รหัสโครงการ SUT3-302-62-12-04

รายงานการวิจัย

ระบบการจัดการโรคมันสำปะหลังในระบบอินทรีย์
(Plant disease controlling system in organic cassava production)

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

รหัสโครงการ SUT3-302-62-12-04

รายงานการวิจัย

ระบบการจัดการโรคมันสำปะหลังในระบบอินทรีย์
(Plant disease controlling system in organic cassava production)

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐธิญา เบือนสันเทียะ

สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช

สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผู้ร่วมวิจัย

1. ดร.สุพัชรี ศิริวงศ์
2. นางสาวรุ่งทิพย์ สังข์เผือก
3. นางสาวกานต์สินี แหลมเฉียบ

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2562

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

พฤศจิกายน 2562

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบุคคลและกลุ่มบุคคลต่าง ๆ ที่ ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำและให้ความช่วยเหลือทางด้านวิชาการ และการดำเนินงานวิจัยเป็นอย่างดี อันได้แก่

ดร.สุพัชรี ศิริวงศ์ ผู้ร่วมโครงการวิจัย ที่ร่วมวิจัย คอยดูแลและให้คำแนะนำ ตรวจสอบ ติดตามงานอย่างสม่ำเสมอ

นางสาวรุ่งทิพย์ สังข์เผือก ผู้ร่วมโครงการวิจัย ที่ร่วมวิจัย ดูแลและติดตามงาน และช่วยตรวจแก้ไขโครงการวิจัยจนเสร็จสมบูรณ์

นางสาวกานต์สินี แหลมเฉียบ ผู้ร่วมโครงการวิจัย ที่ร่วมวิจัย อำนวยความสะดวก ติดต่อประสานงานอย่างเต็มความสามารถ และช่วยให้งานสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้การสนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัย

ขอขอบคุณ คุณกิตติมา ชาญกิจโกศล เจ้าหน้าที่บริหารงานทั่วไป ที่ให้ความช่วยเหลือด้าน การประสานงาน และเตรียมเอกสารต่าง ๆ

ขอขอบพระคุณ คุณเอกวัฒน์ ธาราพฤษพงศ์ คุณอรทัย นาชิน และคุณณัฐพล ประเสริฐเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการกีฏวิทยาและโรคพืช ที่ให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์วิทยาศาสตร์ และคอยอำนวยความสะดวกในทุก ๆ ด้าน

ขอขอบพระคุณ คุณศุภกาญจน์ บุญอยู่ เจ้าหน้าที่บริหารงานทั่วไป ที่ให้ความช่วยเหลือด้าน การประสานงาน และเตรียมเอกสารต่าง ๆ

ณัฐธิญา เบือนสันเทียะ
หัวหน้าโครงการวิจัย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทคัดย่อ

มันสำปะหลังเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งของประเทศไทย การทดลองนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาแนวทางในการจัดการระบบการปลูกมันสำปะหลังอินทรีย์ในพื้นที่ปลูกสำคัญ โดยทำการปลูกทดสอบทั้งหมดสามสายพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ พิรุณ 2, 4 และระยอง 72 ร่วมกับวัสดุปรับปรุงดินเติมแต่งเชื้อจุลินทรีย์ *Bacillus subtilis* สายพันธุ์ CaSUT007 และ CaSUT008-2 ที่อัตราส่วน 1: 3 และ 1: 4 (วัสดุปรับปรุงดิน: ดินทราย) ผลการทดลอง พบว่า หลังการปลูก 30 วัน มันสำปะหลังพันธุ์ ระยอง 72 และพันธุ์ พิรุณ 2 ตอบสนองในลักษณะการเจริญเติบโตได้ดีที่สุด เมื่อปลูกในวัสดุปรับปรุงดินเติมแต่งเชื้อ *B. subtilis* สายพันธุ์ CaSUT007 ในอัตราส่วน 1:3 ส่วนมันสำปะหลัง พันธุ์ พิรุณ 4 มีการเจริญเติบโตได้ดีที่สุด เมื่อปลูกในวัสดุปรับปรุงดินเติมแต่งเชื้อ *B. subtilis* สายพันธุ์ CaSUT008-2 ในอัตราส่วน 1:3 หลังจากนั้นนำใบมันสำปะหลังทั้งสามสายพันธุ์ที่ปลูกในวัสดุปรับปรุงดินที่อัตราส่วน 1:3 มาวิเคราะห์องค์ประกอบทางชีวโมเลกุลโดยเทคนิค Synchrotron FTIR microspectroscopy เปรียบเทียบกับกรรมวิธีควบคุม (ดินทรายไม่ใส่วัสดุปรับปรุงดิน) ผลการทดลองพบว่า มันสำปะหลัง พันธุ์พิรุณ 2 พิรุณ 4 และระยอง 72 ที่ปลูกในวัสดุปรับปรุงดินเติมแต่งเชื้อ *B. subtilis* สายพันธุ์ CaSUT007 และ CaSUT008-2 มีค่าการดูดกลืนแสง (FTIR spectra) ในช่วงของโปรตีน ลิพิด เพคติน และ โพลีแซคคาไรด์ ต่างๆ ที่สูงกว่าชุดควบคุม ยกเว้นพันธุ์พิรุณ 2 ที่มีโพลีแซคคาไรด์ต่ำกว่าชุดควบคุม โดยผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางชีวโมเลกุลมีความสอดคล้องกับข้อมูลการเจริญเติบโตดังข้างต้น ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่า การวิเคราะห์องค์ประกอบทางชีวโมเลกุลโดยเทคนิค Synchrotron FTIR microspectroscopy สามารถแสดงให้เห็นความแตกต่างและการเปลี่ยนแปลงสารชีวโมเลกุลในเนื้อเยื่อพืชได้อย่างแม่นยำ และในการทดลองได้มีการนำ *B. subtilis* ทั้งสองสายพันธุ์มาทำการทดสอบความสามารถในการยับยั้งการเจริญเส้นใยของเชื้อรา *Lasiodiplodia* spp. ซึ่งเป็นราสาเหตุโรคโคนเน่ามันสำปะหลัง พบว่า *B. subtilis* สายพันธุ์ CaSUT007 และ CaSUT008-2 สามารถยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อราสาเหตุโรค ได้ถึงร้อยละ 42.54 และ 48.13 ตามลำดับ นอกจากนี้จากการทดสอบประสิทธิภาพของชีวภัณฑ์และระบบเทคโนโลยีการผลิตมันสำปะหลังอินทรีย์ ณ แปลงทดลองของเกษตรกร โดยใช้พันธุ์พิรุณ 4 วางแผนการทดลอง RCBD จำนวน 4 ซ้ำ และ 3 กรรมวิธีทดลอง คือ กรรมวิธีที่ 1 วิธีการของเกษตรกร กรรมวิธีที่ 2 ไม่ใช้ปัจจัยการผลิต กรรมวิธีที่ 3 เทคโนโลยีการผลิตมันสำปะหลังอินทรีย์ มทส. จากการทดสอบพบว่า เทคโนโลยีการผลิตมันสำปะหลังอินทรีย์ มทส. (กรรมวิธีที่ 3) สามารถเพิ่มผลผลิตได้ทั้งปริมาณและคุณภาพ โดยให้ผลผลิตหัวสด ผลผลิตมันแห้ง และผลผลิตแป้งแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยกรรมวิธีที่ 3 เทคโนโลยีการผลิตมันสำปะหลังอินทรีย์ มทส. ให้ผลผลิตหัวสด และเปอร์เซ็นต์แป้งสูงสุด (6.98 ตัน/ไร่ และ 26.96 % ตามลำดับ) และมีระดับความรุนแรงของโรคต่ำที่สุด (12%) จากการทดสอบข้างต้น ในเชิงการนำไปใช้จริงหรือมีการทดสอบเพิ่มเติม หากใช้วัสดุปรับปรุงดินเติมแต่งเชื้อ *B. subtilis* สองสายพันธุ์ร่วมกันช่วยให้มันสำปะหลังมีการเจริญเติบโตที่ดีขึ้น และสามารถลดการเข้าทำลายของโรคโคนเน่าได้ ซึ่งจะส่งผลให้มันสำปะหลังมีผลผลิตที่เพิ่มขึ้นและลดการสูญเสียได้

Abstract

Cassava is one of the most important economic crops in Thailand. The objective of this study was to study organic cassava planting system in main region of cassava production. Three cassava including cv. Pirun 2, 4 and Rayong 72 were planted with soil amendment added *Bacillus subtilis* strain CaSUT007 and CaSUT008-2 at the ratio of 1: 3 and 1: 4 (soil amendment: sandy soil). The results showed that 30 days after planting, soil amendment added *B. subtilis* strain CaSUT007 ratio 1: 3, Rayong 72 and Pirun 2 varieties has the highest growth, and CaSUT008-2 ratio 1: 3, Pirun 4 has the highest growth. After that, the cassava leaves of three varieties in soil amendment: sandy soil with ratio 1: 3 treatment were used for Fourier transform infrared (FTIR) microspectroscopy analysis to monitor the production of cellular components involved in plant growth and development compared to control methods (Sand soil without soil amendment). The results indicated that cassava cv. Pirun 2, Pirun 4 and Rayong 72 that were grown in soil amendment added CaSUT007 and CaSUT008-2 had absorbance (FTIR spectra) in the range of lipid, protein, pectin and polysaccharides higher than control, except for Pirun 2 which had lower polysaccharides than control. The results are consistent with the growth data. Therefore, Synchrotron FTIR microspectroscopy can be help us to accurately examine the differences and changes in biomolecules in plant tissues. In this experiment, both strains of *B. subtilis* were tested for their ability to inhibit mycelium growth of *Lasiodiplodia* spp., causes of cassava root rot disease. The results showed that *B. subtilis* strains CaSUT007 and CaSUT008-2 were able to inhibit the growth of pathogenic fungal mycelium by 42.54 and 48.13 percent, respectively. In addition, the efficiency of bio-products and systems for organic cassava production technology at farmer's experimental plots by cassava cv. Pirun 4. The experiment consisted of 3 methods and 4 replications in RCBD including 1) farmer's method, 2) not using inputs and 3) systems for organic cassava production technology of SUT. The result revealed that the systems for organic cassava production technology of SUT showed highest in yield and starch amount (6.98 ton/rai, 26.96%, respectively), and had the lowest level of disease severity (12%). From the experiment, in terms of implementation or further testing, two strains of *B. subtilis* may be used combination in soil amendment, it may help the cassava to grow better and can reduce the damage of root rot disease, which increased cassava production and reduce losses.

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ ..... ก
บทคัดย่อภาษาไทย ..... ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ค
สารบัญ ..... ง
สารบัญตาราง ..... ฉ
สารบัญภาพ ..... ช
บทที่ 1 บทนำ
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 1
1.3 ขอบเขตของการวิจัย 2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย 2
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 3
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย
3.1 การจัดหาพื้นที่ต้นแบบที่เหมาะสมสำหรับปลูกมันสำปะหลังอินทรีย์..... 7
3.2 การจัดหาท่อนพันธุ์มันสำปะหลังที่เหมาะสมสำหรับปลูกมันสำปะหลังอินทรีย์..... 7
3.3 การเตรียมวัสดุปรับปรุงดินจากกากมันสำปะหลัง..... 7
3.3.1 การเตรียมหัวเชื้อจุลินทรีย์..... 7
3.3.2 การเตรียมกองวัสดุปรับปรุงดินจากกากมันสำปะหลัง..... 7
3.4 การคัดเลือกสายพันธุ์เชื้อ *B. subtilis* และทดสอบปัจจัยการผลิตสำหรับปลูกมันสำปะหลังอินทรีย์ในระดับโรงเรือนทดลอง..... 9
3.5 การทดสอบเทคโนโลยีการผลิตมันสำปะหลังอินทรีย์..... 11
3.5.1 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ..... 11
3.6 วิเคราะห์องค์ประกอบทางชีวโมเลกุลในใบมันสำปะหลังโดยเทคนิค Synchrotron FTIR microspectroscopy..... 11
3.6.1 เตรียมตัวอย่างใบมันสำปะหลัง..... 11
3.6.2 การตัดตัวอย่างใบมันสำปะหลัง..... 12
3.6.3 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Synchrotron FTIR microspectroscopy..... 12
3.7 การคัดเลือกสายพันธุ์เชื้อ *B. subtilis* ในการยับยั้งเชื้อราสาเหตุโรคโคนเน่าในมันสำปะหลังระดับห้องปฏิบัติการ..... 12

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการวิจัย

1.การคัดเลือกสายพันธุ์เชื้อ *B. subtilis* และทดสอบปัจจัยการผลิตสำหรับปลูกมันสำปะหลังอินทรีย์ในระดับโรงเรือนทดลอง..... 13

2. วิเคราะห์องค์ประกอบทางชีวโมเลกุลในใบมันสำปะหลังโดยเทคนิค Synchrotron FTIR Microspectroscopy..... 15

2.1 วิเคราะห์องค์ประกอบทางชีวโมเลกุลในใบมันสำปะหลังพันธุ์ พิรุณ 2 โดยเทคนิค Synchrotron FTIR microspectroscopy..... 15

2.2 วิเคราะห์องค์ประกอบทางชีวโมเลกุลในใบมันสำปะหลังพันธุ์ พิรุณ 4 โดยเทคนิค Synchrotron FTIR microspectroscopy..... 18

2.3 วิเคราะห์องค์ประกอบทางชีวโมเลกุลในใบมันสำปะหลังพันธุ์ ระยอง 72 โดยเทคนิค Synchrotron FTIR microspectroscopy..... 21

3.การคัดเลือกสายพันธุ์เชื้อ *B. subtilis* ในการยับยั้งเชื้อราสาเหตุโรคโคนเน่าในมันสำปะหลังระดับห้องปฏิบัติการ..... 24

4. การทดสอบเทคโนโลยีการผลิตมันสำปะหลังอินทรีย์..... 25

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

1. การคัดเลือกสายพันธุ์เชื้อ *B. subtilis* และทดสอบปัจจัยการผลิตสำหรับปลูกมันสำปะหลังอินทรีย์ในระดับโรงเรือนทดลอง 26

2. การวิเคราะห์องค์ประกอบทางชีวโมเลกุลในใบมันสำปะหลังโดยเทคนิค Synchrotron FTIR microspectroscopy..... 27

3. การคัดเลือกสายพันธุ์เชื้อ *B. subtilis* ในการยับยั้งเชื้อราสาเหตุโรค. โคนเน่าในมันสำปะหลังระดับห้องปฏิบัติการ..... 27

4. การทดสอบประสิทธิภาพของชีวภัณฑ์และระบบเทคโนโลยีการผลิตมันสำปะหลังอินทรีย์..... 28

รายการอ้างอิง..... 29

ภาคผนวก 33

ประวัติผู้วิจัย 37

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

1	แสดงอัตราส่วนของส่วนผสมวัสดุปรับปรุงดินจากกากมันสำปะหลัง.....	8
2	แสดงผลของอัตราส่วนวัสดุปรับปรุงดินผสมเชื้อจุลินทรีย์ *B. subtilis* ต่อการเจริญเติบโตในลักษณะของจำนวนตา ความสูงต้น จำนวนราก ความยาวราก และจำนวนใบในมันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 72 พิรุณ 2 และ พิรุณ 4.....	14
3	แสดงเปอร์เซ็นต์การยับยั้งของ *B. subtilis* ต่อการเจริญของเส้นใยเชื้อรา *Lasiodiplodia* spp. บนอาหาร PDA หลังจาก 7 วัน.....	24
4	การทดสอบประสิทธิภาพของชีวภัณฑ์และระบบเทคโนโลยีการผลิตมันสำปะหลังอินทรีย์ พันธุ์พิรุณ 4 ณ แปลงทดลองของเกษตรกร จ.นครราชสีมา.....	25

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญภาพ

ภาพที่ **หน้า**

1 แสดงลักษณะท่อนพันธุ์มันสำปะหลัง พันธุ์ระยอง 72 พิรุณ 2 และพิรุณ 4..... 7

2 แสดงการใส่เชื้อจุลินทรีย์ที่ช่วยในการย่อยสลายอินทรียวัตถุ การคลุกวัสดุแต่ละชนิดให้เข้ากัน และการคลุมกองวัสดุเพื่อลดการสูญเสียความชื้นในกอง..... 8

3 แสดงจุลินทรีย์ที่ช่วยในการย่อยสลายและยับยั้งเชื้อสาเหตุโรคในกองวัสดุ ได้แก่ *B. subtilis* สายพันธุ์ CaSUT007, 008-2, D604, 37-5, SUNB 2, *Trichoderma* sp., *Lactobacillus* sp., และ Yeast..... 9

4 แสดงลักษณะของการเก็บข้อมูลความสูงของลำต้นและความยาวรากมันสำปะหลัง..... 10

5 แสดงการนำตัวอย่างใบมันสำปะหลังวางในกระดาษฟรอยด์ที่พับเป็นกระทงแล้วตรึงด้วยสาร OCT และทำให้ตัวอย่างแข็งตัวแช่โดยการแช่ในไนโตรเจนเหลว..... 11

6 แสดงเครื่อง cryosection สำหรับตัดตัวอย่าง และตัวอย่างภาพตัดขวางของใบมันสำปะหลังที่ความหนา 10 ไมครอน..... 12

7 แสดงลักษณะของรากมันสำปะหลังของแต่ละสายพันธุ์ ที่ปลูกในวัสดุปรับปรุงดินที่คลุกด้วยเชื้อ *B. subtilis* สายพันธุ์ CaSUT007 และ CaSUT008-2 ในอัตราส่วน 1:3 และ 1:4 (วัสดุปรับปรุงดิน: ทราย) เปรียบเทียบกับชุดควบคุม..... 13

8 แสดงสเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรด (average secondary derivative FTIR spectrum) ของสารชีวโมเลกุลในเนื้อเยื่อชั้น epidermi และ mesophyll ของใบมันสำปะหลังพันธุ์พิรุณ 2 หลังจากปลูกร่วมกับวัสดุปรับปรุงดินเติมแต่งชีวภัณฑ์ *B. subtilis* สายพันธุ์ CaSUT007, 008-2 และกรรมวิธีควบคุม ณ ช่วงความถี่ 3000-2800 cm^{-1} และช่วง 1800-900 cm^{-1} โดยใช้โปรแกรม UnscramblerX 10.5 16

9 การวิเคราะห์ principle component analysis (PCA) แสดงการแยกกลุ่มของ score และ loading ในเนื้อเยื่อชั้น epidermis และ mesophyll ของใบมันสำปะหลังพันธุ์พิรุณ 2 หลังจากปลูกร่วมกับวัสดุปรับปรุงดินเติมแต่งชีวภัณฑ์ *B. subtilis* สายพันธุ์ CaSUT007, 008-2 และกรรมวิธีควบคุม โดยใช้โปรแกรม UnscramblerX 10.5..... 17

10 แสดงสเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรด (average secondary derivative FTIR spectrum) ของสารชีวโมเลกุลในเนื้อเยื่อชั้น epidermis และ mesophyll ของใบมันสำปะหลังพันธุ์พิรุณ 4 หลังจากปลูกร่วมกับวัสดุปรับปรุงดินเติมแต่งชีวภัณฑ์ *B. subtilis* สายพันธุ์ CaSUT007, 008-2 และกรรมวิธีควบคุม (ณ ช่วงความถี่ 3000-2800 cm^{-1} และช่วง 1800-900 cm^{-1} โดยใช้โปรแกรม UnscramblerX 10.5..... 19

11 การวิเคราะห์ principle component analysis (PCA) แสดงการแยกกลุ่มของ score และ loading ในเนื้อเยื่อชั้น epidermis และ mesophyll ของใบมันสำปะหลังพันธุ์พิรุณ 4 หลังจากปลูกร่วมกับวัสดุปรับปรุงดินเติมแต่งชีวภัณฑ์ *B. subtilis* สายพันธุ์ CaSUT007, 008-2 และกรรมวิธีควบคุม โดยใช้โปรแกรม UnscramblerX 10.5..... 20

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

12 แสดงสเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรด (average secondary derivative FTIR spectrum) ของสารชีวโมเลกุลในเนื้อเยื่อชั้น epidermis และ mesophyll ของใบมันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 72 หลังจากปลูกร่วมกับวัสดุปรับปรุงดินเติมแต่งชีวภัณฑ์ *B. subtilis* สายพันธุ์ CaSUT007, 008-2 และกรรมวิธีควบคุม ณ ช่วงความถี่ 3000-2800 cm^{-1} และช่วง 1800-900 cm^{-1} โดยใช้โปรแกรม UnscramblerX 10.5..... 22

13 การวิเคราะห์ principle component analysis (PCA) แสดงการแยกกลุ่มของ score และ loading ในเนื้อเยื่อชั้น epidermis และ mesophyll ของใบมันสำปะหลังพันธุ์ ระยอง 72 หลังจากปลูกร่วมกับวัสดุปรับปรุงดินเติมแต่งชีวภัณฑ์ *B. subtilis* สายพันธุ์ CaSUT007, 008-2 และกรรมวิธีควบคุม โดยใช้โปรแกรม UnscramblerX 10.5..... 23

14 แสดงการยับยั้งของ *B. subtilis* สายพันธุ์ CaSUT007 และ CaSUT008-2 ต่อการเจริญของเส้นใยเชื้อรา *Lasiodiplodia spp.* และกรรมวิธีควบคุม บนอาหาร PDA ที่อายุ 7 วัน..... 24

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหาการวิจัย

ประเทศไทยมีการปลูกมันสำปะหลังกระจายอยู่ในพื้นที่ 50 จังหวัดทั่วประเทศ ปลูกมากที่สุดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศ โดยมีพื้นที่ปลูกรวมกันประมาณร้อยละ 55.44 ประกอบด้วย 20 จังหวัด ปลูกมากในจังหวัดนครราชสีมา และชัยภูมิ รองลงมาเป็นภาคเหนือมีพื้นที่ปลูกคิดเป็นร้อยละ 22.69 และภาคกลางมีพื้นที่ปลูกคิดเป็นร้อยละ 21.87 (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2562) ปัจจุบันและอีกสิบปีข้างหน้าความต้องการมันสำปะหลังอินทรีย์ชนิด waxy และชนิด starch จะเพิ่มขึ้นอย่างมากทั้งจากบริษัทแป้งมันสำปะหลังรายใหญ่ในประเทศและบริษัทข้ามชาติ เพื่อนำใช้ในการผลิตแป้งชนิดต่าง ๆ ทดแทนแป้งข้าวโพด ซึ่งราคารับซื้อหัวมันสำปะหลังสดจะสูงถึง 3-5 เท่าจากราคาปกติ และราคาแป้งมันสำปะหลังมีราคาสูงกว่าแป้งมันที่ผลิตจากมันสำปะหลังปกติเฉลี่ย 2-3 เท่า อย่างไรก็ตามปัจจุบันผลผลิตและคุณภาพมันสำปะหลังอินทรีย์ในประเทศไทยยังมีไม่เพียงพอ และส่วนใหญ่ยังไม่ได้รับมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ แม้ในปัจจุบันจะมีการขยายพื้นที่มันสำปะหลังพันธุ์ดีสู่เกษตรกรไปมากแล้วก็ตาม สาเหตุหลักเกิดจากดินเสื่อมโทรม เนื่องจากเกษตรกรไม่นิยมปรับปรุงบำรุงดิน และมีการปลูกมันสำปะหลังอย่างต่อเนื่องตลอดทั้งปีทำให้เกิดการแพร่ระบาดของศัตรูมันสำปะหลังรุนแรงขึ้นทุกปี ทำให้เกษตรกรประสบปัญหาเกี่ยวกับการเข้าทำลายของแมลงและโรคอย่างต่อเนื่อง โดยโรคที่สำคัญได้แก่ โรคแอนแทรคโนส โรคใบจุด โรคใบไหม้ และโรคโคนเน่าหัวเน่ามันสำปะหลังเป็นต้น ซึ่งโรคเหล่านี้สร้างความเสียหายต่อผลผลิตมันสำปะหลัง 30- 80 เปอร์เซ็นต์ (รังษี เจริญสถาพร และ อมรรัชฎ์ คิดใจเดียว, 2553a; 2553b) ดังนั้น การเพิ่มผลผลิตมันสำปะหลังต่อไร่ให้เพิ่มขึ้นนั้นเกษตรกรสามารถทำได้โดยการส่งเสริมสุขภาพพืชให้ดีขึ้น ซึ่งทำได้ 3 วิธีร่วมกัน คือ การจัดการดิน การใช้พันธุ์ดีที่เหมาะสมกับดินในแต่ละพื้นที่ และการปฏิบัติดูแลรักษาที่ดี นอกจากนี้ในกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังจะมีของเหลือทิ้งได้แก่ กากมันสำปะหลัง ที่สามารถนำมาผลิตสารตั้งต้น และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เช่น สารตั้งต้นประเภทน้ำตาล นำไปใช้กับอุตสาหกรรมอาหาร เครื่องดื่ม และสารให้ความหวานได้ หรือการใช้กากมันสำปะหลังเพื่อผลิตเป็นปุ๋ยอินทรีย์หรือวัสดุปรับปรุงดินร่วมกับเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ เพื่อใช้ปรับปรุงสภาพของดินในระบบการปลูกมันสำปะหลังอินทรีย์น่าจะเป็นวิธีการที่ดีที่จะช่วยลดปัญหาดินเสื่อมโทรมและลดปริมาณเชื้อสาเหตุโรคที่สะสมในดินได้เป็นอย่างดี ดังนั้นทีมวิจัยได้มีแนวคิดในการจัดการปัญหาดังกล่าว โดยการบูรณาการความรู้และงานวิจัยด้านพืชศาสตร์และเทคโนโลยีการผลิตพืชเพื่อเพิ่มผลผลิตและลดต้นทุนการผลิตมันสำปะหลังอินทรีย์ และการใช้ประโยชน์จากกากมันสำปะหลัง และเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ในการป้องกันโรคมันสำปะหลัง ร่วมกับการจัดการที่เหมาะสมในระบบเกษตรอินทรีย์ โดยเริ่มตั้งแต่การปลูกจนถึงเก็บเกี่ยวผลผลิตมันสำปะหลัง

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาแนวทางในการจัดการระบบการปลูกมันสำปะหลังอินทรีย์ที่พบในพื้นที่ปลูกสำคัญ
2. ระบบการปลูกมันสำปะหลังอินทรีย์สามารถลดการเกิดโรคในมันสำปะหลังได้

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มุ่งเน้นศึกษาถึงวิธีการจัดการ ปัจจัยการผลิต ที่เหมาะสมต่อการปลูกมันสำปะหลังในระบบอินทรีย์ เพื่อลดปริมาณการเกิดโรคและเพิ่มผลผลิตมันสำปะหลัง

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

ผลสำเร็จที่เป็นองค์ความรู้ หรือรูปแบบ หรือวิธีการที่จะนำไปสู่การวิจัย อาจจะถูกนำไปต่อยอดการวิจัยด้านการผลิตมันสำปะหลังอินทรีย์ต่อไป

การนำไปใช้ประโยชน์ในด้าน

ด้านเศรษฐกิจ/พาณิชย์/อุตสาหกรรม ด้านเศรษฐกิจ/พาณิชย์/อุตสาหกรรม

ผู้ที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

ผู้ใช้	การใช้ประโยชน์
บริษัทเอกชน	ส่งเสริมให้เกษตรกรปลูกมันสำปะหลังอินทรีย์เพื่อผลิตเป็นแป้งมันสำปะหลังอินทรีย์ซึ่งเป็นที่ต้องการของตลาดในปัจจุบัน
เกษตรกรที่ประกอบอาชีพปลูกมันสำปะหลัง	สามารผลิตมันสำปะหลังในระบบอินทรีย์ได้อย่างถูกต้องและมีแหล่งรับซื้อที่แน่นอน
หน่วยงานภาครัฐ	ทราบถึงขั้นตอนการปลูกมันสำปะหลังในระบบอินทรีย์ที่เหมาะสมต่อการปลูกมันสำปะหลัง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

มันสำปะหลัง (*Manihot esculenta* Crantz) จัดเป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ ที่ทนต่อสภาพแล้งได้ดี เป็นพืชพลังงานที่สำคัญในการผลิตแป้ง แป้งดัดแปรและเอทานอล (จรุงสิทธิ์ ลิ่มศิลา และอัจฉรา ลิ่มศลา, 2537; จำลอง เนียมจำนรรจา, 2547) ปัจจุบันนี้อุตสาหกรรมที่สำคัญในประเทศไทยคืออุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง ที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศไทย ประเทศไทยเป็นผู้ผลิตมันสำปะหลังอันดับ 2 ของโลก รองจากประเทศไนจีเรีย และไทยยังเป็นผู้ส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังรายใหญ่ที่สุดของโลก ในปี 2560 ไทยส่งออกแป้งมันสำปะหลัง 8.6 ล้านตัน มันเส้นและมันอัดเม็ด 6.4 ล้านตัน คิดเป็นมูลค่าประมาณ 100,000 ล้านบาท โดยมีตลาดส่งออกที่สำคัญได้แก่ จีน อินโดนิเซีย ญี่ปุ่น (FAO, 2017) การส่งออก ปี พ.ศ. 2556-2560 ปริมาณการส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง ได้แก่ มันเส้น มันอัดเม็ด และแป้งมันสำปะหลัง ขยายตัวเพิ่มขึ้นร้อยละ 2.93 ต่อปี (ฐานข้อมูลส่งเสริมและยกระดับคุณภาพสินค้า OTOP, 2560) เนื่องจากตลาดโลกมีความต้องการใช้ผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังมากยิ่งขึ้น เพราะสามารถใช้เป็นผลิตภัณฑ์ตั้งต้นในอุตสาหกรรมต่อเนื่องได้อีกหลากหลายอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมการผลิตเครื่องสำอาง, อุตสาหกรรมเภสัชกรรม หรืออุตสาหกรรมอื่นๆ ที่ต้องการใช้แป้งลักษณะพิเศษจำเพาะตัว ไม่สามารถใช้แป้งมันสำปะหลังทั่วไปเป็นสารตั้งต้นได้ (สมาคมแป้งมันสำปะหลังไทย, 2552) ในปัจจุบันอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลังเริ่มมีความความต้องการมันสำปะหลังอินทรีย์ชนิด waxy และชนิด starch เพิ่มขึ้นอย่างมากทั้งจากบริษัทแป้งมันสำปะหลังรายใหญ่ในประเทศและบริษัทข้ามชาติ เพื่อนำใช้ในการผลิตแป้งชนิดต่างๆ ทดแทนแป้งข้าวโพด เนื่องจากแป้งมีปริมาณส่วนประกอบที่สำคัญคือ อะมิโลส (amylose) และ อะมิโลเพคติน (amylopectin) สูง ซึ่งมันสำปะหลังชนิด waxy หรือมันสำปะหลังแป้งขาวเหนียวให้แป้งที่มีคุณสมบัติพิเศษเรียกว่า amylose free starch ที่ไม่มีอะมิโลสเป็นส่วนประกอบ หรือมีในปริมาณที่น้อยกว่ามันสำปะหลังทั่วไป เป็นที่ต้องการในกลุ่มอุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมเครื่องสำอาง และอุตสาหกรรมเภสัชกรรม ซึ่งราคารับซื้อหัวมันสำปะหลังสดจะสูงถึง 3-5 เท่าจากราคาปกติ และราคาแป้งมันสำปะหลังมีราคาสูงกว่าแป้งมันที่ผลิตจากมันสำปะหลังปกติเฉลี่ย 2-3 เท่า โดยเนื้อแป้งมันสำปะหลังชนิด waxy ที่ได้จะเหนียว มีความคงตัว แต่ในปัจจุบันการปลูกมันสำปะหลังชนิด waxy ที่จะนำไปใช้เป็นสารตั้งต้นในอุตสาหกรรมดังกล่าว ยังมีการปลูกในวงแคบไม่แพร่หลาย เนื่องจากเกิดปัญหาในการปลูก เช่น ผลผลิตน้อย สาเหตุหลักเนื่องจากดินเสื่อมโทรมทำให้ผลผลิตต่ำ แม้ใช้มันสำปะหลังพันธุ์ดี เนื่องจากเกษตรกรไม่นิยมปรับปรุงบำรุงดินก่อนปลูกหรือมีการใช้ปุ๋ยเคมีมากเกินไปทำให้เกิดปัญหาดินเค็ม ดินเสื่อมโทรม และเนื่องจากมีการปลูกมันสำปะหลังอย่างต่อเนื่องตลอดทั้งปี ยังส่งผลทำให้เกิดการแพร่ระบาดของศัตรูมันสำปะหลังรุนแรงขึ้นทุกปี ทำให้เกษตรกรประสบปัญหาเกี่ยวกับการเข้าทำลายของแมลงและโรคอย่างต่อเนื่อง เช่น โรคแอนแทรคโนส โรคใบจุด โรคใบไหม้ และโรคโคนเน่าหัวเน่ามันสำปะหลังเป็นต้น ซึ่งโรคเหล่านี้สร้างความเสียหายต่อผลผลิตมันสำปะหลัง 30- 80 เปอร์เซ็นต์ (รังษี เจริญสถาพร และ อมรรัชฎ์ คิดใจเดียว, 2553a; 2553b)

ซึ่งโรคมันสำปะหลังโรคหนึ่งที่เป็นปัญหาสำคัญ ได้แก่

1. โรคแอนแทรคโนส มันสำปะหลัง ทั้งนี้ในต่างประเทศรายงานว่าเกิดจากเชื้อรา *Colletotrichum gloeosporioides* f. sp. *manihotis* และ *C. graminicola* (Frison and Feliu,

1991; Theberge, 1985; Fokunang et al., 2001; Wokocha et al., 2010) สำหรับประเทศไทย ในอดีตมีรายงานว่าเกิดจากเชื้อรา *Colletotrichum* spp. (ฐิติมา วีระศิลป์, 2542; ศูนย์วิจัยพืชไร่นครสวรรค์, 2554) ต่อมามีรายงานว่าเกิดจากเชื้อรา *Colletotrichum gloeosporioides* f. sp. *manihotis* (รังษี เจริญสถาพร และ อมรรัชฎ์ คิดใจเดียว, 2553a; 2553b) ในปัจจุบันพบการระบาดของโรคนี้อย่างรุนแรงในเขตพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือสร้างความเสียหายต่อผลผลิตมันสำปะหลังมากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ โดยเฉพาะมันสำปะหลังพันธุ์อ่อนแอ การป้องกันกำจัดที่ดีที่สุดและมีค่าใช้จ่ายต่ำสุด คือ การใช้พันธุ์ต้านทานโรค แต่ประเทศไทยยังไม่มีพันธุ์ต้านทานต่อโรคนี้ และมีรายงานการระบาดของโรคแอนแทรคโนสอย่างรุนแรงในประเทศไทยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2548 ถึงปัจจุบัน พันธุ์มันสำปะหลังที่แสดงอาการโรครุนแรง คือ พันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ระยอง 90 ระยอง 72 และสายพันธุ์ CMR 35-22-196 จึงต้องควรเฝ้าระวังการระบาดของโรคนี้ในพันธุ์หรือสายพันธุ์ ดังกล่าว รวมทั้งพันธุ์หรือสายพันธุ์ที่มีความใกล้ชิดกัน วิธีการป้องกันกำจัดอื่น ๆ ได้แก่ เขตกรรม (Cultural control) ได้แก่ การปลูกพืชหมุนเวียน การไถกลบฝังลึกๆ เศษรากมันสำปะหลังที่ติดเชื้อและการใช้ท่อนพันธุ์ปลอดโรค ช่วยลดปริมาณเชื้อราสาเหตุโรคในดินและลดการแพร่กระจายของโรคได้ การเลื่อนฤดูการเพาะปลูกมันสำปะหลัง เพื่อมิให้ระยะการเจริญเติบโตที่อ่อนแอต่อโรคและระยะที่มีปริมาณเชื้อราสาเหตุโรคสูงมาก ๆ คือ ช่วงเวลาที่มีปริมาณน้ำฝนสูงๆ ตรงกันในประเทศไทย ควรปลูกมันสำปะหลังข้ามฤดูแล้ง เมื่อถึงช่วงที่มีการระบาดของโรคสูงๆ เดือนกรกฎาคม-กันยายน ซึ่งมีปริมาณน้ำฝนมาก มันสำปะหลัง ที่ปลูกข้ามฤดูแล้ง จะมีอายุเกินระยะการเจริญเติบโตที่อ่อนแอต่อโรค ประมาณ 6 เดือนหลังปลูกแม้ว่าอายุการเจริญเติบโตช่วงนี้ จะมีการติดเชื้อโรคบ้าง แต่ไม่มีผลเสียหาย ต่อผลผลิตถึงระดับเศรษฐกิจ และที่ควรระวังต้องไม่นำต้นมันสำปะหลังที่ติดเชื้อโรคนี้ไปเป็นท่อนพันธุ์สำหรับปลูกในฤดูใหม่ต่อไป การใช้สารธรรมชาติทดแทนสารเคมี มีเอกสารต่างประเทศรายงานว่า การใช้สารสกัดจากสะเดา (Neem) กับท่อนพันธุ์ ก่อนปลูก สามารถป้องกันการเกิดโรคนี้ได้

2. โรคใบจุดสีน้ำตาล (Brown Leaf Spot) เกิดจากเชื้อรา *Cercosporidium ingsii* สำหรับในประเทศไทย พบว่า มันสำปะหลังเกือบทุกพันธุ์ เป็นโรคใบจุดสีน้ำตาล ความรุนแรงของโรคขึ้นกับพันธุ์ ทำให้ผลผลิตลดลง 14-20 เปอร์เซ็นต์ การป้องกันและการกำจัด ใช้พันธุ์แนะนำซึ่งมีความต้านทานโรคปานกลาง เมื่อพบโรคระบาดมากอาจใช้สารเคมีพวก copper, benomy เป็นต้น (สถาบันวิจัยพืชไร่และพืชทดแทนพลังงาน, 2560)

3. โรครากหรือหัวเน่า (Root and Tuber Rot Diseases) เกิดจากเชื้อราสาเหตุหลายชนิด ซึ่งทำความเสียหายถึง 80 เปอร์เซ็นต์ โรคหัวเน่าเละ (Phytophthora Root Rot หรือ Wet Rot) เชื้อสาเหตุ *Phytophtora drechsleri* โรคหัวเน่าแห้ง (Dry Root Rot หรือ White Thread) เชื้อสาเหตุ *Rigidoporus* (Fomes) *lignosus*

การป้องกันกำจัดโรครากและหัวเน่ามีดังนี้ การเตรียมแปลงปลูกควรจะเป็นดินร่วนมีการระบายน้ำดีไม่ควรเป็นที่ที่เคยมีน้ำท่วมขังหรือใกล้ทางระบายน้ำ หากดินระบายน้ำยากควรปลูกโดยวิธียกร่อง ทำความสะอาดแปลงก่อนปลูกโดยการทำลายเศษพืชที่เป็นแหล่งเพาะเชื้อโรค คัดเลือกท่อนพันธุ์ที่สมบูรณ์และปราศจากโรค ในพื้นที่ที่โรคนี้ระบาดมาก่อนหรือที่ดินเป็นที่เปิดป่าใหม่ควรปลูกพืชหมุนเวียนด้วยธัญพืชก่อนปลูกมันสำปะหลัง เพื่อลดปริมาณเชื้อโรค ถ้าพบอาการรากเน่าเกินกว่า 3 เปอร์เซ็นต์ ควรงดปลูกพืชนานอย่างน้อย 6 เดือน เนื่องจากเชื้อสาเหตุมีพืชอาศัยกว้าง (กรมวิชาการเกษตร, 2560)

จากปัญหาที่พบในข้างต้นจะเห็นได้ว่าการผลิตมันสำปะหลังมีต้นทุนการผลิตค่อนข้างสูงเมื่อเทียบประเทศในกลุ่มอาเซียนด้วยกัน โดยในการผลิตมันสำปะหลัง เกษตรกรต้องใช้เงินต้นทุนถึงไร่ละ 4,200-4,550 บาท เฉลี่ยกิโลกรัมละ 1.20-1.30 บาท (คมชัดลึก, 2558) การส่งเสริมสุขภาพพืช (plant health) เป็นอีกวิธีการที่สามารถช่วยให้เกษตรกรสามารถลดต้นทุนในการผลิตได้ โดยสุขภาพพืชจะครอบคลุมทั้งทางด้านชีววิทยา นิเวศวิทยา พฤกษศาสตร์ พันธุศาสตร์ รวมทั้งด้านชีวเคมีของทั้งพืชและศัตรูพืช ซึ่งปัจจัยต่าง ๆ เหล่านี้มีผลโดยตรงกับคุณภาพและปริมาณผลผลิตของพืช การจัดการให้พืชสุขภาพดีนั้นจะต้องคำนึงถึงองค์ประกอบ 3 อย่าง คือ พืช (plant) เป็นพันธุ์อ่อนแอต่อการเกิดโรคหรือการเข้าทำลายของเชื้อก่อโรคหรือไม่ เชื้อสาเหตุโรคพืช (pathogen) มีความรุนแรงมากน้อยเพียงใด และสภาพแวดล้อม (Environment) เหมาะสมต่อการเข้าทำลายของเชื้อก่อโรคหรือไม่ โดยการบริหารจัดการสุขภาพพืชจะมุ่งเน้นไปที่ “โปรแกรมการบริหารและจัดการสุขภาพพืช” (Plant Health Management Program :PHMP) ที่สำคัญ 5 อย่าง ได้แก่ 1. การใช้พันธุ์พืชที่มีความต้านทานโรคและแมลงสูง (Genetic Host Resistance) 2. การทำเขตกรรมที่เหมาะสม (Culture Practices) เช่น การปลูกพืชหมุนเวียน การจัดระบบปลูกพืช การไถพรวน การทำความสะอาดดิน การไถตากดิน การจัดการระบบน้ำ การดูแลธาตุอาหารในดินให้เหมาะสม การดูแลโครงสร้างดิน เป็นต้น 3. การควบคุมศัตรูพืชโดยใช้สารเคมีที่จำเป็นอย่างถูกต้อง (Chemical Application) 4. การควบคุมศัตรูพืชโดยชีววิธี (Biological Control) เช่น การใช้ตัวห้ำ ตัวเบียนในการกำจัดหนอน หรือแมลงศัตรูพืช การใช้จุลินทรีย์ที่เป็นเชื้อปฏิปักษ์ต่อเชื้อก่อโรค เช่น เชื้อราไตรโคเดอร์มา เชื้อบิววาเรีย หรือบาซิลัส ซับทีลิส เป็นต้น รวมทั้งการใช้กระบวนการทางชีวเคมีเพื่อกระตุ้นให้พืชเกิดความต้านทานต่อเชื้อก่อโรคและแมลงได้ เช่น กรดซาลิไซลิก และไคโตซาน เป็นต้น 5. การใช้กฎข้อบังคับ (Requlatory measures) เพื่อควบคุมการเคลื่อนย้ายพืชที่อาจมีศัตรูพืช ทั้งโรคและแมลงติดไปกับพืชนั้น ๆ และทำให้ไม่มีการระบาดออกไป (ยุรฉัตร ยอดโยธี, 2554; ภัคภณ ศรีคล้าย, 2558) ดังนั้นเพื่อลดต้นทุนการผลิตมันสำปะหลัง ทางคณะผู้วิจัยจึงเล็งเห็นว่าการดูแลสุขภาพพืชโดยการจัดการเขตกรรมแบบผสมผสานร่วมกับการใช้ปัจจัยการผลิตที่เหมาะสมเป็นทางเลือกในการแก้ปัญหาการสะสมของโรคและเป็นการเพิ่มผลผลิตในมันสำปะหลังในระบบการผลิตแบบอินทรีย์ได้ โดยเริ่มตั้งแต่ปลูกจนถึงเก็บเกี่ยว เช่นการเลือกใช้พันธุ์ดีที่เหมาะสมกับเนื้อดินและสภาพแวดล้อมเฉพาะพื้นที่ อาทิ ดินทราย ทรายปนร่วนควรใช้พันธุ์ระยอง72, ระยอง 7, ระยอง 9, ระยอง 90, ห้วยบง 60 และเกษตรศาสตร์ 50 ดินร่วนปนเหนียวควรใช้พันธุ์ระยอง 5, ระยอง 7, ห้วยบง 80 และระยอง 11 ดินด่างควรใช้พันธุ์ระยอง 11 และระยอง 5 และใช้ท่อนพันธุ์ที่มีคุณภาพดีสดใหม่และตรงตามพันธุ์ และปลูกในช่วงที่เหมาะสม โดยสามารถปลูกได้ 2 ช่วง คือ ต้นฝน (เดือน มี.ค.-พ.ค.) และปลายฝน (เดือน ก.ย.-พ.ย.) หากปลูกในช่วงต้นฤดูฝนควรยกร่องปลูกเพื่อช่วยระบายน้ำ เพื่อลดความเสี่ยงในการงอก หลีกเลี่ยงปัญหาหัวมันเน่า และลดจำนวนครั้งในการกำจัดวัชพืชด้วย นอกจากนี้เกษตรกรควรเตรียมดินให้ถูกวิธีจะสามารถลดต้นทุนในการเตรียมดินได้ โดยไถดินอย่างน้อย 2 ครั้ง การใส่ปุ๋ยเกษตรกรควรใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินหรือใช้ปุ๋ยร่วมกับวัสดุอินทรีย์และควรมีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์เพื่อปรับปรุงดินในอัตรา 0.5-1 ตันต่อไร่ เป็นต้น นอกจากการจัดการเขตกรรมแบบผสมผสานนี้โดยใช้การเลือกปลูกพืชตระกูลถั่วก่อนทำการปลูกมันสำปะหลังและขณะทำการปลูกมันสำปะหลัง จากการศึกษาของ กริยา สังข์ทองวิเศษ และคณะ (2560) พบว่าการปลูกถั่วลิสงสายพันธุ์ต่างๆ แซมมันสำปะหลัง ไม่ได้ช่วยเพิ่มผลผลิตมันสำปะหลัง เมื่อเปรียบเทียบกับการปลูกมันสำปะหลังอย่างเดียว จึงมีการคิดพัฒนา เป็นการปลูกถั่วลิสงพันธุ์ไทนาน 9 ทั้งก่อนปลูกมันสำปะหลังและใน

ระหว่างการปลูกมันสำปะหลัง นอกจากนี้จากการศึกษาของ Chen และคณะ (2009) พบว่าการปลูกถั่วลิสงพร้อมกับการปลูกมันสำปะหลังไม่ได้ช่วยเพิ่มผลผลิตมันสำปะหลังที่แตกต่างไปจากเดิมมากนัก แต่เป็นการเพิ่มปริมาณธาตุอาหารในดินและการใช้พื้นที่ปลูกให้คุ้มค่ามากที่สุด นอกจากนี้ยังมีการปลูกข้าวโพดก่อนทำการปลูกมันสำปะหลังและระหว่างการปลูกมันสำปะหลังร่วมด้วย จากการศึกษาของ ธนวรรธน์ ปาละ (2552) พบว่าการปลูกพืชร่วมระหว่างมันสำปะหลังกับข้าวโพดให้รายได้รวมสุทธิสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการปลูกมันสำปะหลังหรือข้าวโพดเพียงอย่างเดียว อัตราผลตอบแทนส่วนเพิ่ม (Minimum Retail Rate) ระบบการปลูกมันสำปะหลัง-ข้าวโพด มีอัตราผลตอบแทนส่วนเพิ่ม (MRR > 100) มากกว่าการปลูกมันสำปะหลังเพียงอย่างเดียว และเกษตรกรให้การยอมรับในระบบการปลูกพืชร่วมระหว่างมันสำปะหลังมากยิ่งขึ้น รวมไปถึงการปลูกพืชเขตกรรมแบบผสมผสานยังมีส่วนในการลดการสะสมและระบาดของโรคได้ โดยการศึกษาของ วารีย์ ทองมี และคณะ (2559) ที่ทำการทดสอบในมันสำปะหลัง 4 สายพันธุ์ได้แก่ ระยอง 5, ระยอง 72, ระยอง 9 และห้วยบง 60 เพื่อแก้ปัญหาโรคโคนเน่าหัวเน่า พบว่า การปลูกแบบผสมผสานนั้นสามารถลดการเกิดโรคโคนเน่าหัวเน่าได้ โดยมันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 9 ให้ผลการตอบสนองต่อการใช้การปลูกแบบผสมผสานดีที่สุดทั้งในแง่ของผลผลิตและการลดการระบาดและการสะสมของโรค ดังนั้นการวิจัยในครั้งนี้จึงได้ทำการคิดระบบการปลูกมันสำปะหลังในระบบการผลิตมันสำปะหลังอินทรีย์ และการใช้ประโยชน์จากกากมันสำปะหลัง และเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ในการป้องกันโรคมันสำปะหลัง ร่วมกับการจัดการที่เหมาะสมในระบบเกษตรอินทรีย์ โดยเริ่มตั้งแต่การปลูกจนถึงเก็บเกี่ยวผลผลิตมันสำปะหลัง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 3

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การจัดหาพื้นที่ต้นแบบที่เหมาะสมสำหรับปลูกมันสำปะหลังอินทรีย์

ทำการจัดหาพื้นที่ต้นแบบที่เหมาะสมต่อการปลูกพืชอินทรีย์ในอำเภอเสิงสางและครบุรี จังหวัดนครราชสีมา ตามมาตรฐานการผลิตพืชอินทรีย์ของประเทศไทยเพื่อใช้ในการปลูกมันสำปะหลัง จำนวน 2 แปลง ๆ ละ 12.5 ไร่ รวมเป็นพื้นที่ 25 ไร่

3.2 การจัดหาท่อนพันธุ์มันสำปะหลังที่เหมาะสมสำหรับปลูกมันสำปะหลังอินทรีย์

ทำการจัดหาพันธุ์มันสำปะหลัง ได้แก่ พันธุ์ระยอง 72 พิรุณ 2 และพิรุณ 4 เพื่อใช้เป็นพันธุ์ต้นแบบในการศึกษา (ภาพที่ 1) โดยจะเลือกท่อนพันธุ์ที่มีคุณภาพดีสดใหม่ มีลักษณะตรงตามพันธุ์ และมีอายุ 8-10 เดือน และคัดเลือกจากแปลงที่ไม่มีการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช ปุ๋ยเคมี และมีการจัดการภายใต้มาตรฐานอินทรีย์ในระยะปรับเปลี่ยนในเขตพื้นที่ อ. เสิงสาง จ. นครราชสีมา

ภาพที่ 1 แสดงลักษณะท่อนพันธุ์มันสำปะหลัง พันธุ์ระยอง 72 (A) พิรุณ 2 (B) และพิรุณ 4 (C)

3.3 การเตรียมวัสดุปรับปรุงดินจากกากมันสำปะหลัง

3.3.1 การเตรียมหัวเชื้อจุลินทรีย์

ทำการเตรียมหัวเชื้อจุลินทรีย์ จากเชื้อ *B. subtilis* สายพันธุ์ CaSUT007, 008-2, D604, 37-5, SUNB 2 ที่เลี้ยงในอาหาร Nutrient Broth อย่างละ 0.5 ลิตร *Trichoderma harzianum*., *Lactobacillus* sp., และ Yeast ที่เลี้ยงในอาหาร PDA, MRS และ YPD ตามลำดับ อย่างละ 1 ลิตร นำมาเลี้ยงในอาหารสูตรขยาย Molasses Diammonium phosphate and Yeast extract (MDY) (จิตมนัส นิกาจิ๊, 2559) ปริมาตร 650 ลิตร บ่มไว้ที่อุณภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เขย่าทุก ๆ 6 ชั่วโมง จำนวน 2 ครั้ง ก่อนนำมาใส่กองวัสดุปรับปรุงดิน

3.3.2 การเตรียมกองวัสดุปรับปรุงดินจากกากมันสำปะหลัง

เตรียมกองวัสดุปรับปรุงดินโดยการนำเปลือกดิน เปลือกล้างของมันสำปะหลัง มูลไก่ และหินฟอสเฟส มาผสมให้เข้ากัน ในอัตราส่วน 4:4:2:1 ตามลำดับ และใส่ปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) ตามอัตราดังตารางที่

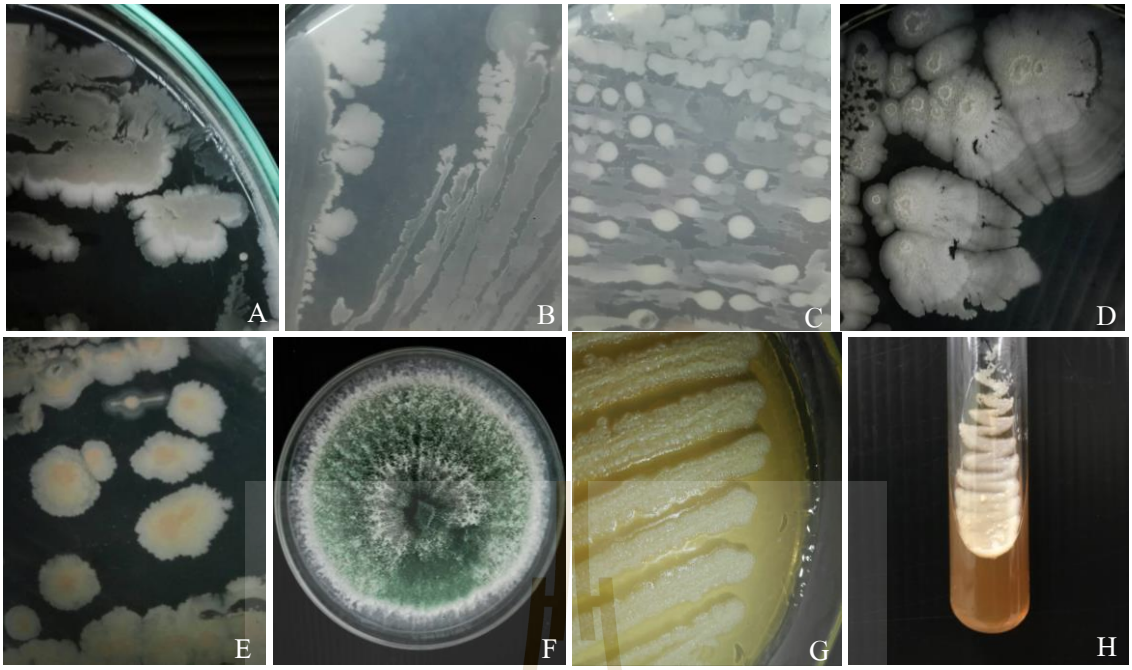
1 เพื่อเป็นแหล่งธาตุอาหารให้แก่จุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่ในการย่อยสลายซากพืชในกองปุ๋ยหมัก จากนั้นทำการหมักร่วมกับเชื้อจุลินทรีย์ ข้อ 3.3.1 ที่มีคุณสมบัติช่วยในการย่อยสลายสารอินทรีย์ และยับยั้งเชื้อสาเหตุโรคในกองวัสดุ โดยผสมจุลินทรีย์ข้างต้นในอัตราส่วน 1 % ของกอง ทำการใส่จุลินทรีย์สัปดาห์ละ 1 ครั้ง ทั้งหมด 4 สัปดาห์ เพื่อช่วยเร่งการย่อยสลาย โดยใช้เวลาหมักประมาณ 2 เดือน ก่อนนำไปใช้ในการเตรียมดินสำหรับปลูกมันสำปะหลังอินทรีย์ต่อไป (ภาพที่ 2)

ตารางที่ 1 แสดงอัตราส่วนของส่วนผสมวัสดุปรับปรุงดินจากกากมันสำปะหลัง

วัสดุ	Small scale (kg)	Big scale (ton)
เปลือกดิน	1000	100
เปลือกล้าง	1000	100
มูลไก่	500	50
หินฟอสเฟส	250	25
ปุ๋ยยูเรีย (46-0-0)	6	0.6
Microbial compost activator	1%	1%

ภาพที่ 2 แสดงการใส่เชื้อจุลินทรีย์ที่ช่วยในการย่อยสลายอินทรียวัตถุ (A) การคลุกวัสดุแต่ละชนิดให้เข้ากัน (B) และการคลุมกองวัสดุเพื่อลดการสูญเสียความชื้นในกอง (B)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



ภาพที่ 3 แสดงจุลินทรีย์ที่ช่วยในการย่อยสลายและยับยั้งเชื้อสาเหตุโรคในกองวัสดุ ได้แก่ *B. subtilis* สายพันธุ์ CaSUT007 (A), 008-2 (B), D604 (C), 37-5 (D), SUNB 2 (E), *Trichoderma harzianum* (F), *Lactobacillus* sp. (G), และ Yeast (H)

3.4 การคัดเลือกสายพันธุ์เชื้อ *B. subtilis* และทดสอบปัจจัยการผลิตสำหรับปลูกมันสำปะหลังอินทรีย์ในระดับโรงเรือนทดลอง

เนื่องจากมีการปรับเปลี่ยนการทดลอง ผู้วิจัยจึงได้ทำการทดสอบกับมันสำปะหลังทั้งสามสายพันธุ์แทนมันสำปะหลังพันธุ์ waxy ได้แก่ พันธุ์ ระยอง 72 พิรุณ 2 และ พิรุณ 4 ทดสอบโดยใช้วัสดุปรับปรุงดินจากกากมันสำปะหลังผสมเชื้อจุลินทรีย์ *B. subtilis* แต่ละสายพันธุ์ อัตราส่วน 1:3 และ 1:4 (วัสดุปรับปรุงดิน: ดินทราย) ทำการทดลองทั้งหมด 15 กรรมวิธีๆ ละ 3 ซ้ำ ดังนี้

1. วัสดุปรับปรุงดินคลุกสารชีวภัณฑ์ *B. subtilis* สายพันธุ์ CaSUT007 ผสมดินทรายในอัตราส่วน 1:3 + มันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 72
2. วัสดุปรับปรุงดินคลุกสารชีวภัณฑ์ *B. subtilis* สายพันธุ์ CaSUT008-2 ผสมดินทรายในอัตราส่วน 1:3 + มันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 72
3. วัสดุปรับปรุงดินคลุกสารชีวภัณฑ์ *B. subtilis* สายพันธุ์ CaSUT007 ผสมดินทรายในอัตราส่วน 1:4 + มันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 72
4. วัสดุปรับปรุงดินคลุกสารชีวภัณฑ์ *B. subtilis* สายพันธุ์ CaSUT008-2 ผสมดินทรายในอัตราส่วน 1:4 + มันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 72
5. ชุดควบคุม (ดินทรายไม่ใส่วัสดุปรับปรุงดิน) + มันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 72
6. วัสดุปรับปรุงดินคลุกสารชีวภัณฑ์ *B. subtilis* สายพันธุ์ CaSUT007 ผสมดินทรายในอัตราส่วน 1:3 + มันสำปะหลังพันธุ์พิรุณ 2

7. วัสดุปรับปรุงดินคลุกสารชีวภัณฑ์ *B. subtilis* สายพันธุ์ CaSUT008-2 ผสมดินทรายในอัตราส่วน 1:3 + มันสำปะหลังพันธุ์พิรุณ 2
8. วัสดุปรับปรุงดินคลุกสารชีวภัณฑ์ *B. subtilis* สายพันธุ์ CaSUT007 ผสมดินทรายในอัตราส่วน 1:4 + มันสำปะหลังพันธุ์พิรุณ 2
9. วัสดุปรับปรุงดินคลุกสารชีวภัณฑ์ *B. subtilis* สายพันธุ์ CaSUT008-2 ผสมดินทรายในอัตราส่วน 1:4 + มันสำปะหลังพันธุ์พิรุณ 2
10. ชุดควบคุม (ดินทรายไม่ใส่วัสดุปรับปรุงดิน) + มันสำปะหลังพันธุ์พิรุณ 2
11. วัสดุปรับปรุงดินคลุกสารชีวภัณฑ์ *B. subtilis* สายพันธุ์ CaSUT007 ผสมดินทรายในอัตราส่วน 1:3 + มันสำปะหลังพันธุ์พิรุณ 4
12. วัสดุปรับปรุงดินคลุกสารชีวภัณฑ์ *B. subtilis* สายพันธุ์ CaSUT008-2 ผสมดินทรายในอัตราส่วน 1:3 + มันสำปะหลังพันธุ์พิรุณ 4
13. วัสดุปรับปรุงดินคลุกสารชีวภัณฑ์ *B. subtilis* สายพันธุ์ CaSUT007 ผสมดินทรายในอัตราส่วน 1:4 + มันสำปะหลังพันธุ์พิรุณ 4
14. วัสดุปรับปรุงดินคลุกสารชีวภัณฑ์ *B. subtilis* สายพันธุ์ CaSUT008-2 ผสมดินทรายในอัตราส่วน 1:4 + มันสำปะหลังพันธุ์พิรุณ 4
15. ชุดควบคุม (ดินทรายไม่ใส่วัสดุปรับปรุงดิน) + มันสำปะหลังพันธุ์พิรุณ 4

เก็บผลการเจริญเติบโตของมันสำปะหลังในลักษณะของจำนวนตา ความสูงต้น จำนวนราก ความยาวรากและจำนวนใบที่อายุ 33 วัน โดยความสูงของต้นวัดจากบริเวณที่งอกจนถึงส่วนของยอด และทำการวัดความยาวของรากจากโคนรากจนถึงปลายราก (ภาพที่ 4) โดยค่าที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์จะเป็นค่าเฉลี่ยของความยาวรากทั้งหมด นำผลที่ได้จากการทดลอง 3 ซ้ำ มาวิเคราะห์ และเปรียบเทียบค่าความแตกต่างระหว่างทรีทเมนท์ตามแผนการทดลองแบบ factorial experiments in CRD วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติโดยโปรแกรม SPSS V.16.0 เพื่อหาความแตกต่างและค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติ 95%

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาพที่ 4 แสดงลักษณะของการเก็บข้อมูลความสูงของลำต้นและความยาวรากมันสำปะหลัง

3.5 การทดสอบเทคโนโลยีการผลิตมันสำปะหลังอินทรีย์

การทดสอบประสิทธิภาพของชีวภัณฑ์และระบบเทคโนโลยีการผลิตมันสำปะหลังอินทรีย์ ณ แปลงทดลองของเกษตรกร โดยใช้พันธุ์พิรุณ 4 วางแผนการทดลอง RCBD จำนวน 4 ซ้ำ และ 3 กรรมวิธีทดลอง คือ กรรมวิธีที่ 1 วิธีการของเกษตรกร กรรมวิธีที่ 2 ไม่ใช้ปัจจัยการผลิต กรรมวิธีที่ 3 เทคโนโลยีการผลิตมันสำปะหลังอินทรีย์ มทส. ที่ประกอบการใช้วัสดุปรับปรุงดิน 1 ตันต่อไร่ การใช้ชีวภัณฑ์บาซิลัสสายพันธุ์คุณภาพ อัตรา 20 มิลลิลิตร/น้ำ 20 ลิตร ทำการฉีดพ่นทุกๆ 15 วันตามอัตราที่กำหนดไว้ จากนั้นทำการบันทึกข้อมูล 1. การเจริญเติบโต 2. ผลผลิต เก็บน้ำหนักผลผลิตมันสำปะหลังอินทรีย์

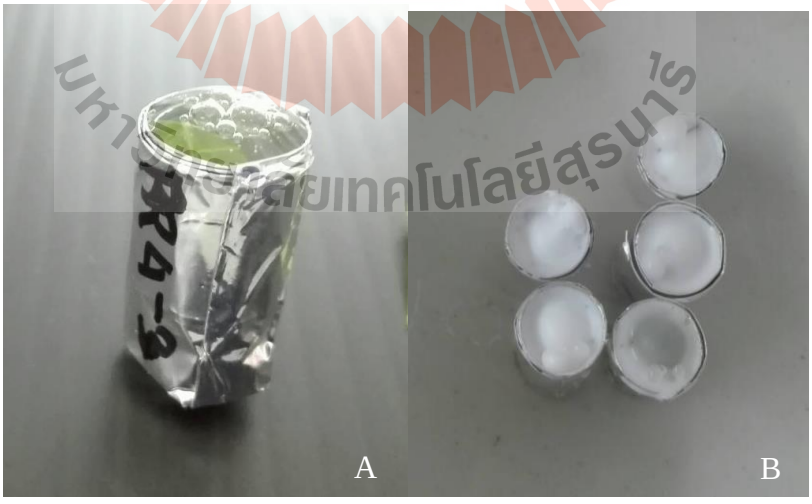
3.5.1 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติโดยโปรแกรม SPSS V.16.0 เพื่อหาความแตกต่างและค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติ 95%

3.6 วิเคราะห์องค์ประกอบทางชีวโมเลกุลในใบมันสำปะหลังโดยเทคนิค Synchrotron FTIR microspectroscopy

3.6.1 เตรียมตัวอย่างใบมันสำปะหลัง

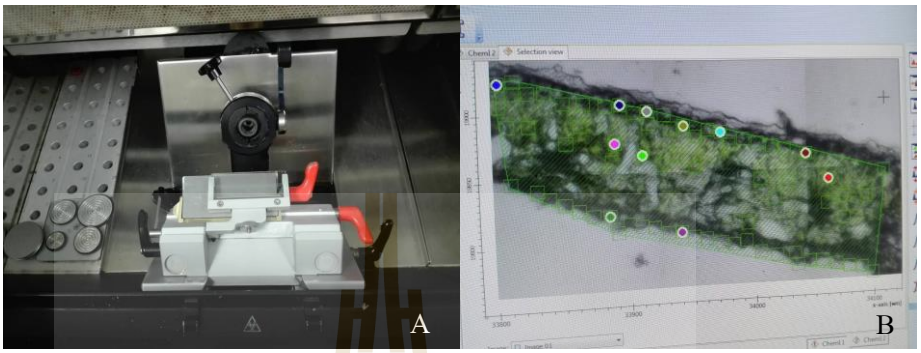
นำตัวอย่างใบมันสำปะหลังจากกรรมวิธีที่ให้ผลในการเจริญเติบโตดีที่สุดในแต่ละพันธุ์มาตัดตามแนวยาวของใบให้มีขนาดประมาณ 0.5x1 เซนติเมตร นำตัวอย่างใบมันสำปะหลังวางในกระดาษฟรอยด์ที่พับเป็นกระทง แล้วตรึงด้วยสาร optimal cutting temperature หรือ OCT โดยการเทสารให้ท่วมตัวอย่าง และแช่ในไนโตรเจนเหลวทันทีเพื่อตรึงให้ OCT และตัวอย่างแข็งตัวอย่างรวดเร็ว หลังจากนั้นนำตัวอย่างไปแช่ในตู้ -80 องศาเซลเซียส อย่างน้อยหนึ่งวันหรือจนกว่าจะนำมาตัดเพื่อใช้วิเคราะห์ต่อไป (ภาพที่ 5)



ภาพที่ 5 แสดงการนำตัวอย่างใบมันสำปะหลังวางในกระดาษฟรอยด์ที่พับเป็นกระทง แล้วตรึงด้วยสาร OCT (A) และทำให้ตัวอย่างแข็งตัวแช่โดยการแช่ในไนโตรเจนเหลว (B)

3.6.2 การตัดตัวอย่างใบมันสำปะหลัง

นำตัวอย่างใบมันสำปะหลังที่เตรียมไว้มาตัดด้วยเครื่อง cryosection ที่อุณหภูมิ -20 ถึง -22 องศาเซลเซียส ตัดตัวอย่างที่ความหนา 10 ไมครอน นำชิ้นตัวอย่างที่ได้มาวางบน KBr Window จากนั้นนำไปทำให้แห้งด้วยเครื่อง vacuum desiccator และเก็บตัวอย่างไว้ใน desiccator จนกว่าจะนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Synchrotron FTIR microspectroscopy (ภาพที่ 6)



ภาพที่ 6 แสดงเครื่อง cryosection สำหรับตัดตัวอย่าง (A) และตัวอย่างภาพตัดขวางของใบมันสำปะหลังที่ความหนา 10 ไมครอน (B)

3.6.3 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Synchrotron FTIR microspectroscopy

นำตัวอย่างที่ตัดได้มาวิเคราะห์องค์ประกอบทางชีวโมเลกุลด้วยเทคนิค Synchrotron FTIR microspectroscopy ที่สถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน (องค์การมหาชน) ด้วยเครื่อง Fourier transform infrared spectroscopy: FTIR (tensor 27, bruker optic) โดย condition ที่ใช้ในการวัดคือช่วงความยาวคลื่น 3000-900 cm^{-1} , scan time 64 scan, resolution 4 cm^{-1}, และวัด background ทุก ๆ 5 spectrum ของการวัดในแต่ละตัวอย่าง และจะทำการวัดตัวอย่างละ 3 ซ้ำ จากนั้นนำ spectrum ที่ได้มาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม OPUS 7.2, Cytospec, และ Unscrambler 10.5 เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของสารชีวเคมีภายในตัวอย่างใบมันสำปะหลัง

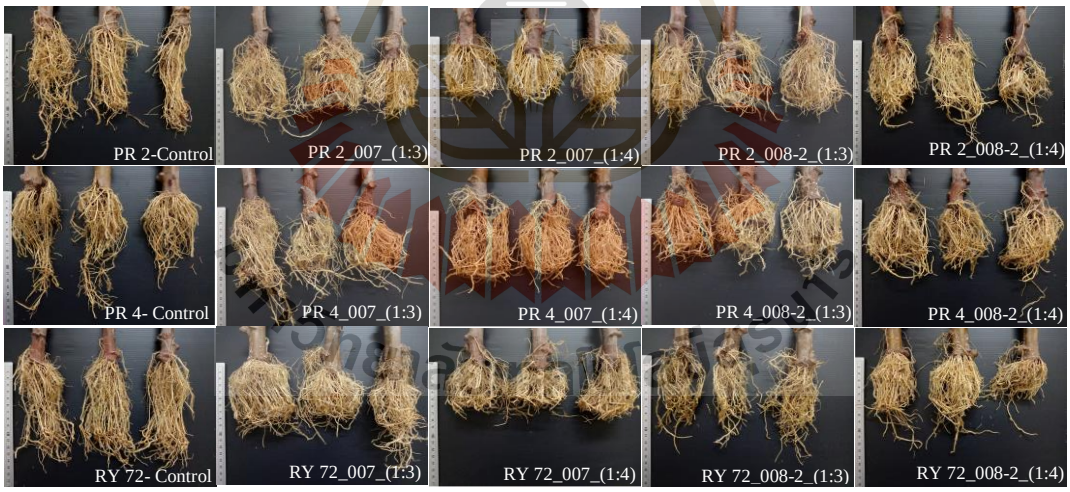
3.7 การคัดเลือกสายพันธุ์เชื้อ *B. subtilis* ในการยับยั้งเชื้อราสาเหตุโรคโคนเน่าในมันสำปะหลังระดับห้องปฏิบัติการ

การคัดเลือกเชื้อ *B. subtilis* สายพันธุ์ปฏิปักษ์ต่อเชื้อรา *Lasiodiplodia* spp. ด้วยเทคนิค dual culture ทำโดยเขี่ยเชื้อ *B. subtilis* สายพันธุ์ CaSUT007 และCaSUT008-2 ในแนวตั้งฉากบนอาหาร PDA (Potato Dextrose Agar) และนำเชื้อ *Lasiodiplodia* spp. ที่เลี้ยงไว้อายุ 7 วันมาเจาะขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร นำมาวางบนอาหารให้ห่างจากเชื้อ *B. subtilis* 5 เซนติเมตร นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 วัน เพื่อสังเกตการยับยั้งการเจริญของเชื้อสาเหตุโรค วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติโดยโปรแกรม SPSS V.16.0 เพื่อหาความแตกต่างและค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติ 95% โดยทำการทดลอง 5 ซ้ำต่อสายพันธุ์

บทที่ 4
ผลการวิจัย

4.1 การคัดเลือกสายพันธุ์เชื้อ *Bacillus* sp. และทดสอบปัจจัยการผลิตสำหรับปลูกมันสำปะหลังอินทรีย์ในระดับโรงเรือนทดลอง

ผลการทดสอบพบว่ามันสำปะหลังทั้งสามสายพันธุ์ มีการเจริญเติบโตในลักษณะของ ความสูงต้น จำนวนราก ความยาวราก และจำนวนใบที่ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ยกเว้นลักษณะของจำนวนตาที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดย มันสำปะหลังพันธุ์ ระยอง 72 ที่ปลูกในวัสดุปรับปรุงดินที่คลุกด้วยเชื้อ *B. subtilis* สายพันธุ์ CaSUT007 ในอัตราส่วน 1:3 มีการเจริญเติบโตในลักษณะของจำนวนตา จำนวนราก ความยาวรากและจำนวนใบโดยเฉลี่ยสูงที่สุด และวัสดุปรับปรุงดินที่คลุกด้วยเชื้อ *B. subtilis* สายพันธุ์ CaSUT007 ในอัตราส่วน 1:4 มีผลทำให้ลักษณะความสูงของต้นสูงที่สุด พันธุ์พิรุณ 2 ที่ปลูกในวัสดุปรับปรุงดินที่คลุกด้วยเชื้อ *B. subtilis* สายพันธุ์ CaSUT007 ในอัตราส่วน 1:3 มีการเจริญเติบโตในลักษณะของจำนวนตา จำนวนราก ความยาวรากและจำนวนใบสูงที่สุด และวัสดุปรับปรุงดินที่คลุกด้วยเชื้อ *B. subtilis* สายพันธุ์ CaSUT007 ในอัตราส่วน 1:4 มีผลทำให้ลักษณะความสูงของต้นสูงที่สุด และมันสำปะหลังพันธุ์พิรุณ 4 ที่ปลูกในวัสดุปรับปรุงดินที่คลุกด้วยเชื้อ *B. subtilis* สายพันธุ์ CaSUT008-2 ในอัตราส่วน 1:3 มีการเจริญเติบโตในลักษณะของจำนวนราก ความยาวรากและจำนวนใบสูงที่สุด วัสดุปรับปรุงดินที่คลุกด้วยเชื้อ *B. subtilis* สายพันธุ์ CaSUT008-2 ในอัตราส่วน 1:4 มีผลทำให้ลักษณะจำนวนตาและความสูงของต้นสูงที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 2 และ ภาพที่ 7



ภาพที่ 7 แสดงลักษณะของรากมันสำปะหลังของแต่ละสายพันธุ์ ที่ปลูกในวัสดุปรับปรุงดินที่คลุกด้วยเชื้อ *B. subtilis* สายพันธุ์ CaSUT007 และ CaSUT008-2 ในอัตราส่วน 1:3 และ 1:4 (วัสดุปรับปรุงดิน: ทราย) เปรียบเทียบกับชุดควบคุม

ตารางที่ 2 แสดงผลของอัตราส่วนวัสดุปรับปรุงดินผสมเชื้อจุลินทรีย์ *B. subtilis* ต่อการเจริญเติบโตในลักษณะของจำนวนตา ความสูงต้น จำนวนราก ความยาวราก และจำนวนใบในมันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 72 (RY72) พิรุณ 2 (PR2) และพิรุณ 4 (PR4)

Variety	Ratio	Bacillus strain	No. bud	Shoot (cm.)	No. root	Root length (cm.)	No.leaf
RY 72	1:3	CaSUT 007	2.33	35.00b	56.67a	13.00ab	14.33a[1/]
		CaSUT 008-2	2.00	33.00c	40.33f	10.67ef	12.33cd
	1:4	CaSUT 007	1.67	36.00a	39.00g	12.33bc	11.67de
		CaSUT 008-2	2.00	28.00i	47.33bc	11.67cd	11.67de
	control		1.00	21.67l	37.50h	11.33d	11.67de
PR 2	1:3	CaSUT 007	2.00	30.33f	46.33d	10.67ef	13.00bc
		CaSUT 008-2	2.00	28.67h	40.00f	9.33g	13.67ab
	1:4	CaSUT 007	1.67	33.00c	40.00f	8.33h	9.67h
		CaSUT 008-2	1.67	29.33g	39.00g	9.83fg	8.67i
	control		1.00	23.67k	36.33i	10.67ef	10.67f
PR 4	1:3	CaSUT 007	2.00	31.00e	40.67f	9.67g	10.67f
		CaSUT 008-2	2.00	27.17j	47.67b	11.33de	12.00d
	1:4	CaSUT 007	2.33	32.33d	46.33d	10.67ef	11.00ef
		CaSUT 008-2	1.67	27.00j	46.67cd	8.00h	12.00d
	control		1.00	22.17l	44.33e	13.33a	10.67f
	F-test		ns	**	**	**	**
	% cv		27.52	7.02	7.17	15.93	14.52

หมายเหตุ: ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติในระดับ P <0.05

** = แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับ P < 0.01

1/ = ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่ตามด้วยอักษรที่แตกต่างกันมีความแตกต่างทางสถิติในระดับ 0.05 จากการเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

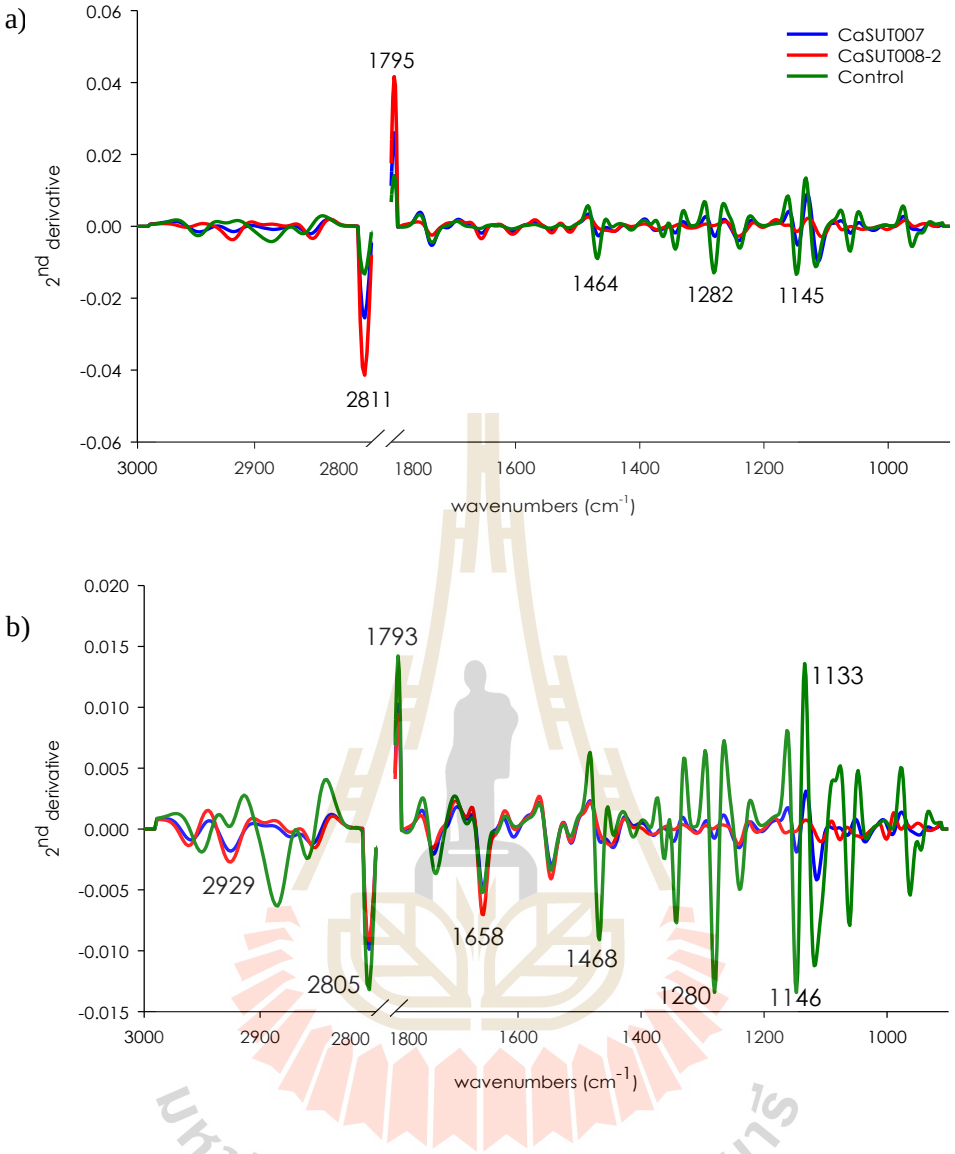
4.2 วิเคราะห์องค์ประกอบทางชีวโมเลกุลในใบมันสำปะหลังโดยเทคนิค Synchrotron FTIR microspectroscopy

B. subtillis เป็นจุลินทรีย์ที่แยกได้จากบริเวณรอบรากมันสำปะหลัง ที่สามารถกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืช และช่วยชักนำให้พืชเกิดความต้านทานต่อเชื้อก่อโรคได้ ซึ่งส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางชีวโมเลกุลในใบมันสำปะหลัง โดยจะแสดงผลในรูปของสเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรด (average secondary derivative FTIR spectrum) ของสารชีวโมเลกุลในเนื้อเยื่อชั้น epidermis และ mesophyll ของใบมันสำปะหลังแต่ละสายพันธุ์ (พิรุณ 2, พิรุณ 4 และระยอง 72) ที่ได้ทำการปลูกร่วมกับวัสดุปรับปรุงดินคลุกสารชีวภัณฑ์ *B. subtilis* สายพันธุ์ CaSUT007, 008-2 และกรรมวิธีควบคุม (ปลูกในดินทรายไม่ใส่วัสดุปรับปรุงดิน) ณ ช่วงความถี่ 3000-2800 cm^{-1} และช่วง 1800-900 cm^{-1}

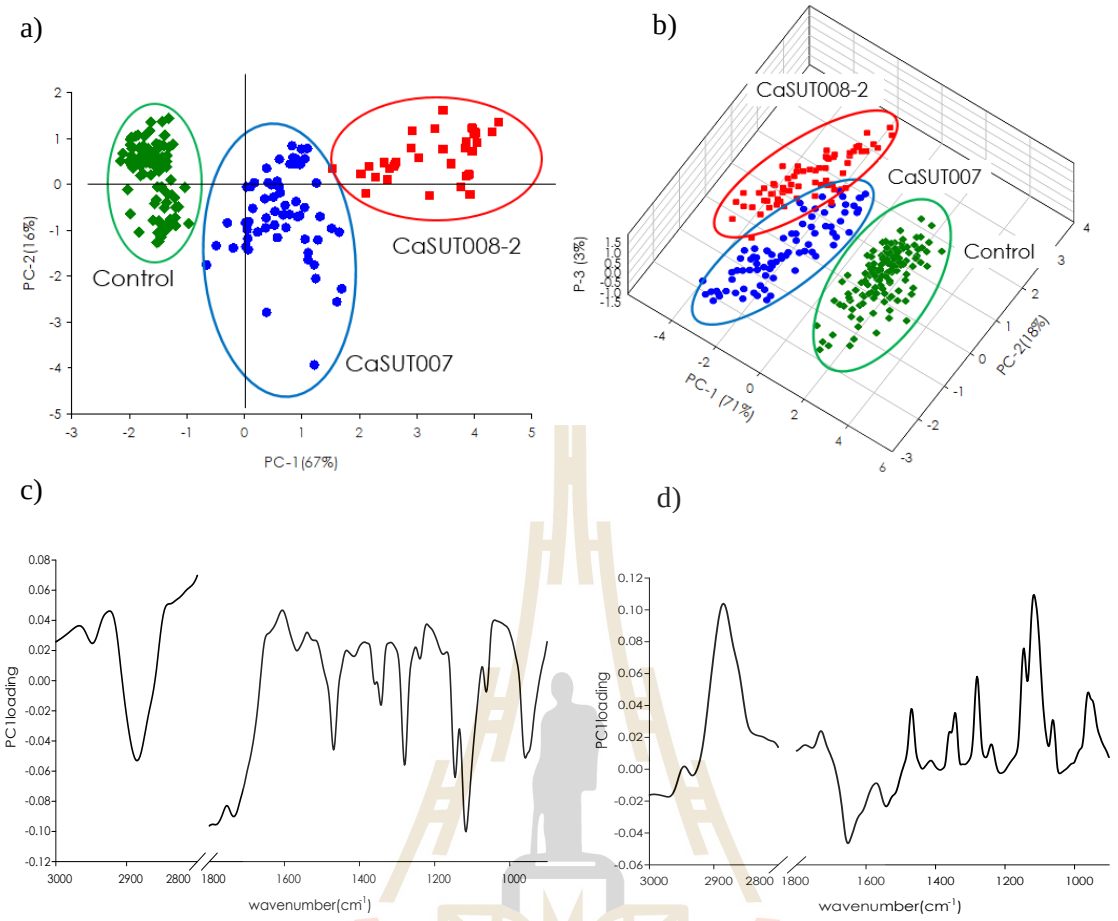
4.2.1 วิเคราะห์องค์ประกอบทางชีวโมเลกุลในใบมันสำปะหลังพันธุ์ พิรุณ 2 โดยเทคนิค Synchrotron FTIR microspectroscopy

จากกราฟ (ภาพที่ 8) แสดง average secondary derivative FTIR spectrum ของสารชีวโมเลกุลในเนื้อเยื่อชั้น epidermis ของใบมันสำปะหลังพันธุ์พิรุณ 2 หลังจากใช้วัสดุปรับปรุงดินคลุกสารชีวภัณฑ์ *B. subtilis* สายพันธุ์ CaSUT007, 008-2 และกรรมวิธีควบคุม ณ ช่วงความถี่ 3000-2800 cm^{-1} และ 1800-900 cm^{-1} แสดงให้เห็นว่าตัวอย่างที่ปลูกร่วมกับวัสดุปรับปรุงดินคลุกสารชีวภัณฑ์ *B. subtilis* สายพันธุ์ CaSUT008-2 มีกลุ่มไขมันชนิด C-H stretching vibration (3000-2800 cm^{-1}) ที่ peak 2811 cm^{-1} และกลุ่มของลิกนินชนิด C=O ester ที่ peak 1795 cm^{-1} สูงที่สุด รองลงมาเป็นตัวอย่างที่ปลูกร่วมกับวัสดุปรับปรุงดินคลุกสารชีวภัณฑ์ *B. subtilis* สายพันธุ์ CaSUT007 และกรรมวิธีควบคุม ตามลำดับ และกราฟแสดง average secondary derivative FTIR spectrum ของสารชีวโมเลกุลในเนื้อเยื่อชั้น mesophyll แสดงให้เห็นว่าตัวอย่างที่ปลูกร่วมกับวัสดุปรับปรุงดินคลุกสารชีวภัณฑ์ *B. subtilis* สายพันธุ์ CaSUT008-2 มีกลุ่มไขมันชนิด C-H stretching vibration (3000-2800 cm^{-1}) ที่ peak 2929 cm^{-1} และกลุ่มโปรตีน Amide I (1700-1600 cm^{-1}) ที่ peak 1658 cm^{-1} สูงที่สุด และกรรมวิธีควบคุมมีกลุ่มไขมันชนิด C-H stretching vibration (3000-2800 cm^{-1}) ที่ peak 2805 cm^{-1} กลุ่ม ของลิกนินชนิด C=O ester ที่ peak 1793 cm^{-1} กลุ่มไลพิด ลิกนิน C-H bending ที่ peak 1468 cm^{-1} กลุ่ม hemicellulose ลิกนิน C-O stretching ที่ peak 1280 cm^{-1} และกลุ่ม C-C ring cellulose ที่ peak 1146 cm^{-1} สูงกว่าตัวอย่างที่ปลูกร่วมกับวัสดุปรับปรุงดินคลุกสารชีวภัณฑ์ *B. subtilis* สายพันธุ์ CaSUT007 และ 008-2

จากผลการวิเคราะห์ PCA (ภาพที่ 9) แสดงการแยกกลุ่มของเนื้อเยื่อชั้น epidermis และ mesophyll ของใบมันสำปะหลังหลังพันธุ์พิรุณ 2 หลังจากใช้วัสดุปรับปรุงดินคลุกสารชีวภัณฑ์ *B. subtilis* สายพันธุ์ CaSUT007 (สีน้ำเงิน), 008-2 (สีแดง) และกรรมวิธีควบคุม (สีเขียว) พบว่า PCA ทั้งสามกรรมวิธีแยกกลุ่มกันอย่างเห็นได้ชัดแสดงให้เห็นว่าทั้งสามกลุ่มมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน



ภาพที่ 8 แสดงสเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรด (average secondary derivative FTIR spectrum) ของสารชีวโมเลกุลในเนื้อเยื่อชั้น epidermis (a) และ mesophyll (b) ของใบมันสำปะหลังสำปะหลังหลังพันธุ์พิรุณ 2 หลังจากปลูกร่วมกับวัสดุปรับปรุงดินเติมแต่งชีวภัณฑ์ *B. subtilis* สายพันธุ์ CaSUT007, 008-2 และกรรมวิธีควบคุม ณ ช่วงความถี่ 3000-2800 cm^{-1} และช่วง 1800-900 cm^{-1} โดยใช้โปรแกรม UnscramblerX 10.5



ภาพที่ 9 การวิเคราะห์ principle component analysis (PCA) แสดงการแยกกลุ่มของ score และ loading ในเนื้อเยื่อชั้น epidermis (a, c) และ mesophyll (b, d) ของใบมันสำปะหลังพันธุ์พิรุณ 2 หลังจากปลูกร่วมกับวัสดุปรับปรุงดินเติมแต่งชีวภัณฑ์ *B. subtilis* สายพันธุ์ CaSUT007, 008-2 และกรรมวิธีควบคุม โดยใช้โปรแกรม UnscramblerX 10.5

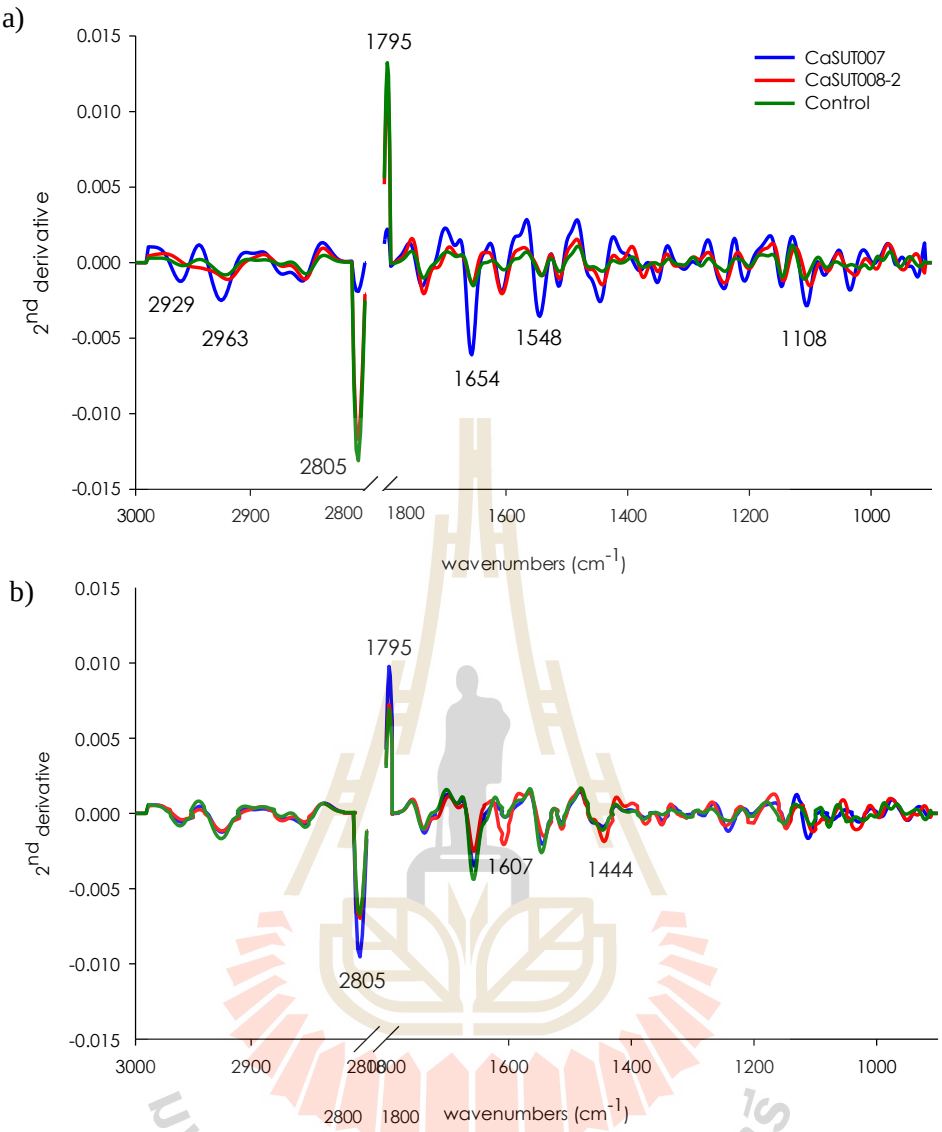
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4.2.2 วิเคราะห์องค์ประกอบทางชีวโมเลกุลในใบมันสำปะหลังพันธุ์ พิรุณ 4 โดยเทคนิค Synchrotron FTIR microspectroscopy

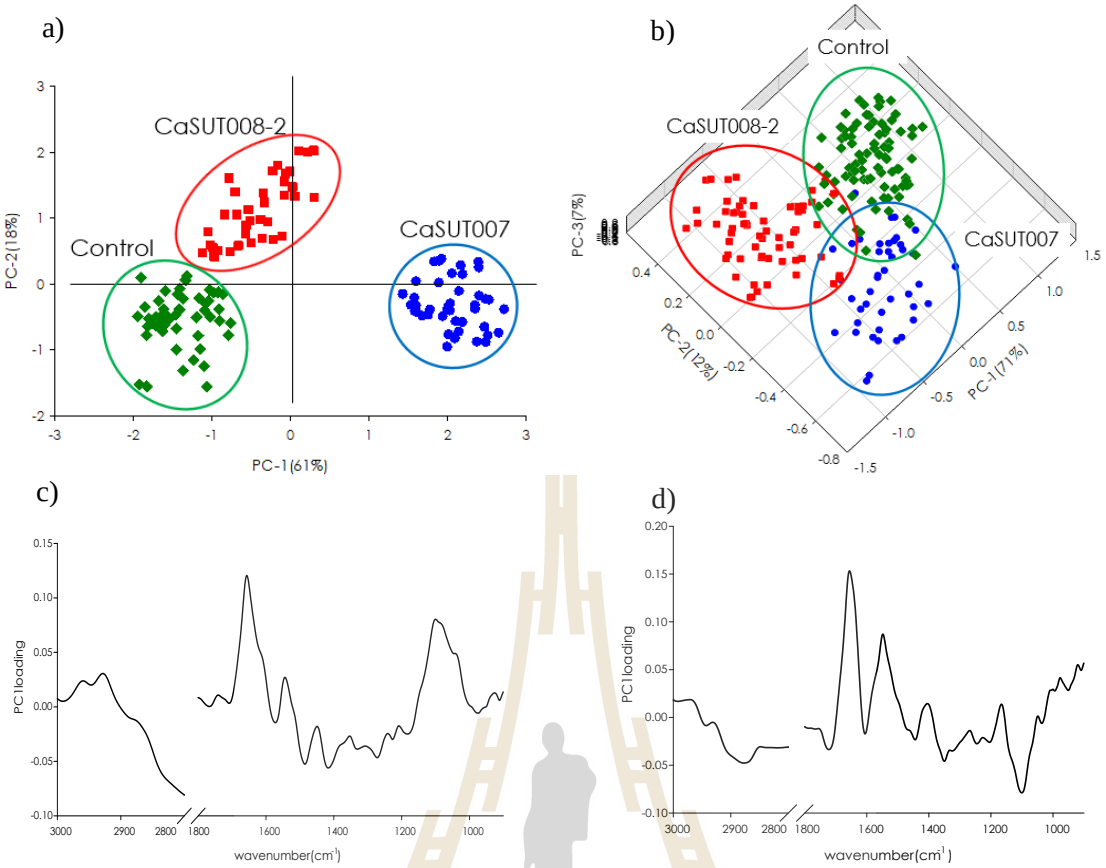
จากกราฟ (ภาพที่ 10) แสดง average secondary derivative FTIR spectrum ของสารชีวโมเลกุลในเนื้อเยื่อชั้น epidermis หลังจากใช้วัสดุปรับปรุงดินคลุกสารชีวภัณฑ์ *B. subtilis* สายพันธุ์ CaSUT007, 008-2 และกรรมวิธีควบคุม ณ ช่วงความถี่ 3000-2800 cm^{-1} และ 1800-900 cm^{-1} แสดงให้เห็นว่าตัวอย่างที่ปลูกร่วมกับวัสดุปรับปรุงดินคลุกสารชีวภัณฑ์ *B. subtilis* สายพันธุ์ CaSUT007 มีกลุ่มไขมันชนิด C-H stretching vibration (3000-2800 cm^{-1}) ที่ peak 2929, 2963 cm^{-1} กลุ่มโปรตีน Amide I (1700-1600 cm^{-1}) ที่ peak 1654 cm^{-1} กลุ่มโปรตีน Amide II (1600-1500 cm^{-1}) และกลุ่ม C-O-C glycoside ที่ peak 1108 cm^{-1} สูงที่สุด แต่มีไขมันชนิด C-H stretching vibration (3000-2800 cm^{-1}) ที่ peak 2805 cm^{-1} และกลุ่มของลิกนินชนิด C=O ester ที่ peak 1795 cm^{-1} ที่ต่ำกว่ากรรมวิธีควบคุม และกรรมวิธีที่ปลูกร่วมกับวัสดุปรับปรุงดินคลุกสารชีวภัณฑ์ *B. subtilis* สายพันธุ์ CaSUT008-2 ตามลำดับ และกราฟแสดง average secondary derivative FTIR spectrum ของสารชีวโมเลกุลในเนื้อเยื่อชั้น mesophyll แสดงให้เห็นว่าตัวอย่างที่ปลูกร่วมกับวัสดุปรับปรุงดินคลุกสารชีวภัณฑ์ *B. subtilis* สายพันธุ์ CaSUT007 มีกลุ่มไขมันชนิด C-H stretching vibration (3000-2800 cm^{-1}) ที่ peak 2805 cm^{-1} และกลุ่มของลิกนินชนิด C=O ester ที่ peak 1795 cm^{-1} สูงที่สุด และตัวอย่างที่ปลูกร่วมกับวัสดุปรับปรุงดินคลุกสารชีวภัณฑ์ *B. subtilis* สายพันธุ์ CaSUT008-2 มีกลุ่มโปรตีน Amide I (1700-1600 cm^{-1}) ที่ peak 1607 cm^{-1} และกลุ่มลิพิดและลิกนินชนิด C-H bending ที่ peak 1444 cm-1 สูงกว่าตัวอย่างที่ปลูกร่วมกับวัสดุปรับปรุงดินคลุกสารชีวภัณฑ์ *B. subtilis* สายพันธุ์ CaSUT007 และกรรมวิธีควบคุม

จากผลการวิเคราะห์ PCA (ภาพที่ 11) แสดงการแยกกลุ่มในเนื้อเยื่อชั้น epidermis และ mesophyll ของใบมันสำปะหลังหลังพันธุ์พิรุณ 4 หลังจากใช้วัสดุปรับปรุงดินคลุกสารชีวภัณฑ์ *B. subtilis* สายพันธุ์ CaSUT007 (สีน้ำเงิน), 008-2 (สีแดง) และกรรมวิธีควบคุม (สีเขียว) พบว่า PCA ทั้งสามกรรมวิธีแยกกลุ่มกันอย่างเห็นได้ชัดแสดงให้เห็นว่าทั้งสามกลุ่มมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



ภาพที่ 10 แสดงสเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรด (average secondary derivative FTIR spectrum) ของสารชีวโมเลกุลในเนื้อเยื่อชั้น epidermis (a) และ mesophyll (b) ของใบมันสำปะหลังหลังพันธุ์พิรุณ 4 หลังจากปลูกร่วมกับวัสดุปรับปรุงดินเติมแต่งชีวภัณฑ์ *B. subtilis* สายพันธุ์ CaSUT007, 008-2 และกรรมวิธีควบคุม ณ ช่วงความถี่ 3000-2800 cm^{-1} และช่วง 1800-900 cm^{-1} โดยใช้โปรแกรม UnscramblerX 10.5



ภาพที่ 11 การวิเคราะห์ principle component analysis (PCA) แสดงการแยกกลุ่มของ score และ loading ในเนื้อเยื่อชั้น epidermis (a, c) และ mesophyll (b, d) ของใบมันสำปะหลังพันธุ์พิรุณ 4 หลังจากปลูกร่วมกับวัสดุปรับปรุงดินเติมแต่งชีวภัณฑ์ *B. subtilis* สายพันธุ์ CaSUT007, 008-2 และกรรมวิธีควบคุม โดยใช้โปรแกรม UnscramblerX 10.5

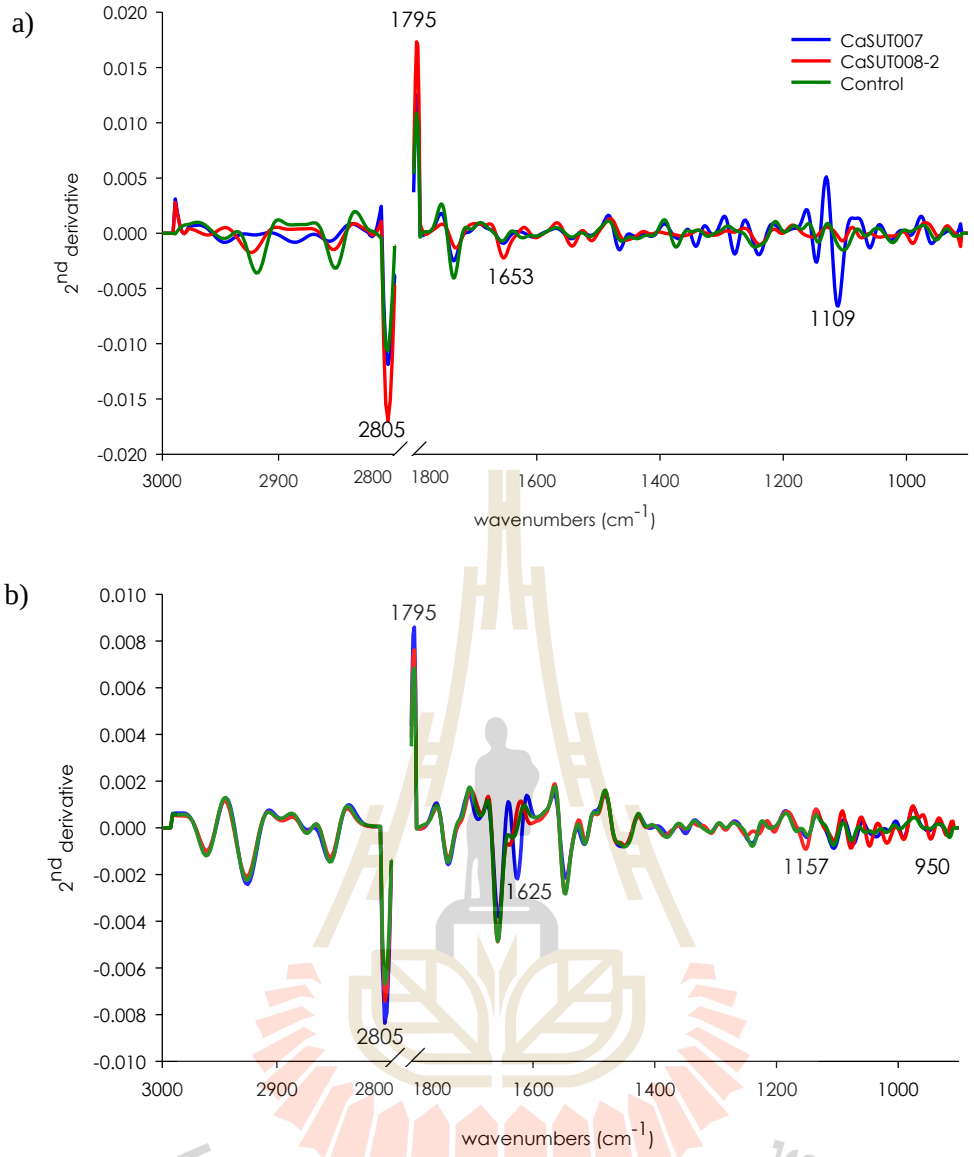
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4.2.3 วิเคราะห์องค์ประกอบทางชีวโมเลกุลในใบมันสำปะหลังพันธุ์ ระยอง 72 โดยเทคนิค Synchrotron FTIR microspectroscopy

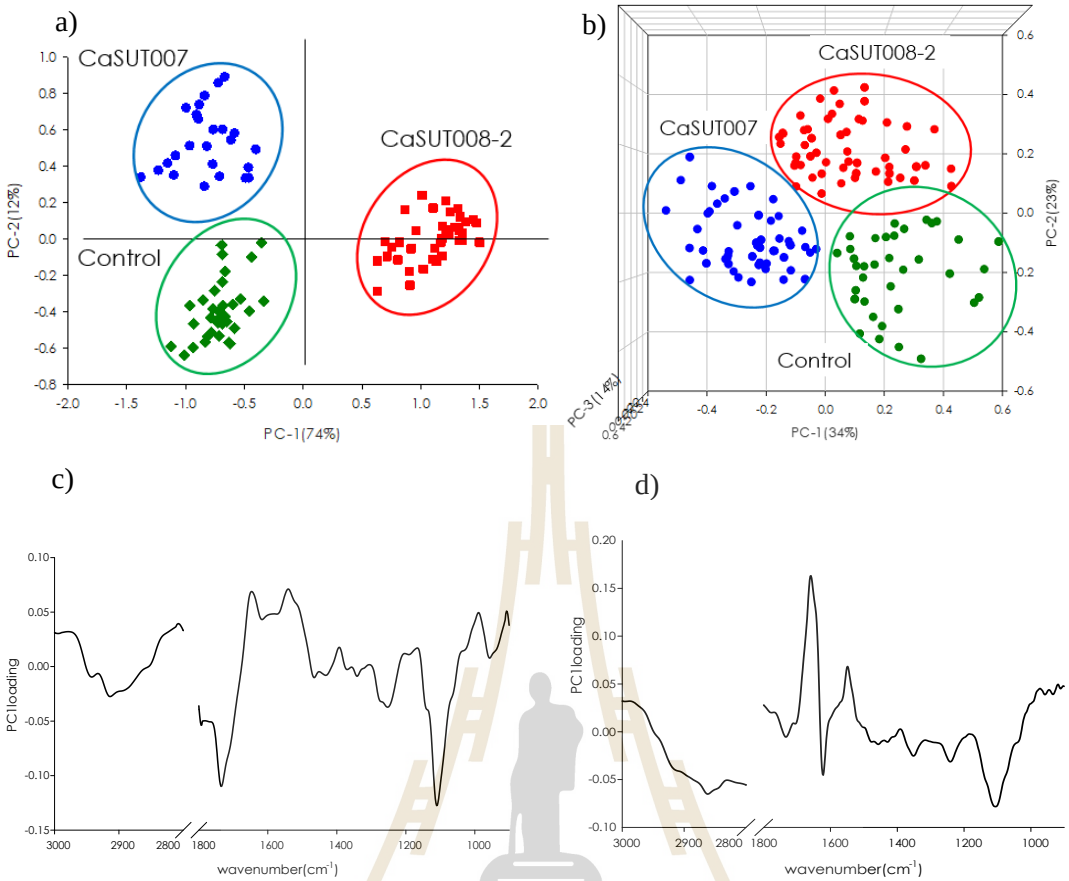
จากกราฟ (ภาพที่ 12) แสดง average secondary derivative FTIR spectrum ของสารชีวโมเลกุลในเนื้อเยื่อชั้น epidermis หลังจากใช้วัสดุปรับปรุงดินคลุกสารชีวภัณฑ์ B. subtilis สายพันธุ์ CaSUT007, 008-2 และกรรมวิธีควบคุม ณ ช่วงความถี่ 3000-2800 cm^{-1} และ 1800-900 cm^{-1} แสดงให้เห็นว่าตัวอย่างที่ปลูกร่วมกับวัสดุปรับปรุงดินคลุกสารชีวภัณฑ์ *B. subtilis* สายพันธุ์ CaSUT008-2 มีกลุ่มไขมันชนิด C-H stretching vibration (3000-2800 cm^{-1}) ที่ peak 2805 cm^{-1} กลุ่มลิกนินชนิด C=O ester ที่ peak 1795 และกลุ่มโปรตีน Amide I (1700-1600 cm^{-1}) ที่ peak 1653 cm^{-1} สูงที่สุด รองลงมาเป็นตัวอย่างที่ปลูกร่วมกับวัสดุปรับปรุงดินคลุกสารชีวภัณฑ์ *B. subtilis* สายพันธุ์ CaSUT007 และกรรมวิธีควบคุม ตามลำดับตามลำดับ และกราฟแสดง average secondary derivative FTIR spectrum ของสารชีวโมเลกุลในเนื้อเยื่อชั้น mesophyll แสดงให้เห็นว่าตัวอย่างที่ปลูกร่วมกับวัสดุปรับปรุงดินคลุกสารชีวภัณฑ์ *B. subtilis* สายพันธุ์ CaSUT007 มีกลุ่มไขมันชนิด C-H stretching vibration (3000-2800 cm^{-1}) ที่ peak 2805 cm^{-1} กลุ่มลิกนินชนิด C=O ester ที่ peak 1795 และกลุ่มโปรตีน Amide I (1700-1600 cm^{-1}) ที่ peak 1625 cm^{-1} สูงที่สุด รองลงมาเป็นตัวอย่างที่ปลูกร่วมกับวัสดุปรับปรุงดินคลุกสารชีวภัณฑ์ *B. subtilis* สายพันธุ์ CaSUT008-2 และกรรมวิธีควบคุม ตามลำดับ

จากผลการวิเคราะห์ PCA (ภาพที่ 13) แสดงการแยกกลุ่มในเนื้อเยื่อชั้น epidermis และ mesophyll ของใบมันสำปะหลังหลังพันธุ์ระยอง 72 หลังจากใช้วัสดุปรับปรุงดินคลุกสารชีวภัณฑ์ *B. subtilis* สายพันธุ์ CaSUT007 (สีน้ำเงิน), 008-2 (สีแดง) และกรรมวิธีควบคุม (สีเขียว) พบว่า PCA ทั้งสามกรรมวิธีแยกกลุ่มกันอย่างเห็นได้ชัด แสดงให้เห็นว่าทั้งสามกลุ่มมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



ภาพที่ 12 แสดงสเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรด (average secondary derivative FTIR spectrum) ของสารชีวโมเลกุลในเนื้อเยื่อชั้น epidermis (a) และ mesophyll (b) ของใบมันสำปะหลังหลังพันธุ์ระยอง 72 หลังจากปลูกร่วมกับวัสดุปรับปรุงดินเติมแต่งชีวภัณฑ์ *B. subtilis* สายพันธุ์ CaSUT007, 008-2 และกรรมวิธีควบคุม ณ ช่วงความถี่ 3000-2800 cm^{-1} และช่วง 1800-900 cm^{-1} โดยใช้โปรแกรม UnscramblerX 10.5



ภาพที่ 13 การวิเคราะห์ principle component analysis (PCA) แสดงการแยกกลุ่มของ score และ loading ในเนื้อเยื่อชั้น epidermis (a, c) และ mesophyll (b, d) ของใบมันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 72 หลังจากปลูกร่วมกับวัสดุปรับปรุงดินเติมแต่งชีวภัณฑ์ *B. subtilis* สายพันธุ์ CaSUT007, 008-2 และกรรมวิธีควบคุม โดยใช้โปรแกรม UnscramblerX 10.5

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4.3 การคัดเลือกสายพันธุ์เชื้อ *B. subtilis* ในการยับยั้งเชื้อราสาเหตุโรคโคนเน่าในมันสำปะหลังระดับห้องปฏิบัติการ

ผลการทดลองพบว่า *B. subtilis* สายพันธุ์ CaSUT007 และ CaSUT008-2 มีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งเจริญของเส้นใยเชื้อรา *Lasiodiplodia* spp. แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดย *B. subtilis* สายพันธุ์ CaSUT008-2 มีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งเฉลี่ยที่ 48.13 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมากกว่า *B. subtilis* สายพันธุ์ CaSUT007 ที่มีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งเฉลี่ยที่ 42.54 เปอร์เซ็นต์ (ภาพที่ 14)

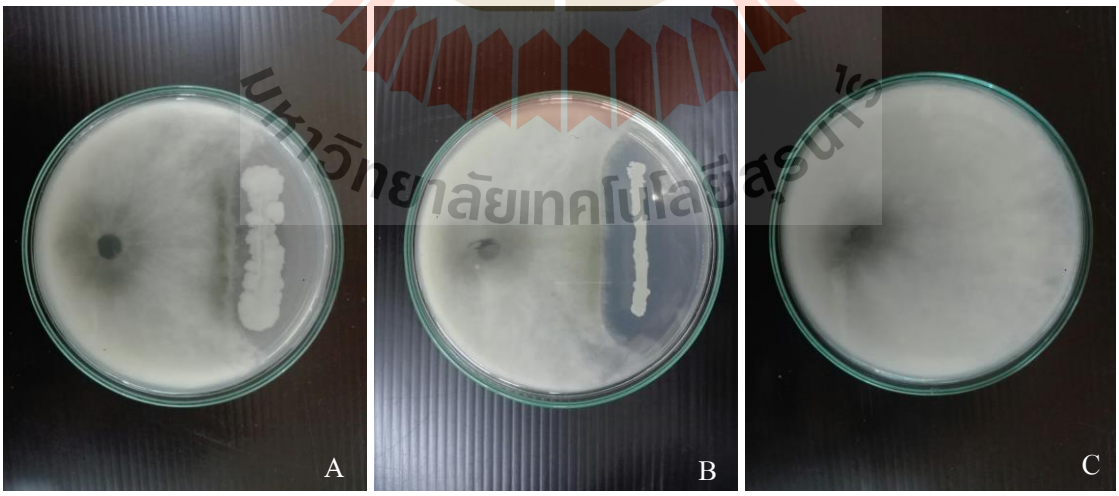
ตารางที่ 3 แสดงเปอร์เซ็นต์การยับยั้งของ *B. subtilis* ต่อการเจริญของเส้นใยเชื้อรา *Lasiodiplodia* spp. บนอาหาร PDA หลังจาก 7 วัน

สายพันธุ์ *Bacillus* sp.	*Lasiodiplodia* spp.	
	Colony diameter (cm.)	Inhibition percentage of against *Lasiodiplodia* spp.
CaSUT007	3.85b	42.54b[1/]
CaSUT008-2	3.48c	48.13a
control	6.70a	0.00c
F-test	**	**
% cv	2.62	6.10

หมายเหตุ: ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติในระดับ P <0.05

** = แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับ P < 0.01

1/ = ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่ตามด้วยอักษรที่แตกต่างกันมีความแตกต่างทางสถิติในระดับ 0.05 จากการเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT



ภาพที่ 14 แสดงการยับยั้งของ *B. subtilis* สายพันธุ์ CaSUT007 (A) และ CaSUT008-2 (B) ต่อการเจริญของเส้นใยเชื้อรา *Lasiodiplodia* spp. และกรรมวิธีควบคุม (C) บนอาหาร PDA ที่อายุ 7 วัน

4.4 การทดสอบเทคโนโลยีการผลิตมันสำปะหลังอินทรีย์

การทดสอบประสิทธิภาพของชีวภัณฑ์และระบบเทคโนโลยีการผลิตมันสำปะหลังอินทรีย์ ณ แปลงทดลองของเกษตรกร โดยใช้พันธุ์พิรุณ 4 วางแผนการทดลอง RCBD จำนวน 4 ซ้ำ และ 3 กรรมวิธีทดลอง คือ กรรมวิธีที่ 1 วิธีการของเกษตรกร กรรมวิธีที่ 2 ไม่ใช้ปัจจัยการผลิต กรรมวิธีที่ 3 เทคโนโลยีการผลิตมันสำปะหลังอินทรีย์ มทส. จากการทดสอบพบว่า กรรมวิธีที่ 3 เทคโนโลยีการผลิตมันสำปะหลังอินทรีย์ มทส. สามารถเพิ่มผลผลิตได้ทั้งปริมาณและคุณภาพ โดยให้ผลผลิตหัวสด ผลผลิตมันแห้ง และผลผลิตแป้งแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 (ตารางที่ 4) กรรมวิธีที่ 3 เทคโนโลยีการผลิตมันสำปะหลังอินทรีย์ มทส. ให้ผลผลิตหัวสด และผลผลิตแป้งสูงสุด คือ 6.98 ตันต่อไร่ และ 26.96 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และมีระดับความรุนแรงของโรคต่ำสุด อยู่ที่ 12 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ กรรมวิธีที่ 1 วิธีการของเกษตรกร ในขณะที่กรรมวิธีที่ 2 ไม่ใช้ปัจจัยการผลิต ให้ผลผลิตหัวสด และผลผลิตแป้งต่ำสุด คือ 3.81 ตันต่อไร่ และ 18.93 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และมีระดับความรุนแรงของโรคสูงสุด อยู่ที่ 65 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 การทดสอบประสิทธิภาพของชีวภัณฑ์และระบบเทคโนโลยีการผลิตมันสำปะหลังอินทรีย์พันธุ์พิรุณ 4 ณ แปลงทดลองของเกษตรกร จ.นครราชสีมา

กรรมวิธี	ปริมาณและคุณภาพผลผลิตมันสำปะหลัง		
	ผลผลิต (ตัน/ไร่)	เปอร์เซ็นต์แป้ง (%)	ความรุนแรงของโรค (%)
กรรมวิธีที่ 1 วิธีการของเกษตรกร	4.46b	19.35b	46.00b[1/]
กรรมวิธีที่ 2 ไม่ใช้ปัจจัยการผลิต	3.81c	18.93c	65.00a
กรรมวิธีที่ 3 เทคโนโลยีการผลิตมันสำปะหลังอินทรีย์ มทส.	6.98a	26.96a	12.00c
F-test	**	**	**
%CV	6.25	4.78	8.21

หมายเหตุ: ** = แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับ $P < 0.01$

1/ = ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่ตามด้วยอักษรที่แตกต่างกันมีความแตกต่างทางสถิติในระดับ 0.05 จากการเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 การคัดเลือกสายพันธุ์เชื้อ *B. subtilis* และทดสอบปัจจัยการผลิตสำหรับปลูกมันสำปะหลังอินทรีย์ในระดับโรงเรือนทดลอง

พบว่ามันสำปะหลังทั้ง 3 สายพันธุ์ มีการเจริญเติบโตในดินที่ใส่วัสดุปรับปรุงดินเติมแต่งเชื้อจุลินทรีย์ที่แตกต่างกัน โดยมันสำปะหลังพันธุ์ ระยอง 72 และพันธุ์ พิรุณ 2 จะตอบสนองในลักษณะการเจริญเติบโตได้ดี เมื่อปลูกในวัสดุปรับปรุงดินเติมเต่งเชื้อ *B. subtilis* สายพันธุ์ CaSUT007 ในอัตราส่วน 1:3 ส่วนมันสำปะหลัง พันธุ์ พิรุณ 4 จะตอบสนองในลักษณะการเจริญเติบโตได้ดี เมื่อปลูกในวัสดุปรับปรุงดินดินเติมเต่งเชื้อ *B. subtilis* สายพันธุ์ CaSUT008 ในอัตราส่วน 1:3

การศึกษาผลของการใช้วัสดุปรับปรุงดินในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน พบว่า มันสำปะหลังที่ปลูกในวัสดุปรับปรุงดินที่อัตราส่วน 1:3 มีการเจริญเติบโตในลักษณะของจำนวนตา จำนวนใบ ความสูงต้น จำนวนราก และความยาวรากเฉลี่ย สูงกว่ามันสำปะหลังที่ปลูกในวัสดุปรับปรุงดินที่อัตราส่วน 1:4 และกรรมวิธีควบคุมที่มีเพียงดินทราย อาจเนื่องมาจากการผสมวัสดุปรับปรุงดินที่อัตราส่วน 1:3 ทำให้ดินทรายมี มีลักษณะทางกายภาพหรือโครงสร้างดินที่ดีขึ้น และเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตจึงทำให้มันสำปะหลังมีการเจริญเติบโตได้ดีกว่าการไม่ใส่วัสดุปรับปรุงดิน โดย สุดชล วุ้นประเสริฐ (2557) กล่าวว่า ดินทรายจะมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ มีปริมาณอินทรีย์วัตถุ ธาตุโพแทสเซียม และฟอสฟอรัส ที่เป็นประโยชน์ต่อพืชอยู่ในเกณฑ์ต่ำถึงต่ำมาก และมีค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุ (CEC) ต่ำ ทำให้เกิดการชะล้าง และสูญเสียธาตุอาหารไปจากดินได้ง่าย เป็นเหตุให้การใช้ปุ๋ยเคมีให้ผลตอบสนองต่อพืชต่ำ ส่งผลให้ผลผลิตต่อหน่วยพื้นที่ลดลง และทำให้คุณสมบัติทางกายภาพของดินไม่ดี ได้แก่ ดินแน่นทึบ ยากแก่การชอนไชของรากพืช ส่งผลให้ประสิทธิภาพการดูดใช้ธาตุอาหารต่ำ

การศึกษาผลของการใช้สายพันธุ์เชื้อ *B. subtilis* ที่แตกต่างกันพบว่า มันสำปะหลังที่ปลูกในวัสดุปรับปรุงดินที่คลุกด้วยเชื้อ *B. subtilis* สายพันธุ์ CaSUT007 และ CaSUT008-2 มีการเจริญเติบโตในลักษณะของจำนวนตา จำนวนใบ ความสูงต้น จำนวนราก และความยาวรากเฉลี่ยสูงกว่ามันสำปะหลังที่ปลูกในชุดควบคุม เนื่องจาก *B. subtilis* เมื่ออาศัยอยู่ร่วมกับรากพืชจะมีคุณสมบัติในการการส่งเสริมการเจริญเติบโตของต้นพืช เป็น Biofertilizer เช่น ช่วยละลาย P ตรึง N และผลิต siderophores ช่วยในกระบวนการส่งเสริมการนำเข้าและการสะสมโลหะในพืช ซึ่งสามารถสังเคราะห์ฮอร์โมนที่ช่วยในการส่งเสริมการเจริญเติบโตพืชด้วย (Hashem et al, 2019 and Rajkumar M, 2009) อีกทั้งผลการทดลองยังสอดคล้องกับการทดลองของ จักรพงษ์ กางโสภา (2561) ที่ทำการพอกเมล็ดผักกาดหอมร่วมกับ *B. subtilis* มีผลให้ความยาวรากดีที่สุด เมื่อพิจารณาการเจริญเติบโตของมันสำปะหลังอาจอธิบายได้เพิ่มเติมว่า *B. subtilis* สามารถผลิตเอนไซม์ไนโตรจิเนส (ปรารถนา หงส์ฤทธิพันธุ์ และคณะ, 2555) ที่ช่วยในการเปลี่ยนก๊าซไนโตรเจนให้เป็นสารประกอบในรูปของแอมโมเนียมและไนเตรท (Herrera et al., 2016) ที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ ซึ่งไนโตรเจนมีส่วนสำคัญต่อการเจริญเติบโตของใบ และลำต้นพืช และเป็นส่วนประกอบสำคัญของ คลอโรฟิลล์ที่ทำหน้าที่ในการสังเคราะห์ด้วยแสงเพื่อผลิตอาหาร และสะสมอยู่ในรูปของแป้ง ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้มันสำปะหลังมีการเจริญเติบโตที่เพิ่มขึ้น และผลการทดลองยังแสดงให้เห็นอีกว่า *B. subtilis* ในวัสดุปรับปรุงดินทำให้มันสำปะหลังมีการเจริญเติบโตของรากในลักษณะของจำนวน และความยาวเพิ่มขึ้น โดย *B. subtilis* มี

กลไกสำคัญที่สามารถผลิตฮอร์โมนพืชชนิด indole-3-acetic acid (IAA) (Ahemad and Khan, 2011) ซึ่งมีส่วนสำคัญต่อการแบ่งเซลล์ การขยายตัวของเซลล์ราก เพิ่มความยาวและพื้นที่ผิวเพื่อให้รากสามารถดูดซึมน้ำและสารอาหารได้มากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานทดลองของ Reetha และคณะ (2014) ที่ได้ทดสอบผลของ indole-3-acetic acid (IAA) ที่ผลิตจาก *B. subtilis* ต่อการเจริญเติบโตของกระเทียม พบว่าสามารถเพิ่มความยาวรากได้สูงกว่ากรรมวิธีควบคุม

5.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางชีวโมเลกุลในใบมันสำปะหลังโดยเทคนิค Synchrotron FTIR microspectroscopy

พบว่า มันสำปะหลังที่ปลูกในวัสดุปรับปรุงดินเติมแต่งเชื้อ *B. subtilis* สายพันธุ์ CaSUT007 และ CaSUT008-2 ในอัตราส่วน 1:3 มีค่าการดูดกลืนแสง (FTIR spectra) ในชั้น epidermis และ mesophyll แตกต่างกันเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม โดยความแตกต่างของสเปคตรัมเหล่านี้เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มข้นของโปรตีน ลิพิด เพคติน และโพลีแซคคาไรด์ ที่เกี่ยวข้องกับการเจริญและการพัฒนาของเซลล์ ซึ่งอาจมีผลต่อการสร้างผลผลิตของมันสำปะหลัง โดยจากผลการทดลองพบว่า มันสำปะหลัง พันธุ์ พิรุณ 2 พิรุณ 4 และระยอง 72 ที่ปลูกในวัสดุปรับปรุงดินเติมแต่งเชื้อ *B. subtilis* สายพันธุ์ CaSUT007 และ CaSUT008-2 ในอัตราส่วน 1:3 มีค่าการดูดกลืนแสง (FTIR spectra) ในช่วงของโปรตีน ลิพิด เพคติน และ โพลีแซคคาไรด์ ต่างๆ ที่สูงกว่าชุดควบคุม ยกเว้น พันธุ์ พิรุณ 2 ที่มีโพลีแซคคาไรด์ต่ำกว่าชุดควบคุม โดย ลิพิด และโปรตีน สามมารถพบได้ในเยื่อหุ้มเซลล์ของเซลล์ใบมันสำปะหลัง ทำหน้าที่เป็นเยื่อเลือกผ่าน และสามารถพบโปรตีนในรูปของเอนไซม์ต่างๆ ในเซลล์ได้ ซึ่งอาจเกี่ยวข้องกับการกระตุ้น หรือสังเคาระห์สารต่างๆ ที่จำเป็นในการพัฒนาและการเจริญเติบโตของมันสำปะหลังได้ เช่น เอนไซม์ Rubisco ที่มีส่วนช่วยให้พืชสามารถตรึง CO_2 ในวัฏจักรคัลวิน เพื่อให้ได้ กลีเซอรอลดีไฮด์-3-ฟอสเฟต (G3P) ที่จะนำไปสร้างเป็นกลูโคส ซึ่งจะเปลี่ยนเป็นแป้งสะสมภายในเซลล์ เป็นต้น ในส่วนของเพคติน และโพลีแซคคาไรด์ในเนื้อเยื่อใบมันสำปะหลังสามารถพบได้ในผนังเซลล์ ซึ่งประกอบด้วย cellulose, hemicellulose, lignin และ pectin (Joseleau and Pérez, 2016; Le Thanh et al., 2017; Wilson et al, 2000; Thepbandit et al., 2021; Siriwong et al., 2021) ที่ช่วยให้เซลล์แข็งแรง ไม่โค่นหรือหักง่าย และจากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางชีวโมเลกุลในใบมันสำปะหลังโดยเทคนิค FTIR เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลการเจริญเติบโต ดังตารางที่ 2 จะพบว่า มีความสอดคล้องกัน ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่า การตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของสารชีวโมเลกุลในใบมันสำปะหลัง สามารถช่วยให้เราเห็นความแตกต่างและการเปลี่ยนแปลงสารชีวโมเลกุลในเนื้อเยื่อพืชได้อย่างแม่นยำ โดยมีรายงานว่า Wang และคณะ (2012) ได้มีการนำเทคนิค Synchrotron FTIR microspectroscopy มาใช้ในการตรวจสอบปริมาณของ cellulose ในปล้องของข้าวสาลี เพื่อใช้ในการคัดเลือกพันธุ์ที่ต้านทานต่อการหักล้ม (stem lodging) ซึ่งเทคนิคนี้สามารถช่วยคัดเลือกได้อย่างรวดเร็ว

5.3 การคัดเลือกสายพันธุ์เชื้อ *B. subtilis* ในการยับยั้งเชื้อราสาเหตุโรคโคนเน่าในมันสำปะหลังในระดับห้องปฏิบัติการ

พบว่า *B. subtilis* สายพันธุ์ CaSUT007 และ CaSUT008-2 สามารถยับยั้งเจริญของเส้นใยเชื้อรา *Lasiodiplodia* spp. โดยเฉลี่ย 42.54 และ 48.13 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับเมื่อเทียบกับกรรมวิธี

ควบคุม เนื่องจาก *Bacillus* sp. สามารถผลิตสารบางอย่างที่มีสมบัติในการยับยั้ง และทำลายเส้นใยของเชื้อราก่อโรค เช่น secondary metabolites, cell-wall-degrading enzymes สาร antioxidants lipopeptides (Abeer Hashem, 2019 and Sajitha et al, 2016) ซึ่งสสาร secondary metabolites เป็นสารที่ *Bacillus* sp. สร้างและปลดปล่อยออกมา ทำลายเชื้อก่อโรคที่อยู่ในดิน ทำให้เชื้อมีปริมาณลดลง และลดการก่อโรคในพืชได้ โดย Chen et al. (2009) ได้ทำการตรวจสอบการผลิตสารปฏิชีวนะและสารเมทาบอไลต์ ใน *Bacillus amyloliquefaciens* FZB42 โดยพบว่าเชื้อชนิดนี้มียีนที่เกี่ยวของกับการสังเคราะห์สารเมทาบอไลต์ที่สามารถยับยั้งเชื้อราและแบคทีเรียได้ นอกจากนี้ Chukeatirote et al. (2018) ยังพบว่า เชื้อ *Bacillus amyloliquefaciens*JN15 สามมารถยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *Lasiodiplodia theobromae* ได้ถึง 60 เปอร์เซนต์ และการทดลองของ Sajitha et al. (2016) ยังพบว่า *Bacillus subtilis* B1 มีการผลิตสาร lipopeptides โดยสารชนิดนี้สามารถทำให้เส้นใยของเชื้อรา *L. theobromae*. เกิดการสูญเสียน้ำ (plasmolysis) เกิดการหดตัวของเซลล์ และทำลายเส้นใยของเชื้อราได้

5.4 การทดสอบประสิทธิภาพของชีวภัณฑ์และระบบเทคโนโลยีการผลิตมันสำปะหลังอินทรีย์

การทดสอบประสิทธิภาพของชีวภัณฑ์และระบบเทคโนโลยีการผลิตมันสำปะหลังอินทรีย์ ณ แปลงทดลองของเกษตรกร โดยใช้พันธุ์พิรุณ 4 วางแผนการทดลอง RCBD จำนวน 4 ซ้ำ และ 3 กรรมวิธีทดลอง คือ กรรมวิธีที่ 1 วิธีการของเกษตรกร กรรมวิธีที่ 2 ไม่ใช้ปัจจัยการผลิต กรรมวิธีที่ 3 เทคโนโลยีการผลิตมันสำปะหลังอินทรีย์ มทส. จากการทดสอบพบว่า กรรมวิธีที่ 3 เทคโนโลยีการผลิตมันสำปะหลังอินทรีย์ มทส. สามารถเพิ่มผลผลิตได้ทั้งปริมาณและคุณภาพ โดยให้ผลผลิตหัวสด ผลผลิตมันแห้ง และผลผลิตแป้งแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 โดยกรรมวิธีที่ 3 เทคโนโลยีการผลิตมันสำปะหลังอินทรีย์ มทส. ให้ผลผลิตหัวสด และผลผลิตแป้งสูงสุด คือ 6.98 ตันต่อไร่ และ 26.96 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และมีระดับความรุนแรงของโรคต่ำสุด อยู่ที่ 12 เปอร์เซ็นต์ จากการทดสอบข้างต้น ในเชิงการนำไปใช้จริงหรือมีการทดสอบเพิ่มเติม หากใช้วัสดุปรับปรุงดินเติมแต่งเชื้อ *B. subtilis* สองสายพันธุ์ร่วมกัน ช่วยให้มันสำปะหลังมีการเจริญเติบโตที่ดีขึ้น และสามารถลดการเข้าทำลายของโรคโคนเน่าได้ ซึ่งจะส่งผลให้มันสำปะหลังมีผลผลิตที่เพิ่มขึ้นและลดการสูญเสียได้

อย่างไรก็ตามในการศึกษาต่อไป จะต้องมีการศึกษาต้นทุนการผลิตแป้งมันสำปะหลังอินทรีย์ และควรศึกษาดัชนีโลจิสติกส์ของการผลิตมันสำปะหลังอินทรีย์ เพื่อพัฒนาประสิทธิภาพทางโลจิสติกส์ของการผลิตแป้งมันสำปะหลังอินทรีย์ตลอดห่วงโซ่อุปทานต่อไป

รายการอ้างอิง

กิริยา สังข์ทองวิเศษ, อนันต พลธานี และสมโภชน แก่วระหัน, (2554). การเจริญเติบโต และผลผลิตของถั่วลิสงที่ปลูกแซมมันสำปะหลังโดยอาศัยน้ำฝน ที่จังหวัดร้อยเอ็ด. แก่นเกษตร 39 ฉบับพิเศษ. หน้า 375-379.

กรมวิชาการเกษตร. (2560). โรครากหรือหัวเน่า (Root and Tuber Rot Diseases). [ออนไลน์]. ได้จาก: https://www.kubotasolutions.com/knowledge/cassava/detail/190

คมชัดลึก. 2558. เทคนิคปลูกมันสำปะหลังทุนต่ำ เกษตรกรทำได้-มีรายได้เพิ่มขึ้น. [ออนไลน์]. ได้จาก: https://www.komchadluek.net/it/205811

จรุงสิทธ์ ลิ่มศิลา และอัจฉรา ลิ่มศิลา . (2537). ประวัติการแพร่กระจาย ความสำคัญ และดินอากาศที่เหมาะสม. ในเอกสารวิชาการมันสำปะหลัง. ศูนย์วิจัยพืชไร่ระยอง. กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ. 1-13.

จำลอง เจียมจำนรรจา. (2547). มันสำปะหลัง. ในพฤกษศาสตรพืชเศรษฐกิจ. ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร. 108-127.

จิตมนัส นิกาจี๊. (2559). การพัฒนาสูตรและวิธีการใช้ชีวภัณฑ์เชื้อแบคทีเรีย *Bacillus subtilis* เพื่อควบคุมโรคเน่าเละของผักกาดเขียวปลี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. สาขาวิชาพืชศาสตร์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. 101 หน้า

จักรพงษ์ กางโสภา, Russell K. Hynes และ บุญมี ศิริ. (2561). ผลของการทำ Seed Treatment ร่วมกับแบคทีเรียส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชต่อความงอกและการเติบโตของผักกาดหอม. วารสารเกษตร. เล่มที่ 34. ฉบับที่ 3. หน้า 385-397.

ฐานข้อมูลส่งเสริมและยกระดับคุณภาพสินค้า OTOP. (2560). มันสำปะหลังและผลิตภัณฑ์. [ออนไลน์]. http://otop.dss.go.th/index.php/en/knowledge/informationrepack/3 3 9 - tapioca-and-products?showall=&start=8

ฐิติมา วีระศิลป์. (2542). โรคมันสำปะหลัง. ในพืชทองคำใต้แผ่นดินมันสำปะหลัง. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 41-121.

ธนวรรธน์ ปาละ. (2552). การศึกษาศักยภาพและการยอมรับในระบบการปลูกข้าวโพดแซมมันสำปะหลังเขตจังหวัดกำแพงเพชร. การศึกษาค้นคว้าด้วยตนเอง วท.ม. สาขาวิชาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยนเรศวร. 2.

ปรารถนา หงส์ฤทธิพันธุ์, เบญจวรรณ ฤกษ์เกษม และ สมจิตร อยู่เป็นสุข. (2555). การแยกและการคัดเลือกแบคทีเรียเอนโดไฟท์ตรึงไนโตรเจนในข้าว. เรื่องเต็มการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 50: สาขาวิทยาศาสตร์, สาขาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, หน้า 71-77

ภัคภณ ศรีคล้าย. (2558). การบริหารจัดการสุขภาพพืช. นวัตกรรมการเกษตร. ออร์กาเนลไลฟ์ (ประเทศไทย) จำกัด.

ยุรฉัตร ยอดโยธี. (2554). การชักนำการต้านทานโรคและการแสดงออกของยีน PR-1 ในยางพาราโดยใช้ตัวกระตุ้นชนิดต่างๆ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. สาขาวิชาชีวเคมี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

รังษี เจริญสถาพร และ อมรรัชฎ์ คิดใจเดียว. (2553a). โรคแอนแทรคโนสในมันสำปะหลัง. จดหมายข่าวศูนย์วิจัยพืชไร่นครสวรรค์. [ออนไลน์]. ได้จาก: http://nsfcrc-news.blogspot.com/2010/10/blog-post_15.html

รังษี เจริญสถาพร และ อมรรัชฎ์ คิดใจเดียว. (2553b). โรคแอนแทรคโนสมันสำปะหลังและแนวทางการป้องกันกำจัด. สถาบันวิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร. [ออนไลน]. ได้จาก :http://soclaimon.wordpress.com/

วารีย์ ทองมี, มธาพร พุฒขาว, ธรรมรัตน์ ทองมี, รังษี เจริญสถาพร, เสาวลักษณ์ บันเทิงสุข, อรทัย วรสุทธิ์พิศาล, วัลลีย์ อมรพล และภานุวัฒน์ มูลจันทะ. (2559). การทดสอบพันธุ์มันสำปะหลังในแปลงเกษตรกรที่มีการจัดการแบบผสมผสานเพื่อแก้ปัญหาโรคโคนเน่าหัวเน่าอำเภออรัญประเทศ จังหวัดสระแก้ว วารสารวิชาการเกษตร. 34(2): 125-133

วัฏจักรคัลวิน. 12 กันยายน 2562, 7.24 UTC. ใน วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. มูลนิธิวิกิมีเดีย. สารานุกรมออนไลน์. เข้าถึงได้จาก http://th.wikipedia.org/wiki/วัฏจักรคัลวิน. อินเทอร์เน็ต. เข้าถึงเมื่อ 26 มีนาคม 2553.

ศูนย์วิจัยพืชไร่นครสวรรค์. (2554). ระวังการระบาดของโรคในมันสำปะหลัง. [ออนไลน์]. ได้จาก: http://nsfcrcnews.blogspot.com/2011/06/blog-post.html

สมาคมแป้งมันสำปะหลังไทย, 2552. อุตสาหกรรมมันสำปะหลังไทย.[ออนไลน์]. ได้จาก: http://www.thaitapiocastarch.org/th

สุดชล วุ้นประเสริฐ. (2557) การพัฒนาวิธีการให้น้ำแบบประหยัด และการให้ปุ๋ยในระบบน้ำ ในการผลิตพริก และมะเขือเทศในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี:นครราชสีมา.

สถาบันวิจัยพืชไร่และพืชทดแทนพลังงาน. (2560). โรคใบจุดสีน้ำตาล (Brown Leaf Spot). [ออนไลน์]. ได้จาก: https://www.kubotasolutions.com/knowledge/cassava/detail/88

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร. (2560). สถานการณ์และแนวโน้มมันสำปะหลังในประเทศไทย. [ออนไลน์]. ได้จาก: http://otop.dss.go.th/index.php/en/knowledge/informationrepack/3 3 9 - tapioca-and-products?showall=&start=8

สำนักงานเศรษฐกิจเกษตร. (2562). มันสำปะหลังโรงงาน: เนื้อที่เพาะปลูก เนื้อที่เก็บเกี่ยว ผลผลิต และผลผลิตต่อไร่ ปี 2562. [ออนไลน์]. ไดจ้าก: http://www.oae.go.th/assets/portals/1/fileups/prcaidata/files/casava62(1).pdf

Ahemad, M. and M.S. Khan. (2011). Functional aspects of plant growth promoting rhizobacteria: recent advancements. Insight Microbiol 1(3): 39-54

Hashem, A., Tabassum, B. and Allah E. F. A. (2019). *Bacillus subtilis*: A plant-growth promoting rhizobacterium that also impacts biotic stress. Saudi Journal of Biological Sciences. 26(6): 1-7.

Chen X.H. · Koumoutsi A. · Scholz R. · Borriss R. (2009). More than anticipated – production of antibiotics and other secondary metabolites by *Bacillus amyloliquefaciens* FZB42. J Mol Microbiol Biotechnol; 16:14–24 (DOI:10.1159/000142891)

Chukeatirote, E., Phueaouan, T. and Piwkam A. (2018). Screening of rhizosphere soil bacteria for biocontrol of Lasiodiplodia theobromae. Agriculture and Natural Resources. 52: 325-329

Frison, E.A. and Feliu, E. (1991). FAO/IBPGR Technical guidelines for the safe movement of cassava germplasm. Food and Agreeculature Organinztion of the United Nations, Rome/International Board for Plant Genetic Resources, Rome. 48.

FAO. (2017). Cassava. Food Outlook Biannual Report on Global Food Market. 144p.

Fokunang, C.N., Dixon, A.G.O., Ikotun, T., Tombe, E.A., Akem, C.N. and Asiedu, R. (2001). Anthracnose: An economic disease of cassava in Africa. Pakistan Journal of Biological Science 4(7): 920-925.

Herrera, J.M., G. Rubio, L.L. Häner, J.A. Delgado, C.A. Lucho Constantino, S. Islas-Valdez and D. Pellet. (2016). Emerging and established technologies to increase nitrogen use efficiency of cereals. Agronomy Journal 6(2): 25, doi:10.3390/agronomy6020025.

Joseleau, J.P. and S. Pérez. (2016). The plant cell walls: complex polysaccharide nano-composites. Glycopedia.: Available online http://www.glycopedia.eu/IMG/pdf/the_plant_cell_walls.pdf

Le Thanh, T., Thumanu, K., Wongkaew, S., Boonkerd, N., Teaumroong, N., Phansak, P., Buensanteai, N. (2017). Salicylic acid-induced accumulation of biochemical components associated with resistance against *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae* in rice. Journal of Plant Interactions. 12(1): 108-120.

Rajkumar M, Ae N and Freitas H. (2009). Endophytic bacteria and their potential to enhance heavy metal phytoextraction. Chemosphere. 77(2): 153-160.

Reetha, S., G. Bhuvaneswari, P. Thamizhiniyan and T. Ravi Mycin. (2014). Isolation of indole acetic acid (IAA) producing rhizobacteria of *Pseudomonas fluorescens* and *Bacillus subtilis* and enhance growth of onion (Allim cepa. L). International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. 3(2): 568-574.

Sajitha, K. L., Suma Arun Dev, E. J. Maria Florence. (2016). Identification and Characterization of Lipopeptides from *Bacillus subtilis* B1 Against Sapstain Fungus of Rubberwood Through MALDI-TOF-MS and RT-PCR. Current Microbiology. 73: 46–53.

Siriwong, S., Thepbandit, W., Hoang, N. H., Papathoti, N. K., Teeranitayatarn, K., Saardngen, T., Thumanu, K., Bhavaniramya, S., Baskaralingam, V., Le Thanh, T., Phansak, P., Buensanteai, N. (2021). Identification of a Chitooligosaccharide Mechanism against Bacterial Leaf Blight on Rice by In Vitro and In Silico Studies. International Journal of Molecular Sciences. 22(15): 1-21.

Theberge, R.L., (1985). Common African Pest and Diseases of Cassava, Yam, Sweet Potato and Cocoyam. International Institute of Tropical Agriculture, Ibadan Nigeria, 107 pp.

Thepbandit, W., Buensanteai, N., Thumanu, K., Siriwong, S., Le Thanh, T., Athinuwat, D. (2021) Salicylic acid elicitor inhibiting *Xanthomonas oryzae* growth, motility, biofilm, polysaccharides production, and biochemical components during pathogenesis on rice. Chiang Mai Journal of Science. 48(2): 341-353.

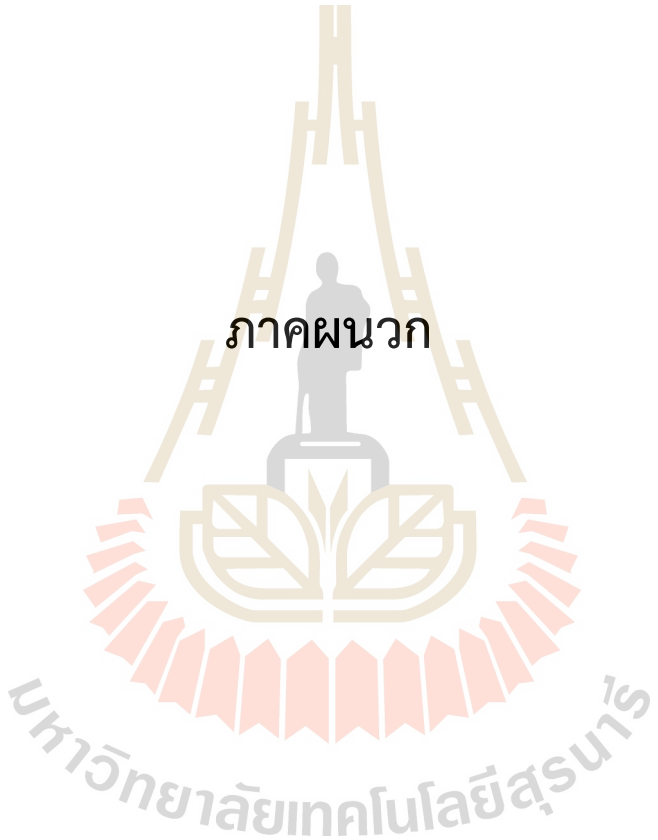
Wilson R. H., Andrew C. Smith, Marta Kačuráková, Paul K. Saunders, Nikolaus Wellner, and Keith W. Waldron. (2000). The Mechanical properties and molecular dynamics of plant cell wall polysaccharides studied by fourier-transform infrared spectroscopy. Plant Physiology. 124(1): 397–406.

Wang, J., J. Zhu, R. Huang and Y. Yang. (2012). Investigation of cell wall composition related to stem lodging resistance in wheat *(Triticum aestivum* L.) by FTIR spectroscopy. Plant Signaling & Behavior. 7: 856–863

Wokocha, R., Nneke, C. and Umechuruba, C.I. (2010). Screening Colletotrichum gloeosporiodies f.sp. manihotis isolates for virulence on cassava in Akwa Ibom State of Nigeria. AgroScience Journal of Tropical Agriculture. 9: 56-63

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก



1. อาหารเลี้ยงแบคทีเรีย

1.1 Nutrient Agar (NA)

Peptone	5	กรัม
Beef extract powder	3	กรัม
ผงวุ้น (Agar)	15	กรัม
น้ำกลั่นหรือน้ำกรอง	1,000	มิลลิลิตร

นำ Peptone, Beef extract และ ผงวุ้น มาเทรวมกันในน้ำ 1,000 มิลลิลิตร คนให้เข้ากันแล้วนำไปต้ม คนเป็นระยะ จนผงวุ้นละลายเป็นเนื้อเดียวกันกับน้ำ แล้วแบ่งใส่ขวดแก้วใสเพื่อนึ่งฆ่าเชื้อภายใต้ความดัน 15 ปอนด์/ตารางนิ้ว หรืออุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียสนาน 15-20 นาที

1.2 Nutrient Broth (NB)

Peptone	5	กรัม
Beef extract powder	3	กรัม
น้ำกลั่นหรือน้ำกรอง	1,000	มิลลิลิตร

นำ Peptone และ Beef extract มาเทรวมกันในน้ำ 1,000 มิลลิลิตร คนให้เข้ากัน แล้วแบ่งใส่ขวดแก้วใสเพื่อนึ่งฆ่าเชื้อภายใต้ความดัน 15 ปอนด์/ตารางนิ้ว หรืออุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียสนาน 15-20 นาที

1.3 MRS agar (อาหารเลี้ยงเชื้อ *Lactobacillus* sp.)

peptone	10	กรัม
meat extract	8	กรัม
yeast extract	4	กรัม
glucose	20	กรัม
sodium acetate trihydrate	5	กรัม
polysorbate 80 (หรือTween 80)	1	กรัม
dipotassium hydrogen phosphate	2	กรัม
triammonium citrate	2	กรัม
magnesium sulfate heptahydrate	0.2	กรัม
manganese sulfate tetrahydrate	0.05	กรัม
ผงวุ้น (agar)	10	กรัม
น้ำกลั่นหรือน้ำกรอง	1,000	มิลลิลิตร

นำสารทั้งหมดมาเทรวมกันในน้ำ 1,000 มิลลิลิตร คนให้เข้ากัน แล้วแบ่งใส่ขวดแก้วใสเพื่อนึ่งฆ่าเชื้อภายใต้ความดัน 15 ปอนด์/ตารางนิ้ว หรืออุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียสนาน 15-20 นาที

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1.4 Molasses Diammonium phosphate and Yeast extract (MDY)

กากน้ำตาล (mollass)	75	กรัม
Diammonium phosphate (DAP)	5	กรัม
Potassium metabisulfite (KMS)	1	กรัม
Yeast extract	15	กรัม
น้ำกลั่นหรือน้ำกรอง	5,000	มิลลิลิตร

นำกากน้ำตาลที่ผ่านการนึ่งภายใต้ความดัน 15 ปอนด์/ตารางนิ้ว หรืออุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที จำนวนสองรอบ และ Yeast extract ที่ผ่านการนึ่งภายใต้ความดันหนึ่งรอบ มาผสมกับน้ำที่ใส่ DAP และ KMS ไว้แล้ว 6 ชั่วโมง ผสมให้เข้ากัน แล้วจึงใส่หัวเชื้อที่เลี้ยงไว้ลงไป (จิตมนัส, 2559)

2. 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 จนสุกนิ่ม กรองเอาเฉพาะน้ำ แล้วเติม dextrose 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 จนสุกนิ่ม กรองเอาเฉพาะน้ำ แล้วเติม dextrose ลงไป ปรับปริมาตรให้เป็น 1,000 มิลลิลิตร คนให้เข้ากัน แล้วแบ่งใส่ขวดแก้วใสเพื่อนึ่งฆ่าเชื้อภายใต้ความดัน 15 ปอนด์/ตารางนิ้ว หรืออุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียสนาน 15-20 นาที

3. อาหารเลี้ยงยีสต์

3.1 Yeast extract Peptone Dextrose Agar (YPD agar)

Yeast extract	10	กรัม
Peptone	20	กรัม
Dextrose	20	กรัม
ผงวุ้น (agar)	15	กรัม
น้ำกลั่นหรือน้ำกรอง	1,000	มิลลิลิตร

นำ Yeast extract, peptone, dextrose และ ผงวุ้นมาเทรวมกันในน้ำ 1,000 มิลลิลิตร คนให้เข้ากัน แล้วนำไปต้ม คนเป็นระยะ จนผงวุ้นละลายเป็นเนื้อเดียวกันกับน้ำ แล้วแบ่งใส่ขวดแก้วใสเพื่อนึ่งฆ่าเชื้อภายใต้ความดัน 15 ปอนด์/ตารางนิ้ว หรืออุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียสนาน 15-20 นาที

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ประวัติผู้วิจัย

นางสาวณัฐธิญา เบือนสันเทียะ เกิดวันที่ 7 กรกฎาคม พ.ศ. 2523 ที่ อำเภอเสิงสาง จังหวัดนครราชสีมา สำเร็จการศึกษาระดับ มัธยมศึกษาตอนต้น 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 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จนถึงปัจจุบัน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี