ ยางพารา อ้อย ข้าว ข้าวโพด โดยเฉพาะมันสำปะหลัง ซึ่งมีการส่งออกสูง คิดเป็นมูลค่ากว่า 124,582.44 บาท และมีการส่งออกไปยังประเทศจีน และญี่ปุ่นเป็นหลัก (ปภาวี ไชยานุกูลกิตติ, 2565) ในปี 2564 ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกมันสำปะหลัง 10,919,014 ไร่ ผลผลิตต่อไร่ 3,372 ตัน ผลผลิตรวม 35,094,485 ตัน ซึ่งเพิ่มขึ้นจากปี 2563 ที่มีพื้นที่ปลูก 9,439,009 ไร่ ผลผลิตต่อไร่ 3,252 ตัน และผลผลิตรวม 28,999,122 ตัน (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2564) ปัจจุบันความต้องการผลผลิตมันสำปะหลังในประเทศมีแนวโน้มสูงขึ้น เนื่องจากการขยายตัวของอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ที่นำผลผลิตมันสำปะหลังไปใช้ทดแทนผลผลิตข้าวโพดที่มีราคาสูง ประกอบกับความต้องการแป้งมันสำปะหลังในอุตสาหกรรมต่อเนื่อง ทั้งอาหาร กระดาษ และสารเพิ่มความหวาน นอกจากนี้ผลพวงจากสถานการณ์ของสงครามรัสเซีย-ยูเครนที่ยืดเยื้อ ธัญพืชโลกขาดแคลน มีผลให้จีนมีการนำเข้าผลผลิตมันสำปะหลังเพิ่มขึ้น มีผลให้ราคาตลาดของมันสำปะหลังเพิ่มสูงกว่าราคาประกันของรัฐบาล จึงทำให้เกษตรกรมีการขยายพื้นที่ปลูกมากขึ้น โดยพื้นที่ปลูกมันสำปะหลังส่วนใหญ่ของไทยอยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลางและภาคตะวันออก อย่างไรก็ตามเกษตรกรผู้ปลูกส่วนใหญ่ได้ผลผลิตมันสำปะหลังที่ไม่สูงมากนักโดยเฉลี่ยแล้วไม่ถึง 4 ตันต่อไร เนื่องจากยังขาดความรู้เชิงลึกในการทำการเกษตร เช่น การเตรียมดิน การดูแลและบำรุงรักษา การเลือกพันธุ์มันสำปะหลังที่เหมาะสมในแต่ละสภาพดิน นอกจากนี้ยังประสบกับปัญหาการแพร่ระบาดอย่างรุนแรงของโรคโคนเน่าหัวเน่าและโรคใบด่างมันสำปะหลังในหลายพื้นที่ ซึ่งสามารถทำความเสียหายได้มากกว่า 80% ในขณะที่เกษตรกรยังคงปลูกมันสำปะหลังอย่างต่อเนื่องติดต่อกันหลายปี ทำให้เกิดการแพร่ระบาดของโรคมีความรุนแรงขึ้น แต่แนวทางในการแก้ไขปัญหาโรคใบด่างในมันสำปะหลังในปัจจุบันยังไม่มีรายงานหรือองค์ความรู้มากนัก มีเพียงความรู้จากการรายงานในต่างประเทศที่มีการศึกษาเกี่ยวกับการเกิดโรคไวรัสใบด่างมันสำปะหลัง วิธีการตรวจเชื้อไวรัสใบด่าง และแนวทางในการควบคุมการแพร่ระบาดของท่อนพันธุ์ติดเชื้อและแมลงหวี่ขาวเท่านั้น ยังไม่มีพันธุ์มันสำปะหลังที่ต้านทานต่อการเข้าทำลายและการถ่ายทอดเชื้อไวรัสใบด่าง การจัดการดูแลที่ดีตั้งแต่กระบวนการเตรียมดิน การจัดการที่เหมาะสม ตลอดจนการเลือกใช้พันธุ์มันสำปะหลังที่สะอาดและมีความต้านต่อการเข้าทำลายของโรคโดยเฉพาะโรคใบด่างและโคนเน่าหัวเน่าจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการลดความเสียหายของผลผลิตได้ (วันวิสา และคณะ, 2563)

2.2 พันธุ์มันสำปะหลังที่ทนต่อโรคใบด่างและโคนเน่าหัวเน่า

ในสถานการณ์ปัจจุบันที่มีการระบาดของโรคใบด่างมันสำปะหลังเกือบทั่วทั้งประเทศไทย ประกอบกับการเจอปัญหาโรคโคนเน่าหัวเน่าที่สร้างความเสียหายแก่ผลผลิตมาเป็นเวลานาน นักปรับปรุงพันธุ์จึงได้มีการปรับปรุงมันสำปะหลังพันธุ์ใหม่ๆ ขึ้นมาอย่างมากมาย โดยมันสำปะหลังที่ต้านทานต่อโรคและกรมวิชาการเกษตรแนะนำให้เกษตรกรปลูก ได้แก่ พันธุ์ห้วยบง 60 ระยอง 72 ซึ่งเป็นพันธุ์รับรองที่กรมวิชาการเกษตรปรับปรุงขึ้น และเป็นพันธุ์ที่ทนต่อโรคใบด่างและโรคโคนเน่าหัวเน่ามันสำปะหลังได้ดี รวมถึงพันธุ์ พิรุณ 6 ที่กำลังมีการศึกษาและพัฒนาเพื่อให้ได้มันสำปะหลังรับรองพันธุ์ใหม่ที่มีผลผลิตดีและต้านทานต่อโรค นอกจากนี้ยังมีการรณรงค์ให้เลิกปลูกมันสำปะหลังพันธุ์ ซีเอ็มอาร์ 89 เนื่องจากเป็นพันธุ์ที่อ่อนแอต่อโรคหลายชนิด

2.2.1 ลักษณะสัณฐานวิทยาของมันสำปะหลังพันธุ์ ระยอง 72

มันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 72 เป็นพันธุ์ที่ได้รับการรับรองพันธุ์เมื่อปี 2543 เกิดจากการผสมข้ามระหว่างพันธุ์ระยอง 1 กับ ระยอง 5 พันธุ์ระยอง 72 เหมาะสำหรับปลูกในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เนื่องจากทนทานต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม มีความงอกดี ท่อนพันธุ์มีความทนแล้งมากกว่าพันธุ์อื่น ไม่พบปัญหาโรคต้นเน่าจนถึงระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต ต้านทานต่อโรคใบด่าง และให้ผลผลิตหัวสดสูงเฉลี่ย 5.17 ตันต่อไร่ มีเปอร์เซ็นต์แป้งในฤดูฝนเฉลี่ย 21.2 เปอร์เซ็นต์ และในฤดูแล้งเฉลี่ย 24-26 เปอร์เซ็นต์ (รวีวรรณ เชื้อกิตติศักดิ์, มมป) โดยมีลักษณะประจำพันธุ์ คือ ลำต้นอ่อนมีสีเขียว ลำต้นตั้งตรงสูงประมาณ 200 เซนติเมตร มีระดับการแตกกิ่ง 0-1 ระดับ ที่ความสูง 130-140 เซนติเมตร ยอดอ่อนมีสีม่วง เมื่อใบแก่จะมีสีเขียวเข้ม ก้านใบสีแดงเข้ม ยาวประมาณ 25-30 เซนติเมตร เปลือกนอกของหัวมีสีน้ำตาลอ่อน และเนื้อสีขาว



ภาพที่ 2.1 ลักษณะสัณฐานวิทยาของมันสำปะหลังพันธุ์ ระยอง 72 (ที่มา: รวีวรรณ เชื้อกิตติศักดิ์, มมป)

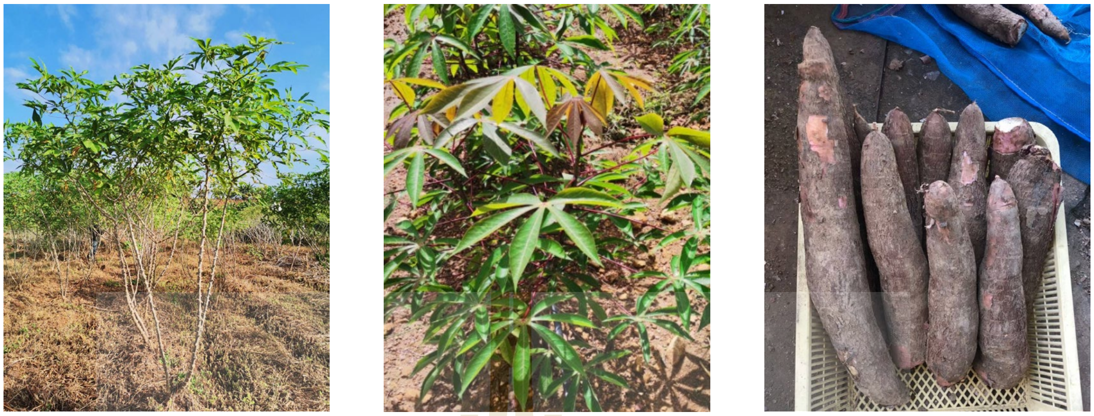
2.2.2 ลักษณะสัณฐานวิทยาของมันสำปะหลังพันธุ์ ซีเอ็มอาร์ 89

มันสำปะหลังพันธุ์ ซีเอ็มอาร์ 89 ผสมขึ้นมาในปี 2543 ปัจจุบันยังไม่ได้เป็นพันธุ์รับรอง เนื่องจาก มีความอ่อนแอต่อหลายโรคโดยเฉพาะ โคนเน่าหัวเน่า และใบด่างมันสำปะหลัง แต่เกษตรกรในภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีการนำมาปลูกเป็นจำนวนมากรองจากพันธุ์ ระยอง 72 เนื่องจากให้ผลผลิตหัวสดสูงมาก โดยได้มีการทดลองปลูกในพื้นที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี พบว่ามีผลผลิตหัวสดสูงถึง 15.20 ตันต่อไร่ แต่มีเปอร์เซ็นต์แป้งค่อนข้างต่ำเท่ากับ 22.50 เปอร์เซ็นต์ มีลักษณะประจำพันธุ์ คือ ลำต้นอ่อนมีสีเขียว ลำต้นตั้งตรงสูง มีระดับการแตกกิ่ง ที่ความสูง 2 เมตร ยอดอ่อนมีสีเขียว เมื่อใบแก่จะมีสีเขียวเข้ม ก้านใบสีเขียว มีใบหนาแน่น ช่วยลดการแข่งขันของวัชพืชได้ดี หัวของมันสำปะหลังพันธุ์ ซีเอ็มอาร์ 89 มีความยาวมาก และให้หัวดก เปลือกนอกของหัวมีสีขาวนวล และเนื้อสีขาว (มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, มมป)

ภาพที่ 2.2 ลักษณะสัณฐานวิทยาของมันสำปะหลังพันธุ์ ซีเอ็มอาร์ 89

2.2.3 ลักษณะสัณฐานวิทยาของมันสำปะหลังพันธุ์ พิรุณ 6

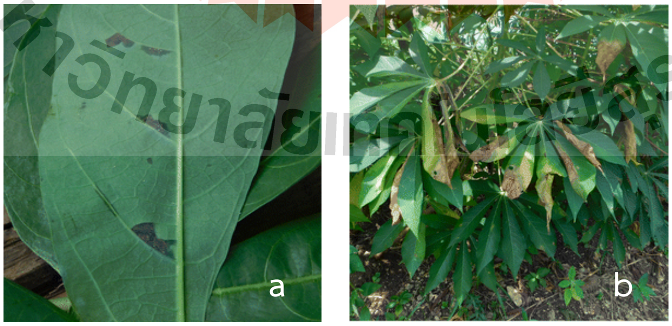
มันสำปะหลังพันธุ์ พิรุณ 6 เกิดจากการผสมข้ามระหว่างพันธุ์ ห้วยบง 60 กับ ห้านาที เป็นมันสำปะหลังชนิดหวานที่อยู่ระหว่างการศึกษาการให้ผลผลิตในแต่ละพื้นที่ ซึ่งพันธุ์ พิรุณ 6 มีความน่าสนใจคือ เป็นพันธุ์ที่มีความต้านทานต่อการเกิดโรคใบด่างและโคนเน่าหัวเน่า ให้ผลผลิตดี หัวสดมีปริมาณไซยาไนด์ในระดับต่ำ (Sangpueak et al., 2022) เหมาะแก่การนำมาบริโภคโดยตรง เช่น การนำไปเชื่อม ทอด ปิ้ง หรือแปรรูปเป็นแป้งฟลาร์วที่ปราศจากสารกลูเต็นเพื่อนำมาใช้ในอุตสาหกรรมเบเกอรี่ โดยมันสำปะหลังพันธุ์ พิรุณ 6 มีลักษณะประจำพันธุ์ คือ ยอดอ่อนมีสีแดง เมื่อใบแก่จะมีสีเขียวเข้ม ก้านใบสีแดง ลำต้นอ่อนมีสีเขียวปนแดง ความสูงเฉลี่ยประมาณ 2 เมตร ให้หัวจำนวนมาก เปลือกนอกของหัวมีสีน้ำตาลขรุขระ เปลือกในสีชมพู และมีเนื้อสีขาว

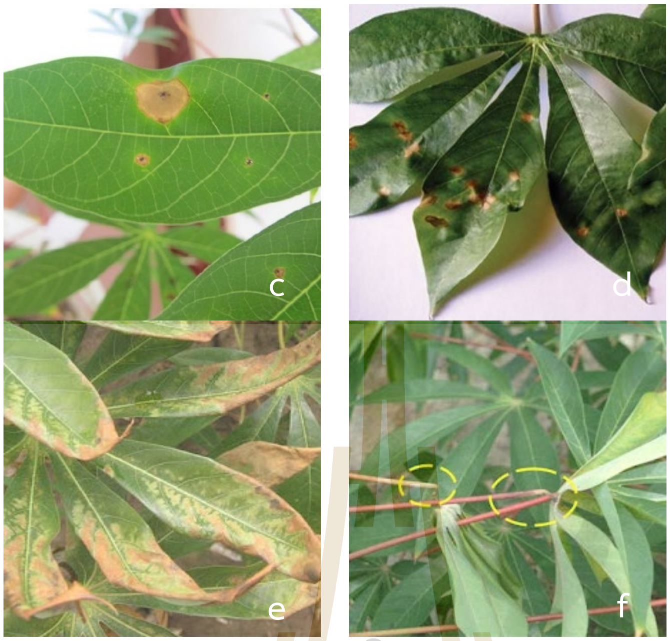


ภาพที่ 2.3 ลักษณะสัณฐานวิทยาของมันสำปะหลังพันธุ์ พิรุณ 6

2.3 โรคมันสำปะหลังที่สร้างความเสียหายทางเศรษฐกิจ

การปลูกมันสำปะหลังติดต่อกันเป็นเวลานาน การปลูกพันธุ์ใหม่ ๆ ที่ไม่ผ่านการรับรอง ตลอดจนสภาพแวดล้อมที่แปรปรวนมากขึ้นในปัจจุบัน ทำให้พบโรคที่เข้าทำลายมันสำปะหลังและทำให้เกิดอาการผิดปกติขึ้น โดยโรคที่ทำให้มันสำปะหลังเกิดความเสียหายทางเศรษฐกิจ ได้แก่ **โรคใบไหม้** (Cassava Bacterial Blight: CBB) ที่เกิดจากเชื้อแบคทีเรีย *Xanthomonas campestris* pv. *manihotis* ซึ่งสามารถพบการระบาดได้ทั่วทุกภาคของประเทศไทย สามารถสร้างความเสียหายให้มันสำปะหลังตั้งแต่ 30-80 เปอร์เซ็นต์ **โรคใบจุดสีน้ำตาล** (Brown Leaf Spot) ที่เกิดจากเชื้อรา *Cercosporidium ingsii* สามารถทำให้ผลผลิตมันสำปะหลังลดลงตั้งแต่ 14-20 เปอร์เซ็นต์ ในพันธุ์ที่อ่อนแอต่อโรคในระดับปานกลาง **โรคแอนแทรคโนส** (Cassava Anthracnose Disease, CAD) ที่เกิดจากเชื้อรา *Colletotrichum* spp. สามารถก่อให้เกิดความเสียหายต่อผลผลิตได้ 10-80 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ปัจจุบันพบการเข้าทำลายของโรคที่สำคัญ ที่สร้างความเสียหายให้ผลผลิตสูงถึง 80-100 % คือ **โรคใบด่าง** และ**โรคโคนเน่าหัวเน่ามันสำปะหลัง**





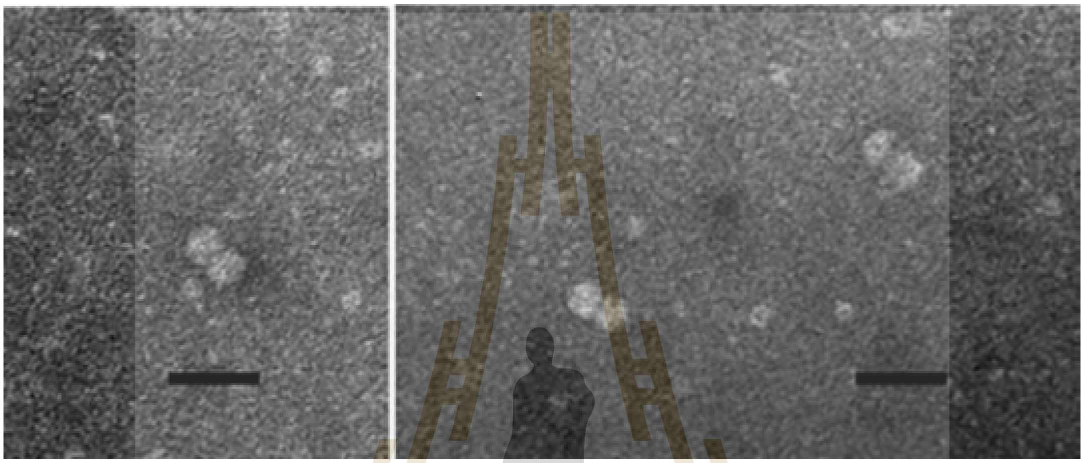
ภาพที่ 2.4 แสดงลักษณะอาการของโรคมันสำปะหลังที่สร้างความเสียหายทางเศรษฐกิจ ได้แก่ โรคใบไหม้ (a,b) โรคใบจุดสีน้ำตาล (c, d) และโรคแอนแทรคโนส (e, f) (ที่มา: รังษี เจริญสถาพร และ อมรรัชฎ์ คิดใจเดียว, 2553, Taylor et al., 2017, Pei et al., 2014; Prasad et al., 2021)

2.3.1 โรคใบด่างมันสำปะหลัง (Cassava Mosaic Disease, CMD)

2.3.1.1 เชื้อสาเหตุของโรคใบด่างมันสำปะหลัง

โรคใบด่างมันสำปะหลัง เกิดจากเชื้อไวรัส ในวงศ์ Geminiridae สกุล Begomovirus ปัจจุบันมีรายงานทั้งหมด 12 ชนิด พบในทวีปแอฟริกา 10 ชนิด ได้แก่ African cassava mosaic virus (ACMV), African cassava mosaic Burkina Faso virus (ACMBFV), Cassava mosaic Madagascar virus (CMMGV), East African cassava mosaic virus (EACMV), East African cassava mosaic Cameroon virus (EACMCV), East African cassava mosaic Kenya virus (EACMKV), East African cassava mosaic Malawi virus (EACMMV), East African cassava mosaic Zanzibar virus (EACMZV), East African cassava mosaic virus-Ugandan variant (EACMV-UG) และ South African cassava mosaic virus (SACMV) ในทวีปเอเชียพบ 2 ชนิด ได้แก่ Indian cassava mosaic virus (ICMV) ซึ่งพบในประเทศอินเดีย และ Sri Lankan cassava mosaic virus (SLCMV) (Houngue et al., 2019) ที่พบในประเทศศรีลังกา เวียดนาม กัมพูชา และประเทศไทย เชื้อ SLCMV เป็นไวรัสที่มีรูปร่างแบบกลมคู่ (twinned icosahedral particle) ที่มีขนาดอนุภาคประมาณ 30×20 นาโนเมตร ภายในบรรจุสารพันธุกรรมแบบวงกลมสายเดี่ยว (single stranded DNA, ssDNA) ซึ่งจะประกอบไปด้วย DNA-A และ DNA-B

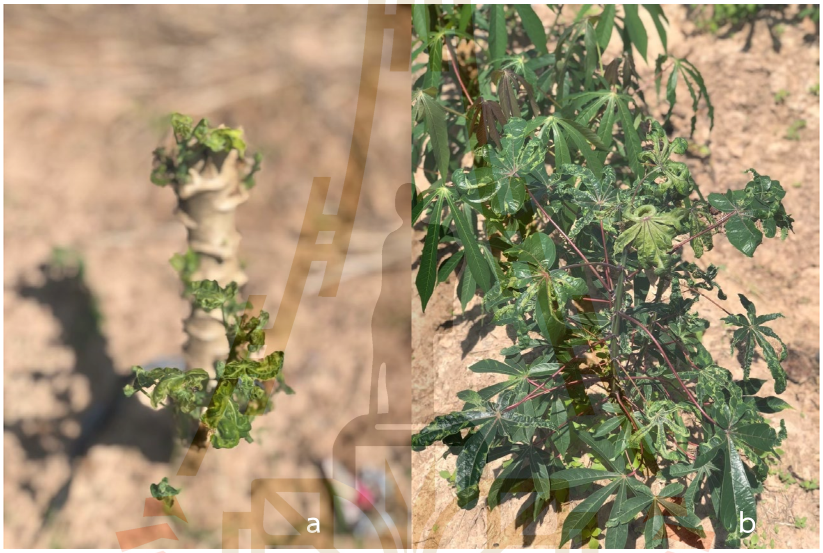
โดยมีขนาดสารพันธุกรรมประมาณ 2.8 กิโลเบส ในส่วนของ DNA-A จะมียีน AC1 หรือ Rep gene ที่เป็นจุดเริ่มต้นกระบวนการเพิ่มปริมาณ (rolling circle amplification) ของไวรัส ส่วน DNA-B จะเป็นตัวควบคุมการเคลื่อนที่ของไวรัส ได้แก่ การเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์ (intercellular) และภายในเซลล์ (intracellular) ของอนุภาคไวรัส (ภาพที่ 2.5) (Rey and Vanderschuren, 2017)



ภาพที่ 2.5 แสดงอนุภาคของ African cassava mosaic virus (ACMV) ที่ส่องภายใต้กล้อง Transmission electron micrograph ขนาดบาร์ 50 นาโนเมตร (Tokunaga et al., 2018)

2.3.1.2 ลักษณะอาการของโรคใบด่างมันสำปะหลัง

มันสำปะหลังจะแสดงอาการใบด่างเหลือง ใบเสียรูปทรง ยอดที่แตกใหม่จะแสดงอาการด่างเหลือง ลำต้นแคระแกร็น หัวมันสำปะหลังมีขนาดเล็กกว่าปกติ สามารถก่อให้เกิดความเสียหายต่อผลผลิตได้ 80-100% (สมาคมแป้งมันสำปะหลังไทย, 2561) ลักษณะอาการของโรคสามารถจำแนกได้ 2 แบบจากการติดเชื้อที่แตกต่างกัน คือ การติดเชื้อไวรัสจากท่อนพันธุ์อาการจะเริ่มแสดงในใบยอดที่แตกใหม่และพบลักษณะอาการด่างทั้งต้นตั้งแต่ยอดจนถึงใบแก่ด้านล่าง ความรุนแรงของโรคขึ้นอยู่กับช่วงเวลาที่ต้นพืชได้รับเชื้อ และพันธุ์ของมันสำปะหลังที่เกษตรกรใช้ปลูก ในกรณีที่แมลงหวี่ขาวเป็นแมลงพาหะ จะแสดงอาการเฉพาะใบยอดเท่านั้น (Sseruwagi et al., 2004)



ภาพที่ 2.6 แสดงลักษณะอาการของโรคใบด่างมันสำปะหลังที่ติดเชื้อไวรัสจากท่อนพันธุ์ (a) และแมลงหวี่ขาว (b)

2.3.1.3 การแพร่ระบาดของโรคใบด่างมันสำปะหลัง

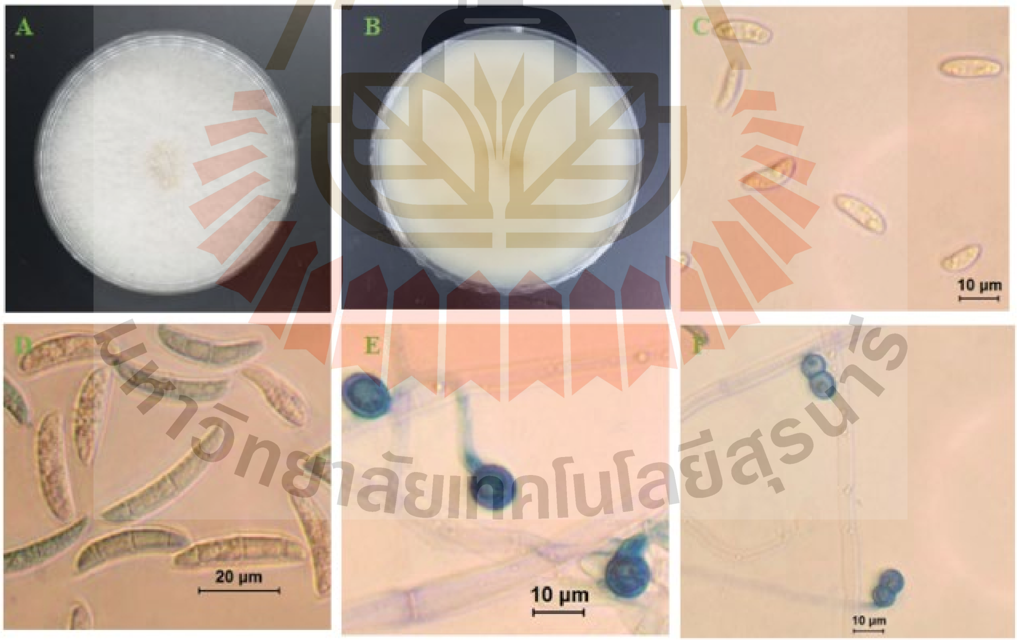
เชื้อก่อโรคสามารถแพร่ระบาดโดยท่อนพันธุ์ และแมลงพาหะ คือ แมลงหวี่ขาวยาสูบ การแพร่ระบาดของโรค CMD จึงเกิดขึ้นได้รวดเร็วและกว้างไกลมากหากไม่มีการตรวจสอบความปลอดโรคในท่อนพันธุ์ โดยในท่อนพันธุ์ที่ติดเชื้อเมื่อนำไปปลูก ใบชุดแรกจะแสดงอาการให้เห็นทันทีที่เริ่มแตกออกมา ในกรณีที่เป็นท่อนพันธุ์ปลอดเชื้อ แมลงหวี่ขาวจะเริ่มเข้าทำลายในช่วง 2-3 สัปดาห์หลังงอกและหากแมลงที่ดูดกินเป็นแมลงติดเชื้อ มันสำปะหลังจะเริ่มแสดงอาการในสัปดาห์ถัดไป การถ่ายทอดโรคโดยแมลงจะเกิดได้ยากขึ้นเมื่อมันสำปะหลังมีอายุมากขึ้น นอกจากนั้นจำนวนประชากรของแมลงหวี่ขาวยังส่งผลให้อัตราการเกิดโรคใบด่างเพิ่มขึ้น แต่ในทางตรงกันข้ามยังมีปัจจัยอื่นๆ ที่ส่งผลให้การแสดงออกของโรคและระดับความรุนแรงของโรคลดลง ได้แก่ สภาพอากาศที่มีอุณหภูมิสูง ดินกรด พื้นที่เพาะปลูกที่มีความสูงมากกว่า 500 เมตรจากระดับน้ำทะเลและในสภาพน้ำฝนที่น้อยกว่า 900 มิลลิเมตรปรอท/ปี หรือมากกว่า 1,500 มิลลิเมตรปรอท/ปี (Hahn et al., 1980) เชื้อก่อโรค CMD มีพืช

อาศัยอยู่ในตระกูล Euphorbiaceae และ Solanaceae บางชนิด ตัวอย่างของพืชอาศัยตระกูล Euphorbiaceae ได้แก่ ละหุ่ง มันสำปะหลัง และสบู่ดำ และตระกูล Solanaceae ได้แก่ *Nicotiana clevelandii, N. Benthamiana, Datura stramonium* พืชตระกูลพริก มะเขือ มันฝรั่ง กะเพรา โหระพา ผักชีฝรั่ง และพืชตระกูลแตง (Abd-Rabou and Simmons, 2010, โสภณ วงศ์แก้ว, 2560) เป็นต้น

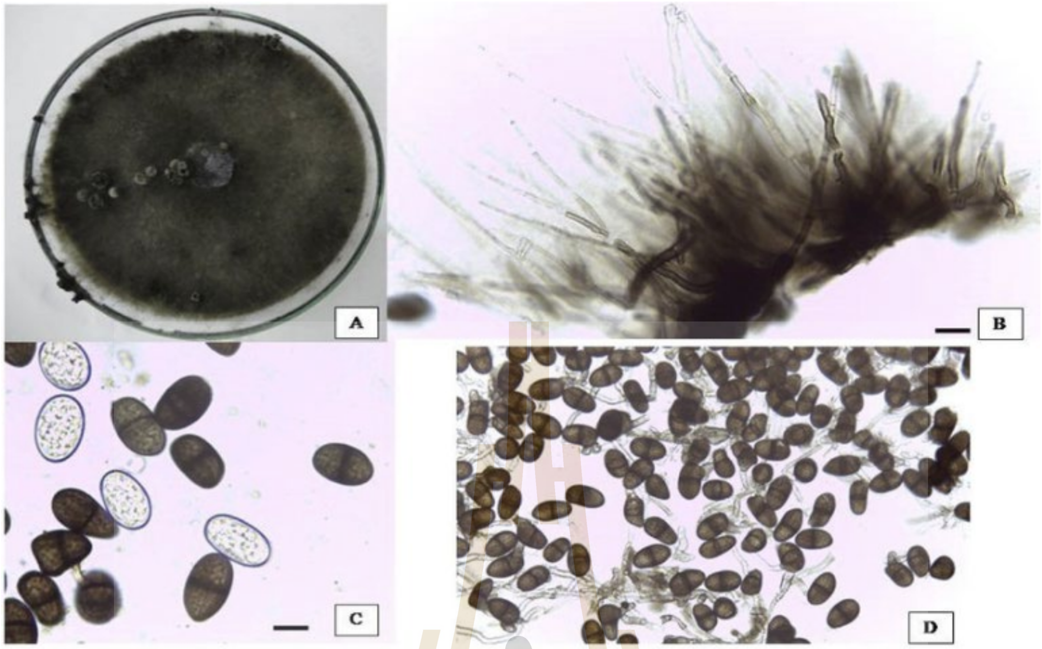
2.3.2 โรคโคนเน่าหัวเน่าของมันสำปะหลัง (Cassava root rot disease: CRRD)

2.3.2.1 เชื้อสาเหตุของโรคโคนเน่าหัวเน่ามันสำปะหลัง

โรคโคนเน่าและหัวเน่าในมันสำปะหลังเกิดจากสาเหตุหลายชนิด ซึ่งในต่างประเทศมีรายงานว่าโรคโคนเน่าหัวเน่าเกิดจากการเข้าทำลายของเชื้อรา ได้แก่ *Phytophthora* spp., *Scytalidium* spp., *Botryodiplodia theobromae*, *Armillaria mellea*, *S. rolfsii*, *Nattrassia mangiferae*, *Diplodia* sp. และ *Fusarium* spp. (Oliveira et al., 2017; Msikita et al., 1998; Onyeka et al., 2004) ส่วนในประเทศไทยมีรายงานว่าโรคโคนเน่าหัวเน่าเกิดจากเชื้อราหลายชนิดเช่นเดียวกัน ได้แก่ *Lasiodiplodia* spp. ที่พบมากที่สุด รองลงมาคือ *Fusarium solani, Neoscytalidium sp., Phytophthora* spp., *Sclerotium* sp. และ *Pythium* spp. (สุทธิสา ดัชนีย์, 2558 และพรปวีณ์ และคณะ, 2562)



ภาพที่ 2.7 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของโคโลนีเชื้อรา *Fusarium solani*. ที่เลี้ยงบนอาหาร PDA (A, B) microconidia (C) macroconidia (D) และ chlamydospores (E-F). (ที่มา: Hassan and Chang, 2022)

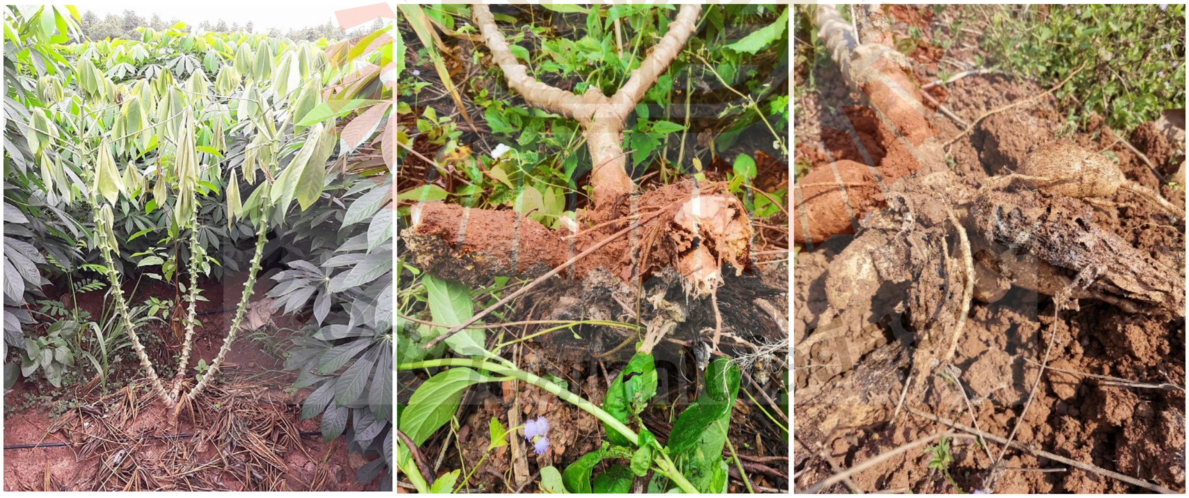


ภาพที่ 2.8 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเชื้อรา *Lasiodiplodia theobromae* ที่เลี้ยงบนอาหาร PDA (A) paraphyses (B) โคนิเดียในระยะ immature ซึ่งมีลักษณะใสไม่มีผนังกั้น (C) จากนั้นเปลี่ยนเป็นโคนิเดียระยะ mature ที่มีสีน้ำตาลถึงดำมี 1 septum (D) สเกลบาร์ = 10 ไมครอน(ที่มา: Maciel et al., 2015)

2.3.2.2 ลักษณะอาการของโรคโคนเน่าหัวเน่ามันสำปะหลัง

โรคโคนเน่าหัวเน่าของมันสำปะหลังเป็นโรคที่ทำให้ผลผลิตสูญเสียโดยตรง ซึ่งทำให้ผลผลิตมันสำปะหลังลดลงถึง 80-100% ของผลผลิตรวม (Msikita et al., 2005) โดยเฉพาะในแหล่งที่ดินระบายน้ำได้ยาก ฝนตกชุกเกินไป หรือในพื้นที่ที่เคยปลูกกาแฟ ยาง หรือเป็นป่าไม้มาก่อน ในบางครั้งสามารถพบการระบาดของโรคได้ในแหล่งที่ดินมีการชะล้างสูง โรคโคนเน่าหัวเน่าสามารถเกิดได้ทั้งระยะต้นกล้าและระยะที่ลงหัวแล้ว โดยเชื้อราสาเหตุโรค เช่น *Lasiodiplodia* spp. และ *Fusarium* spp. ก่อให้เกิดโรคกับท่อนพันธุ์หรือลำต้นที่แก่แล้ว และตกค้างในไร่โดยจะอาศัยอยู่ในท่อนพันธุ์มันสำปะหลัง ซึ่งเชื้อเหล่านี้เมื่อเข้าทำลายในระยะต้นกล้า ต้นมันสำปะหลังจะมีอาการแคระแกรน ใบซีดเหลือง ช้ำดำ ต้นเล็ก เหี่ยวแห้ง บริเวณต้นมี pycnidia ของเชื้อรากระจายบริเวณโคนต้นเหนือดิน หากเชื้อก่อโรคเข้าทำลายมันสำปะหลังในระยะ 4 เดือนหลังปลูกจนถึงระยะเก็บเกี่ยว ต้นมันสำปะหลังจะมีอาการใบร่วง ระบบท่อน้ำท่ออาหารเน่ากลายเป็นสีดำ เปลือกบวมเน่าเป็นสีน้ำตาลดำ มีกลุ่มเม็ด pycnidia ของเชื้อราขึ้นบนเปลือกแล้วจะทำให้โคนต้นแห้งแห้งตาย ซึ่งเป็นบาดแผลเดิมจะทำให้เชื้อราชนิดอื่นหรือเชื้อราตัวเดิมสามารถเข้าทำลายทำให้ต้นมันสำปะหลังเสียหายมากขึ้น (กลุ่มอนุรักษ์น้ำและดิน 2545; Duchanee et al., 2015a, 2015b) ซึ่งเมื่อเชื้อก่อโรคเข้าทำลายหัวของมันสำปะหลัง ลักษณะอาการหลักที่พบส่วนใหญ่จะมีกลิ่นเหม็น ถ้าเกิดจากเชื้อรา *Fusarium* spp. เนื้อเยื่อจะมีสีชมพูหรือสีเหลือง แต่ถ้าเกิดจากเชื้อรา *L. theobromae* เนื้อเยื่อ

จะมีสีเทาดำ ในบางอาการจะพบเส้นใย sclerotia หรือ pycnidia บริเวณรอบโคนต้น (Onyeka., 2002) ในประเทศไทยพบการระบาดของโรคโคนและหัวเน่าในมันสำปะหลังในเขตพื้นที่จังหวัดนครราชสีมาและหลายพื้นที่ปลูกสำคัญ โดยพบโรคโคนต้นเน่า (stem rot) เกิดจาก เชื้อรา *Glomerella cingulate* และ *Lasiodiplodia theobromae* ซึ่งเกิดกับส่วนของท่อนพันธุ์และลำต้น และโรครากเน่า (root rot) พบได้ 4 ลักษณะ คือ **โรคหัวเน่าเละ** (cassava soft root rot disease) พบในระยะกล้าและระยะลงหัวแล้ว มีอาการต้นเหี่ยวเฉาใบล่างมีสีเหลือง และเหี่ยวแห้งหลุดร่วงลงมา ส่วนใบที่บริเวณยอดมีขนาดเล็ก ต้นแคระแกร็น ไม่เจริญเติบโต รากมีอาการเน่าเละสีน้ำตาล มีกลิ่นเหม็น **โรคหัวเน่าแห้ง** (cassava dry root rot disease) ในประเทศไทยมีรายงานพบเชื้อรา *F. solani* เป็นสาเหตุของโรคหัวเน่าแห้ง (พรปวีณ์ และคณะ, 2562) พบในระยะลงหัวแล้ว รากและหัวมีอาการเน่าแห้ง ฝ่อ มีกลิ่นเหม็นคล้ายไม้เน่า พบเส้นใยเชื้อราสีขาวคล้ายเส้นด้ายและดอกเห็ดสีต่างๆ เช่น สีขาว สีเหลือง หรือส้มเจริญปกคลุมบริเวณโคนต้น ต้นเหี่ยวเหลือง นอกจากนี้โคนต้นจะมีอาการบวมเนื่องจากมีการสร้างเนื้อเยื่อขึ้นมาทดแทนส่วนที่ถูกทำลายไปและอาจเกิดรากใหม่ตรงบริเวณเนื้อเยื่อที่บวม ทำให้เกิดหัวมันสำปะหลังใหม่ขึ้นมาแต่มีขนาดเล็ก **โรคหัวเน่าดำ** (cassava black root rot disease) พบในทุกระยะ โดยท่อนพันธุ์ ต้น ราก และหัวมีอาการเน่าสีดำหรือสีน้ำตาลเข้ม เนื่องจากเป็นสีที่เกิดจากเส้นใยหรือส่วนขยายพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศของเชื้อราก่อโรค **โรคเน่าคอดิน** (damping-off or root rot) พบในทุกระยะตั้งแต่ท่อนพันธุ์ ต้นกล้า ราก และลงหัวแล้ว แต่ส่วนใหญ่มักพบอาการในต้นกล้า โดยต้นมันสำปะหลังจะแสดงอาการเหี่ยวเฉาตาย และมีเม็ดผักกาด (sclerotia) พร้อมกับเส้นใยสีขาวขึ้นปกคลุมส่วนของโคนต้นที่ติดอยู่กับผิวดิน (สุทธิสา ดัชนีย์, 2558)



ภาพที่ 2.9 แสดงลักษณะอาการของโรคหัวเน่ามันสำปะหลังที่พบในจังหวัดนครราชสีมา

ตารางที่ 2.1 ลักษณะที่สำคัญของโรคโคนเน่าหัวเน่าที่เกิดจากเชื้อราสาเหตุที่แตกต่างกัน

ลักษณะที่สำคัญ	ชนิดของโรค			
	โรคหัวเน่าเละ	**โรคหัวเน่าแห้ง**	**โรคหัวเน่าดำ**	**โรคเน่าคอดิน**
เชื้อสาเหตุ	*E. carotovora* subsp. *carotovora*	*Rigidoporus lignosus*	*Lasiodiplodia theobromae*	*Sclerotium rolfsii*
	Phytopthora drechleri	*Leptorus lingnosus*	*L. euphorbicola*	*Rhizoctonia solani*
	P. palmivora	*Phaeolus manihotis*	*L. pseudotheobromae*	
	P. palmivora var *palmivora,*	*Armilleria mellea*	*Neoscytalidium hyalinum*	
	P. tropicalis	*Rosella necatrix*	*Macrophomina phaseolina*	
	P. nicotianae	*Fusarium* spp.		
	P. nicotianae var parasitica			
	P. erythuoseptica			
	P. cryptogea			
	Pythium sp.			
	P. sulcatum			
	Fusarium sp.			

ที่มา : สุทธิสา ดัชนีย์ (2558), Muniz et al. (2006), Machado et al. (2014)

2.3.2.3 การแพร่ระบาดของโรคโคนเน่าหัวเน่ามันสำปะหลัง

เชื้อราสาเหตุโรคโคนเน่าหัวเน่าของมันสำปะหลังเมื่อเข้าทำลายพืชครั้งแรกแล้ว (primary infection) จะบุกรุกเข้าทำลายและอาศัยอยู่ใน host และสร้างส่วนขยายพันธุ์หรือสปอร์เพื่อการขยายพันธุ์และแพร่กระจายต่อไป ซึ่งสปอร์เหล่านี้สามารถอาศัยอยู่ในเศษซากพืชที่ตายไปแล้ว รวมถึงสามารถอาศัยอยู่ในพืชอาศัยชนิดอื่นโดยจะเจริญเติบโตในพืชชนิดนั้นๆ แต่ไม่ก่อให้เกิดโรค และเมื่อสภาพแวดล้อมเหมาะสมจะสามารถกลับมาเข้าทำลายมันสำปะหลังต้นใหม่ หรือเข้าทำลายซ้ำต้นเดิมได้ (secondary pathogen) ทำให้โรคมีความรุนแรงมากขึ้น (สุทธิสา ดัชนีย์, 2558)

2.4 การจัดการโรคมันสำปะหลังแบบผสมผสาน

การแก้ปัญหาโรคสำปะหลังแบบผสมผสาน คือการเลือกใช้หลายๆ วิธีร่วมกันอย่างเหมาะสมในการควบคุมโรคให้อยู่ในระดับที่ไม่ก่อให้เกิดความเสียหายของผลผลิตในระดับเศรษฐกิจ เพื่อให้การควบคุมศัตรูพืชมีประสิทธิภาพสูงสุด ประหยัดและปลอดภัยที่สุด หลักการที่สำคัญของการจัดการโรคพืชแบบผสมผสานที่จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการควบคุมโรคพืช ได้แก่ การเตรียมดินที่เหมาะสม การให้ปุ๋ยและน้ำอย่างเป็นระบบ การปลูกพืชหมุนเวียน การรักษาสมดุลทางนิเวศเกษตร ได้แก่ จุลินทรีย์ปฏิปักษ์ซึ่งทำหน้าที่ในการควบคุมประชากรของเชื้อสาเหตุโรคให้อยู่ในในสภาพสมดุล และสร้างสภาพที่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตและเพิ่มปริมาณของศัตรูธรรมชาติ เช่น การใส่ปุ๋ยอินทรีย์เพื่อเป็นอาหารของจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ หลีกเลี่ยงการใช้สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชโดยไม่จำเป็นร่วมกับการตรวจสอบสภาพแปลงอย่างสม่ำเสมอ คอยติดตามสังเกตความผิดปกติของพืชที่อาจเกิดขึ้นในแปลงปลูกพืช เช่น การเกิดโรค หรือมีการระบาดของแมลงพาหะของโรค เพื่อที่จะสามารถตัดสินใจหาวิธีการที่จะแก้ปัญหาได้อย่างถูกต้อง เหมาะสม มีประสิทธิภาพและทันท่วงที ซึ่งวิธีการที่จะนำมาใช้ในการจัดการโรคพืชนั้นมีหลายวิธี โดยแบ่งเป็นวิธีต่าง ๆ ได้แก่ 1) **วิธีเขตกรรม** (Cultural Control) คือ การปรับปรุงสภาพแวดล้อม เพื่อให้พืชเจริญเติบโต แข็งแรง ทนทานต่อการเข้าทำลายของศัตรูพืช โดยใช้วิธีการและปัจจัยในการปลูกพืชอย่างถูกต้อง เช่น การปลูกพืชหมุนเวียน การปลูกพืชแบบผสมผสาน และการเลื่อนเวลาปลูกเพื่อหลีกเลี่ยงการระบาดของโรค 2) **วิธีกล** (Mechanical control) คือ การลดปริมาณศัตรูพืชด้วยวิธีหรือเครื่องมือง่ายๆ เมื่อมีศัตรูพืชเข้าทำลาย ถ้าพบจำนวนน้อยสามารถใช้แรงงานคน เครื่องมือหรืออุปกรณ์ช่วยในการทำลาย 3) **วิธีทางกายภาพ** (Physical control) คือ การใช้วิธีการหรือเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ในการควบคุมโรค เช่น การใช้น้ำร้อนแช่ท่อนพันธุ์ก่อนปลูกเพื่อลดปริมาณเชื้อก่อโรค 4) **ชีววิธี** (Biological Control) คือ การใช้สิ่งมีชีวิตที่เป็นเชื้อจุลินทรีย์ปฏิปักษ์ในการลดปริมาณประชากรของเชื้อโรคพืชหรือลดกิจกรรมของเชื้อก่อโรคอันจะก่อให้เกิดโรคกับพืชให้อยู่ในระดับที่ไม่ก่อให้เกิดความเสียหายทางเศรษฐกิจ เชื้อจุลินทรีย์ปฏิปักษ์จะมีกลไกควบคุมเชื้อที่เป็นสาเหตุของโรค 4 ลักษณะ คือ 1.การทำลายชีวิต (Antibiosis) เป็นภาวะที่สิ่งมีชีวิตชนิดหนึ่งหลั่งสารเคมีออกมา

ยับยั้งการเจริญเติบโตหรือทำลายสิ่งมีชีวิตอีกชนิดหนึ่ง ยกตัวอย่างเช่น แบคทีเรีย *Bacillus subtilis* สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *F. solani* ซึ่งเป็นเชื้อสาเหตุของโรคโคนเน่าหัวเน่าในมันสำปะหลัง (Saengchan et al., 2022) 2. การเป็นปรสิต (Parasitism) เป็นภาวะที่สิ่งมีชีวิตชนิดหนึ่งแย่งหรือกินอาหารจากสิ่งมีชีวิตอีกชนิดหนึ่ง ยกตัวอย่างเช่น เชื้อรา *Bionectria* sp. และ *Trichoderma* spp. ที่สามารถพันรัดเส้นใยของเชื้อราที่เป็นสาเหตุโรคพืช และแทงส่วนของเส้นใยเข้าไปภายในและใช้อาหารจากเส้นใยของเชื้อรา ทำให้เชื้อราที่เป็นสาเหตุของโรคพืชนั้นไม่สามารถเจริญเติบโตต่อไปได้ 3. การชักนำให้เกิดความต้านทานโรค (induced resistance) โดยจุลินทรีย์มีการสร้างสารที่ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช เช่น plant growth promoting rhizobacteria: PGPR หรือกระตุ้นให้พืชมีภูมิต้านทาน (Induced systemic resistance: ISR) 4. การแข่งขัน (Competition) เป็นภาวะที่สิ่งมีชีวิตสองชนิดอาศัยอยู่ร่วมกันและมีการแข่งขันกันเพื่อใช้ปัจจัยในการดำรงชีวิต สิ่งมีชีวิตที่มีความสามารถในการแข่งขันมากกว่าจะเจริญเติบโตได้ดีกว่า (ศิริพรรณ สุขขัง, 2560) ยกตัวอย่างเช่น เชื้อรา *Trichoderma* spp. ที่ตอนนี้มีการแนะนำให้ใช้อย่างแพร่หลายในการควบคุมโรคพืช เป็นเชื้อราที่มีความสามารถในการเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็วในดิน เนื่องจากสามารถทนทานต่อสารพิษต่างๆ ในดิน เช่น สารกำจัดวัชพืช สารประกอบฟีนอลิก เป็นต้น นอกจากนี้ *Trichoderma* spp. ยังมีความสามารถเคลื่อนย้ายและดูดซึมธาตุอาหารจากดินได้อย่างดีเมื่อเทียบกับสิ่งมีชีวิตอื่น (Benítez et al., 2004) และยังสามารถทำลายเชื้อราสาเหตุโรคพืชได้ การใช้เชื้อจุลินทรีย์ปฏิปักษ์ควบคุมโรคพืชมีข้อดีหลายอย่าง คือ ไม่เป็นอันตรายต่อผู้ผลิต ผู้บริโภค และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม แต่ยังมีข้อจำกัด คือ ต้องใช้อย่างต่อเนื่องจึงจะเห็นผล และสภาพแวดล้อมต้องเหมาะสมในการเจริญและการทำกิจกรรมต่างๆ ของเชื้อจุลินทรีย์ 5) วิธีทางเคมี (Chemical control) เป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพวิธีการหนึ่งที่เกษตรกรนิยมใช้ เนื่องจากเห็นผลเร็ว แต่บ่อยครั้งที่มีรายงานว่าเชื้อโรคสามารถแสดงอาการดื้อต่อสารเคมีได้ ซึ่งมีสาเหตุหลายประการที่พ่นสารเคมีแล้วไม่ได้ผล เช่น การผสมสารเคมีหลาย ๆ ชนิดเข้าด้วยกัน สารบางชนิดเมื่อผสมกันแล้วจะไปทำลายหรือลดประสิทธิภาพของสารทำให้ไม่ได้ผล เช่น การผสมสารเคมีป้องกันกำจัดเชื้อรากับปุ๋ยทางใบ หรือการผสมปุ๋ยทางใบกับสารเคมีป้องกันโรคพืชที่มีองค์ประกอบทองแดง (copper) จะทำให้เป็นพิษกับต้นพืช เป็นต้น อย่างไรก็ตามการพ่นสารเคมีที่มีลักษณะกลไกออกฤทธิ์เหมือนกันซ้ำหลายๆ ครั้ง อาจทำให้เชื้อโรคมีการดื้อต่อสารเคมีโดยเฉพาะสารเคมีประเภทดูดซึม การใช้สารเคมียังมีข้อจำกัดอีกอย่าง คือ สารพิษมักตกค้างในผลผลิต ซึ่งเป็นอันตรายทั้งในผู้ผลิตและผู้บริโภค รวมถึงก่อให้เกิดการตกค้างในสิ่งแวดล้อมและส่งผลเสียต่อระบบนิเวศ ซึ่งในปัจจุบันมีการพัฒนาทางด้านนาโนเทคโนโลยีในการผลิตอนุภาคนาโนนำมาประยุกต์ใช้ทางการเกษตร เพื่อช่วยให้พืชสามารถต้านทานต่อการเข้าทำลายของเชื้อก่อโรค (กานต์พิมล และรินา, 2560) และสามารถกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืชได้แม้อยู่ในสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม (Zhang et al., 2018) รวมทั้งไม่ส่งผลเสียสิ่งแวดล้อม ซึ่งอนุภาคนาโนที่นิยมนำมาใช้ในทางการเกษตร ได้แก่ อนุภาคซิงค์ออกไซด์ และอนุภาคนาโนเงิน เป็นต้น

2.4.1 การใช้ประโยชน์ของอนุภาคนาโนเพื่อการจัดการโรคพืช

อนุภาคนาโน หมายถึง วัตถุนาโนที่มีมิติภายนอกทั้งสามมิติอยู่ในระดับนาโนสเกล คือ มีขนาดในช่วง 1 นาโนเมตร ถึง 100 นาโนเมตรโดยประมาณ โดยแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ 1) นาโนแมททีเรียลในธรรมชาติ เช่น ดีเอ็นเอ (Deoxyribonucleic acid: DNA) อาร์เอ็นเอ (Ribonucleic acid: RNA) และเอนไซม์เอทีพีซินเทส (ATP synthase) เป็นต้น 2) นาโนแมททีเรียลสังเคราะห์ ซึ่งองค์การเพื่อความร่วมมือทางเศรษฐกิจและการพัฒนา (Organisation for Economic Co-operation and Development:OECD) ได้แจกแจงรายชื่อ nanomaterial ที่ถูกผลิตขึ้น ดังนี้ ฟลูเลอลีน (Fullerenes, C60) ซิงเกิลวอลล์คาร์บอนนาโนทิวป์ (Single-walled carbon nanotubes: SWCNTs) มัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวป์ (Multi-walled carbon nanotubes: MWCNTs) อนุภาคนาโนเหล็ก (Iron iron oxide nanoparticles: Fe_3O_4NPs) ไทเทเนียมไดออกไซด์ (Titanium dioxide: TiO_2) อลูมิเนียมออกไซด์ (Aluminium oxide: Al_2O_3) ซีเรียมออกไซด์ (Cerium oxide: CeO_2) อนุภาคซิงค์ออกไซด์ (Zinc oxide nanoparticles: ZnONPs) ซิลิคอนไดออกไซด์ (Silicon dioxide: SiO_2) เดนไดร์เมอร์ (Dendrimer) นาโนเคย์ (Nanoclays) อนุภาคนาโนทองคำ (Gold nanoparticles) เซอร์โคเนียมไดออกไซด์ (Zirconium: ZrO_2) ไลโพโซม (Liposome) เอ็กโซโซม (Exosome) กรดโพลีแลคติคโคไกลโคลิก (poly (lactic-co-glycolic acid): PLGA) โพลีเอทิลลีนไกลคอล (Polyethylene glycol: PEG) และอนุภาคซิลเวอร์นาโน (Silver NPs: AgNPs) (Amer, 2019; ณยา และคณะ, 2557)

เนื่องจากขนาดอนุภาคที่เล็กส่งผลให้อนุภาคนาโนมีพื้นที่ผิวสัมผัสที่สูง จึงสามารถเกิดปฏิกิริยาเคมีบริเวณพื้นผิวได้ดี (Wang et al., 2006) อนุภาคนาโนจึงถูกนำมาประยุกต์ใช้ในงานด้านต่างๆ เช่น ผลิตภัณฑ์ยา ผลิตภัณฑ์เครื่องมือแพทย์ ผลิตภัณฑ์อาหาร ผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง ผลิตภัณฑ์วัตถุอันตรายที่ใช้ในบ้านเรือนหรือทางสาธารณสุข รวมถึงผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร ซึ่งในด้านโรคพืช อนุภาคนาโนซิลเวอร์ได้รับความสนใจเป็นอย่างมากในปัจจุบัน เนื่องจากมีสมบัติที่พิเศษคือ สามารถยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ได้ ในการควบคุมเชื้อสาเหตุโรคพืช ได้มีการศึกษาการใช้อนุภาคซิลเวอร์นาโนเพื่อใช้เป็น biocontrol agent ในการยับยั้งเชื้อสาเหตุโรคพืช (Phytopathogenic fungi) หลายหลายชนิด อาทิ มีการรายงานการยับยั้งเชื้อรา *Rhizoctonia solani*, *Macrophomina phaseolina*, *Sclerotinia sclerotiorum*, *Pythium aphanidermatum* และ *Fusarium* sp. (Mahdizadeh et al., 2015, Boxi et al., 2016) ซึ่งเป็นเชื้อสาเหตุโรคโคนเน่าหัวเน่าในมันสำปะหลัง นอกจากความสามารถในการยับยั้งการเจริญของเส้นใยโดยมีผลต่อกลไกการทำงานภายในเซลล์ทำให้เส้นใยเชื้อรามีรูปร่างผิดปกติแล้ว ยังพบว่าอนุภาคนาโนสามารถยับยั้งการสร้างสปอร์ของเชื้อราก่อโรคได้เช่นเดียวกัน (Boxi et al., 2016) นอกจากนั้น อนุภาคนาโนยังส่งผลให้พืชเกิดการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา สัณฐานวิทยา และพันธุกรรมหลายอย่าง การตอบสนองของอนุภาคนาโนต่อการเจริญเติบโตและการพัฒนาของพืชเป็นได้ทั้งทางบวกและทางลบขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัสดุนาโน รูปแบบการใช้งาน ตลอดจนชนิดของพืช เช่น การใช้ AgNPs มีผลให้ความยาวรากของข้าวบาร์เลย์เพิ่มขึ้น แต่ในผักกาดหอมกลับมีผลยับยั้งความยาวของรากอย่างมาก (Gruyer et al., 2013)

การประยุกต์ใช้อนุภาคนาโนทางการเกษตร ถือเป็นนวัตกรรมใหม่ที่นำวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมาประยุกต์ใช้ในรูปแบบของการกระตุ้นภูมิคุ้มกันพืช กระตุ้นการสังเคราะห์เมแทบอไลต์ทุติยภูมิที่จะช่วยให้พืชผลิตสารที่เสริมความแข็งแรง ทำให้พืชมีความต้านทานต่อการเข้าทำลายจากสิ่งก่อโรคทั้งมีชีวิตและไม่มีชีวิต สามารถทนทานต่อสภาวะแวดล้อมที่ไม่เอื้ออำนวยต่อการเจริญเติบโต พืชจึงเจริญเติบโตอย่างเต็มที่ มีคุณภาพสูงขึ้น ลดความเสียหายของปริมาณและคุณภาพของผลผลิตและมีความปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การประเมินพันธุ์มันสำปะหลังที่มีการจัดการแบบผสมผสานเพื่อแก้ปัญหาโรคโคนเน่าหัวเน่าและใบด่างในระดับในแปลงทดลอง

3.1.1 เลือกพื้นที่ทดสอบ

เลือกพื้นที่ปลูกมันสำปะหลังในเขต อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีการระบาดของโรคโคนเน่าหัวเน่าในปีการเพาะปลูก 25561/62 และมีผลผลิตเสียหายมากกว่า 30%

3.1.2 การเตรียมท่อนพันธุ์

ใช้ท่อนพันธุ์มันสำปะหลัง 3 พันธุ์ ได้แก่ ซีเอ็มอาร์ 89 ระยอง 72 และพิรุณ 6 ซึ่งเป็นพันธุ์ที่เหมาะสมต่อพื้นที่และเกษตรกรในพื้นที่นิยมปลูก โดยใช้ท่อนพันธุ์ที่มีอายุประมาณ 11 เดือน ตัดท่อนพันธุ์ความยาว 20 เซนติเมตร และแช่ด้วยไตรโคเดอร์มา อัตรา 50 กรัมต่อน้ำ 20 ลิตร นาน 5 นาที ก่อนปลูก

3.1.3 การเตรียมแปลงปลูกและดูแลรักษา

ไถโดยใช้ผาล 3 ซึ่งสามารถไถได้ลึกประมาณ 50 เซนติเมตร และไถพรวนดินด้วยผาล 7 ยกร่องปลูกสูงในทิศทางเดียวกับความลาดเอียงของพื้นที่ ตัดร่องน้ำในบริเวณที่มีน้ำขัง เพื่อให้มีการระบายน้ำดี และวางแผนการทดลองแบบ split plot in RCBD จำนวน 3 ซ้ำ ปัจจัยหลักประกอบด้วยมันสำปะหลัง 3 พันธุ์ ได้แก่ ซีเอ็มอาร์ 89 ระยอง 72 และ พิรุณ 6 ปัจจัยรองประกอบด้วยการฉีดพ่นและไม่ฉีดพ่นสาร 5 กรรมวิธี ได้แก่ นาโนอิลิซิเตอร์สูตร 1 นาโนอิลิซิเตอร์สูตร 2 นาโนซิงค์ออกไซด์® กรรมวิธีดั้งเดิมของเกษตรกร และกรรมวิธีควบคุม ปลูกทดลองระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนกันยายน 2565 จำนวน 45 แปลงย่อย ปลูกมันสำปะหลังโดยปักท่อนพันธุ์แบบตรงระยะห่าง 1.0x0.8 เมตร ทำการฉีดพ่นสารตามกรรมวิธีการทดลอง ที่อายุพืช 1, 2 และ 3 เดือนหลังปลูก และกำจัดวัชพืชตามความเหมาะสม

3.1.4 การบันทึกข้อมูล

1. เก็บข้อมูลความงอกและการเจริญเติบโตของมันสำปะหลัง ในลักษณะความสูงต้นที่อายุ 2, 4 และ 8 เดือนหลังปลูก โดยวัดความสูงจากโคนต้นจนถึงยอดของมันสำปะหลัง เก็บผลการทดลองกรรมวิธีละ 3 ซ้ำ ๆ ละ 10 ต้น และบันทึกเปอร์เซ็นต์ความงอกหลังปลูก 1 เดือน

2. บันทึกข้อมูลการเกิดโรคใบด่าง และโคนเน่าหัวเน่าของมันสำปะหลัง ที่อายุ 2, 4 และ 8 เดือนหลังปลูก เก็บผลการทดลองกรรมวิธีละ 3 ซ้ำ ๆ ละ 10 ต้น โดยให้คะแนนความรุนแรงของโรค (disease grade) 0-4 คะแนน ดังนี้ 0 = ไม่พบการเกิดโรค, 1 = พบอาการของโรค 1-25 เปอร์เซ็นต์, 2 = พบอาการของโรค 26-50

เปอร์เซ็นต์, 3 = พบอาการของโรค 51-75 เปอร์เซ็นต์ และ 4 = พบอาการของโรค >75 เปอร์เซ็นต์ (ดัดแปลงจาก Harveson et al., 2005) และนำค่าที่ได้มาคำนวนดัชนีการเกิดโรค (disease index, DI) ตามสูตรการคำนวน ดังนี้

$$\% \text{ DI} = \frac{(0 \text{x} N_0) + (1 \text{x} N_1) + (2 \text{x} N_2) + (3 \text{x} N_3) + (4 \text{x} N_4)}{N \text{ x } C} \text{ x } 100$$

0-4 = คะแนนความรุนแรงของโรค
N_0-N_4 = จำนวนต้นที่เกิดโรคในแต่ละระดับ
N = จำนวนพืชที่ประเมินโรคทั้งหมด
C = ระดับคะแนนความรุนแรงของโรคสูงสุด

3. บันทึกข้อมูลผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิต ได้แก่ จำนวนหัวต่อต้น น้ำหนักหัวสด เปอร์เซ็นต์แป้ง และผลผลิตแป้งต่อไร่ ในมันสำปะหลังอายุ 8 เดือนหลังปลูก

3.2 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบ split plot in RCBD ในการทดลองระดับแปลงทดลอง วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติโดยโปรแกรม SPSS V.16.0 เพื่อหาความแตกต่างและค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติ 95%

บทที่ 4

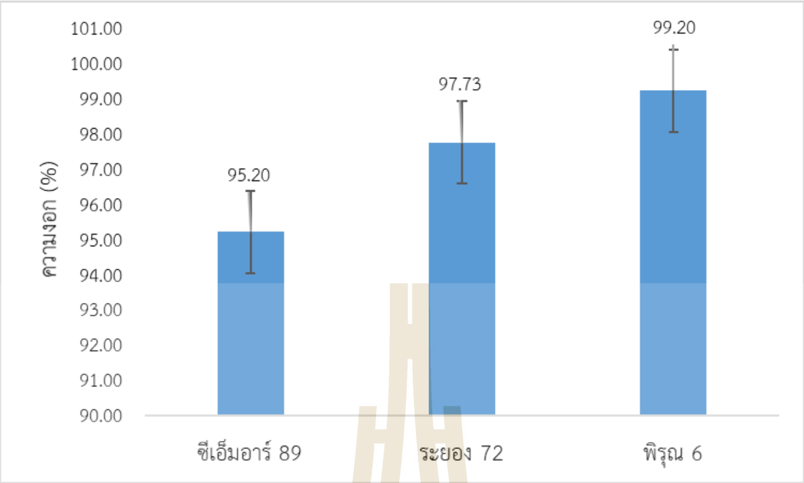
ผลการวิจัย

4.1 การประเมินพันธุ์มันสำปะหลังที่มีการจัดการแบบผสมผสานเพื่อแก้ปัญหาโรคโคนเน่าหัวเน่าและใบด่างในระดับแปลงทดลอง

4.1.1 ความงอกและการเจริญเติบโตของมันสำปะหลังที่ฉีดพ่นสารที่แตกต่างกัน

-เปอร์เซ็นต์ความงอกหลังปลูก 1 เดือน พบว่ามันสำปะหลังทั้ง 3 พันธุ์ มีเปอร์เซ็นต์ความงอกแตกต่างกัน โดยพันธุ์พิรุณ 6 มีความงอกเฉลี่ยสูงที่สุด เท่ากับ 99.20 % รองลงมาคือพันธุ์ระยอง 72 และ ซีเอ็มอาร์ 89 เท่ากับ 97.73 % และ 95.20 % ตามลำดับ (ภาพที่ 4.1)

-การเจริญเติบโต พันธุ์มันสำปะหลัง การฉีดพ่นนาโนอิลิซิเตอร์ และการปลูกมันสำปะหลังร่วมกับการฉีดพ่นนาโนอิลิซิเตอร์ มีผลให้ความสูงที่อายุ 2 เดือนไม่แตกต่างกันทางสถิติ ในขณะที่มันสำปะหลังอายุ 4 เดือน การปลูกมันสำปะหลังร่วมกับการฉีดพ่นนาโนอิลิซิเตอร์ทำให้มีค่าเฉลี่ยความสูงต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมันสำปะหลังพันธุ์ ระยอง 72 ร่วมกับการใช้กรรมวิธีของดั้งเดิมของเกษตรกร ให้ค่าเฉลี่ยความสูงสูงที่สุด เท่ากับ 125.04 เซนติเมตร เมื่อพิจารณาผลของการฉีดพ่นนาโนอิลิซิเตอร์แต่ละกรรมวิธีและศักยภาพของมันสำปะหลังแต่ละพันธุ์ พบว่า มันสำปะหลังที่อายุ 4 เดือน มีความสูงที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยการใช้นาโนอิลิซิเตอร์สูตรที่ 2 และมันสำปะหลังพันธุ์ ระยอง 72 มีค่าเฉลี่ยความสูงสูงที่สุด เท่ากับ 113.73 และ 116.66 เซนติเมตร ตามลำดับ ในขณะที่การปลูกมันสำปะหลังร่วมกับการฉีดพ่นด้วยนาโนอิลิซิเตอร์มีผลให้ความสูงที่อายุ 8 เดือน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยการปลูกมันสำปะหลังพันธุ์ ระยอง 72 ร่วมกับกรรมฉีดพ่นนาโนอิลิซิเตอร์สูตรที่ 2 ให้ค่าเฉลี่ยความสูงสูงที่สุดเท่ากับ 201.33 เซนติเมตร เมื่อพิจารณาถึงศักยภาพของมันสำปะหลัง พบว่า พันธุ์ ระยอง 72 ให้ค่าเฉลี่ยความสูงสูงที่สุดเท่ากับ 183.20 เซนติเมตร และเมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพของการฉีดพ่นนาโนอิลิซิเตอร์ที่แตกต่างกัน พบว่า นาโนอิลิซิเตอร์สูตรที่ 2 ให้ค่าเฉลี่ยความสูงสูงที่สุด เท่ากับ 184.00 เซนติเมตร (ตารางที่ 4.1)



ภาพที่ 4.1 เปอร์เซ็นต์ความงอกมันสำปะหลังพันธุ์ ซีเอ็มอาร์ 89 ระยอง 72 และพิรุณ 6 ที่อายุ 1 เดือนหลังปลูก

ตารางที่ 4.1 ประสิทธิภาพของอนุภาคซิลเวอร์นาโนทางชีวภาพต่อการเจริญเติบโตด้านความสูงในมันสำปะหลัง 3 พันธุ์ ที่อายุ 2, 4 และ 8 เดือนหลังปลูก

พันธุ์มันสำปะหลัง	ทรีทเมนท์$^{2/}$	ความสูง (เซนติเมตร) $^{1/}$		
		2 เดือน	4 เดือน	8 เดือน
ซีเอ็มอาร์ 89	นาโนอิลิซิเตอร์สูตรที่ 1	40.24	94.93 ^{ab}	181.33 ^{a}
	นาโนอิลิซิเตอร์สูตรที่ 2	43.06	100.34 ^{ab}	176.00 ^{ab}
	นาโนซิงค์ออกไซด์®	38.81	91.03 ^{b}	164.80 ^{b}
	กรรมวิธีดั้งเดิมของเกษตรกร	42.84	103.52 ^{a}	179.33 ^{a}
	กรรมวิธีควบคุม	38.13	82.66 ^{c}	173.67 ^{ab}
ระยอง 72	นาโนอิลิซิเตอร์สูตรที่ 1	46.67	111.38 ^{b}	186.33 ^{b}
	นาโนอิลิซิเตอร์สูตรที่ 2	51.34	124.81 ^{a}	201.33 ^{a}
	นาโนซิงค์ออกไซด์®	47.43	110.81 ^{b}	169.67 ^{c}
	กรรมวิธีดั้งเดิมของเกษตรกร	49.70	125.04 ^{a}	195.33 ^{a}
	กรรมวิธีควบคุม	45.10	111.23 ^{b}	163.33 ^{c}
พิรุณ 6	นาโนอิลิซิเตอร์สูตรที่ 1	39.33	98.89 ^{b}	145.33 ^{c}
	นาโนอิลิซิเตอร์สูตรที่ 2	40.43	114.97 ^{a}	174.67 ^{a}
	นาโนซิงค์ออกไซด์®	38.00	100.50 ^{b}	151.67 ^{bc}
	กรรมวิธีดั้งเดิมของเกษตรกร	42.50	109.00 ^{a}	166.33 ^{ab}
	กรรมวิธีควบคุม	38.00	95.60 ^{b}	152.33 ^{bc}
		ns	*	**
ค่าเฉลี่ยแต่ละทรีทเมนท์	นาโนอิลิซิเตอร์สูตรที่ 1	42.08	101.73^{b}	171.00^{b}

	นาโนอิลิซิเตอร์สูตรที่ 2	44.95	113.37^{a}	184.00^{a}
	นาโนซิงค์ออกไซด์®	41.41	100.78^{b}	162.04^{c}
	กรรมวิธีดั้งเดิมของเกษตรกร	45.01	112.52^{a}	180.33^{a}
	กรรมวิธีควบคุม	40.41	96.50^{c}	163.11^{c}
		ns	**	**
ค่าเฉลี่ยมันสำปะหลังแต่ละพันธุ์	ซีเอ็มอาร์ 89	40.62	94.49^{c}	175.03^{b}
	ระยอง 72	48.05	116.66^{a}	183.20^{a}
	พิรุณ 6	39.65	103.79^{b}	158.07^{c}
		ns	**	**
ค่าเฉลี่ย		42.77	104.98	172.10
%CV (ทรีทเมนท์)		10.56	3.09	3.42
%CV (พันธุ์มันสำปะหลัง)		19.78	4.08	4.50

ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับ $P < 0.01$ * = แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับ $P < 0.05$

** = แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับ $P < 0.01$ 1/ = ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่ตามด้วยอักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างทางสถิติในระดับ 0.05 จากการเปรียบเทียบโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

2/ = กรรมวิธีดั้งเดิมของเกษตรกรที่มีการฉีดพ่นสารเคมีอิมิดาคลอพริดร่วมกับฟอสอีทิลอะลูมินัม

4.1.2 การควบคุมโรคมันสำปะหลังระดับแปลงทดลอง

-โรคใบด่าง พันธุ์มันสำปะหลัง การฉีดพ่นนาโนอิลิซิเตอร์ และการปลูกมันสำปะหลังร่วมกับการฉีดนาโนอิลิซิเตอร์มีผลให้ดัชนีการเกิดโรคใบด่างที่อายุ 2, 4 และ 8 เดือน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ เมื่อปลูกมันสำปะหลังพันธุ์ CMR 89 ร่วมกับการฉีดพ่นด้วยนาโนอิลิซิเตอร์สูตรที่ 1 และการปลูกมันสำปะหลังพันธุ์พิรุณ 6 ร่วมกับการฉีดพ่นนาโนอิลิซิเตอร์สูตรที่ 2 และนาโนซิงค์ออกไซด์® ส่งผลให้ดัชนีการเกิดโรคใบด่างของมันสำปะหลังที่อายุ 2, 4, 8 เดือน ต่ำที่สุด รวมถึงมันสำปะหลังพันธุ์ CMR 89 ที่ฉีดพ่นนาโนซิงออกไซด์® และมันสำปะหลังพันธุ์ พิรุณ 6 ร่วมกับกรรมวิธีดั้งเดิมของเกษตรกร ส่งผลให้ดัชนีการเกิดโรคใบด่างที่อายุ 2 เดือน ต่ำที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 4.2 เมื่อพิจารณาศักยภาพของมันสำปะหลังแต่ละพันธุ์ พบว่า พันธุ์พิรุณ 6 มีดัชนีการเกิดโรคใบด่างที่อายุ 2, 4, 8 เดือน ต่ำที่สุด เท่ากับ 1.67, 3.17 และ 3.17% ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาอิทธิพลของการฉีดพ่น นาโนอิลิซิเตอร์ที่แตกต่างกันตามกรรมวิธีทดลอง พบว่า กรรมวิธีที่ใช้นาโนซิงค์ออกไซด์® ช่วยลดดัชนีการเกิดโรคใบด่างที่อายุ 2 เดือน ได้ดีที่สุดโดยมีดัชนีการเกิดโรคเท่ากับ 3.33% ในขณะที่มันสำปะหลังอายุ 4 และ 8 เดือน การใช้นาโนอิลิซิเตอร์สูตรที่ 1 สามารถช่วยลดการเกิดโรคใบด่างได้ดีที่สุด โดยมีดัชนีการเกิดโรคเท่ากับ 5.00 และ 6.67% ตามลำดับ

-โรคโคนเน่าหัวเน่า พันธุ์มันสำปะหลัง การฉีดพ่นนาโนอิลิซิเตอร์ และการปลูกมันสำปะหลังร่วมกับการฉีดนาโนอิลิซิเตอร์มีผลให้ดัชนีการเกิดโรคโคนเน่าหัวเน่าที่อายุ 8 เดือน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง

ทางสถิติ เมื่อปลูกมันสำปะหลัง พิรุณ 6 ร่วมกับการฉีดพ่นนาโนซิงค์ออกไซด์® ส่งผลให้ดัชนีการเกิดโรคโคนเน่าหัวเน่าต่ำที่สุด เท่ากับ 13.33% เมื่อพิจารณาศักยภาพของมันสำปะหลังแต่ละพันธุ์ พบว่า พันธุ์พิรุณ 6 มีดัชนีการเกิดโรคโคนเน่าหัวเน่าต่ำที่สุด เท่ากับ 24.00% รองลงมาคือมันสำปะหลังพันธุ์ ระยอง 72 และ ซีเอ็มอาร์ 89 ซึ่งมีดัชนีการเกิดโรคเท่ากับ 38.33 และ 39.33% ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาอิทธิพลของการฉีดพ่นนาโนอิลิซิเตอร์ที่แตกต่างกันตามกรรมวิธีทดลอง พบว่า นาโนอิลิซิเตอร์สูตรที่ 2 ช่วยลดการเกิดโรคโคนเน่าหัวเน่าได้ดีที่สุด โดยมีดัชนีการเกิดโรคเท่ากับ 25.56% ซึ่งให้ผลไม่แตกต่างกันทางสถิติกับกรรมวิธีที่ใช้นาโนซิงค์ออกไซด์® และนาโนอิลิซิเตอร์สูตรที่ 1 ที่มีดัชนีการเกิดโรค เท่ากับ 26.11 และ 28.33% ตามลำดับ

ตารางที่ 4.2 ประสิทธิภาพของอนุภาคซิลเวอร์นาโนทางชีวภาพต่อดัชนีการเกิดโรคใบด่างและโคนเน่าหัวเน่าในมันสำปะหลัง 3 พันธุ์

พันธุ์มันสำปะหลัง	ทรีทเมนท์$^{2/}$	ดัชนีการเกิดโรคใบด่าง (%)$^{1/}$			ดัชนีการเกิดโรคโคนเน่าหัวเน่า (%)
		2 เดือน	4 เดือน	8 เดือน	
ซีเอ็มอาร์ 89	นาโนอิลิซิเตอร์สูตรที่ 1	0.00^{a}	1.67^{a}	1.67^{a}	25.00^{b}
	นาโนอิลิซิเตอร์สูตรที่ 2	3.33^{b}	4.17^{a}	9.17^{b}	16.67^{a}
	นาโนซิงค์ออกไซด์®	0.00^{a}	4.17^{a}	10.83^{b}	38.33^{c}
	กรรมวิธีดั้งเดิมของเกษตรกร	2.50^{b}	7.50^{b}	12.50^{b}	53.33^{d}
	กรรมวิธีควบคุม	7.50^{c}	15.00^{c}	33.33^{c}	63.33^{e}
ระยอง 72	นาโนอิลิซิเตอร์สูตรที่ 1	9.17^{a}	10.83^{a}	15.83^{a}	35.00^{b}
	นาโนอิลิซิเตอร์สูตรที่ 2	10.83^{ab}	14.17^{c}	24.17^{b}	30.00^{ab}
	นาโนซิงค์ออกไซด์®	10.00^{a}	13.33^{bc}	13.33^{a}	26.67^{a}
	กรรมวิธีดั้งเดิมของเกษตรกร	9.17^{a}	11.67^{ab}	11.67^{a}	48.33^{c}
	กรรมวิธีควบคุม	12.50^{b}	15.00^{c}	15.00^{a}	51.67^{c}
พิรุณ 6	นาโนอิลิซิเตอร์สูตรที่ 1	2.50^{b}	2.50^{ab}	2.50^{ab}	25.00^{b}
	นาโนอิลิซิเตอร์สูตรที่ 2	0.00^{a}	1.67^{a}	1.67^{a}	30.00^{b}
	นาโนซิงค์ออกไซด์®	0.00^{a}	1.67^{a}	1.67^{a}	13.33^{a}
	กรรมวิธีดั้งเดิมของเกษตรกร	0.00^{a}	3.33^{b}	3.33^{b}	28.33^{b}
	กรรมวิธีควบคุม	5.83^{c}	6.67^{c}	6.67^{c}	23.33^{b}
		**	**	**	**
ค่าเฉลี่ยแต่ละทรีทเมนท์	นาโนอิลิซิเตอร์สูตรที่ 1	3.89^{a}	5.00^{a}	6.67^{a}	28.33^{a}
	นาโนอิลิซิเตอร์สูตรที่ 2	4.72^{b}	6.67^{b}	11.67^{c}	25.56^{a}
	นาโนซิงค์ออกไซด์®	3.33^{a}	6.39^{b}	8.61^{b}	26.11^{a}

	กรรมวิธีดั้งเดิมของเกษตรกร	3.89^{a}	7.50^{b}	9.17^{b}	43.33^{b}
	กรรมวิธีควบคุม	8.61^{c}	12.22^{c}	18.33^{d}	46.11^{b}
		**	**	**	**
ค่าเฉลี่ยมันสำปะหลังแต่ละพันธุ์	ซีเอ็มอาร์ 89	2.67^{b}	6.50^{b}	13.50^{b}	39.33^{b}
	ระยอง 72	10.33^{c}	13.00^{c}	16.00^{c}	38.33^{b}
	พิรุณ 6	1.67^{a}	3.17^{a}	3.17^{a}	24.00^{a}
		**	**	**	**
ค่าเฉลี่ย		4.89	7.56	10.89	33.89
%CV (ทรีทเมนท์)		16.45	15.80	15.21	16.45
%CV (พันธุ์มันสำปะหลัง)		9.83	13.11	13.19	9.83

** = แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับ $P < 0.01$ 1/ = ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่ตามด้วยอักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างทางสถิติในระดับ 0.05 จากการเปรียบเทียบโดยวิธี Duncan’s New Multiple Range Test (DMRT)

2/ = กรรมวิธีดั้งเดิมของเกษตรกรที่มีการฉีดพ่นสารเคมีอิมิดาคลอพริดร่วมกับฟอสอีทิลอะลูมินัม

4.1.3 ผลผลิตมันสำปะหลังหลัง

การฉีดพ่นนาโนอิลิซิเตอร์ และการปลูกมันสำปะหลังร่วมกับการฉีดนาโนอิลิซิเตอร์มีผลให้จำนวนหัวต่อต้น น้ำหนักหัวสด และผลผลิตแป้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยการปลูกมันสำปะหลังพันธุ์ พิรุณ 6 ร่วมกับการฉีดพ่นนาโนอิลิซิเตอร์สูตรที่ 2 ให้ค่าเฉลี่ยจำนวนหัวต่อต้นสูงที่สุด เท่ากับ 13.00 หัว นอกจากนี้การฉีดพ่นด้วยนาโนอิลิซิเตอร์สูตรที่ 2 ร่วมกับมันสำปะหลังพันธุ์ CMR 89 ให้ค่าเฉลี่ยน้ำหนักหัวสดและผลผลิตแป้งสูงที่สุด เท่ากับ 9.94 และ 2.66 ตัน/ไร่ ตามลำดับ เมื่อพิจารณาศักยภาพของพันธุ์มันสำปะหลัง พบว่า ทั้ง 3 พันธุ์ ให้ค่าเฉลี่ยจำนวนหัวต่อต้นและผลผลิตแป้งที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติและให้น้ำหนักหัวสดที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยมันสำปะหลังพันธุ์ CMR 89 ให้จำนวนหัวต่อต้น น้ำหนักหัวสด และผลผลิตแป้งสูงที่สุดเท่ากับ 10.57 หัว 10.71 และ 2.36 ตัน/ไร่ ตามลำดับ ในขณะที่มันสำปะหลังทั้ง 3 พันธุ์ ให้เปอร์เซ็นต์แป้งที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาผลของการฉีดพ่นนาโนอิลิซิเตอร์ที่แตกต่างกันตามกรรมวิธีทดลอง พบว่า นาโนอิลิซิเตอร์สูตรที่ 2 มีผลให้มันสำปะหลังมีจำนวนหัวต่อต้น น้ำหนักหัวสด และผลผลิตแป้งสูงที่สุด เท่ากัย 11.22 หัว 8.01 และ 2.42 ตัน/ไร่ ตามลำดับ และการใช้นาโนอิลิซิเตอร์สูตรที่ 1 มีผลทำให้เปอร์เซ็นต์แป้งเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีอื่นๆ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 31.40% (ตารางที่ 4.3)

ตารางที่ 4.3 ประสิทธิภาพของอนุภาคซิลเวอร์นาโนทางชีวภาพต่อจำนวนหัว น้ำหนักหัวสด เปอร์เซ็นต์แป้ง และผลผลิตแป้งในมันสำปะหลัง 3 พันธุ์ ที่อายุเก็บเกี่ยว 8 เดือน

พันธุ์มันสำปะหลัง	ทรีทเมนท์[2/]	จำนวนหัวต่อต้น	น้ำหนักหัวสด (ตัน/ไร่)	ปริมาณแป้ง (%)	ผลผลิตแป้ง (ตัน/ไร่) [1/]
ซีเอ็มอาร์ 89	นาโนอิลิซิเตอร์สูตรที่ 1	12.60	7.80^{ab}	32.17	2.49^{ab}
	นาโนอิลิซิเตอร์สูตรที่ 2	12.87	9.94^{a}	30.50	3.02^{a}
	นาโนซิงค์ออกไซด์®	10.60	8.17^{ab}	29.70	2.44^{ab}
	กรรมวิธีดั้งเดิมของเกษตรกร	8.33	6.42^{b}	30.83	1.99^{b}
	กรรมวิธีควบคุม	8.47	6.24^{b}	29.93	1.87^{b}
ระยอง 72	นาโนอิลิซิเตอร์สูตรที่ 1	9.33	8.16^{a}	32.57	2.66^{a}
	นาโนอิลิซิเตอร์สูตรที่ 2	7.80	5.79^{c}	32.50	1.88^{bc}
	นาโนซิงค์ออกไซด์®	8.73	7.18^{ab}	30.83	2.23^{ab}
	กรรมวิธีดั้งเดิมของเกษตรกร	7.20	6.01^{bc}	30.93	1.86^{bc}
	กรรมวิธีควบคุม	7.40	4.85^{c}	31.90	1.55^{c}
พิรุณ 6	นาโนอิลิซิเตอร์สูตรที่ 1	8.27	4.34^{c}	29.47	1.29^{c}
	นาโนอิลิซิเตอร์สูตรที่ 2	13.00	8.30^{a}	28.23	2.35^{a}
	นาโนซิงค์ออกไซด์®	8.13	5.35^{bc}	26.30	1.41^{bc}
	กรรมวิธีดั้งเดิมของเกษตรกร	10.07	6.55^{b}	29.40	1.92^{ab}
	กรรมวิธีควบคุม	9.47	5.40^{bc}	29.30	1.59^{bc}
		ns	**	ns	**
ค่าเฉลี่ยแต่ละทรีทเมนท์	นาโนอิลิซิเตอร์สูตรที่ 1	10.07	6.76b	31.40a	2.14ab
	นาโนอิลิซิเตอร์สูตรที่ 2	11.22	8.01a	30.41ab	2.42a
	นาโนซิงค์ออกไซด์®	9.16	6.90b	28.94b	2.02bc
	กรรมวิธีดั้งเดิมของเกษตรกร	8.53	6.33bc	30.39ab	1.93bc
	กรรมวิธีควบคุม	8.44	5.50c	30.38ab	1.67c
		ns	**	*	**
ค่าเฉลี่ยมันสำปะหลังแต่ละพันธุ์	ซีเอ็มอาร์ 89	10.57	7.71a	30.63	2.36a
	ระยอง 72	8.09	6.40b	31.75	2.04b
	พิรุณ 6	9.79	5.99b	28.54	1.71c
		ns	**	ns	*
ค่าเฉลี่ย		9.48	6.70	30.30	2.04
%CV (ทรีทเมนท์)		9.32	16.23	5.00	17.44

%CV (พันธุ์มันสำปะหลัง)	13.56	11.14	11.68	17.91

ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับ $P < 0.01$ * = แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับ $P < 0.05$

** = แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับ $P < 0.01$ 1/ = ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่ตามด้วยอักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างทางสถิติในระดับ 0.05 จากการเปรียบเทียบโดยวิธี Duncan’s New Multiple Range Test (DMRT)

2/ = กรรมวิธีดั้งเดิมของเกษตรกรที่มีการฉีดพ่นสารเคมีอิมิดาคลอพริดร่วมกับฟอสอีทิลอะลูมินัม

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

1. การปลูกมันสำปะหลังพันธุ์ต่างกันมีผลให้การเจริญเติบโตด้านความสูง ดัชนีการเกิดโรคใบด่างและโคนเน่าหัวเน่า รวมถึงให้ผลผลิตที่แตกต่างกัน โดยมันสำปะหลังพันธุ์ พิรุณ 6 มีดัชนีการเกิดโรคใบด่างและโคนเน่าหัวเน่าที่อายุ 8 เดือนต่ำที่สุด เท่ากับ 3.17 และ 24.00% ในขณะที่มันสำปะหลังพันธุ์ CMR 89 มีดัชนีการเกิดโรคใบด่างและโคนเน่าหัวเน่าที่สูงกว่าพันธุ์ พิรุณ 6 เล็กน้อย แต่สามารถให้ผลผลิต ได้แก่ จำนวนหัวต่อต้น น้ำหนักหัวสด และผลผลิตแป้งได้สูงที่สุด เท่ากับ 10.57 หัว 7.71 และ 2.36 ตัน/ไร่

2. การฉีดพ่นนาโนอิลิซิเตอร์ในแต่ละกรรมวิธีทดลอง มีผลให้การเจริญเติบโตด้านความสูง ดัชนีการเกิดโรคใบด่างและโคนเน่าหัวเน่า รวมถึงให้ผลผลิตที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยนาโนอิลิซิเตอร์สูตรที่ 2 ให้ค่าเฉลี่ยความสูงของมันสำปะหลังที่อายุ 8 เดือน จำนวนหัวต่อต้น และน้ำหนักหัวสูงที่สุด ส่งผลให้มีผลผลิตแป้งสูงตามไปด้วย ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.84 เซนติเมตร 11.22 หัว 8.01 และ 2.42 ตัน/ไร่ ตามลำดับ จากการเจริญเติบโตที่เพิ่มขึ้น แสดงถึงบทบาทของนาโนอิลิซิเตอร์ซึ่งเป็นสารที่ชักนำให้พืชเกิดการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา สัณฐานวิทยา รวมถึงการแสดงออกของยีน นาโนอิลิซิเตอร์สามารถกระตุ้นให้พืชสร้างหรือยับยั้งการสร้างสารบางอย่างเพื่อช่วยในการปรับตัวต่อความเครียดจากสภาพแวดล้อมได้ดีขึ้น เช่น การยับยั้งการผลิต 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid (ACC) และ 2-chloroethylphosphonic acid (CEPA) ซึ่งเป็นสารตั้งต้นในการผลิตเอธิลีนที่เป็นฮอร์โมนยับยั้งการเติบโตของพืชให้มีปริมาณลดลง พืชจึงเจริญเติบโตได้อย่างเต็มที่ (Syu et al., 2014; Fincheira et al., 2019; Saha and Gupta , 2018) และส่งผลให้มีผลผลิตที่เพิ่มขึ้นตามไปด้วย ซึ่งสอดคล้องกับการทดลอง El-Shazly และคณะ (2017) ที่ได้รายงานว่าการใช้อนุภาคซิลเวอร์นาโนที่ความเข้มข้น 0.1 μg/μL ทำให้ค่าเฉลี่ยของจำนวนหัวต่อต้น นำหนักผลผลิต เส้นผ่านศูนย์กลางหัว ความยาวหัว และปริมาแป้งในมันฝรั่งเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับต้นมันฝรั่งสุขภาพดีที่ไม่ได้ฉีดพ่นสารใดๆ เช่นเดียวกันกับ Razzaq และคณะ (2016) ที่ได้รายงานว่าการใช้อนุภาคซิลเวอร์นาโนที่ความเข้มข้น 25 และ 50 ppm ส่งผลให้ข้าวสาลีมีผลผลิตเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีควบคุม รวมทั้ง Sheykhbaglou และคณะ (2010) รายงานว่าการใช้อนุภาคซิลเวอร์นาโน 0.75 กรัมต่อลิตร กับต้นถั่วเหลือง ส่งผลให้ต้นถั่วเหลืองมีผลผลิตเมล็ดถั่วเหลืองที่เพิ่มขึ้น 48% นอกจากนี้ การทดลอง พบว่า การฉีดพ่นด้วยนาโนอิลิซิเตอร์สูตรที่ 1 สูตรที่ 2 และ นาโนซิงค์ออกไซด์® สามารถลดการเกิดโรคใบด่างที่อายุ 2, 4 และ 8 เดือน ได้อย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีควบคุมและให้ผลไม่แตกต่างกันจากกรรมวิธีดั้งเดิมของเกษตรกรที่มีการใช้สารเคมีเพื่อควบคุมโรคและแมลง โดยการฉีดพ่นด้วยนาโนอิลิซิเตอร์สูตรที่ 1 ทำให้ดัชนีการเกิดโรคใบด่างที่อายุ 4 และ 8 เดือน ต่ำที่สุด เท่ากับ 5.00 และ 6.67%

ตามลำดับ แสดงถึงประสิทธิภาพของนาโนอิลิซิเตอร์ที่สามารถช่วยยับยั้งการเพิ่มจำนวนของเชื้อไวรัสในพืชได้โดยตรง ซึ่งงานวิจัยของ Jain และ Kothari (2014) ได้มีการยืนยันว่า อนุภาคซิลเวอร์นาโนสามารถจับกับตัวอนุภาคไวรัส Sunhemp Rosette Virus (SHRV) และยับยั้งการจำลองตัวเองของไวรัสในต้นกัวร์ได้อย่างสมบูรณ์ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Elbeshehy และคณะ (2015) ที่พบว่า อนุภาคซิลเวอร์นาโนสามารถลดความเข้มข้นของอนุภาคไวรัส Bean Yellow Mosaic Virus (BYMV) ในถั่วปากอ้าลงได้ ทำให้เปอร์เซ็นต์การติดเชื้อและความรุนแรงของโรคบนใบที่ติดเชื้อลดลง นอกจากการยับยั้งการเพิ่มจำนวนของไวรัสได้โดยตรงแล้ว อนุภาคซิลเวอร์นาโนยังเป็นตัวกระตุ้นภูมิคุ้มกันพืชให้ต้านทานต่อการเข้าทำลายจากเชื้อก่อโรคได้ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองที่พบว่าการฉีดพ่นด้วยโนอิลิซิเตอร์สูตรที่ 2 มีผลทำให้ดัชนีการเกิดโรคโคนเน่าหัวเน่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ และมีความรุนแรงไม่แตกต่างกันกับกรรมวิธีที่ใช้นาโนซิงค์ออกไซด์® และกรรมวิธีที่ฉีดพ่นด้วยโนอิลิซิเตอร์สูตรที่ 2 เท่ากับ 25.56, 26.11 และ 28.33% ตามลำดับ โดยนาโนอิลิซิเตอร์จะมีผลต่อการขับเคลื่อนกิจกรรมภายในพืช และกระตุ้นให้พืชสร้างสารสารเมแทบอไลต์ทุติยภูมิ (Secondary metabolite) บางอย่าง เช่น salicylic acid (SA) ซึ่งเป็นตัวส่งสัญญาณกระตุ้นการตอบสนองการป้องกันตัวเองของพืชจากเชื้อสาเหตุโรค หรือแมลงศัตรูพืชบางชนิด และการปรับตัวให้ทนกับสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม (Shulaev et al., 2008; Zhang et al., 2018) นอกจากนี้ยังพบว่าอนุภาคนาโนอิลิซิเตอร์สามารถสังเคราะห์สารเมแทบอลิซึมบางอย่างออกมาเพื่อสังเคราะห์สารประกอบอินทรีย์บางชนิดขึ้นมาป้องกันการเข้าทำลายของโรค เช่น มีการสะสมลิกนินที่เพิ่มขึ้น เพื่อลดการเข้าทำลายของเชื้อก่อโรค (Danish et al., 2021)

3. เมื่อพิจารณาการปลูกมันสำปะหลังร่วมกับการฉีดพ่นโนอิลิซิเตอร์ พบว่า มีผลให้การเจริญเติบโตด้านความสูง ดัชนีการเกิดโรคใบด่างและโคนเน่าหัวเน่า รวมถึงให้ผลผลิตแป้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ไม่มีผลทำให้เปอร์เซ็นต์แป้งแตกต่างกัน การปลูกมันสำปะหลังพันธุ์ CMR 89 สามารถตอบสนองต่อการฉีดพ่นด้วยโนอิลิซิเตอร์สูตรที่ 2 ได้ดีที่สุด ซึ่งให้น้ำหนักหัวสดและผลผลิตแป้งสูงที่สุด เท่ากับ 9.94 และ 3.02 ตัน/ไร่ ตามลำดับ และมีระดับการเกิดโรคใบด่างและโคนเน่าหัวเน่าที่รุนแรงต่ำกว่าการไม่ฉีดพ่นสารใดๆ (กรรมวิธีควบคุม) กล่าวได้ว่าอนุภาคนาโนอิลิซิเตอร์สามารถช่วยให้พืชมีผลผลิตที่เพิ่มขึ้น โดยการชักนำให้พืชเกิดการต้านทานต่อการเข้าทำลายของเชื้อก่อโรค ลดความเสียหาย และทำให้พืชสามารถเจริญเติบโตและให้ผลผลิตได้อย่างเต็มที่

4. การศึกษาวิจัยครั้งนี้สามารถสรุปได้ว่ามันสำปะหลังหลังทั้ง 3 พันธุ์ มีความต้านทานต่อโรคใบด่างและโคนเน่าหัวเน่าที่แตกต่างกัน โดยมันสำปะหลังพันธุ์พิรุณ 6 มีความต้านทานต่อโรคใบด่างและโคนเน่าหัวเน่าที่อายุ 8 เดือนได้ดีกว่าพันธุ์ ซีเอ็มอาร์ 89 และระยอง 72 โดยในพื้นที่ที่มีการระบาดของโรค แนะนำให้ปลูกมันสำปะหลังพันธุ์ พิรุณ 6 และ ระยอง 72 เนื่องจากมีความต้านทานโรคได้ดี ความเสียหายของผลผลิตจะไม่สูงมากเมื่อโรคเข้าทำลาย

ในขณะที่พันธุ์ ซีเอ็มอาร์ 89 ซึ่งเป็นพันธุ์ที่ให้น้ำหนักหัวสด และผลผลิตแป้งสูงแต่ค่อนข้างอ่อนแอต่อโรค จะเหมาะในพื้นที่ปลูกที่ไม่เสี่ยงต่อการเกิดโรค เนื่องจากจะสามารถเจริญเติบโตได้อย่างเต็มที่และให้ผลผลิตได้สูง และเมื่อพิจารณาการฉีดพ่นด้วยนาโนอิลิซิเตอร์ พบว่า มันสำปะหลังมีการเจริญเติบโตที่เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีควบคุม และสามารถช่วยลดการเกิดโรคใบด่างและโคนเน่าหัวเน่าได้ ส่งผลให้มันสำปะหลังมีผลผลิตเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามการประเมินพันธุ์มันสำปะหลังต้านทานโรคใบด่างและโรคโคนเน่าหัวเน่าร่วมกับการฉีดพ่นนาโนอิลิซิเตอร์ทางชีวภาพในระดับแปลงทดลอง ยังต้องมีการทดสอบและประเมินในหลายๆ พื้นที่ เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของพันธุ์มันสำปะหลังในการตอบสนองต่อนาโนอิลิซิเตอร์ ภายใต้สภาพพื้นที่ปลูกและสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน

บรรณานุกรม

กรมส่งเสริมการเกษตร. 2563. มหันตภัยโรคใบด่างมันสำปะหลัง. [ออนไลน์]. ที่มา: https://ssnet.doae.go.th/wp-content/uploads/2019/08/โปสเตอร์-A1-รณรงค์กำจัดใบด่าง-1.pdf

กรมวิชาการเกษตร. 2562. แผ่นพับที่ 2 เรื่อง โรคใบด่างมันสำปะหลัง. [ออนไลน์]. ที่มา: https://esc.doae.go.th/cassava_mosaic_disease/

กานต์พิมล กรไกร และรินา ภัทรามานนท์. 2560. อนุภาคเงินนาโนสังเคราะห์ด้วยสารสกัดจากพืชและความสามารถในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์. วารสารวิทยาศาสตร์. มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ปีที่ 45 เล่มที่ 1.

กลุ่มอนุรักษ์น้ำและดิน. (2545). มันสำปะหลังในเอกสารวิชาการมันสำปะหลัง. สำนักวิจัยและพัฒนาการจัดการที่ดิน.กรมพัฒนาที่ดิน.กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 1001: 46.01.

คิดค้า. (2564). วิเคราะห์สถานการณ์โรคใบด่างมันสำปะหลัง. สืบค้นเมื่อ 23 กุมภาพันธ์ 2566. [ออนไลน์]. ที่มา: https://xn--42ca1c5gh2k.com/14237-2/?doing_wp_cron=1677137220.4752309322357177734375

ณยา วงษ์พูน, ใจพร พุ่มคำ และ ศิรศักดิ์ เทพาคำ. 2557. ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับนาโนเทคโนโลยี. วารสารอาหารและยา. [ออนไลน์]. ที่มา: file:///C:/Users/User/Downloads/fdajournal,+Journal+ editor,+A22.57.pdf

พรปวีณ์ ธิวัฒน์วรานิกุล, ภานุวัฒน์ มูลจันทะ, วรรณวิไล อินทนู และ จินตนา อันอาตม์งาม. (2562). การจำแนกชนิดและทดสอบการก่อโรคของเชื้อราสาเหตุโรคหัวและลำต้นเน่ามันสำปะหลัง. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า. 37(2): 239-249.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. (มมป). พันธุ์มันสำปะหลังและการเตรียมท่อนพันธุ์มันสำปะหลัง. [ออนไลน์]. ที่มา: http://web.sut.ac.th/cassava/UserFiles/File/plant.pdf

รังษี เจริญสถาพร และ อมรรัชฎ์ คิดใจเดียว. 2553. โรคแอนแทรคโนสมันสำปะหลังและแนวทางการป้องกันกำจัด. สถาบันวิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร. [ออนไลน์]. ที่มา: http://soclaimon.wordpress.com/2010/06/11.

รวีวรรณ เชื้อกิตติศักดิ์. มมป. ระบบการผลิตมันสำปะหลังกับปัญหาเพลี้ยแป้ง (ลักษณะพันธุ์ การปลูก). ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรสุโขทัย. [ออนไลน์]. ที่มา: http://wachirabarami.phichit.doae.go.th/pdf/Cassava04.pdf

ศิริพรรณ สุขขัง. 2560. การควบคุมศัตรูพืชโดยชีววิธี. ศูนย์ปฏิบัติการวิจัยและเรือนปลูกพืชทดลอง คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน. [ออนไลน์]. ที่มา: http://biology.ipst.ac.th/?p=3341

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2564. เนื้อที่เพาะปลูก เนื้อที่เก็บเกี่ยว ผลผลิต และผลผลิตต่อไร่ ระดับประเทศ ภาค จังหวัด และอำเภอ ปี 2563 และ 2564. [ออนไลน์]. ที่มา: https://www.oae.go.th/view/1/ตารางแสดงรายละเอียดมันสำปะหลัง/TH-TH

สมาคมแป้งมันสำปะหลังไทย. 2561. ข้อมูลโรคใบด่างมันสำปะหลัง (CMD). [ออนไลน์]. ที่มา: http://www.thaitapiocastarch.org/th/information/learning_industry/downloads/385/CMD%20All%20Information

โสภณ วงศ์แก้ว. 2560. ไวรัสใบด่างของมันสำปะหลัง: วายร้ายเอกระดับโลก. [ออนไลน์]. ที่มา: http://www.thaitapiocastarch.org/pdf/cmd/Article-CMD-2.pdf

สุทธิสา ดัชนีย์. 2558. การระบุเชื้อราสาเหตุโรคต้นและรากเน่าดำของมันสำปะหลัง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. สาขาวิชาพืชศาสตร์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

อรุณี วงษ์กอบรัษฎ์. 2547. โรค แมลง และ ศัตรูของมันสำปะหลัง. ในเอกสารวิชาการมันสำปะหลัง กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 210 หน้า

วันวิสา ศิริวรรณ์, นวลนภา เหมเนียม, จุฑาทิพย์ ถวิลอำพันธ์, สุกัญญา ฤกษ์วรรณ, กิ่งกาญจน์ เสาร์คำ, ศิริกาญจน์ หรรษาวัฒนกุล, ปภาวี พลีพรหม และ เฉลิมพล ภูมิไชย์. (2563). การศึกษาอัตราการเกิดโรคใบด่างมันสำปะหลังในท่อนพันธุ์สะอาด. ว. วิทย. กษ. 51(2): 181–191

ปภาวี ไชยานุกูลกิตติ. 2565. ผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง. สำนักส่งเสริมการค้าสินค้าเกษตรและอุตสาหกรรม. [ออนไลน์]. ที่มา: https://www.ditp.go.th/contents_attach/789552/789552.pdf

Amer, A. (2019). Biotechnology approaches for in vitro production of flavonoids. J Microbiol Biotech Food Sci / Alia Amer 2018. 7(5): 457–468.

Abd-Rabou, S., andSimmons, A. M. (2010). Survey of reproductive host plants of Bemisia tabaci (Hemiptera: Aleyrodidae) in Egypt, including new host records. Entomological News. 121(5): 456-465.

Alvarez, R. and Steinbach, H.S. (2009) A Review of the Effects of Tillage Systems on Some Soil Physical Properties, Water Content, Nitrate Availability and Crops Yield in the Argentine Pampas. Soil & Tillage Research, 104, 1-15.

Boxi, S.S., Mukherjee, K., Paria, S. (2016). Ag doped hollow TiO2nanoparticles as an effective green fungicide against *Fusarium solani* and *Venturia inaequalisphytopathogens*. Nanotechnology. 27(3), 42-51.

Benítez, T., Rincon, A. M., Carmenlimon, M. and Condon, A.C. (2004). Biocontrol mechanisms of Trichoderma strains. International Microbiology. 7: 249-260.

Danish, M., Altaf, M., Robab, M. I., Shahid, M., Manoharadas, S., Hussain, S. A. and Shaikh, H. (2021). Green Synthesized Silver Nanoparticles Mitigate Biotic Stress Induced by Meloidogyne incognita in Trachyspermum ammi (L.) by Improving Growth, Biochemical, and Antioxidant Enzyme Activities. ACS Omega. 6(17):11389–11403.

Duchanee, S., Sangpueak, R. and Buensanteai, N. (2015a). Molecular identification of the causal agent associated with cassava stem and root black rot disease in Thailand. The 2015 International Forum – Agriculture Biology and Life Science (IFABL). 23-25 June 2015. Sapporo. Japan. 105.

Duchanee, S., Sangpueak, R., Sompong, M., Wongkeaw, S. and Buensanteai, N. (2015b). Molecular characterization of Lasiodiplodia theobromae causing cassava stem and root black rot disease in Thailand. SUT 3th International Colloquium, 14 - 15 September 2015. School of animal production technology. IAT. SUT. Thailand.

El-Shazly, M.A., Attia, Y.A., Kabil, F.F., Anis, E., Hazman, M. (2017). Inhibitory Effects of Salicylic Acid and Silver Nanoparticles on Potato Virus Y-Infected Potato Plants in Egypt. Middle East Journal of Agriculture Research. 6(3): 835–848.

Elbeshehy, E. K. F., Elazzazy, A. M. andAggelis, G. (2015). Silver nanoparticles synthesis mediated by new isolates of Bacillus spp., nanoparticle characterization and their activity against Bean Yellow Mosaic Virus and human pathogens. Frontiers in Microbiology. 6(453): 1-13.

Emmanuel, M. (2007). Guide to identification and control of cassava diseases. CSIR-Crops Research Institute, Kumasi Ghana. 41 p.

Houngue, J. A., Zandjanakou-Tachin, M., Ngalle, H. B., Pita, J. S., Cacaï, G. H. T., Ngatat, S. E., Bell, J.M. and Ahanhanzo, C. (2019). Evaluation of resistance to cassava mosaic disease in selected African cassava cultivars using combined molecular and greenhouse grafting tools. Physiological and molecular plant pathology. 105: 47-53.

Fincheira, P., Tortella, G.R., Duran, N. and Seabra, A.B. (2019). Current applications of nanotechnology to develop plant growth inducer agents as an innovation strategy. Critical Reviews in Biotechnology. 40(1): 1-16.

Gruyer, N., Dorais, M., Bastien, C., Dassylva, N. and G. Triffault-Bouchet. (2013). Interaction between Silver Nanoparticles and Plant Growth.International Society for Horticultural Science. 795-800.

Hassan, O. and Chang, T. (2022). Morphological and Molecular Characteristics of Fungal Species Associated with Crown Rot of Strawberry in South Korea. Molecular Biology Reports. 49: 51–62.

Harveson, R. M., Smith, J. A., and Stroup, W. W. (2005). Improving root health and yield of drybeans in the Nebraska Panhandle with a new technique for reducing soil compaction. Plant Disease. 89:279-284.

Hahn, S., Terry, E., and Leuschner, K. (1980). Breeding cassava for resistance to cassava mosaic disease. Euphytica. 29(3): 673-683.

Jain, D. and SL Kothari. (2014). Green Synthesis of Silver Nanoparticles and their Application in Plant Virus Inhibition. Journal of mycology and plant pathology. 44(1): 21-14.

Krishnakumar, S. & Bai, V.D.M. (2015). Extracellular biosynthesis of silver nanoparticles using terrestrial Streptomyces sp-SBU3 and its antimicrobial efficiency against plant pathogens. International Journal of Technochem Research. 1(2): 112-118.

Laware, S.L.and Shilpa, R. (2014). Influence of Zinc Oxide Nanoparticles on growth, Flowering and Seed Productivity in Onion. International Journal of Current Microbiology and Applied Science. 3(7): 874-881.

Mervat Sh Sadak. (2019). Impact of silver nanoparticles on plant growth, some biochemical aspects, and yield of fenugreek plant (Trigonella foenum-graecum). Bulletin of the National Research Centre. 43:38.

Mahdizadeh, V., Safaie, N. and Khelghatibana, F. (2015). Evaluation of antifungal activity of silver nanoparticles against some phytopathogenic fungi and *Trichoderma harzianum*. Journal of Crop Protection. 4(3): 291-300.

Maciel, C. G., Muniz, M. F. B., Mezzomo, R. and Reiniger, L. R. S. (2015). Lasiodiplodia theobromae associated with seeds of Pinus spp. originated from the northwest of Rio Grande do Sul, Brazil. Scientia Forestalis/Forest Sciences. 43(107): 639-646.

Machado, A.R., Pinho, D.B., Oliveira, S.A.S. and Pereira, O.L. (2014). New occurrences of Botryosphaeriaceae causing black root rot of cassava in Brazil. Tropical Plant Pathology. 39(6): 464-470.

Muniz, M. de F.S., Andrade, F.W.R. de, Queiroz, F.M., FILHO, G. M. and Menezes, M. (2006). Caracterização de isolados de Phytophthora drechsleri, agente causal da podridão mole de raízes de mandioca. Tropical Plant Pathology. 31:195-198.

Maria de Fátima S. MunizFlávia Waleska R. de AndradeFátima M. QueirozGilson Moura FilhoMaria Menezes. (2005). Characterization of Phytophthora drechsleri, the causal agent of cassava soft root rot. Fitopatologia Brasileira. 31(2): 195-198.

Msikita, W., Bissang. B., James, B.D., Baimey, H., Wilkinson, H.T., Ahounou, M. and Fagbemisi, R. (2005). Prevalence and severity of Nattrassia mangiferae root and stem rot pathogen of cassava in Benin. Plant Disease. 89:12–16.

Msikita, W., B. James, M. Ahounou, H. Baimey, B.G. Facho & R. Fagbemisi. (1998). Discoveries of new diseases of cassava in West Africa. Tropical Agriculture. 75: 58–63.

Oliveira, E. J. de., Oliveira, S. A. S. de., Boas, S. A. Vi., Hohenfeld, C. S., Santos, V. da S. (2017). Selection of cassava accessions with multiple resistance to pathogens associated with root rot disease. Euphytica. 213:185.

Onyeka, T.J., E.J.A. Ekpo & A.G.O. Dixon. 2004. Cassava root rot disease in West Africa: Review of recent literature and the field situation in Nigeria. In: M.O. Akoroda (Ed.), The small processor and development of local food industries for market economy. Proceedings of the 8th Symposium of the International Society for Tropical Root Crops-Africa Branch (ISTRC-AB), 12–16 November 2001, International Institute of Tropical Agriculture (IITA), Ibadan, Nigeria, pp. 584–588.

Onyeka, T. J. 2002. Cassava root rot fungi in Nigeria: Variability in Botryodiplodia theobromae isolates and evaluation of cassava germplasm for root rot resistance. Ph.D. thesis. University of Ibadan, Nigeria.

Prasad, R. R. and Alungo, B. (2021). Prevalence and Incidence of Cassava (Manihot esculenta) Brown Leaf Spot Disease Caused by Cercospora heningsii in Macuata Province, Journal of Plant Pathology & Microbiology. 12 (5): 1-4.

Pei, Y. L., Shi, T., Li, C.P., Liu, X. B., Cai, J.M. and G X Huang. (2014). Distribution and pathogen identification of cassava brown leaf spot in China. Genetics and Molecular Research. 13(2): 3461-3473.

Rey, C., and Vanderschuren, H. (2017). Cassava mosaic and brown streak diseases: currentperspectives and beyond. Annual Review of Virology. 4:429-452.

Razzaq, A., Ammara, R., Jhanzab, H.M., Mahmood, T., Hafeez, A. and Hussain, S. (2016). Anoval nanomaterial to enhance growth and yield of wheat. Journal of Nanoscience and Nanotechnology. 2(1): 55–58.

Sangpueak, R., Saengchan, C., Laemchiab, K., Kiddeejing, D., Siriwong, S., Thumanu, K., Hoang, N.H., Phansak, P. and Buensanteai, K. (2022). Flour on Gluten-Free Muffins from Different Edible Cassava Varieties in Thailand. Foods. 11, 4053S.

Saengchan, C., Sangpueak, R., Thanh, T. L., Phansak, P. and Buensanteai, N. (2022). Induced resistance against Fusarium solani root rot disease in cassava plant (Manihot esculenta Crantz) promoted by salicylic acid and Bacillus subtilis. soil & plant science. 72(1): 516-526.

Saha, N. and Gupta, S.D. (2018). Promotion of shoot regeneration of Swertia chirata by biosynthesized silver nanoparticles and their involvement in ethylene interceptions and activation of antioxidant activity. Plant Cell Tissue Organ Culture. 134: 289–300.

Syu, Y.Y., Hung, J.H., Chen, J.C. and Chuang, H.W. (2014). Impacts of size and shape of silver nanoparticles on Arabidopsis plant growth and gene expression. Plant Physiol Biochem. 83:57–64.

Sheykhbaglou, R., Sedghi, M., Shishevan, M.T. and Sharifi, R.S. (2010). Effect of nano-iron oxide particles on agronomic traits of soybean. Notulae Scientia Biologicae. 2:112-113.

Shulaev, V., Cortes, D. Miller, G. and Mittler, R. (2008). Metabolomics for plant stress response. Plant Physiology. 132: 199–208.

Sseruwagi, P., W.S. Sserubombwe, J.P. Legg, J. Ndunguru and J.M. Thresh. (2004). Methods of surveying the incidence and severity of cassava mosaic disease and whitefly vector populations on cassava in Africa: a review. Virus Research. 100: 129–142.

Tokunaga, H., Baba, T., Ishitani, M., Ito, K., Kim, O., Ham, L. H., Le, H. K., Maejima, K., Namba, S., Natsuaki, K. T., Dong, N. V., Nguyen, H.H., Nguyen, N. C., Vu, N. A., Nomura, H., Seki, M., Srean, P., Tanaka, H., Touch, B., Trinh, H. X., Ugaki, M., Uke, A., Utsumi, Y., Wongtiem, P. and Takasu, K. 2018. Sustainable Management of Invasive Cassava Pests in Vietnam, Cambodia, and Thailand: Application of Cutting-edge Science and Technology in Developing Countries. Crop Production under Stressful Conditions 131-156 DOI: 10.1007/978-981-10-7308-3_12 Chapter 8.

Taylor, R.K., Griffin, R.L., Jones, L.M., Pease B., Tsatsia, F., Fanai, C., Macfarlane, B., Dale, C. J. and R. I. Davis. (2017). First record of Xanthomonas axonopodis pv. manihotis in Solomon Islands. Australasian Plant Disease Notes. 12(49): 1-4.

Wang. X. P., Q. Q. Li, Z. M. Pei & S. C. Wang. (2018). Effects of zinc oxide nanoparticles on the growth, photosynthetic traits, and antioxidative enzymes in tomato plants. Biologia Plantarum. 62, 801–808.

Wang, J. C., Neogi, P., and Forciniti, D. (2006). On one- dimensional self- assembly of surfactant-coated nanoparticles. The Journal of Chemical Physics. 125(19): 194717-6.

Zhang, H., Du, W., Peralta-Videa, J. R., Gardea-Torresdey, J. L., White, J. C., Keller, A., Guo, H., Ji, R. and Zhao, L. (2018). Metabolomics Reveals How Cucumber (Cucumis sativus) Reprograms Metabolites to Cope with Silver Ions and Silver Nanoparticle-Induced Oxidative Stress. Environmental Science & Technology. 52: 8016–8026.

ภาคผนวก

1. อาหารเลี้ยงเชื้อรา

2.1 Potato Dextrose Agar (PDA)

มันฝรั่ง	200	กรัม
Dextrose หรือ Glucose	20	กรัม
ผงวุ้น (Agar)	18	กรัม
น้ำกลั่นหรือน้ำกรอง	1,000	มิลลิลิตร

หั่นมันฝรั่งที่ปอกเปลือกแล้วเป็นชิ้นขนาดประมาณ 1 ลบ.ซม. นำมาต้มกับน้ำ 500 มิลลิลิตร จนสุก กรองเอาเฉพาะน้ำ แล้วเติม dextrose หรือ Glucose ลงไป ต้มผงวุ้นให้ละลายเป็นเนื้อเดียวกันด้วยน้ำส่วนที่เหลือ หลังจากนั้นนำทั้งสองส่วนเทรวมกัน และปรับปริมาตรให้เป็น 1,000 มิลลิลิตร คนให้เข้ากัน แล้วแบ่งใส่ขวดแก้วใสเพื่อนึ่งฆ่าเชื้อภายใต้ความดัน 15 ปอนด์/ตารางนิ้ว หรืออุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 15-20 นาที

2.2 Potato Dextrose Broth (PDB)

มันฝรั่ง	200	กรัม
Dextrose หรือ Glucose	20	กรัม
น้ำกลั่นหรือน้ำกรอง	1,000	มิลลิลิตร

หั่นมันฝรั่งที่ปอกเปลือกแล้วเป็นชิ้นขนาดประมาณ 1 ลบ.ซม. นำมาต้มกับน้ำ 500 มิลลิลิตร จนสุก กรองเอาเฉพาะน้ำ แล้วเติม dextrose หรือ Glucose ลงไป ปรับปริมาตรให้เป็น 1,000 มิลลิลิตร คนให้เข้ากันแล้วแบ่งใส่ขวดแก้วใสเพื่อนึ่งฆ่าเชื้อภายใต้ความดัน 15 ปอนด์/ตารางนิ้ว หรืออุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 15-20 นาที

ประวัติผู้วิจัย

นางสาวกำไร เบือนสันเทียะ เกิดวันที่ 7 กรกฎาคม พ.ศ. 2523 ที่อำเภอเสิงสาง จังหวัดนครราชสีมา สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้น และมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนครบุรี อ. ครบุรี จ. นครราชสีมา เริ่มเข้าศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในปีการศึกษา 2542 ขณะที่ศึกษาในระดับปริญญาตรี ได้ศึกษาการตรวจสอบโปรตีนโดยศึกษาและตรวจหาการสะสมโพลีฟีนอลออกซิเดซในเนื้อเยื่อต่าง ๆ ของมะเขือเทศ และจากนั้นจึงมีความสนใจนำเทคนิคทางเซรุ่มวิทยาและชีวโมเลกุลมาใช้ในการตรวจสอบและวินิจฉัยโรคพืช ภายหลังสำเร็จการศึกษาในระดับปริญญาตรีในปีการศึกษา 2/2545 ได้เข้าศึกษาต่อในระดับมหาบัณฑิตศึกษา สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีในปีการศึกษา 3/2545 และสำเร็จการศึกษาระดับมหาบัณฑิตศึกษา ในปีการศึกษา 2547 ภายหลังสำเร็จการศึกษาในระดับมหาบัณฑิตศึกษา ได้เข้าศึกษาต่อในระดับดุษฎีบัณฑิต ในหลักสูตร ปร.ด. (โรคพืช) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และสำเร็จการศึกษาในปีการศึกษา 2550 และเข้าทำงานในปี พ.ศ. 2553 เป็นอาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีจนถึงปัจจุบัน