



รายงานการวิจัย

กลไกการถ่ายทอดเชื้อไวรัสโรคใบด่างของแมลงหิวขาวยาสูบเพื่อคัดเลือก
พันธุ์มันสำปะหลังทนทาน

(Transmission Mechanism of Mosaic Virus Disease of Whitefly
for Selection of Tolerance Cassava Varieties)

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว



รายงานการวิจัย

กลไกการถ่ายทอดเชื้อไวรัสโรคใบด่างของแมลงหีขาวยาสูบเพื่อคัดเลือกพันธุ์มันสำปะหลังทนทาน

(Transmission Mechanism of Mosaic Virus Disease of Whitefly for Selection of Tolerance Cassava Varieties)

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จริญญา รอดดี

สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช
สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผู้ร่วมวิจัย

นางสาวสุชาวดี กลางจอหอ

นางสาวสุดารัตน์ พิมพ์ครบุรี

นางสาวสุภาวดี พรหมบุตร

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2565

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

มีนาคม 2566

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณผู้ร่วมวิจัยทุกท่าน บุคคลากรและเจ้าหน้าที่ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำและให้ความช่วยเหลือทางด้านวิชาการ และการดำเนินงานวิจัย เป็นอย่างดี ขอบพระคุณสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์วิจัยและนวัตกรรม และกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม ปีงบประมาณ 2565 และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้การสนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัย

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่และห้องปฏิบัติการกีฏวิทยา ณ ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้การสนับสนุนในด้านวัสดุ อุปกรณ์ ตลอดจนอำนวยความสะดวกด้านสถานที่ที่ใช้ในการทดลอง

จริยา รอดดี
หัวหน้าโครงการวิจัย



บทคัดย่อ

แมลงหิวข้าวยาสูบ *Bemisia tabaci* (Gennadius) เป็นพาหะที่สำคัญในการถ่ายทอดเชื้อไวรัส cassava mosaic virus สายพันธุ์ Sri Lankan (SLCMV) สาเหตุโรคใบด่างมันสำปะหลัง ต้นมันสำปะหลังที่ติดเชื้อจะแสดงอาการใบด่าง ใบเสียรูปทรง ลำต้นแคระแกรน ไม่สามารถให้ผลผลิตได้ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ ลักษณะการดูดกินและกลไกการถ่ายทอดเชื้อไวรัสใบด่างของแมลงหิวข้าวยาสูบ เพื่อคัดเลือกพันธุ์มันสำปะหลังทนทาน โดยสำรวจประชากรแมลงหิวข้าวพื้นที่ 4 อำเภอ ในพื้นที่จังหวัดนครราชสีมา ศึกษาลักษณะการดูดกินด้วยเครื่อง electropenetrography (EPG) และการเข้าทำลายของแมลงหิวข้าวยาสูบในมันสำปะหลังต่างสายพันธุ์ ได้แก่ ระยะเวลา 5 ระยะเวลา 9 ระยะเวลา 72 เกษตรศาสตร์ 50 หัวยบ 80 และพันธุ์ CMR-89 วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ completely randomized design (CRD) จำนวน 5 ซ้ำ และการศึกษากลไกการถ่ายทอดเชื้อไวรัสใบด่างของแมลงหิวข้าวยาสูบ ผลการทดลองพบว่าปริมาณแมลงหิวข้าวในแปลงไม่สอดคล้องกับอัตราการเกิดโรคใบด่างมันสำปะหลังในแปลง และการศึกษากลไกการถ่ายทอดเชื้อไวรัสใบด่าง ที่ระยะเวลาในการทดสอบการรับเชื้อและถ่ายทอดเชื้อ ไม่พบความแตกต่างทางสถิติ การทดสอบลักษณะการดูดกินของแมลงหิวข้าวยาสูบด้วยเครื่องมือ EPG พบว่ามันสำปะหลังพันธุ์ระยะเวลา 72 มีค่าเฉลี่ยของระยะเวลาที่แมลงหิวข้าวยาสูบไม่มีการเจาะดูด (non probing) นานที่สุด นอกจากนี้ยังพบว่าแมลงหิวข้าวยาสูบมีระยะเวลาเฉลี่ยในการปล่อยน้ำลายเข้าสู่เนื้อเยื่อพืช (salivation) และดูดกินน้ำเลี้ยงของพืช (ingestion) สั้น การประเมินการเข้าทำลายของแมลงหิวข้าวในพันธุ์มันสำปะหลังทั้ง 6 พันธุ์ พบว่า แมลงหิวข้าวยาสูบเข้าทำลายมันสำปะหลังทุกสายพันธุ์แต่มีความแตกต่างของประชากรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) พันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 มีประชากรของแมลงหิวข้าวยาสูบน้อยที่สุด 36.81% แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับพันธุ์หัวยบ 80 มีการประชากรของแมลงหิวข้าวยาสูบ 54.19% นอกจากนี้ยังพบว่า พันธุ์ CMR-89 มีการประชากรแมลงหิวข้าวยาสูบ 44.93% แต่กลับพบการแสดงออกของโรคใบด่างมันสำปะหลังอย่างรุนแรง โดยเริ่มแสดงอาการของโรคใบด่างมันสำปะหลังเมื่อต้นมันสำปะหลังมีอายุ 2 เดือน ดังนั้นพันธุ์มันสำปะหลังที่มีความทนทานต่อการเข้าทำลายของแมลงหิวข้าวยาสูบคือ พันธุ์ระยะเวลา 72 และพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 จากผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่า ควรหลีกเลี่ยงการปลูกมันสำปะหลังพันธุ์หัวยบ 80 และพันธุ์ CMR-89 เนื่องจากมีการแพร่ระบาดของแมลงหิวข้าวยาสูบสูง โดยเฉพาะพันธุ์ CMR-89 ที่มีความอ่อนแอต่อเชื้อไวรัส SLCMV และแสดงอาการของโรคใบด่างมันสำปะหลังอย่างรุนแรง

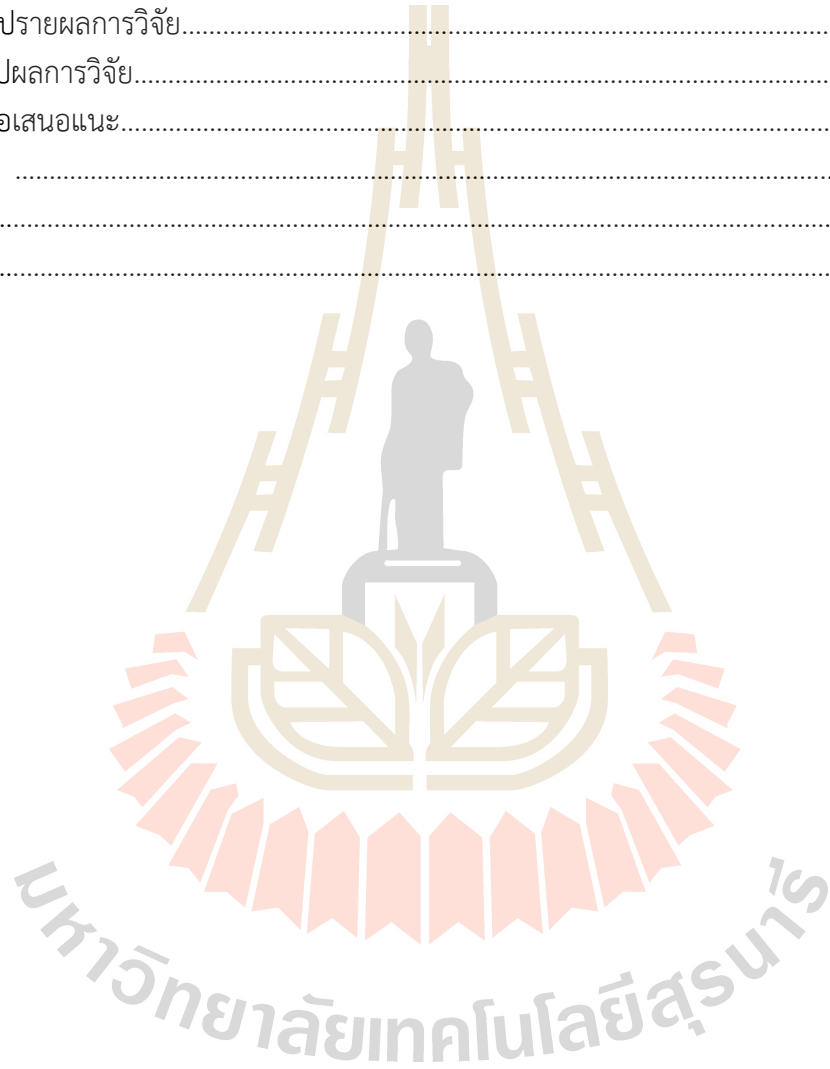
Abstract

The whitefly, *Bemisia tabaci* (Gennadius), is an important vector for the transmission of the Sri Lankan cassava mosaic virus (SLCMV), the cause of cassava mosaic disease. The infected cassava plants show signs of spotted leaves, deformed leaves, and stunted stems and there unable to yield. This research aims to study the feeding behavior, and transmission mechanism of cassava mosaic virus by whitefly for the selection of durable cassava varieties. The experiment was designed by surveying the whitefly population in 4 districts of Nakhon Ratchasima Province. Study the characteristics of stylet behavior using Electropenetrography (EPG) and the whitefly infestation on different cassava species; Rayong 5, Rayong 9, Rayong 72, Kasetsart 50, Huay Bong 80, and CMR-89. A completely randomized design (CRD) was used and analyzed with 5 replications. Moreover, a study of the SLCMV transmission mechanism by whitefly *B. tabaci*. The results showed that the whitefly population was inconsistent with the incidence of cassava leaf spot disease in the cassava field. The study of the SLCMV transmission mechanism at the acquisition access period and inoculation access period was no significantly different. The feeding behavior of whitefly using the EPG monitor showed that the cassava cv. Rayong 72 had the longest mean duration of non-probing. Moreover, Rayong 72 has a short duration of salivation into plant tissues and sap ingestion. Assessment of whitefly infestation on six cassava cultivars revealed that whitefly infested all cassava varieties has a statistically significant difference in population ($P < 0.05$). Kasetsart 50 had the least population of tobacco whitefly, 36.81%, significantly different ($P < 0.05$) with Huai Bong 80 was 54.19%. In addition, CMR-89 was 44.93% of the whitefly population, but severe expression of SLCMV was found. The symptoms of SLCMV began to show when the cassava plants were 2 months old. Therefore, the Rayong 72 and Kasetsart 50 cassava cultivars were potential resistant to the infestation of the whitefly. From these results indicated that Huai Bong 80 and CMR-89 varieties should be avoided due to the high incidence of whitefly and the CMR-89 was susceptible to SLCMV.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย	2
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ความสำคัญของมันสำปะหลังและโรคใบด่างมันสำปะหลัง.....	3
2.2 โรคไวรัสใบด่างมันสำปะหลัง	8
2.3 ชีววิทยาของแมลงหิวข้าวยาสูบ <i>Bemisia tabaci</i> (Gennadius)	9
2.4 กระบวนการในการถ่ายทอดเชื้อของแมลงพาหะ	10
2.5 ประเภทการถ่ายทอดเชื้อสาเหตุโรคสู่พืชของแมลงพาหะ (Types of transmission)	12
2.6 การคัดเลือกพันธุ์พืชต้านทานต่อแมลง.....	15
2.7 เทคโนโลยีที่นำมาใช้ในการคัดเลือกพันธุ์ต้านทานพืช.....	19
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	
3.1 การสำรวจชนิดแมลงหิวข้าวยาสูบและอัตราการเกิดโรคใบด่างมันสำปะหลัง.....	25
3.2 การเก็บตัวอย่างแมลงหิวข้าวและการเลี้ยงเพิ่มปริมาณ.....	25
3.3 เตรียมต้นมันสำปะหลังที่ปลอดเชื้อและติดเชื้อเพื่อทดสอบกลไกการถ่ายทอดเชื้อไวรัสของแมลงหิวข้าว.....	25
3.4 ศึกษาลักษณะการดูดกินและการคัดเลือกสายพันธุ์มันสำปะหลังต่อความไม่ชอบของแมลงหิวข้าวด้วยเครื่องวัดการดูดกิน Electropenetrography (EPG).....	25
3.5 ทดสอบการเข้าทำลายของแมลงหิวข้าวยาสูบในสภาพเรือนทดลอง.....	26
3.6 ศึกษากลไกการถ่ายทอดเชื้อของแมลงหิวข้าว.....	26
3.7 สกัดดีเอ็นเอแมลงและตรวจเชื้อไวรัสใบด่าง.....	26
บทที่ 4 ผลการวิจัย	
4.1. การสำรวจชนิดแมลงหิวข้าวยาสูบและอัตราการเกิดโรคใบด่างมันสำปะหลัง.....	28

4.2. การศึกษาลักษณะการดูดกินของแมลงหิวข้าวต่อมันสำปะหลังสายพันธุ์ต่างๆ และ คัดเลือกสายพันธุ์ มันสำปะหลังต่อความไม่ชอบของแมลงหิวข้าวด้วยเครื่องวัดการดูดกิน Electropenetrography (EPG).....	29
4.3 การศึกษาลักษณะการเข้าทำลายของแมลงหิวข้าวในมันสำปะหลัง.....	33
4.4 กลไกการถ่ายทอดเชื้อของแมลงหิวข้าว.....	37
บทที่ 5 อภิปรายผลการวิจัย สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ	
5.1 อภิปรายผลการวิจัย.....	39
5.2 สรุปผลการวิจัย.....	40
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	41
บรรณานุกรม	42
ภาคผนวก	48
ประวัติผู้วิจัย	57



สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ระยะเวลารับเชื้อและฟักตัวของเชื้อไวรัสในแมลงพาหะที่มีการถ่ายทอดเชื้อแบบ persistent.....	11
2	ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะกราฟที่เกิดขึ้นกับพฤติกรรมการดูดกินของแมลงหวี่ชวยาสูบ <i>Bemisia tabaci</i> (Maluta et al., 2017).....	14
3	ชื่อกราฟและความหมายของกราฟสอดคล้องกับกิจกรรมของแมลงหวี่ชวยาสูบ <i>Bemisia tabaci</i> ขณะดูดกินเนื้อเยื่อพืช.....	30
4	The number of insects, and percentage of SriLanka cassava mosaic virus-positive insects, measured at various periods post-acquisition access period (AAP) by real-time PCR.....	37
5	The number of insects, and percentage of SriLanka cassava mosaic virus-positive insects, measured at various periods post-Inoculation access period (IAP) by real-time PCR.....	38

สารบัญญภาพ

ภาพที่	หน้า
1	4
2	5
3	6
4	7
5	7
6	8
7	9
8	14
9	17
10	18
11	19
12	21
13	22
14	22
15	23
16	24
17	25
18	29
19	30
20	31
21	32
22	33
23	34
24	34
25	35

26	การเข้าทำลายของแมลงหริ่งขาวยาสูบ <i>Bemisia tabaci</i> ในพันธุ์มันสำปะหลัง 6 สายพันธุ์ สัปดาห์ที่ 1-6.....	36
27	การเข้าทำลายของแมลงหริ่งขาวยาสูบ <i>Bemisia tabaci</i> ในพันธุ์มันสำปะหลัง 6 สายพันธุ์ สัปดาห์ที่ 7-12.....	37



บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย

มันสำปะหลังเป็นที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจและสังคมของประเทศไทยอย่างมาก ปัจจุบันความต้องการผลผลิตมันสำปะหลังในประเทศมีแนวโน้มสูงขึ้น เนื่องจากการขยายตัวของอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ที่นำผลผลิตมันสำปะหลังไปใช้ทดแทนผลผลิตข้าวโพดที่มีราคาสูง ประกอบกับความต้องการแป้งมันสำปะหลังในอุตสาหกรรมต่อเนื่อง ทั้งอาหาร กระดาษ และสารเพิ่มความหวาน นอกจากนี้จากราคาที่อ่อนตัวลงเล็กน้อยเป็นเหตุจูงใจให้นำผลผลิตมันสำปะหลังไปใช้ผลิตเอทานอลเพิ่มขึ้น จึงทำให้เกษตรกรมีการขยายพื้นที่ปลูกมันสำปะหลังมากขึ้น พื้นที่ปลูกมันสำปะหลังส่วนใหญ่ของไทยอยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลาง และภาคตะวันออก อย่างไรก็ตามเกษตรกรผู้ปลูกส่วนใหญ่ยังขาดการใช้ปัจจัยการผลิตเพื่อเพิ่มผลผลิต และปัญหาในการยกระดับผลผลิตอีกประการหนึ่ง คือการแพร่ระบาดของโรคและแมลงศัตรูของมันสำปะหลัง เดือนสิงหาคม 2560 ที่ผ่านมา มีรายงานการแพร่ระบาดของโรคใบด่างในพื้นที่ประเทศไทย เวียดนาม สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว และกัมพูชา ซึ่งส่งผลกระทบต่อผลผลิตมันสำปะหลังในเวียดนามและกัมพูชาลดลงเหลือ 7 - 10 ล้านตัน โดยประเทศไทยที่มีพื้นที่ติดกับเขตชายแดนได้มีรายงานว่าพบปัญหาโรคใบด่างในมันสำปะหลังแพร่เข้าสู่ประเทศไทยแล้ว พบต้นมันสำปะหลังแสดงอาการใบด่างในพื้นที่ปลูกบริเวณจังหวัดปราจีนบุรีมากกว่า 800 ไร่ ต้นมันสำปะหลังที่ติดเชื้อจะแสดงอาการใบด่างเหลือง ใบเสียวรูปทรง ต้นที่แตกใหม่แสดงอาการต่างเหลือง ลำต้นแคระแกรน หากเชื้อไวรัสนี้ระบาดรุนแรงในพื้นที่ปลูกมันสำปะหลังในประเทศไทยจะสร้างผลเสียหายให้กับผลผลิตมันสำปะหลังได้สูงถึง 80 - 100 เปอร์เซ็นต์

โรคใบด่างมันสำปะหลังในประเทศไทยเกิดจากเชื้อไวรัส cassava mosaic virus สายพันธุ์ Sri Lankan (SLCMV) มีการแพร่ระบาดจากการนำท่อนพันธุ์มันสำปะหลังที่มีเชื้อไวรัสไปปลูกและแมลงพาหะนำเชื้อสาเหตุโรคคือแมลงหวี่ขาวยาสูป *Bemisia tabaci* ปัจจุบันโรคใบด่างมันสำปะหลังได้แพร่ระบาดเข้ามาในประเทศไทย คาดว่าน่าจะเกิดจากการนำท่อนพันธุ์มันสำปะหลังที่ติดเชื้อจากประเทศเพื่อนบ้านมาปลูกและมีการแพร่ระบาดของแมลงหวี่ขาวยาสูป ซึ่งทำความเสียหายให้กับผลผลิตมันสำปะหลังเป็นอย่างมาก อีกทั้งปัจจุบันยังไม่มีพันธุ์มันสำปะหลังที่ต้านทานต่อการเข้าทำลายและการถ่ายทอดเชื้อไวรัสของแมลงหวี่ขาว ดังนั้นแนวทางหนึ่งในการลดปัญหาการระบาดของเชื้อสาเหตุโรคโดยแมลงพาหะได้อย่างยั่งยืนคือ การพัฒนาและปรับปรุงสายพันธุ์มันสำปะหลังให้สามารถทนทานต่อการเข้าทำลายและถ่ายทอดเชื้อไวรัสใบด่างมันสำปะหลังโดยแมลงหวี่ขาว ซึ่งวิธีการคัดเลือกพันธุ์ต้านทานของพืชต่อแมลงมีหลากหลายวิธีการ แต่อย่างไรก็ตามยังเป็นวิธีการต่างๆ ที่ใช้ในอดีตใช้เวลายาวนานจึงจะเห็นผลและยังไม่มีประสิทธิภาพสำหรับแมลงปากแบบเจาะดูด เนื่องจากแมลงที่เป็นพาหะมีลักษณะของปากแบบเจาะดูด ดังนั้นวิธีการที่จะนำมาใช้ต้องมีความเฉพาะเจาะจงกับชนิดแมลง ปัจจุบันมีเทคโนโลยีใหม่ที่สามารถนำมาใช้ในการศึกษาการคัดเลือกพันธุ์ต้านทานเรียกว่า เทคนิคการตรวจวัดการดูดกินของแมลงด้วยเครื่องมือตรวจวัดการดูดกินของแมลงปากเจาะดูดโดยกระแสไฟฟ้า electrical penetration graph (EPG) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีใหม่ที่นำมาใช้ในประเทศไทย สามารถเห็นลักษณะการดูดกินของแมลงในขณะที่แมลงดูดกินน้ำเลี้ยงจากต้นพืช และมีประสิทธิภาพ สามารถเข้าใจกิจกรรมการดูดกินของแมลงในขณะที่แมลงมีการรับเชื้อและถ่ายทอดเชื้อสาเหตุโรคได้ ประกอบกับผู้วิจัยได้ประสบความสำเร็จในการใช้เครื่องมือตรวจวัดการดูดกินของแมลงพาหะนำโรคสาเหตุโรคใบขาวอ้อย ทำให้นำมาประยุกต์ใช้ในการทดสอบกลไกการถ่ายทอดเชื้อและคัดเลือกพันธุ์มันสำปะหลังต้านทานต่อแมลงหวี่ขาวได้ โดยศึกษาคุณลักษณะการดูดกินของแมลงหวี่ขาวในมันสำปะหลังสายพันธุ์ต่างๆ กลไกการรับ

เชื้อ บ่มเชื้อ และประสิทธิภาพการถ่ายทอดเชื้อไวรัสใบด่างของแมลงหริ่งขาวในมันสำปะหลัง ซึ่งสายพันธุ์พืชต้านทานต่อการเข้าทำลายและการถ่ายทอดเชื้อสาเหตุโรคจะมีลักษณะของความไม่เหมาะสมต่อการดูดกิน การเจริญเติบโต การแพร่ขยายพันธุ์ และการถ่ายทอดเชื้อไวรัสใบด่างมันสำปะหลังของแมลงหริ่งขาว จึงเป็นแนวทางในการป้องกันไม่ให้เกิดการถ่ายทอดเชื้อไวรัสใบด่างด้วยวงจรการเกิดโรคและการกระจายตัวของโรคใบด่างโดยแมลงหริ่งขาว ซึ่งวิธีการใช้เครื่องมือ EPG จะสามารถเข้าใจถึงกลไกการถ่ายทอดเชื้อไวรัสโรคใบด่างของแมลงหริ่งขาว ทราบระยะเวลาการรับเชื้อและถ่ายทอดเชื้อ ตลอดจนประสิทธิภาพในการถ่ายทอดเชื้อไวรัสของแมลงหริ่งขาวในมันสำปะหลังสายพันธุ์ต่างๆ จึงนำมาสู่การใช้เทคโนโลยีนี้ในโครงการวิจัยการพัฒนาวิธีการและคัดเลือกพันธุ์มันสำปะหลังต้านทานต่อการเข้าทำลายของและการถ่ายทอดเชื้อไวรัสของแมลงหริ่งขาวต่อไป จุดประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาชนิดของแมลงหริ่งขาว ลักษณะ กลไกการถ่ายทอดเชื้อไวรัสใบด่างของแมลงหริ่งขาวเพื่อคัดเลือกพันธุ์มันสำปะหลังทนทาน พัฒนาวิธีการคัดเลือกพันธุ์มันสำปะหลังต้านทานต่อการเข้าทำลายของและการถ่ายทอดเชื้อไวรัสของแมลงหริ่งขาว โดยศึกษาลักษณะการดูดกินของแมลงหริ่งขาว และการถ่ายทอดเชื้อไวรัสของแมลงหริ่งขาวด้วยเครื่องมือตรวจวัดการดูดกินด้วยกระแสไฟฟ้า electrical penetration graph (EPG) ทำให้ทราบถึงกลไกและระยะเวลาการถ่ายทอดเชื้อไวรัสของแมลง ตลอดจนประสิทธิภาพในการถ่ายทอดเชื้อไวรัสของแมลงหริ่งขาวในมันสำปะหลังสายพันธุ์ต่างๆ

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาชนิดของแมลงหริ่งขาว ลักษณะ กลไกการถ่ายทอดเชื้อไวรัสใบด่างของแมลงหริ่งขาวยาสูบ เพื่อคัดเลือกพันธุ์มันสำปะหลังทนทาน

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ขอบเขตการศึกษาการแมลงหริ่งขาวยาสูบในแปลงปลูกมันสำปะหลังในพื้นที่ระบาดของโรคใบด่างมันสำปะหลัง และทดสอบพันธุ์มันสำปะหลังทนทานต่อการเข้าทำลายของแมลงหริ่งขาวยาสูบ และลักษณะการดูดกิน โดยใช้พันธุ์ระยะของ 5 ระยะของ 9 ระยะของ 72 เกษตรศาสตร์ 50 หัวยบง 80 และพันธุ์ CMR-89 ทดสอบในสภาพเรือนทดลอง และห้องปฏิบัติการกีฏวิทยา ณ ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา ใช้เครื่องมือตรวจวัดการดูดกิน Electropenetration graph (EPG)

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1. ได้ทราบชนิด ปริมาณการเข้าทำลายของแมลงหริ่งขาวยาสูบต่อช่วงอายุของมันสำปะหลัง
2. ได้สายพันธุ์มันสำปะหลังที่มีลักษณะทนทานต่อการเข้าทำลายของแมลงหริ่งขาวยาสูบ
3. ได้ทราบกลไกการถ่ายทอดเชื้อไวรัสใบด่างของแมลงหริ่งขาวยาสูบ

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความสำคัญของมันสำปะหลังและโรคใบด่างมันสำปะหลัง

มันสำปะหลังเป็นพืชหัวชนิดหนึ่งมีชื่อเรียกกันทั่วไปในภาษาอังกฤษว่า แคสซาวา (Cassava) หรือ ทาปิโอก้า (Tapioca) ประเทศแถบแอฟริกา เรียกชื่อ ภาษาฝรั่งเศสว่า แมนิออค (Manioc) มันสำปะหลังมีถิ่นกำเนิดในอเมริกาใต้ เช่น ประเทศเปรู เม็กซิโก กัวเตมาลา ฮอนดูรัสและบราซิล ซึ่งมีการปลูกมันสำปะหลังมา 3,000 ถึง 7,000 ปีแล้ว ต่อมาได้ขยายไปสู่แหล่งอื่น ๆ ของโลก โดยชาวโปรตุเกส และสเปน นำมันสำปะหลังจากเม็กซิโก มาয়ง์ฟิลิปปินส์ ประมาณคริสต์ศตวรรษที่ 17 และชาวฮอลแลนด์ นำไปยังอินโดนีเซียประมาณคริสต์ศตวรรษที่ 18 (ศูนย์วิจัยมันสำปะหลังและผลิตภัณฑ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2551)

ประเทศไทยมีการปลูกมันสำปะหลังเชิงการค้ามาเป็นเวลานานกว่า 30 ปี มันสำปะหลังได้นำเข้ามาปลูกครั้งแรกที่ภาคใต้เพื่อใช้ทำแป้งและสาชู ต่อมาได้ขยายพื้นที่ปลูกมายังภาคตะวันออก ได้แก่ จังหวัดชลบุรี ระยอง และจังหวัดใกล้เคียง เนื่องจากมีสภาพดิน ฟ้า อากาศ และสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการปลูก การแปรรูปมันสำปะหลัง มันสำปะหลังสามารถปลูกได้ทั่วไป ยกเว้นในแถบที่ชุ่ม ฝนตก หรือดินเกลือเค็ม ดังนั้นจึงมีการขยายพื้นที่ปลูกอย่างรวดเร็วไปสู่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งปัจจุบันได้กลายเป็นแหล่งปลูกที่ใหญ่ที่สุดของประเทศไทย และทำรายได้ให้แก่เกษตรกรไทย

การเพาะปลูกมันสำปะหลังได้ขยายตัวอย่างรวดเร็ว เนื่องจากได้มีการพัฒนานำหัวมันสดส่วนหนึ่งมาแปรรูปเป็นมันเส้น และมันเม็ดใช้เป็นอาหารสัตว์ เพื่อการบริโภคเป็นอาหารมนุษย์ และในอุตสาหกรรมต่าง ๆ มันสำปะหลังเป็นพืชอาหารจำพวกแป้งที่สำคัญของโลก รองจากข้าวสาลี ข้าวโพด ข้าว และมันฝรั่ง จุดเด่นของมันสำปะหลังในด้านการค้าของตลาดโลกก็คือเป็นพืชไร่มิมีกระบวนการผลิตที่สะอาด จนได้รับการยอมรับว่าเป็นสินค้าสีเขียว (green product) และเป็นพืชที่ไม่มีการตัดต่อสารทางพันธุกรรม (non-GMOs) ปัจจุบันประเทศไทยถือได้ว่าเป็นผู้ผลิตมันสำปะหลังรายใหญ่รายหนึ่งของโลก และมีการส่งออกมันสำปะหลังมากที่สุดในโลก แต่ใช้บริโภคภายในประเทศน้อยมาก

2.1.1 ชนิดของมันสำปะหลัง

1. ชนิดหวาน (Sweet type) เป็นมันสำปะหลังที่มีปริมาณไซยาไนด์ต่ำ ใช้เพื่อการบริโภคของมนุษย์ มันสำปะหลังชนิดนี้มีทั้งชนิดเนื้อร่วนนุ่ม และชนิดเนื้อเหนียวแน่น ไม่มีการปลูกเป็นพื้นที่ใหญ่ ๆ เนื่องจากมีตลาดจำกัด

2. ชนิดขม (Bitter type) เป็นมันสำปะหลังที่มีปริมาณไซยาไนด์สูง เป็นพืชต่อร่างกาย และมีรสขมไม่เหมาะสำหรับการบริโภคของมนุษย์หรือใช้หัวมันสดเลี้ยงสัตว์โดยตรง ต้องนำไปแปรรูปเป็นมันอัดเม็ดหรือมันเส้นแล้วจึงนำไปเลี้ยงสัตว์ได้ แต่เนื่องจากมีปริมาณแป้งสูง จึงนิยมใช้ในอุตสาหกรรมแปรรูปต่าง ๆ เช่น แป้งมัน มันเส้น มันอัดเม็ด และแอลกอฮอล์ นอกจากนี้การแปรรูปเป็นอาหารโดยใช้ความร้อน เช่น ตากแดด เผา และต้มก็จะทำให้ไซยาไนด์แตกตัวหมดไป สามารถทำให้รสขมลดลงหรือหมดไป พันธุ์มันสำปะหลังชนิดขม ได้แก่ ระยะเวลา 5, ระยะเวลา 7, ระยะเวลา 9, ระยะเวลา 72, เกษตรศาสตร์ 50, หัวยบง 80 (อรุณี, 2549)

มันสำปะหลัง Cassava เป็นพืชสำคัญทางเศรษฐกิจและพลังงานที่มีความสำคัญพืชหนึ่งของประเทศไทย เป็นพืชที่ปลูกง่าย ทนทานต่อสภาพดินฟ้าอากาศที่แปรปรวน สามารถเจริญเติบโตได้ในพื้นที่ที่ดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ จึงเป็นที่นิยมของเกษตรกร ประเทศไทยเป็นผู้ผลิตมันสำปะหลังอันดับ 2 ของโลก มีพื้นที่เพาะปลูกประมาณ 9 ล้านไร่ ผลผลิตเฉลี่ย ประมาณ 30 ล้านตันต่อปี โดยพื้นที่ปลูกอยู่ในทั้งภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลาง ภาคเหนือและภาคตะวันออก (สำนักงานเศรษฐกิจ, 2560) มันสำปะหลังถือ

เป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญที่ของไทย ทุกส่วนของมันสำปะหลังสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หมด ตั้งแต่ใบ ลำต้น และหัวมันสำปะหลัง นำไปผลิตและแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์มากมาย รวมทั้งใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรม ได้แก่ มันเส้น มันอัดเม็ด แป้งมัน อาหารคน อาหารสัตว์ เคมีภัณฑ์ พลาสติกอาหาร บรรจุภัณฑ์ย่อยสลายได้ เครื่องดื่มผลิตภัณฑ์ แป้งมันออร์แกนิก จนถึงพลังงานทางเลือก ได้แก่ เอทานอล เป็นต้น ซึ่งในปี 2560 รายได้จากการส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังของประเทศไทยมากกว่า 94,000 ล้านบาท ส่งผลให้เกษตรกรผู้ปลูกมันสำปะหลังมากกว่า 500,000 ครัวเรือนมีรายได้และชีวิตความเป็นอยู่ที่ดีขึ้น อย่างไรก็ตามการปลูกมันสำปะหลังมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น แต่ในฤดูกาลผลิตปี 2560/61 ผลผลิตของมันสำปะหลังกลับลดลง เนื่องมาจากโรคและแมลงศัตรูของมันสำปะหลังที่เข้าทำลายมันสำปะหลังได้ทุกระยะการเจริญ โดยเฉพาะอย่างยิ่งแมลงศัตรูมันสำปะหลังที่นอกจากทำลายโดยตรงด้วยการดูดกินน้ำเลี้ยงมันสำปะหลังทำให้ใบผิดรูป ไม่สามารถสังเคราะห์แสงได้แล้ว ยังปล่อยมูลหวานซึ่งเป็นสาเหตุของเชื้อราดำทำให้พืชไม่สามารถสังเคราะห์แสงได้และเจริญเติบโตได้ นอกจากนี้การทำลายทางอ้อมแมลงศัตรูมันสำปะหลังที่เป็นปากเจาะดูดยังเป็นแมลงพาหะนำเชื้อไวรัสในมันสำปะหลังได้อีกด้วย

2.1.2 มันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 5

เป็นพันธุ์ที่กรมวิชาการเกษตร ได้ทำการผสมพันธุ์ระหว่างพันธุ์ 27-77-10 กับพันธุ์ระยอง 3 ในปี 2525 ที่ศูนย์วิจัยพืชไร่ระยอง และได้รับการทดสอบเปรียบเทียบพันธุ์ และทดสอบพันธุ์ ปี 2536 ได้ประกาศรับรองพันธุ์เมื่อเดือนพฤศจิกายน 2537 และให้ชื่อว่า พันธุ์ระยอง 5 ลักษณะประจำพันธุ์ที่เห็นเด่นชัด ยอดอ่อนสีม่วงอ่อน ใบอ่อนสีเขียวแก่ ใบที่เจริญเต็มที่สีเขียวแก่ แผ่นใบเป็นแบบใบหอก ใบแหลมป้อม ก้านใบสีแดงเข้ม ต้นสีน้ำตาลอ่อนอมเขียว (ภาพที่ 1) แตกกิ่งเมื่อต้นสูงประมาณ 100-120 เซนติเมตร ต้นสูงประมาณ 170-220 เซนติเมตร หัวอ้วนสั้น เกือบเรียวยาว ผิวภายนอกของหัวสีน้ำตาลอ่อน เนื้อสีขาว ต้านทานโรคใบไหม้ปานกลาง

ผลผลิต พันธุ์ระยอง 5 เป็นพันธุ์ที่ให้ผลผลิตหัวสด ผลผลิตมันแห้ง และผลผลิตแป้งสูงกว่าทุก ๆ พันธุ์ และทุก ๆ สภาพแวดล้อม เมื่อเปรียบเทียบกับพันธุ์ระยอง 1 ให้ผลผลิตหัวสด มันแห้ง และผลผลิตแป้งสูงกว่า 23, 32 และ 44% ตามลำดับ (กรมพัฒนาที่ดิน, ม.ป.ป.)



ภาพที่ 1 มันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 5

2.1.3 พันธุ์ระยอง 9

มันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 9 เป็นลูกผสมปี 2535 ได้จากการผสมข้ามระหว่างสายพันธุ์ที่มีเปอร์เซ็นต์แป้งสูง 2 สายพันธุ์ คือ สายพันธุ์ CMR31-19-23 เป็นแม่และ OMR29-20-118 เป็นพ่อผสมพันธุ์และคัดเลือกพันธุ์ที่ศูนย์วิจัยพืชไร่ระยอง และประเมินศักยภาพของพันธุ์ในพื้นที่ภาคตะวันออก และภาค

ตะวันออกเฉียงเหนือรวมทั้งสิ้น 38 แปลงทดลอง ระหว่างปี 2535-2542 พบว่า สายพันธุ์ระยอง 9 ให้ผลผลิต แป้ง และผลผลิตมันแห้งสูง ในปี 2544-2547 ศูนย์วิจัยพืชไร่ระยองจึงร่วมมือกับสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ในการประเมินผลผลิตเอทานอลจากสายพันธุ์ระยอง 9 ร่วมกับลูกผสมชุดเดียวกันนี้ อีก 2 สายพันธุ์ เปรียบเทียบกับพันธุ์มาตรฐาน ได้แก่ ระยอง 5 ระยอง 72 ระยอง 90 และเกษตรศาสตร์ 50 ในระดับห้องปฏิบัติการโดยใช้ในเส้นเป็นวัตถุดิบ แล้วคัดเลือกพันธุ์ที่ให้ผลผลิตเอทานอลสูงจากการทดลองระดับห้องปฏิบัติการ 2 พันธุ์ คือ สายพันธุ์ระยอง 9 และพันธุ์ระยอง 90 ไปทดลองผลิตเอทานอลในระดับโรงงาน ต้นแบบขนาดกำลังผลิต 1,500 ลิตร ที่ใช้หัวสัดเป็นวัตถุดิบ พบว่า สายพันธุ์ระยอง 9 ให้ผลผลิตเอทานอลสูงกว่าพันธุ์ระยอง 90 สายพันธุ์ระยอง 9 จึงเหมาะสำหรับอุตสาหกรรมเอทานอล และผลิตภัณฑ์แปรรูปอื่น ๆ ได้แก่ แป้งมัน มันเส้น และมันอัดเม็ด (ศูนย์วิจัยมันสำปะหลังและผลิตภัณฑ์เทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, ม.ป.ป.)

ลักษณะเด่น ลำต้นสีน้ำตาลอมเหลือง ไม่ค่อยแตกกิ่ง ก้านใบสีเขียวอ่อน แฉกใบกลางเป็นรูปหอก และยอดอ่อนสีเขียวอ่อน (ภาพที่ 2) (สุพรรณิกา, 2560) ผลผลิตแป้งและผลผลิตมันแห้งสูง 1.24 และ 2.11 ตันต่อไร่ ตามลำดับ ให้ผลผลิตเอทานอลสูงทุกอายุเก็บเกี่ยว เมื่อเก็บเกี่ยวอายุ 8 เดือน 12 เดือน และ 18 เดือน ให้เอทานอล 191 208 และ 194 ลิตร จากหัวสัด 1 ตัน ตามลำดับ ทรงต้นดี สูงตรง ได้ต้นพันธุ์ยาวขยายพันธุ์ได้มาก อัตราขยายพันธุ์ สูงกว่า 1:8 เป็นโรคใบพุ่มน้อยกว่าพันธุ์มาตรฐานทุกพันธุ์

พื้นที่แนะนำ ปลูกในพื้นที่ปลูกมันสำปะหลังได้ทั่วไป ศักยภาพในการให้ผลผลิตขึ้นกับศักยภาพของพื้นที่และการดูแลรักษา

ข้อควรระวัง ควรเก็บเกี่ยวเมื่ออายุประมาณ 1 ปี เนื่องจากสายพันธุ์ระยอง 9 มีเปอร์เซ็นต์แป้งสูงแต่สะสมน้ำหนักช้า ถ้าเก็บเกี่ยวเร็วจะให้ผลผลิตหัวสัดต่ำกว่าพันธุ์มาตรฐานอื่น ๆ (ศูนย์วิจัยมันสำปะหลังและผลิตภัณฑ์เทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, ม.ป.ป.)



ภาพที่ 2 มันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 9

2.1.4 พันธุ์ระยอง 72

มันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 72 เดิมคือโคลนพันธุ์ CMR33-57-81 ที่ตัดได้จากการผสมข้ามระหว่างพันธุ์ระยอง 1 กับระยอง 5 ที่ศูนย์วิจัยพืชไร่ระยอง หลังจากการคัดเลือกเบื้องต้นแล้ว นำมาประเมินผลผลิตและความดีเด่นตามขั้นตอนของการปรับปรุงพันธุ์ ในศูนย์วิจัยพืชไร่ สถานีทดลองพืชไร่ และแหล่งปลูกต่าง ๆ พบว่าเป็นพันธุ์ที่เหมาะสมที่จะปลูกในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เช่น ในจังหวัดมหาสารคาม บุรีรัมย์ มุกดาหาร ร้อยเอ็ด นครราชสีมา และกาฬสินธุ์ โดยได้ผ่านการพิจารณาจากกรมวิชาการเกษตรให้เป็นพันธุ์พืชขึ้นทะเบียน

เรียบร้อยแล้ว เมื่อวันที่ 2 กุมภาพันธ์ 2543 (ศูนย์วิจัยมันสำปะหลังและผลิตภัณฑ์เทคโนโลยีภาคเหนือ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, ม.ป.ป.)

ลักษณะดีเด่น ใบแกสีเขียวเข้ม ก้านใบสีแดงเข้ม ยอดอ่อนม่วง แผ่นใบแบบใบหอก ลำต้นสีเขียวเงิน (ภาพที่ 3) (สุพรรณิกา, 2560) ผลผลิตหัวสดเฉลี่ย 5.09 ตันต่อไร่ สูงกว่าพันธุ์มาตรฐาน ระยะยง 1 ระยะยง 5 ระยะยง 90 และเกษตรศาสตร์ 50 ร้อยละ 27 18 26 และ 16 ตามลำดับ หัวสดมีเปอร์เซ็นต์แป้ง 21 เปอร์เซ็นต์ ให้ผลผลิตแป้งเฉลี่ย 1.07 ตันต่อไร่ สูงกว่าพันธุ์มาตรฐานระยะยง 1 ระยะยง 5 ระยะยง 90 และเกษตรศาสตร์ 50 ร้อยละ 36 12 16 และ 7 ตามลำดับ ให้ผลผลิตมันแห้งเฉลี่ย 1.70 ตันต่อไร่ สูงกว่าพันธุ์มาตรฐาน ระยะยง 1 ระยะยง 5 ระยะยง 90 และเกษตรศาสตร์ 50 ร้อยละ 31 15 22 และ 12 ตามลำดับ เป็นพันธุ์ที่ปรับตัวได้ดี ในสภาพแวดล้อมทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยให้ผลผลิตหัวสดสูงถึง 5.55 ตันต่อไร่ ผลผลิตแป้ง 1.23 ตันต่อไร่ และผลผลิตมันแห้ง 1.91 ตันต่อไร่ ท่อนพันธุ์ที่ใช้ปลูกมีความงอกดี ไม่มีปัญหาของโรคต้นเน่า จนถึงระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต โดยมีความอยู่รอดถึงการเก็บเกี่ยวสูง 92 เปอร์เซ็นต์ ลักษณะลำต้นดี คือ ทรงต้นดี แตกกิ่งเล็กน้อย ในระดับที่สูงจากโคนต้น ประมาณ 1 เมตร ทำให้สามารถขยายท่อนพันธุ์ได้มากขึ้น เมื่อพิจารณาพื้นที่ปลูกมันในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นดินทราย พืชบางชนิดไม่สามารถเจริญเติบโตและให้ผลผลิตสูง ประกอบกับเกษตรกรไม่มีเงินลงทุน ดังนั้น มันสำปะหลังพันธุ์ระยะยง 72 จึงเป็นพืชที่ทนทานต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม เช่น ขาดฝนอย่างต่อเนื่องนาน 1-2 เดือน แต่ยังสามารถเจริญเติบโตและให้ผลผลิตได้อย่างเหมาะสม ดังนั้น จึงแนะนำให้เกษตรกรในภาคตะวันออกเฉียงเหนือปลูก ซึ่งจะให้ผลผลิตสูงกว่าพันธุ์มันสำปะหลังพันธุ์เดิมที่เคยใช้ปลูกและเพิ่มรายได้ให้เกษตรกรโดยตรง (ศูนย์วิจัยมันสำปะหลังและผลิตภัณฑ์ เทคโนโลยี ภาคเหนือ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, ม.ป.ป.)



ภาพที่ 3 มันสำปะหลังพันธุ์ระยะยง 72

2.1.5 พันธุ์เกษตรศาสตร์ 50

เป็นพันธุ์ของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ลำต้นโค้งเล็กน้อย สีเขียวเงิน สูง 180-250 เซนติเมตร แตกกิ่งระดับแรกที่สูง 80-150 เซนติเมตรผลผลิตเฉลี่ย 4.4 ตันต่อไร่ มีแป้งเฉลี่ย 23 เปอร์เซ็นต์ ในฤดูฝน และ 28 เปอร์เซ็นต์ ในฤดูแล้ง ต้นพันธุ์เก็บไว้ได้นานประมาณ 30 วัน หลังจากตัดต้น

ลักษณะดีเด่น ยอดอ่อนม่วง ใบสีเขียวม่วง ต้นสีเทา (ภาพที่ 4) (สุพรรณิกา, 2560) ผลผลิตสูง เปอร์เซ็นต์แป้งสูง 23 เปอร์เซ็นต์ ในฤดูฝนและ 28 เปอร์เซ็นต์ ในฤดูแล้ง ต้นพันธุ์เก็บไว้ได้ ประมาณ 30 วัน หลังจากตัดต้น (ศูนย์วิจัยมันสำปะหลังและผลิตภัณฑ์เทคโนโลยีภาคเหนือ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, ม.ป.ป.)



ภาพที่ 4 มันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50

2.1.6 พันธุ์ห้วยบง 80

เป็นลูกผสมระหว่างพันธุ์ระยอง 5 และพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ณ สถานีวิจัย ศรีราชา จ.ชลบุรี ในปี 2535 โดยมีขั้นตอนการคัดเลือกและทดสอบ ดังนี้ พ.ศ. 2535-2537 ทำการปลูกคัดเลือกเหลือ 204 สายพันธุ์ พ.ศ. 2538-2541 ปลูกเปรียบเทียบพันธุ์เบื้องต้น เปรียบเทียบในท้องถื่น และพ.ศ. 2542-2549 ปลูกเปรียบเทียบในท้องถื่นและในไร่เกษตรกร รวมทั้งหมด 70 แปลง ทดลองใน 10 จังหวัด

ลักษณะเด่น เป็นพันธุ์ที่มีแป้งเฉลี่ยสูงถึง 27.3% ซึ่งสูงกว่าพันธุ์ KU50 และ HB60 ผลผลิตหัวสดใกล้เคียงกับพันธุ์ HB60 แต่สูงกว่า KU50 มีลักษณะทรงต้นสูง แตกกิ่งน้อย เหมาะกับการใช้แปรรูปทำมันเส้น แป้ง และเอทานอล ลักษณะของสายพันธุ์นี้จะแตกกิ่งน้อย และลำต้นค่อนข้างจะตรงมากกว่าพันธุ์ห้วยบง 60 และพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ทำให้สะดวกต่อการตัดเก็บท่อนพันธุ์ และสามารถเพิ่มจำนวนต้นปลูกต่อไร่ให้สูงขึ้น ได้ดีขึ้น (มูลนิธิสถาบันพัฒนามันสำปะหลังแห่งประเทศไทย, ม.ป.ป.) ยอดอ่อนสีเขียวอ่อน สีก้านสีเขียวอมแดง (ภาพที่ 4) (สุพรรณนิภา, 2560)



ภาพที่ 5 มันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 80

2.1.7 พันธุ์ CMR 43-08-89 หรือพันธุ์ CMR-89

มีการเจริญเติบโตเร็วในช่วงแรก ทำให้ได้รับความนิยมอย่างรวดเร็ว มีศักยภาพในการให้ผลผลิตสูง มีความสัมพันธ์กับระบบรากที่แผ่กว้าง และการปรับตัวของปากใบต่อสภาพแวดล้อมความชื้นของอากาศ และการขาดน้ำในดิน (วลัยพร และคณะ, 2562) ลักษณะเด่น ใบสีเขียวเข้ม ใบอ่อนสีเขียว (ภาพที่ 6) ใบดกหนา ช่มีขี้ผึ้งได้ดี ลำต้นตั้งตรง ทำมุมระหว่างต้นแคบ สีเขียว แตกกิ่งที่ระดับ 2 เมตร หัวยาวมากและดก ผลผลิตเฉลี่ยจากแปลงทดลองที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี 15.20 ตัน/ไร่ เปอร์เซ็นต์แป้ง 22.50% ข้อเสีย คือ

เปอร์เซ็นต์แป้งค่อนข้างต่ำ (ศูนย์วิจัยมันสำปะหลังและผลิตภัณฑ์ เทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2551)



ภาพที่ 6 มันสำปะหลังพันธุ์ CMR-89

2.2 โรคไวรัสใบด่างมันสำปะหลัง

โรคไวรัสใบด่างเกิดจากเชื้อไวรัส หรือ cassava mosaic disease (CMD) ที่พบในประเทศไทยเป็นโรคที่เกิดจากเชื้อไวรัส cassava mosaic virus สายพันธุ์ Sri Lankan (SLCMV) เป็นไวรัสในกลุ่ม Begomovirus วงศ์ Geminiviridae (Brown et al., 2015) มีต้นกำเนิดมาจากประเทศในแถบแอฟริกา ต่อมาปี 2559 พบการระบาดในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ในประเทศกัมพูชา (Wang et al., 2016) การแพร่ระบาดของโรคชนิดนี้สามารถแพร่ระบาดได้โดยท่อนพันธุ์ และแมลงหิวข้าวยาสูบ *B. tabaci* (Gennadius) อันดับ Hemiptera วงศ์ Aleyrodidae เป็นแมลงศัตรูที่สำคัญของพืชหลายชนิด ทั้งตัวอ่อนและตัวเต็มวันดูดกินน้ำเลี้ยงบริเวณใบและเป็นพาหะนำโรค โดยแมลงหิวข้าวจะวางไข่เป็นกลุ่มใต้ใบพืช ไข่จะติดกับเนื้อเยื่อพืช รูปร่างยาวสีเหลืองอ่อน ไข่มีขนาด 0.1 - 0.3 มม. ตัวอ่อนมีลักษณะแบนราบติดกับผิวใบ ลอกคราบ 3 ครั้ง ระยะตัวอ่อนอายุ 11 - 18 วัน ดักด้มีขนาด 0.6 - 0.8 มม. ระยะดักด้ 5 - 6 วัน ตัวเต็มวัยออกจากดักด้ตรงรอยแตกที่ส่วนอก เพศเมียวางไข่ได้สูงที่สุดมากกว่า 100 ฟอง ตัวเต็มวัยอายุ 2 - 11 วัน ซึ่งแมลงหิวข้าวมีพืชอาศัยหลายชนิด เช่น กระเพรา โหระพา ผักชีฝรั่ง พืชตระกูลพริก มะเขือ มันฝรั่ง และพืชตระกูลแตง ทำให้การแพร่ระบาดของแมลงหิวข้าวยาสูบเป็นไปได้อย่างกว้างขวาง ทั้งนี้ยังไม่มีข้อมูลของการเป็นพืชอาศัยได้ของเชื้อไวรัส SLCMV กับพืชดังกล่าว ลักษณะอาการของมันสำปะหลังที่เป็นโรคจะมีอาการใบด่างเหลือง ใบเสียรูปทรง ลดรูป และยอดที่แตกใหม่จะแสดงอาการต่างเหลืองรุนแรง ลำต้นแคระแกร็น ไม่เจริญเติบโต ทำให้ไม่มีการสร้างหัวมันสำปะหลังได้ หากอาการใบด่างเหลืองเกิดเฉพาะที่ใบยอด แสดงว่าการระบาดเกิดจากแมลงหิวข้าวเป็นพาหะนำโรค หากพบอาการผิดปกติทั้งต้น ตั้งแต่ใบอ่อนจนใบแก่ แสดงว่าเกิดจากการใช้ท่อนพันธุ์มันสำปะหลังที่ติดเชื้อโรคมานาน และหากมีการระบาดมากจะสร้างความเสียหายทำให้ผลผลิตต่อมันสำปะหลังลดลงได้มาก 80-100 เปอร์เซ็นต์ (กรมวิชาการเกษตร, 2561) อีกทั้งปัจจุบันโรคนี้ไม่มียาหรือสารเคมีชนิดใดที่จะป้องกันกำจัดได้ ดังนั้นแนวทางหนึ่งในการลดการระบาดของเชื้อไวรัสใบด่างมันสำปะหลังจากแมลงพาหะได้ คือการลดปริมาณหรือควบคุมการระบาดของประชากรแมลงหิวข้าว ด้วยการศึกษากลไกและระยะเวลาในการถ่ายทอดเชื้อไวรัสใบด่างมันสำปะหลังของแมลงพาหะ

เนื่องจากโรคไวรัสใบด่างมันสำปะหลัง cassava mosaic virus disease (CMD) นี้เป็นโรคที่เริ่มเข้ามาระบาดในประเทศไทยเป็นครั้งแรก ดังนั้นการศึกษาวิจัยเรื่องไวรัสใบด่างมันสำปะหลัง CMD ในประเทศไทย จึงมีน้อย แต่อย่างไรก็ตามไวรัสใบด่างมันสำปะหลังมีการแพร่ระบาดมานานในทวีปแอฟริกาและพบการระบาด

หลายประเทศในเอเชีย ได้แก่ ศรีลังกา อินเดีย กัมพูชา และเวียดนาม (Minato et al., 2019) พบว่ามีสำปะหลังมีโรคที่เกิดจากไวรัสหลายสายพันธุ์ ที่จัดอยู่ในกลุ่ม Cassava Mosaic Begomoviruses (CMBs) หรือ Cassava Mosaic Geminiviruses (CMGs) ได้แก่ สายพันธุ์ African cassava mosaic virus (ACMV), สายพันธุ์ East African cassava mosaic virus (EACMV), สายพันธุ์ East African cassava mosaic Malawi virus (EACMMV), สายพันธุ์ South African cassava mosaic virus (SACMV), สายพันธุ์ East African cassava mosaic Cameroon virus (EACMCV), สายพันธุ์ Indian cassava mosaic virus (ICMV), สายพันธุ์ Sri Lankan cassava mosaic virus (SLCMV), สายพันธุ์ East African cassava mosaic Zanzibar virus (EACMZV), สายพันธุ์ East African cassava mosaic Kenya virus (EACMKV), สายพันธุ์ Cassava mosaic Madagascar virus (CMMGV) and สายพันธุ์ African cassava mosaic Burkina Faso virus (ACMBFV) ซึ่งโรคไวรัสใบด่างที่พบในประเทศไทยคาดว่าเกิดจากเชื้อไวรัส cassava mosaic disease (CMD) สายพันธุ์ Sri Lankan (SLCMV) เป็นไวรัสในกลุ่ม Genus *Begomovirus* วงศ์ Geminiviridae (Brown et al., 2015) ไวรัสนี้ที่มีความสำคัญมากที่สุดเนื่องจาก มีความหลากหลาย ทำความเสียหายอย่างรุนแรงและระบาดอยู่ในเขตแอฟริกาหมู่เกาะมหาสมุทรอินเดีย ได้แก่ เซเชลส์, มอริเชียส, แชนซิบาร์, เพมบา และบางประเทศในเอเชีย (Thottappilly et al., 2003; Alabi et al., 2015) เชื้อไวรัสมีพืชอาศัยในกลุ่มพืชตระกูล Euphorbiaceae ได้แก่ ละหุ่ง, มันสำปะหลัง และสบู่ดำ และ Solanaceae บางชนิด ได้แก่ *Nicotiana clevelandii*, *N. benthamiana* และ *Datura stramonium* การระบาดของโรค CMD เกิดขึ้นได้ 2 ทาง ได้แก่ 1) จากท่อนพันธุ์มันสำปะหลังที่ติดเชื้อไวรัส CMD เนื่องจากมันสำปะหลังเป็นพืชที่มีการขยายพันธุ์โดยใช้ท่อนพันธุ์ (vegetatively propagated) การแพร่ระบาดของโรค CMD จึงเกิดขึ้นได้รวดเร็วและกว้างขวางมากหากไม่มีการตรวจสอบความปลอดภัยโรคในท่อนพันธุ์ และ 2) จากแมลงพาหะ คือ แมลงหรีวขาว *B. tabaci* (Chant, 1958; Dubern, 1994) ซึ่งการถ่ายทอดเชื้อจากต้นที่เป็นโรค CMD ไปยังต้นมันสำปะหลังปกติ

2.3 ชีวิตวิทยาของแมลงหรีวขาวยาสูบ *Bemisia tabaci* (Gennadius)

แมลงหรีวขาว *B. tabaci* อยู่ในวงศ์ Aleyrodidae อันดับ Hemiptera วงจรชีวิตมี 4 ระยะ ได้แก่ ไข่ ตัวอ่อน ดักแด้ และตัวเต็มวัย (ภาพที่ 7) ตัวเต็มวัยมีผนังปีกใส ขาวปกคลุม เพศเมียวางไข่เป็นกลุ่ม 50 - 200 ฟอง บริเวณใต้ใบพืช ไข่มีขนาดเล็ก อายุ 5 - 7 วัน ตัวอ่อนมี 4 วัย ใช้เวลา 11 - 18 วัน ตัวอ่อนวัย 4 เตรียมเพื่อเข้าเป็นระยะดักแด้ ใช้เวลา 6 วัน ตัวเต็มวัยอายุ 5 - 7 วัน การผสมพันธุ์เกิดขึ้น 12 - 20 ชั่วโมง หลังออกจากดักแด้ แมลงหรีวขาวสามารถเพิ่มปริมาณได้มากถึง 15 รุ่นต่อปี ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์



ภาพที่ 7 แมลงหรีวขาวยาสูบ *Bemisia tabaci* (ดัดแปลงจาก: Chris Malumphy, 2017)

ในการศึกษาเบื้องต้น ไวรัสในกลุ่ม Begomovirus นี้ มีลักษณะของอนุภาคและการจัดกลุ่มยีนส์ในจีโนม เป็นอนุภาครูปทรงกลมเกาะตัวเป็นคู่ (geminate particle) มีนิวคลีอิกเอซิดเป็น ดีเอ็นเอสายเดี่ยว (ssDNA) ปลายจับตัวกันเป็นวงกลม (circular) จัดกลุ่มยีนส์เป็น 2 กลุ่มแยกตัวกันอยู่คนละอนุภาค (bipartite)

คือ DNA A และ DNA B แต่ละชิ้นของ DNA จะมียีนส์ที่ไม่เหมือนกันแต่จะมีบริเวณที่เหมือนกัน (common region) บางส่วนประกอบด้วยนิวคลีโอไทด์ยาวประมาณ 200 ทำหน้าที่เกี่ยวกับการเพิ่มปริมาณ DNA ไวรัส กลุ่มนี้จะก่อโรคได้จะต้องมี อนุภาค A และ B ประกอบอยู่ด้วยกันในจุดที่เข้าทำลาย (โสมถ 2560) การแพร่ระบาดของธรรมชาติเกิดจากการเป็นพาหะของแมลงหริวขาว *B. tabaci* โดยแมลงใช้เวลาดูดรับไวรัส (acquisition period) นาน 3 ชั่วโมง ไวรัสเข้าสู่ลำตัวแมลงและมีระยะฟักหรือแฝงตัวในแมลง (latent period) นาน 8 ชั่วโมงและแมลงหริวขาวใช้เวลาดูดกิน (inoculation period) นานอย่างน้อย 10 นาทีจึงจะถ่ายทอดไวรัสออกไปได้ โดยเชื้อไวรัสจะอยู่ในตัวแมลงหริวขาวและไม่มีการหมดไปเมื่อลอกคาบ โดยไม่มีการถ่ายทอดผ่านทางไซของแมลงไปสู่รุ่นลูกต่อไป ประสิทธิภาพในการถ่ายทอดเชื้อของแมลงหริวขาวขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของมันสำปะหลังและประชากรของแมลงหริวขาว (Fargette et al., 1990) ทั้งนี้ยังไม่มีรายงานการใช้พันธุ์มันสำปะหลังต้านทานต่อการเข้าทำลายและการถ่ายทอดเชื้อไวรัสสาเหตุโรคใบด่างมันสำปะหลัง จึงเป็นที่มาของการศึกษาในโครงการวิจัยครั้งนี้

2.4 กระบวนการในการถ่ายทอดเชื้อของแมลงพาหะ

1. ระยะรับเชื้อ (Acquisition access period) แมลงพาหะแต่ละกลุ่มสามารถรับเชื้อสาเหตุของโรคได้ทั้งในระยะตัวเต็มวัย ระยะตัวอ่อนหรือตลอดวงจรชีวิตของแมลง ระยะเวลาที่แมลงใช้ในการรับเชื้อเข้าสู่ตัวแมลงนี้เรียกว่า ระยะเวลารับ (acquisition feeding period : AAP) แมลงพาหะที่รับเชื้อเข้าโดยการดูดกินพร้อมกับการดูดกินน้ำเลี้ยงพืชจะใช้เวลาในการดูดกินรับเชื้อแตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับตำแหน่งของพืชที่แมลงดูดกินมีการสะสมเชื้อสาเหตุโรคมกหรือน้อย (ตารางที่ 1)

2. ระยะบ่มตัวของเชื้อ (Incubation period หรือ Latent period) ระยะเวลาตั้งแต่แมลงได้รับเชื้อสาเหตุของโรคเข้าสู่ร่างกาย แล้วผ่านทางเดินอาหารหมุนเวียนกลับมายังต่อมน้ำลายและมีความพร้อมที่จะถ่ายทอดสู่พืชและทำให้พืชเกิดโรคได้ หลังจากแมลงได้รับเชื้อเข้าสู่ร่างกายแล้ว เชื้อจะถูกกักเก็บไว้ภายในร่างกายของแมลง ซึ่งเชื้อจะมีการฟักตัวและเพิ่มปริมาณในตัวแมลงพาหะ การฟักตัวของเชื้อเมื่อเข้าสู่ตัวแมลงก่อนถ่ายทอดเชื้อออกไปมีช่วงระยะเวลาแตกต่างกันอาจเป็น 5 นาที จนถึงเป็นหลายสัปดาห์ หรือเป็นเดือนก็ได้ (ตารางที่ 1) ระยะฟักตัวของเชื้อนี้มีทั้งในแมลงพาหะก่อนการถ่ายทอดเชื้อสู่พืชและในพืชหลังจากที่พืชได้รับเชื้อจากแมลงปล่อยเข้าไป พืชจะมีระยะที่เชื้อฟักตัวในพืชจนพืชแสดงอาการของโรคปรากฏออกมา

ตารางที่ 1 ระยะเวลาจับเชื้อและฟักตัวของเชื้อไวรัสในแมลงพาหะที่มีการถ่ายทอดเชื้อแบบ persistent

โรคและชนิดไวรัส	กลุ่มหรือวงศ์ของไวรัส	ชนิดแมลงพาหะ	ระยะเวลาจับเชื้อ	ระยะเวลาฟักเชื้อ
ใบด่างแคระแกร็นข้าวโพด (Maize chlorotic dwarf virus)	Sequiviridae	เพลี้ยจักจั่นข้าวโพด (<i>Graminella nigrifrons</i>)	15 นาที	15 นาที
โรคหูดข้าว (Rice Gall Dwarf virus)	Reoviridae	เพลี้ยจักจั่นข้าว (<i>Recilia dorsalis</i>)	8 ชั่วโมง	1 ชั่วโมง
โรคเหลืองของต้นบีท (Beet pseudo yellow virus)	Closterovirus	แมลงหวี่ขาวโรงเรือน (<i>Trialeurodes vaporariorum</i>)	1 ชั่วโมง	6 ชั่วโมง
โรคใบด่างมันสำปะหลัง (African cassava mosaic virus)	Geminiviridae	แมลงหวี่ขาว (<i>Bemisia tabaci</i>)	3.5 ชั่วโมง	10 นาที
โรคใบหงิกของมะเขือเทศ (Tomato yellow leaf curl virus)	Geminiviridae	แมลงหวี่ขาว (<i>Bemisia tabaci</i>)	1 ชั่วโมง, 30 นาที, >2 ชั่วโมง	1 ชั่วโมง
Mulberry mosaic disease (<i>Gemini virus viz</i>)	Geminiviridae	แมลงหวี่ขาว (<i>Bemisia tabaci</i>)	24 ชั่วโมง	6 ชั่วโมง
Indian Cassava Mosaic Virus (ICMV) and Sri Lankan Cassava Mosaic Virus (SLCMV)	Geminiviridae	<i>Bemisia tabaci</i>	48 ชั่วโมง	48 ชั่วโมง

3. ระยะส่งถ่ายเชื้อเข้าสู่พืช (Inoculation access period) หรือปลูกเชื้อสาเหตุโรคเข้าสู่พืชนี้เป็นระยะที่แมลงใช้ในการถ่ายทอดเชื้อเข้าสู่พืช การส่งผ่านเชื้อจากแมลงพาหะเข้าสู่พืชนี้เกิดพร้อมกับขณะที่แมลงดูดกินน้ำเลี้ยงจากพืชซึ่งระยะเวลาในการถ่ายทอดเชื้อเข้าสู่พืชอาจเป็นวินาทีจนถึงเป็นหลายชั่วโมง แมลงพาหะแต่ละชนิดมีความเฉพาะเจาะจงในการรับและถ่ายทอดเชื้อที่ตำแหน่งในการดูดกินพืชแตกต่างกัน เช่น แมลงพาหะที่ดูดกินบริเวณ ท่อน้ำเลี้ยง (xylem) หรือท่อลำเลียงอาหาร (phloem) ก็จะได้รับเชื้อและถ่ายทอดเชื้อสู่พืชต้นใหม่ในบริเวณท่อน้ำเลี้ยงหรือท่อลำเลียงอาหารเช่นกัน นอกจากนี้แมลงบางชนิดยังมีความเฉพาะเจาะจงในรับเชื้อและถ่ายทอดเชื้อสู่พืชเฉพาะส่วนของพืชเท่านั้น เช่น แมลงหรีขาว *B. tabaci* (Gennadius) จะถ่ายทอดเชื้อไวรัส Cassava mosaic virus (CMV) ของมันสำปะหลัง และเชื้อไวรัส Tobacco leaf curl virus (TLCV) ในต้นยาสูบ ในส่วนใบอ่อนของพืช

2.5 ประเภทการถ่ายทอดเชื้อสาเหตุโรคสู่พืชของแมลงพาหะ (Types of transmission)

ในการการถ่ายทอดเชื้อสาเหตุของโรคพืช เช่น เชื้อไวรัส เชื้อแบคทีเรีย และเชื้อไฟโตพลาสมา จากพืชเป็นโรคไปสู่พืชอื่นๆ โดยมีแมลงพาหะกลุ่มแมลงปากดูด ได้แก่ เพลี้ยอ่อน เพลี้ยจักจั่น และ แมลงหรีขาว เป็นต้น แมลงพาหะมีวิธีการถ่ายทอดเชื้อแตกต่างกันตามชนิดและพฤติกรรมการดูดกินของแมลง วิธีการถ่ายทอดเชื้อสู่พืชของแมลงพาหะสามารถแบ่งเป็นประเภทต่างๆ โดยใช้หลักเกณฑ์ที่ระยะเวลาในการดูดกิน การถ่ายทอดเชื้อของแมลงพาหะ ตลอดจนการเคลื่อนย้ายของเชื้อในแมลงพาหะ ซึ่ง Fereres and Moreno, (2009) ได้แบ่งวิธีรับและการถ่ายทอดเชื้อของแมลงออกเป็น 3 แบบ ดังนี้

1) แบบเชื้อไม่คงอยู่ในตัวแมลงพาหะ Non - persistent หรือ stylet borne แมลงพาหะที่ได้รับเชื้อจากต้นพืชเป็นโรคใช้ระยะเวลาที่ได้รับเชื้อเพียงช่วงเวลาสั้นๆ เพียงวินาทีถึงนาทีเท่านั้น หลังจากดูดกินจากพืชที่เป็นโรคและดูดกินต้นปกติที่อยู่ใกล้เคียงก็สามารถถ่ายทอดเชื้อสู่พืชต้นใหม่ได้อย่างรวดเร็ว เรียกว่า stylet - borne (Ammar et al., 1994) ซึ่งเชื้อได้ปะปนอยู่ในส่วนของผนังรอบๆ ส่วนปากที่แทงดูดเข้าไปในเซลล์พืช โดยเชื้อเข้าไปในหลอดอาหารหรือเข้าไปในส่วนกระเพาะอาหารส่วนหน้าเท่านั้น หลังจากลอกคราบเปลี่ยนวัยเชื้อก็หมดไป (Pirone and Perry, 2002) พบเฉพาะในแมลงจำพวกเพลี้ยอ่อน เช่น เพลี้ยอ่อนถั่ว (*Myzus persicae* (Sulzer) เพลี้ยอ่อนฝ้าย (*Aphis gossypii* Glover) ที่ถ่ายทอดเชื้อไวรัสทำให้เกิดโรคพืชหลายชนิด เช่น cucumber mosaic virus: CMV และ cowpea aphid borne mosaic virus: CAMV) เป็นต้น

2) แบบเชื้อคงอยู่ในตัวแมลงพาหะ Semi - persistent หรือ foregut-borne ส่วนใหญ่ลักษณะเหมือนกับ non - persistent แต่การได้รับเชื้อโรคจากพืชภายหลังแมลงดูดกินน้ำเลี้ยงใช้ระยะเวลาดูดกินนานขึ้น ประสิทธิภาพจะมากขึ้น แมลงจะได้รับเชื้อใช้ระยะเวลาการรับเชื้อและถ่ายทอดเชื้อเป็นนาทีหรือชั่วโมง ไม่มีระยะบ่มเชื้อ หลังจากการลอกคราบเปลี่ยนวัยเชื้อก็หมดไป (Nault, 1997) พบในแมลงหลายชนิด ได้แก่ เพลี้ยอ่อน เพลี้ยจักจั่น และแมลงหรีขาว ตัวอย่างโรคพืชที่นำโดยแมลงพาหะที่มีการรับและถ่ายทอดเชื้อแบบ semipersistent ได้แก่ โรคเหลืองของต้นบีท (Beet yellows virus) และ โรคเส้นใบสีเข้มของสตอร์เบอร์รี่ (Strawberry vein banding virus) ที่มีเพลี้ยอ่อนเป็นแมลงพาหะ และโรคต่างแคะของข้าวโพด (Maize chlorotic dwarf virus) ที่มีเพลี้ยจักจั่นเป็นแมลงพาหะ เป็นต้น

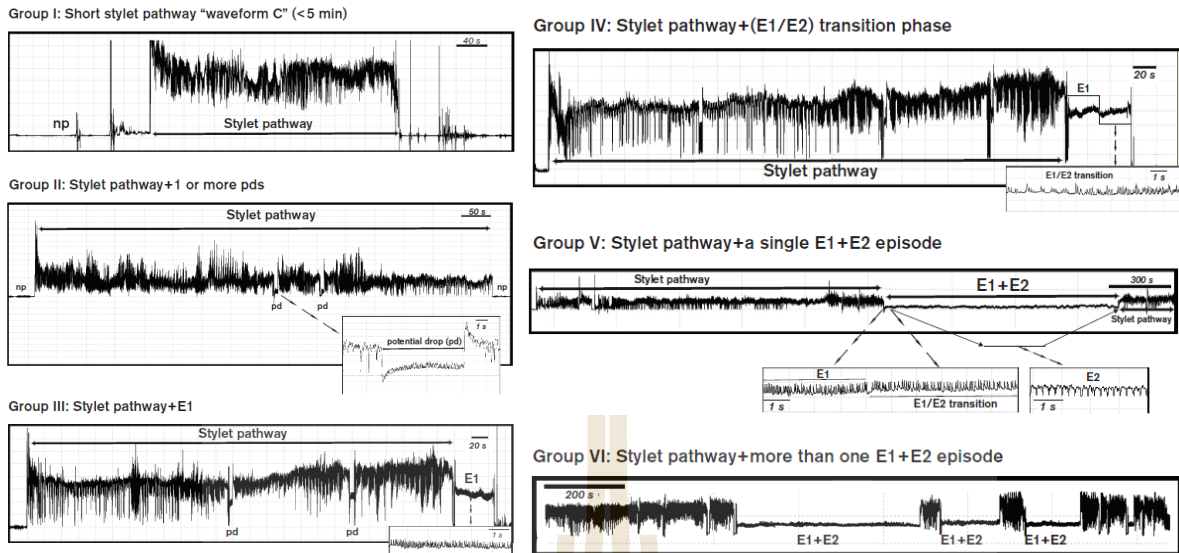
3) แบบเชื้อคงอยู่ในตัวแมลงพาหะ Persistent หรือ salivary gland borne ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 2 แบบย่อย ได้แก่

3.1 Circulative nonpropagative transmission เป็นการถ่ายทอดเชื้อโรคสู่พืชของแมลงพาหะ แบบที่เชื้อสาเหตุโรคเข้าสู่ร่างกายแมลงแล้วมีการหมุนเวียนผ่านระบบหมุนเวียนโลหิต ไปยังส่วนต่างๆ

ของเนื้อเยื่อลำตัวแมลงและสะสมอยู่ในต่อมน้ำลาย พร้อมถ่ายทอดเชื้อออกสู่ต้นพืชใหม่เมื่อดูดกินน้ำเลี้ยง เชื้อมีระยะฟักตัว (latent period) ในตัว แต่เชื้อไม่สามารถเพิ่มขยายจำนวนได้ (nonpropagative) และเชื้อไม่สูญเสียหมดไปจากการลอกคราบ แมลงสามารถถ่ายทอดเชื้อสู่พืชได้หลายครั้ง ซึ่งทำให้เชื้อมีโอกาสลดลงได้จากการถูกถ่ายทอดสู่พืช แต่แมลงสามารถดูดกินต้นพืชเป็นโรคและรับเชื้อกลับคืนเข้าในตัวแมลงได้อีก

3.2 Circulative propagative transmission เป็นการถ่ายทอดเชื้อสาเหตุโรคพืช โดยเชื้อเพิ่มจำนวนในแมลงพาหะก่อนและถ่ายทอดผ่านทางต่อมน้ำลาย ซึ่ง persistent propagative เหมือนกับ persistent circulative หลายๆ ส่วน เช่น การรับเชื้อหรือการเคลื่อนที่ผ่านเข้าไปในตัวแมลงพาหะ สำหรับความแตกต่างที่เห็นได้ชัดของ persistent propagative คือเชื้อยังคงอยู่ในตัวของแมลงและถูกถ่ายทอดไปยังรุ่นลูกรุ่นหลานผ่านทางรังไข่ ที่เรียกว่า transovarial transmission (Hanboonsong et al., 2002) แมลงพาหะที่มีการถ่ายทอดเชื้อโรคแบบนี้ เช่น เพลี้ยอ่อน ถ่ายทอดเชื้อไวรัส วงศ์ Rhabdoviridae เพลี้ยจักจั่น *Matsumuratettix hiroglyphicus* (Matsumura) แมลงพาหะนำเชื้อไฟโตพลาสมาโรคใบขาวอ้อย เป็นต้น ดังนั้นการเข้าใจกลไกการถ่ายทอดเชื้อโรคของแมลงพาหะต่างๆ นี้ทำให้สามารถเลือกใช้ควบคุมและการป้องกันกำจัดแมลงพาหะที่เหมาะสมและความเสี่ยงของการเกิดโรค

การถ่ายทอดเชื้อไวรัสสาเหตุโรคของ แมลงหวีขาว *B. tabaci* เกิดจากพฤติกรรมการดูดกินของแมลงหวีขาว ซึ่งกระบวนการถ่ายทอดเชื้อประกอบด้วย การรับเชื้อ การบ่มเพิ่มปริมาณเชื้อ และการถ่ายทอดเชื้อ ดังนั้นพฤติกรรมเหล่านี้จึงส่งผลต่อประสิทธิภาพในการถ่ายทอดเชื้อไวรัสของแมลงหวีขาว การศึกษาพฤติกรรมการดูดกินน้ำเลี้ยงของแมลงหวีขาว *B. tabaci* ที่ถ่ายทอดเชื้อไวรัส *Tomato chlorosis virus (ToCV)* ในมะเขือเทศ โดยใช้เทคนิคการตรวจวัดการดูดกินน้ำเลี้ยงของแมลงด้วยกระแสไฟฟ้า electrical penetration graph (EPG) ผลที่เกิดจากเครื่องมือนี้สามารถบอกลักษณะของการดูดกิน ชั้นเนื้อเยื่อพืชที่แมลงดูดกินน้ำเลี้ยงระยะเวลา และความถี่ของการดูดกินน้ำเลี้ยง พบว่าพฤติกรรมการดูดกินของแมลงมีผลต่อการถ่ายทอดเชื้อไวรัส *ToCV* ของแมลงหวีขาว ซึ่งลักษณะของกราฟที่เกิดขึ้นจากการดูดกิน มี 6 ลักษณะ (ภาพที่ 8 และตารางที่ 2) ซึ่งลักษณะกราฟที่เกิดขึ้นสอดคล้องกับพฤติกรรมการดูดกินของแมลงได้แก่ 1) การดูดกินที่ช่องว่างชั้น Intercellular 2) ดูดกินที่ชั้น Intercellular 3) ดูดกินที่ชั้นผนังเซลล์แล้วเคลื่อนปากไปที่ชั้นท่อลำเลียงอาหาร พร้อมกับมีกิจกรรมปล่อยน้ำลาย 4) ดูดกินที่ชั้นท่อลำเลียงอาหาร 5) ดูดกินที่ชั้นท่อลำเลียงอาหารแล้วย้อนกลับมาดูดกินที่ชั้นผนังเซลล์ใหม่อีกครั้ง และ 6) ดูดกินชั้นผนังเซลล์ลึกลงไปที่ชั้นท่อลำเลียงอาหารแล้วย้อนกลับมาที่ชั้นผนังเซลล์ใหม่เป็นกิจกรรมที่ทำซ้ำไปมา 2 ครั้ง หรือมากกว่า ในช่วงที่แมลงหวีขาวดูดกินที่ตำแหน่งกราฟที่ 3 เป็นช่วงที่แมลงหวีขาวถ่ายทอดเชื้อไวรัส *ToCV* เข้าสู่ท่อลำเลียงอาหารของมะเขือเทศ



ภาพที่ 8 ลักษณะที่เกิดจากการดูดกินของแมลงหิวขาวยาสู้ *Bemisia tabaci* ที่มา: Maluta et al., (2017),

ตารางที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะกราฟที่เกิดขึ้นกับพฤติกรรมดูดกินของแมลงหิวขาวยาสู้ *Bemisia tabaci* (Maluta et al., 2017)

Group	Waveforms shown	Associated stylet activities
I	Stylet pathway (waveform C) <5 min	Short stylet pathway phase (without potential drops, pds), which represents movement of the stylets in the intercellular apoplastic space.
II	Stylet pathway + one or more pds	Stylet pathways followed by one or more pds lasting between 3–10 s each. Pds are correlated with intracellular punctures
III	Stylet pathway + waveform E1	Stylet pathway phase followed by a single E1 (>10 s). Waveform E1 is associated with salivation into phloem sieve elements at the beginning of the phloem phase
IV	Stylet pathway + (E1/E2) transition phase	Stylet pathway phase followed by E1 and a short E1/E2 transition phase (15–20 s), in which waveforms E1 and E2 overlap. Waveform E2 is correlated with passive phloem sap uptake from sieve elements
V	Stylet pathway + a single E1+E2 episode	Stylet pathway phase followed by a single E1+E2 phase and return to stylet pathway phase (C).
VI	Stylet pathway + more than one E1+E2 episode	Stylet pathway phase followed by two or more E1+E2 phases (each E1+E2 episode was followed by a pathway phase)

นอกจากนี้ยังมีการศึกษาพฤติกรรมดูดกินของแมลงหิวขาวยาสู้ *B. tabaci* (Biotype Q และ Biotype B) ในพืชอาหาร 5 ชนิด ได้แก่ กระหล่ำ (cabbage), ฝ้าย (cotton), แตงกวา (cucumber), คริสต์มาส (poinsettia), และมะเขือเทศ (tomato) ด้วยเทคนิคตรวจวัดการดูดกินด้วยกระแสไฟฟ้า direct-

current electrical penetration graph (DC-EPG) พบว่าการดูดกินของแมลงหริ่งขาวทั้ง 2 ชนิดมีการดูดกินในพืชอาหารแตกต่างกันอย่างชัดเจน ซึ่งกระหล่ำและแตงกวาเป็นพืชที่แมลงหริ่งขาว Biotype B มีการดูดกินที่ยาวนานและบ่อยที่สุดในขณะที่ Biotype Q มีความชื่นชอบในฝ้ายและคริสต์มาสมากที่สุด (Liu et al., 2012) จากการศึกษาทำให้ทราบข้อมูลความชอบและความไม่ชอบดูดกินน้ำเลี้ยงของแมลงหริ่งขาว ซึ่งการเข้าดูดกินน้ำเลี้ยงของแมลงหริ่งขาวในแต่ละ Biotype Q จะสื่อให้เห็นถึงชนิดพืชที่มีความต้านทานและความอ่อนแอต่างกัน พืชที่มีความต้านทานจะมีกลไกในการต้านทานให้แมลงไม่เข้าหาหรือมีพฤติกรรมในการดูดกินที่เปลี่ยนไป โดยกลไกในการต้านทานของพืชต่อแมลงมีความแตกต่างกัน ซึ่งการที่พืชพันธุ์ใดพันธุ์หนึ่งมีคุณลักษณะที่สามารถต้านทานการระบาดของทำลายของแมลงได้นั้น เนื่องจากพืชมีลักษณะความต้านทานอย่างไรอย่างหนึ่งหรือหลายอย่างรวมกัน เช่น การต่อต้านของพืชต่อแมลง มีผลเสียต่อแมลง หรือพืชสามารถทนทานการทำลายของแมลงได้ จากงานวิจัยเหล่านี้จึงนำมาใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการพัฒนาวิธีการคัดเลือกพันธุ์ต้านทานมันสำปะหลังต่อการเข้าทำลายของแมลงหริ่งขาวได้

อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพในการถ่ายทอดเชื้อสาเหตุโรคของแมลงยังขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของพืชที่มีความต้านทานต่อการเข้าทำลายและการถ่ายทอดเชื้อสาเหตุโรคด้วย การที่พืชพันธุ์ใดพันธุ์หนึ่งมีคุณลักษณะที่สามารถต้านทานการระบาดของทำลายของแมลงได้นั้น ก็เนื่องจากพืชนั้นมีลักษณะการต้านทานอย่างไรอย่างหนึ่งหรือหลายอย่างรวมกัน เช่น การต่อต้านของพืชที่ส่งผลกระทบต่อแมลง ทั้งด้านการยับยั้งการเจริญเติบโต การวางไข่และเป็นที่อยู่อาศัย หรือพืชสามารถทนทานการทำลายของแมลงได้ ดังนี้

1. การต่อต้านของพืชต่อแมลง (Antixenosis) หรือความไม่ชอบพืชของแมลง (Non-Preference) เนื่องจากลักษณะการต่อต้านที่พืชสร้างขึ้น หมายถึง การที่พืชพันธุ์ใดพันธุ์หนึ่งสามารถต้านทานแมลงได้ เพราะแมลงไม่สามารถใช้พืชพันธุ์นั้นเป็นที่พักอาศัย เป็นพืชอาหาร และเป็นที่วางไข่ได้ หนึ่งอย่างใดหรือหลายอย่างรวมกันเป็นกลไกความต่อต้านของพืชที่ยับยั้งแมลงหรือแมลงลดจำนวนการเข้ามาสู่พืช โดยทั่วไปแมลงจะหันเข้าสู่พืชเพื่อกินอาหาร เป็นสถานที่วางไข่ หรือที่อยู่อาศัย อย่างไรก็ตามลักษณะดังกล่าวแม้ว่าแมลงเข้ามาหาพืช ลักษณะ antixenosis ของพืชที่ไม่ให้แมลงเข้ามาหาพืชเพื่อใช้ประโยชน์ ในบางครั้งที่กลไกความต้านทานแบบ antixenosis มีประสิทธิภาพสูงส่งผลให้แมลงอดอาหารและตายได้ ลักษณะของพืชอาหารทั้งทางสัณฐานวิทยา ทางฟิสิกส์ หรือโครงสร้างของพืชรบกวน พฤติกรรมของแมลง เช่น การผสมพันธุ์ การวางไข่ การกินอาหาร และการย่อยอาหาร ขนและความแข็งของเนื้อเยื่อพืชกีดขวางและกำจัดการเคลื่อนไหวของแมลง (Wevster, 1975)

2. พืชมีผลเสียหยาต่อชีวิตแมลง (Antibiosis) เป็นกลไกการต้านทานของพืชที่มีผลต่อความอยู่รอดของแมลง การใช้ประโยชน์จากการเผาผลาญอาหารที่กิน การพัฒนาเจริญเติบโต การดำรงชีวิต การขยายพันธุ์ของแมลง (Saxena et al., 1974) หลังจากแมลงเข้าทำลายต้นพืชที่มี antibiosis จะมีผลโดยตรงต่อการเจริญเติบโต การพัฒนา การสืบพันธุ์และการมีชีวิตรอดของแมลง อาจส่งผลให้น้ำหนักลดขนาดเล็กลง มีการตายของตัวอ่อนและดักแด้มากขึ้น

3. พืชสามารถทนทานการระบาดของทำลายของแมลง (Tolerance) เป็นลักษณะของความต้านทานของพืชที่สามารถทนต่อการเข้าทำลายของแมลง โดยไม่มีลักษณะการถูกทำลายรุนแรงให้เห็น และผลผลิตไม่ลดลง ในขณะที่แมลงยังสามารถเจริญเติบโตและแพร่ขยายพันธุ์ได้ตามปกติ (Pathak, 1977)

2.6 การคัดเลือกพันธุ์พืชต้านทานต่อแมลง

การคัดเลือกพันธุ์พืชต้านทานต่อแมลง ประกอบไปด้วย 3 ประการ

1. Antibiosis เป็นกลไกที่แสดงผลหลังจากที่แมลงบินมาเกาะและเริ่มกัดกินทำลายพืช แล้วเมื่อแมลงกินพืชที่มีกลไกต้านทานแบบ Antibiosis พืชจะสร้างสารที่มีภาวะยับยั้งต่อกระบวนการเมตาบอลิซึมของแมลง เป็นกลไกความต้านทานของพืชที่แสดงลักษณะที่มีผลร้ายต่อวงจรชีวิตของแมลง การจำแนกว่าพืชมีความต้านทานแบบ Antibiosis หรือไม่สามรถสังเกตได้จากลักษณะอาการที่ผิดปกติไปจากเดิมของแมลงโดยลักษณะอาการที่ผิดปกติไปจากเดิมของแมลงแบ่งได้เป็น 4 ลักษณะอาการ คือ

(1) แมลงมีอัตราการตายช่วงระยะแรก ๆ ของการเจริญเติบโต ก่อนที่จะพัฒนาไปเป็นตัวเต็มวัย

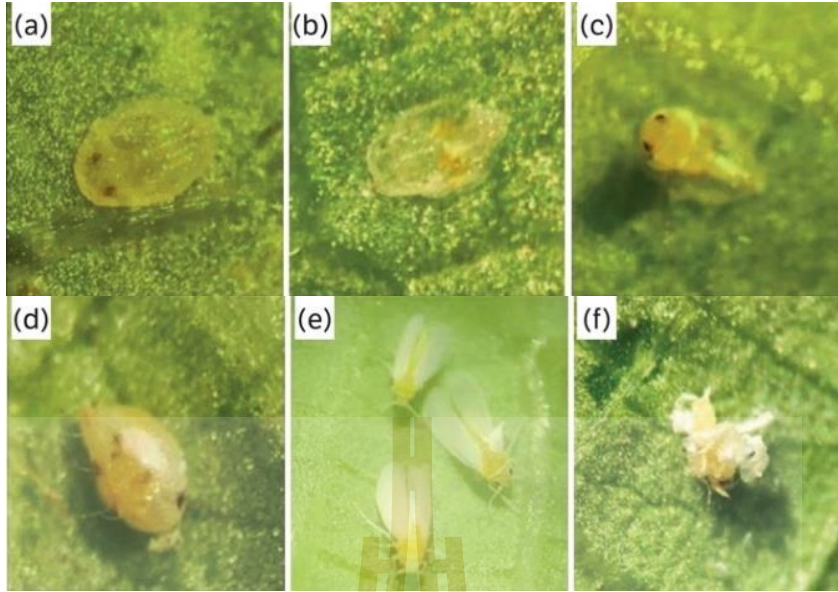
(2) น้ำหนักและขนาดตัวของแมลงลดลง ช่วงระยะเวลาของการเจริญในตัวอ่อนใช้เวลาพัฒนาไปเป็นตัวเต็มวัยที่นานขึ้น มีจำนวนตัวของระยะตัวอ่อนน้อยลง ตัวเต็มวัยมีอายุสั้นลง ระยะผสมพันธุ์จนถึงระยะวางไข่สั้นลง แสดงให้เห็นว่าลักษณะทางสรีรวิทยาถูกรบกวนกระทบกระเทือน

(3) ตัวอ่อนเข้าระยะดักแด้เร็วกว่าปกติและดักแด้ไม่สมบูรณ์ ทำให้จำนวนประชากรของแมลงลดลง แสดงให้เห็นว่าลักษณะทางสรีรวิทยาถูกรบกวนกระทบกระเทือน

(4) แมลงมีพฤติกรรมที่ผิดปกติ เช่น มีอาการที่กระวนกระวาย กระสับกระส่าย สังเกตได้จากการที่แมลงเดินวนเวียนไปมา และขาดการกัดกินส่วนของพืชอย่างต่อเนื่อง สาเหตุของการต้านทานลักษณะนี้เกิดเนื่องจากพืชผลิตสารที่เป็นพิษต่อแมลง (ภาพที่ 9)

สารที่พืชสร้างขึ้นและส่งผลต่อแมลงมีรายงานพบหลายชนิดด้วยกัน อย่างเช่น สารจำพวก cyclopeptide alkaloid ซึ่งประกอบด้วย L-tyrosine, 3(S)-hydroxy-L-leucine, L-phenylalanine และ 2-hydroxyisocaproic acid สารกลุ่มนี้หากตัวอ่อนด้วงเต่าได้รับเพียง 1 เปอร์เซ็นต์สามารถทำให้ตายได้ สารในกลุ่ม glycoside ซึ่งพบในข้าวโพด สารกลุ่ม acylsucroses ในมะเขือเทศป่าที่มีผลยับยั้งการเจริญเติบโตของแมลงหวี่ขาว *B. tabaci* สาร ฟลาโวนอยด์ (flavonoid) วิตามินซี (ascorbic acid) กรดอะมิโน (Amino acid) และแทนนิน (tannin) เป็นสารที่พบในบวบเหลี่ยมพันธุ์ AHRG-57, Pusa Nasdar และ AHRG-29 ซึ่งมีผลต้านทานต่อแมลงวันผลไม้ *Bactrocera cucurbitae* (Diptera: Tephritidae) และนอกจากนี้ phenolic compound เป็นสารทุติยภูมิชนิดหนึ่ง (secondary metabolic compounds) ที่มีผลต้านทานการลงทำลายของแมลง

ในขณะที่ความสมบูรณ์ของธาตุอาหารในพืชมีผลต่อการเจริญเติบโตของแมลง และมีผลให้แมลงเจริญเติบโตได้ไม่ดี และอาจตายจากการที่พืชนั้นขาดธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิตของแมลง เช่น แมลงจะเลือกลงทำลายต้นพืชที่มีความสมบูรณ์ของธาตุคาร์โบไฮเดรต และขาดกรดอะมิโน การที่พืชชนิดใดชนิดหนึ่งมีลักษณะแบบนี้จะทำให้แมลงมีการเจริญเติบโตที่สมบูรณ์ (ศุทธิยา สิทธิฤทธิ, 2561)



ภาพที่ 9 พืชที่มีกลไกต้านทานแบบ Antixenosis ส่งผลต่อวงจรชีวิตของ *Bemisia tabaci* (a,c และ e) ช่วงวัยของ *Bemisia tabaci* เข้าทำลายพืช (b) แมลงมีลักษณะผิดปกติไปจากเดิม, (d) ความยากลำบากในการลอกคราบของแมลง และ (f) ตัวเต็มวัยตาย ที่มา: Santos et al. (2020)

2. Antixenosis เป็นกลไกความต่อต้านของพืชที่ยับยั้งแมลงหรือแมลงลดจำนวนการเข้ามาสู่พืช โดยทั่วไปแมลงจะหันเข้าสู่พืชเพื่อกินอาหารเป็นสถานที่ที่วางไข่หรือที่อยู่อาศัย อย่างไรก็ตามลักษณะดังกล่าว แม้ว่าแมลงเข้ามาหาพืช ลักษณะ antixenosis ของพืชที่ไม่ให้แมลงเข้ามาหาพืชเพื่อใช้ประโยชน์ ในบางครั้งกลไกความต้านทานแบบ antixenosis มีประสิทธิภาพสูง ส่งผลให้แมลงอดอาหารและตายได้

ลักษณะของพืชอาหารทั้งทางสัณฐานวิทยา ทางฟิสิกส์ หรือโครงสร้างของพืชรบกวน พฤติกรรมของแมลง เช่น การผสมพันธุ์ การวางไข่ การกินอาหาร และการย่อยอาหาร ขน และความแข็งแรงของเนื้อเยื่อพืชที่ขัดขวาง และกำจัดสารเคลือบผิวของแมลง

ความต้านทานแบบ antixenosis ของพืชต่อการกินของแมลง

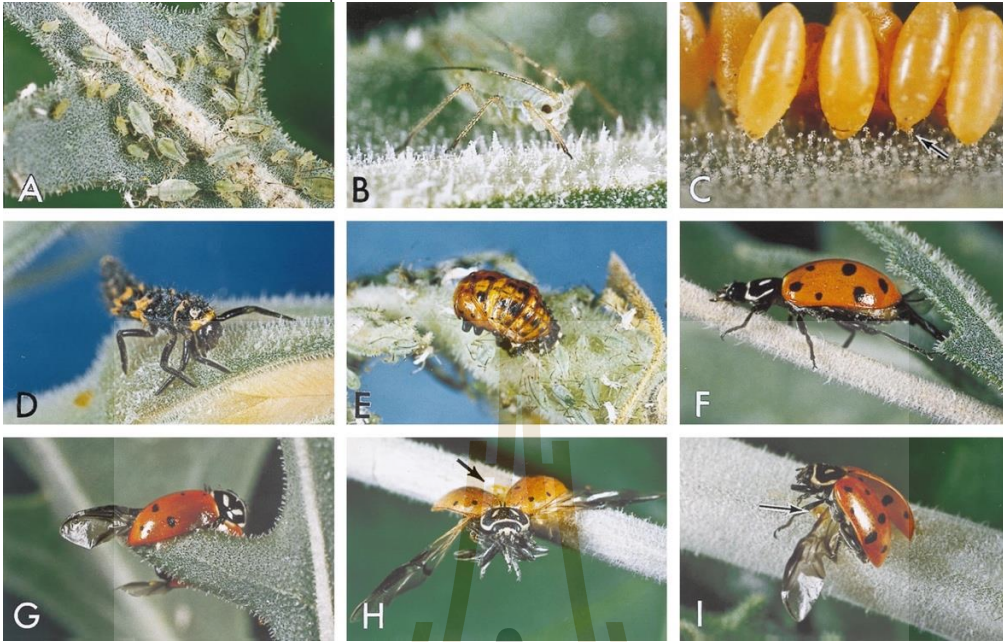
แมลงตอบสนองต่อสารกระตุ้นการกินหลายอย่างเมื่อแมลงคัดเลือกพืชอาหาร ถ้าขาดสารประกอบที่กระตุ้นและมีสารประกอบที่ยับยั้ง ก่อให้เกิดความต้านทานแบบ antixenosis ต่อแมลงที่กินพืช จากการสังเกตแมลงที่กินพืชจำนวนหนึ่งของแมลงหลายชนิดพบว่า ก่อนที่แมลงจะกินพืชอาหาร แมลงจะสัมผัสบนผิวของพืชก่อนบนผิวใบพืช เกี่ยวข้องกับสารเคมีในพืช และอวัยวะรับสัมผัสเคมีของแมลง ความต้านทานแบบ antixenosis ของพืชอาหารต่อการกินของแมลง ประกอบด้วยขนที่ไม่มีต่อม และมีต่อมของพืช สารเคมีที่ผิวใบ ความแข็งแรงของเนื้อเยื่อพืช การขาดธาตุอาหารของพืช และสารเคมีจำพวกขี้ผึ้งและยับยั้งแมลงของพืช

ปัจจัยด้านโครงสร้างของพืช

ปัจจัยหลายอย่างด้านโครงสร้างของพืชที่เป็นกลไกต้านทานของพืช เมื่อแมลงที่กินพืชเข้าไปใกล้พืช ปัจจัยที่ธรรมดาที่สุดได้แก่ ความแข็งแรงและเหนียวของเนื้อเยื่อพืช ส่วนประกอบของผนังเซลล์พืช เนื้อเยื่อพืชที่เป็นแผล และขนบนพืช

ขนของพืช (Plant pubescence) ขนของพืชรบกวนการกินอาหารของแมลง (ภาพที่ 10) ที่มีพินแกรมเล็ก และมีการตายสูง เนื่องจากหนอนวัยแรก มักจะกัดถูกขน 3 ครั้ง ก่อนที่ปากของแมลงจะถึงเนื้อเยื่อของใบที่เป็นแหล่งอาหาร ด้วยเหตุผลดังกล่าวแมลงจึงต้องกัดกิน cellulose และ lignin ของพืชที่ไม่มีคุณค่า

ทางอาหารเข้าไป cellulose และ lignin ผ่านเข้าสู่ทางเดินอาหารของแมลงโดยไม่สามารถย่อยได้ และหนอนวัยอ่อนก็ตาย เนื่องจากอาหารที่ไม่สมดุลจากเส้นใยของพืช

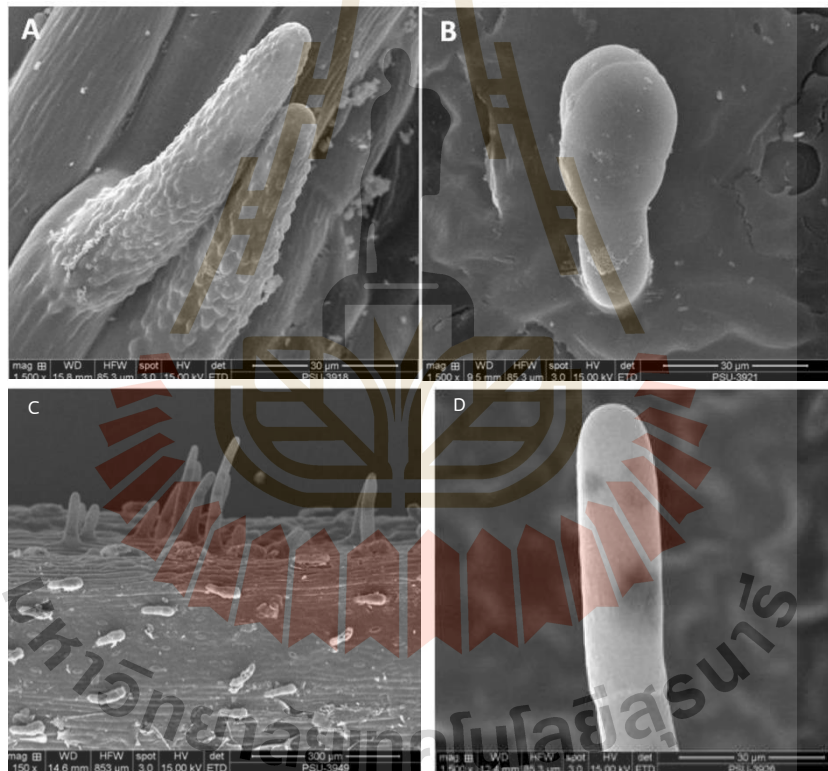


ภาพที่ 10 ขนของพืชรบกวนการกินอาหารของแมลง (A-B) ขนของพืชรบกวนการกินอาหารของเพลี้ยอ่อน, (C) ไซของแมลง (ลูกศรแสดงให้เห็นบริเวณที่ไซได้รับบาดเจ็บจาก trichomes), (D-I) แมลงตัวเต็มวัยถูกกับดักจากขนของพืช อดอาหารและตาย
ที่มา: Eisner et al. (1998)

ขนที่ไม่มีต่อม (non-glandular trichomes) (ภาพที่ 11) ขนตั้งอยู่บน epidermis ของพืช มีรูปร่างและโครงสร้างหลายแบบ เช่น ขนที่ไม่มีต่อมและมีต่อม ขนที่ไม่มีต่อมมักจะมีส่วนร่วมในความต้านทานแบบ antixenosis โดยมีประสิทธิภาพในการกีดขวางเพื่อป้องกันแมลงตัวเล็ก ๆ ในการร่อนลงสู่ผิวพืช และป้องกันการเคลื่อนไหวและการกินของแมลง ขนของพืชมีผลต่อพฤติกรรมของแมลงบนผิวใบพืช 3 ประการ ดังนี้ 1. การสืบคลาน 2. กับดักจากขนของพืช 3. ความเหนียวหนืดของสารที่ออกจากขนที่มีต่อม การสืบคลานของแมลง เช่น ขนของใบฝ้ายมีผลต่ออัตราการเคลื่อนที่ของหนอนวัยแรกของหนอนเจาะสมอฝ้ายสีชมพู *Pectiniphora gossypiella* โดยหนอนเคลื่อนที่เร็วเป็น 6 เท่าบนผิวใบที่เรียบ เมื่อเปรียบเทียบกับผิวใบที่มีขน การทดลองในหนอน *Heliothis virescens* ที่ฟักใหม่ ๆ บนผิวใบด้านบน และด้านล่าง การเคลื่อนไหวที่ช้าลงของแมลง เนื่องจากขนของพืชมีผลให้หนอนอดอาหาร ซึ่งทำให้การตายของหนอนเพิ่มขึ้น ขนที่ยาวของใบไม่เพียงแต่มีผลต่อการเคลื่อนที่ของแมลง ยังป้องกันแมลงไม่ให้กินบนผิวใบพืช เช่น อยัวะส่วนปากที่ยาว 0.2-0.4 มม. ของเพลี้ยจักจั่น *Empoasca fabae* ไม่สามารถเอื้อมถึง mesophyll หรือท่อลำเลียงอาหาร (vascular bundles) ของใบแก้วเหลืองที่มีขน แมลงที่เจาะดูดกินถึงท่ออาหาร (phloem) และท่อลำเลียงน้ำ (xylem) จะต้องสอดอวัยวะส่วนปากที่แหลม (stylets) ลึกเข้าไปในเนื้อเยื่อพืช และขนของใบ (trichomes) มีผลต่อการสอดของ stylet ของแมลงลงสู่เนื้อเยื่อพืช จากการทดลองถอนขนของผัก mustard *Brassica hirta* var. *Gisiba* ออก พบว่า ความเสียหายจากการกินของ flea beetle *Phyllotreta cruciferae* เพิ่มขึ้น ดังนั้นสรุปได้ว่าแมลงเจาะดูดหลักเลี้ยงที่จะดูดน้ำเลี้ยงจากพืชเพราะมีขน ซึ่งเป็นความต้านทานของพืชแบบ antixenosis แมลงไม่เพียงแต่เคลื่อนที่ลำบากเนื่องจากขนของพืช เมื่อแมลงเข้ามาสัมผัสกับพืช แมลงยังถูกจับโดยการที่มแทงจากขนของพืช ขนเหล่านี้มักพบเสมอในพืชที่เป็นไม้เลื้อย ขนหรือหนามของพืชแทงทะลุผิวหนัง

ของแมลงที่ถูกจับและฆ่าตาย (ภาพที่ 10) จากการสังเกตประสิทธิภาพของขนที่แหลมคมของ French bean, *Phaseolus* sp. ต่อพฤติกรรมของเพลี้ยจักจั่นมันฝรั่ง *Empoasca fabae* พบว่า ขนที่แหลมคมของถั่วดังกล่าว ทำให้ผนังลำตัวของเพลี้ยจักจั่นได้รับบาดเจ็บและตายในที่สุด

ขนที่มีต่อม (glandular trichomes) (ภาพที่ 11) พบทั่วไปในพืชที่ปล่อยสารเหนียว ซึ่งขัดขวางความสามารถในการเคลื่อนที่ การกินอาหาร และหรือความอยู่รอดของแมลง บทบาทการต่อต้านของขนที่มีต่อมของพืชในตระกูล Solonaceae ที่ต่อต้านแมลงที่กินพืช มีการศึกษาวิจัยในระดับวิทยาศาสตร์ประยุกต์พืชจำพวก *Solanum*, *Lycopericon*, *Nicotiana* และ *Madicago* spp. มีการผลิตสารเหนียวออกจากใบมันฝรั่งพันธุ์ป่า ได้แก่ *Solanum polyadenium*, *S. berthaultii* และ *S. tariyense* เมื่อเพลี้ยอ่อน *Myzus persicae* หรือ *Macrosiphum emphorbiae* ดูดกินมีรอยแผลที่ผนังเซลล์พืช จะมีสารเหนียว ชั้บออกมาจากขนที่มีต่อม เมื่อสารเหนียวซึ่งละลายน้ำได้ดังกล่าวสัมผัสกับก๊าซออกซิเจนในอากาศก็จะเปลี่ยนเป็นสารเหนียวสีดำไม่ละลายน้ำ และแข็งตัวอยู่ล้อมรอบบริเวณ tarsi ของขาเพลี้ยอ่อน และขัดขวางการเคลื่อนไหวของแมลง การสะสมสารเหนียวจากขนที่มีต่อมของพืช มีผลทำให้เพลี้ยอ่อนถูกตรึงแน่นอยู่กับพืชและอดอาหารถึงตายได้ (ภฤติญา แสงภักดี, ม.ป.ป.)



ภาพที่ 11 ชนิดของ trichomes (A), (B) glandular trichomes และ (C), (D) non-glandular trichomes ที่มา: วิกันดา และจตุพร (2557)

3. Tolerance เป็นลักษณะทางพันธุกรรมของพืชที่ป้องกันตัวเองจากแมลงซึ่งสามารถทำความเสียหายให้กับพันธุ์อ่อนแอได้ ดังนั้นจึงไม่ทำให้เกิดความสูญเสียกับผลผลิตหรือไม่ลดคุณภาพของผลผลิต กลไกของ Tolerance นี้จะไม่มีผลกระทบต่ออัตราการเพิ่มจำนวนของประชากรแมลง แต่กลไกการปรับตัวเพื่อให้พืชสามารถดำรงอยู่ได้ในสภาวะที่ถูกแมลงเข้าทำลาย (ภาพที่ 12) และจะมากหรือน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับผลกระทบที่เกิดจากแมลง ซึ่งความต้านทานแบบ Tolerance นี้ไม่เป็นที่ต้องการนัก เพราะอาจเป็นแหล่ง

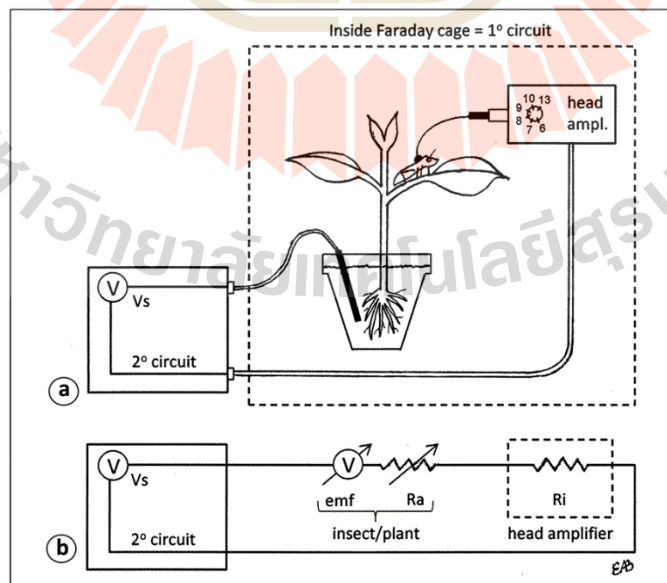
สะสมแมลงได้ แต่พันธุ์ทนทาน (Tolerance) มีประโยชน์ในกรณีที่พันธุ์ที่เคยต้านทานสูญเสียความต้านทานลง แต่ไม่มีพันธุ์ต้านทานใดที่ดีกว่าพันธุ์ทนทานนี้ (อนงค์นุช ผลวงษ์, 2548)

2.7 เทคโนโลยีที่นำมาใช้ในการคัดลอกพันธุ์ต้านทานพืช

ปัจจุบันมีการใช้เทคโนโลยีที่นำมาใช้ในการคัดลอกพันธุ์ต้านทาน เรียกว่า เครื่องตรวจวัดการดูดกินด้วยกระแสไฟฟ้า Electrical Penetration Graph (EPG) ซึ่งมีการนำมาใช้ในการศึกษาลักษณะการดูดกิน การถ่ายทอดเชื้อ การทดสอบฤทธิ์ตกค้างของสารฆ่าแมลง และการใช้คัดลอกพันธุ์ต้านทาน (Tjallingii, 1985; Luo et al., 2015; Wu et al., 2016 Roddee et al., 2017)

เครื่องมือตรวจวัดการดูดกินของแมลงปากดูดด้วยกระแสไฟฟ้า Electrical Penetration Graph

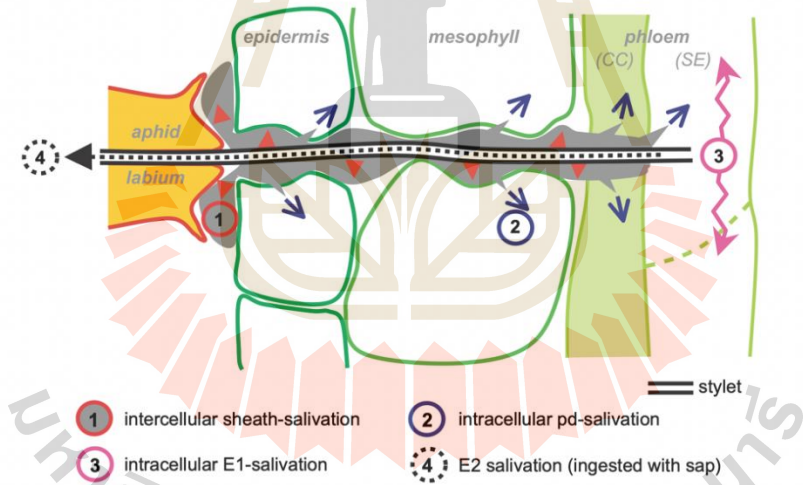
เครื่องมือตรวจวัดการดูดกินของแมลงปากดูดด้วยกระแสไฟฟ้า Electrical Penetration Graph หรือ Electropenetrography (EPG) เป็นหนึ่งในเทคนิคที่มีประโยชน์มากที่สุดเพื่อศึกษาพฤติกรรมการตรวจสอบ stylet ของแมลงเจาะ-ดูด และสัตว์ขาปล้องอื่น ๆ ที่ส่วนของปากเคลื่อนเข้าไปข้างในเนื้อเยื่อพืชและไม่สามารถมองเห็นได้ (Backus et al., 2020) สามารถวัดจำนวนครั้ง และระยะเวลาที่แมลงปากเจาะดูด ดูดกิน น้ำเลี้ยงพืช โดยประมวลผลออกเป็นลักษณะกราฟคลื่นความถี่ไฟฟ้า (Electrical Penetration Graph, EPG) ซึ่งสามารถนำกราฟที่ได้มาใช้ในการวิเคราะห์ความชอบพืชอาศัยของแมลง และผลของลักษณะต้านทานของพืชที่רבกวนแมลงในการเจาะดูดน้ำเลี้ยงพืช จากรายงานวิจัยก่อนหน้า พบว่า แมลงที่ถูกศึกษาส่วนใหญ่เป็นแมลงศัตรูพืชในกลุ่มมวนและเพลี้ย ซึ่งเป็นแมลงที่มีปากเป็นท่อแหลม ซึ่งเรียกว่า stylet ในการเจาะแทงเนื้อเยื่อพืชลงไปจนถึงท่อลำเลียงน้ำ (phloem) และท่อลำเลียงอาหาร (xylem) เพื่อดูดกินน้ำเลี้ยงพืช หลักการใช้งานโดยการนำแมลงติดกับปลายลวดทองคำ (เส้นผ่านศูนย์กลาง 20 ไมโครเมตร) โดยใช้กาวที่เป็นสื่อกระแสไฟฟ้า จากนั้นต่อปลายลวดทองคำอีกด้านเข้ากับส่วน probe ของเครื่อง เสียบสายขั้วไฟฟ้าไปบนดินของกระถางต้นไม้ที่มีต้นไม้ที่ใช้เป็นพืชทดสอบ ตัวเครื่องเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์เพื่อบันทึกกราฟคลื่นความถี่ที่เกิดขึ้นหลังจากการเปิดเครื่องและปล่อยแมลงให้เดินบนพืชทดสอบ (ภาพที่ 12) เมื่อแมลงเริ่มสัมผัสพืชและใช้ส่วน stylet เจาะแทงลงในเนื้อเยื่อพืชเพื่อดูดน้ำเลี้ยง วงจรไฟฟ้าจะแสดงรูปคลื่นต่าง ๆ ให้ปรากฏข้อมูลจะถูกบันทึกไว้ในตัวโปรแกรมอ่านกราฟ



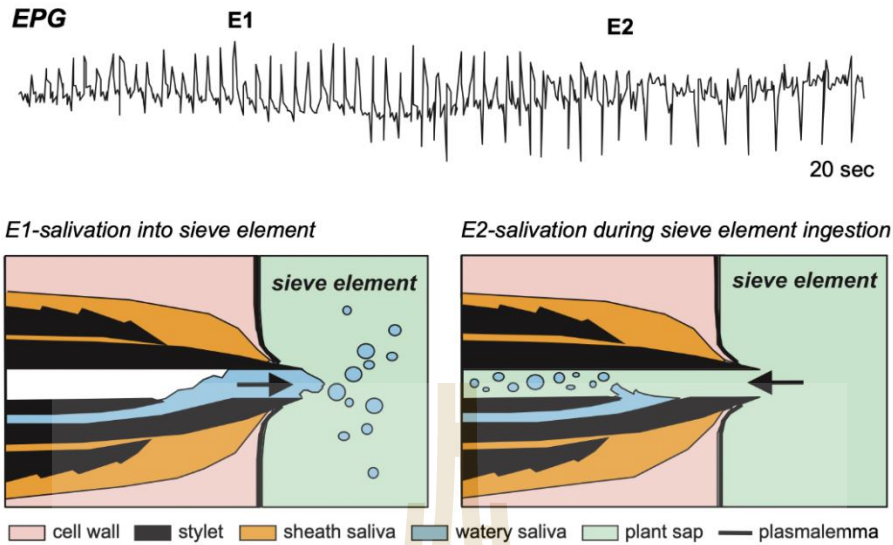
ภาพที่ 12 การแสดงวงจรในการต่อ EPG (A) แบบจำลองที่เหมือนจริงของพืชและแมลง, (B) การแสดงแผนภาพของอิล็กทรอนิกส์ของวงจรปฐมภูมิรวมถึงตัวแปรทางชีวภาพ (emf) และความต้านทานตัวแปร (Ra)

2° = วงจรทุติยภูมิ (เช่นวงจรประมวลผลสัญญาณ); head amplifier = เครื่องขยายเสียงสเตอริโอ; แรงเคลื่อนไฟฟ้า = แรงเคลื่อนไฟฟ้า (biopotential); Ra = ความต้านทานแมลง (เช่นเพลี้ยอ่อน); Ri = ความต้านทานอินพุตของเครื่องขยายเสียงสเตอริโอ Vs = แรงดันไฟฟ้า ที่มา: Backus (2019)

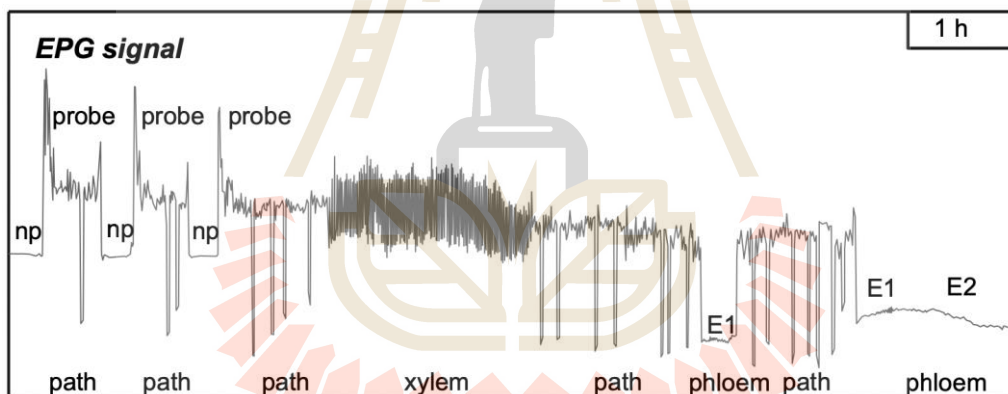
การเจาะดูดน้ำเลี้ยงพืชของเพลี้ยอ่อน และแมลงชนิดอื่นที่มีปากดูดสามารถติดตามพฤติกรรมเจาะแทง และดูดกินน้ำเลี้ยงพืชของแมลงได้ โดยใช้เครื่องวัดการเจาะแทงพืชของแมลงที่แสดงผลการเจาะแทงพืชของแมลง โดยเป็นวิธีการที่บันทึกรูปแบบสัญญาณคลื่นที่เกิดมาจากพฤติกรรมที่แตกต่างกันของแมลงในการเจาะแทงพืชเพื่อดูดน้ำเลี้ยง เช่น ขั้นตอนของการที่ stylet เจาะเข้าสู่เนื้อเยื่อพืช (stylet work) ขั้นตอนการหลั่งน้ำลาย (saliva secretion) และขั้นตอนการย่อยน้ำเลี้ยงพืช (sap ingestion) ซึ่งตำแหน่งของปลาย stylet ที่อยู่ภายในพืชยังสามารถระบุได้จากลักษณะกราฟคลื่นความถี่ที่เกิดขึ้น โดยสามารถแบ่งกระบวนการที่เกิดขึ้นได้จากลักษณะคลื่นที่แตกต่างกันได้ 3 พฤติกรรมหลัก ดังนี้ pathway xylem และ phloem phase ในระหว่างกระบวนการ pathway และ phloem phase เกิดช่วงของการหลั่งน้ำลายแบ่งได้ 4 ช่วง โดยมีการหลั่งน้ำลายที่แตกต่างกันอย่างน้อย 2 แบบ ซึ่งสามารถเห็นได้จากกราฟคลื่นความถี่ไฟฟ้าที่เกิดขึ้น โดยน้ำลายที่หลั่งออกมาในช่วงแรกมีลักษณะเป็นเจล (gelling salivation) และ 3 ช่วงหลังเป็นน้ำลายที่มีลักษณะเหลว (watery salivation) น้ำลายที่มีลักษณะเป็นเจลถูกหลั่งออกมาในช่วง pathway phase และฟอร์มตัวเป็นฟิล์มบาง ๆ (sheath of saliva) ห่อหุ้ม stylet ในระหว่างการเจาะแทงระหว่างเซลล์ของเนื้อเยื่อพืช ต่อมาการหลั่งน้ำลายที่มีลักษณะเหลวเกิดขึ้นขณะ 1) stylet แทะผ่านเข้าไปภายในเซลล์พืช 2) stylet เริ่มแทงเข้าสู่ phloem 3) ระหว่างกระบวนการดูดกินของเหลวจาก phloem (คัทริยา สิทธิฤทธิ์, 2561) (ภาพที่ 13-15)



ภาพที่ 7 การหลั่งน้ำลายของแมลงปากเจาะดูด จากศึกษาโดยเครื่องมือตรวจวัดการดูดกินของแมลงปากดูดด้วยกระแสไฟฟ้า 1) การหลั่งน้ำลายระหว่างเซลล์ (ลูกศรสีแดง) 2) การหลั่งน้ำลายภายในเซลล์ (ลูกศรสีน้ำเงิน) 3) การหลั่งน้ำลายชั้น phloem (ลูกศรม่วง) 4) หลั่งน้ำลายภายในช่องปากเพื่อย่อยสลายอาหารจากน้ำเลี้ยงพืชที่ดูดขึ้นมา (E2), CC คือ ท่ออาหาร, SE คือ และท่อลำเลียงอาหาร ที่มา: Tjallingii (2006)



ภาพที่ 8 ลักษณะกราฟด้วยเครื่องมือตรวจวัดการดูดกินและความสัมพันธ์ของการดูดกิน ในเวลา 20 วินาที คือ ช่วง E1 เป็นช่วงที่น้ำลายถูกหลังเข้าสู่เซลล์ซึ่งอยู่ในภายใน phloem ช่วง E2 คือ ช่วงที่น้ำลายถูกหลังออกมาระหว่างการย่อยสารอาหารภายในเซลล์ sieve elements
ที่มา: Tjallingii (2006)

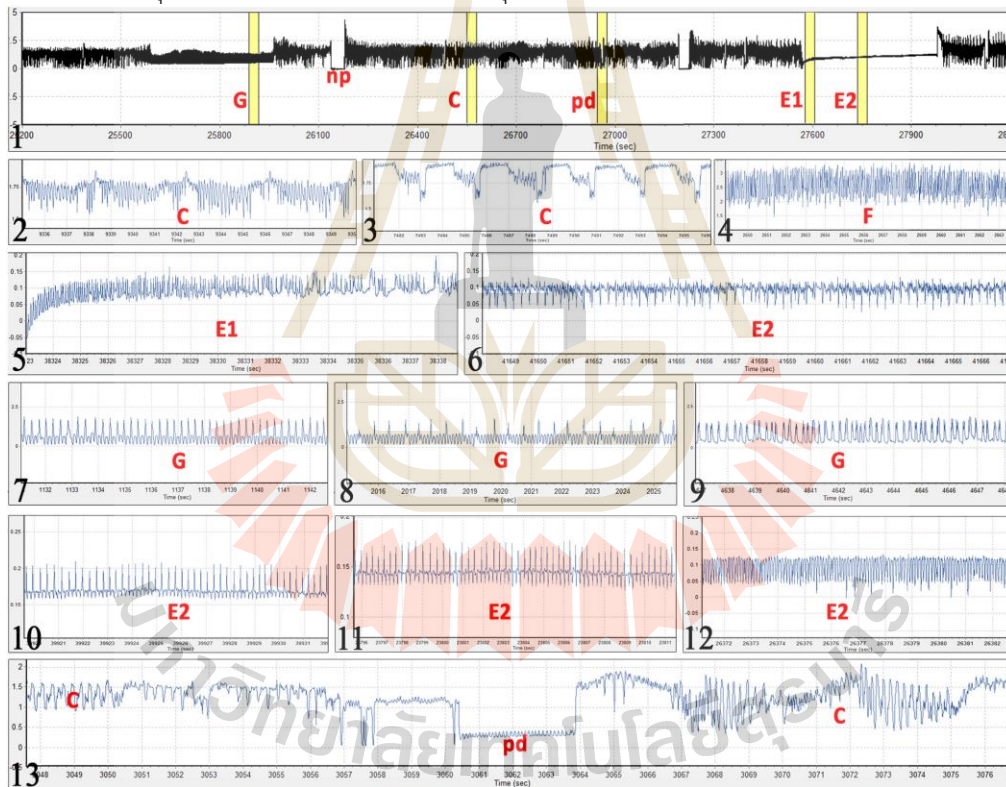


ภาพที่ 9 ลักษณะกราฟที่เกิดจากการกินของแมลงวัดด้วยเครื่องมือตรวจวัดการดูดกินของแมลงปากดูดด้วยกระแสไฟฟ้า ในเวลา 1 ชั่วโมง np หมายถึง ไม่มีการเจาะแทงของแมลง E1 หมายถึง แมลงเริ่มหลังน้ำลายออกมาเมื่อแทงเข้าสู่ phloem phase E2 หมายถึง แมลงกำลังดูดกินน้ำเลี้ยงพืชในส่วนของ phloem
ที่มา: Tjallingii (2006)

EPG ถูกใช้เป็นที่แรกเพื่อศึกษาพฤติกรรมการกินอาหารของเพลี้ยอ่อน อย่างไรก็ตามในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมาเทคนิคนี้ยังถูกใช้เพื่อประเมินพฤติกรรมการกินอาหารของแมลงเจาะดูดอื่น ๆ เช่น เพลี้ยจักจั่น, เพลี้ยไก่แจ้ และ แมลงในวงศ์ pentatomids พฤติกรรมการกินอาหารของแมลงในวงศ์ pentatomid หลายชนิดได้รับการอธิบายโดยใช้ EPG: *Edessa mediatubunda* (F.) ในถั่วเหลือง, มวนเขียวถั่ว *Piezodorus guildinii* (Westwood) ในถั่วเหลือง, *Dichelops furcatus* (F.) ในข้าวสาลี, *Euschistus heros* (F.) ในถั่วเหลือง, *Nezara viridula* (L.) ในถั่วเหลือง และ *Halyomorpha halys* (Stal) ในถั่วปากอ้า (*Vicia faba* L.) EPG มีศักยภาพที่ดีในการเพิ่มความเข้าใจเกี่ยวกับกระบวนการให้อาหารของแมลง ซึ่งอาจนำไปสู่วิธีใหม่ในการ

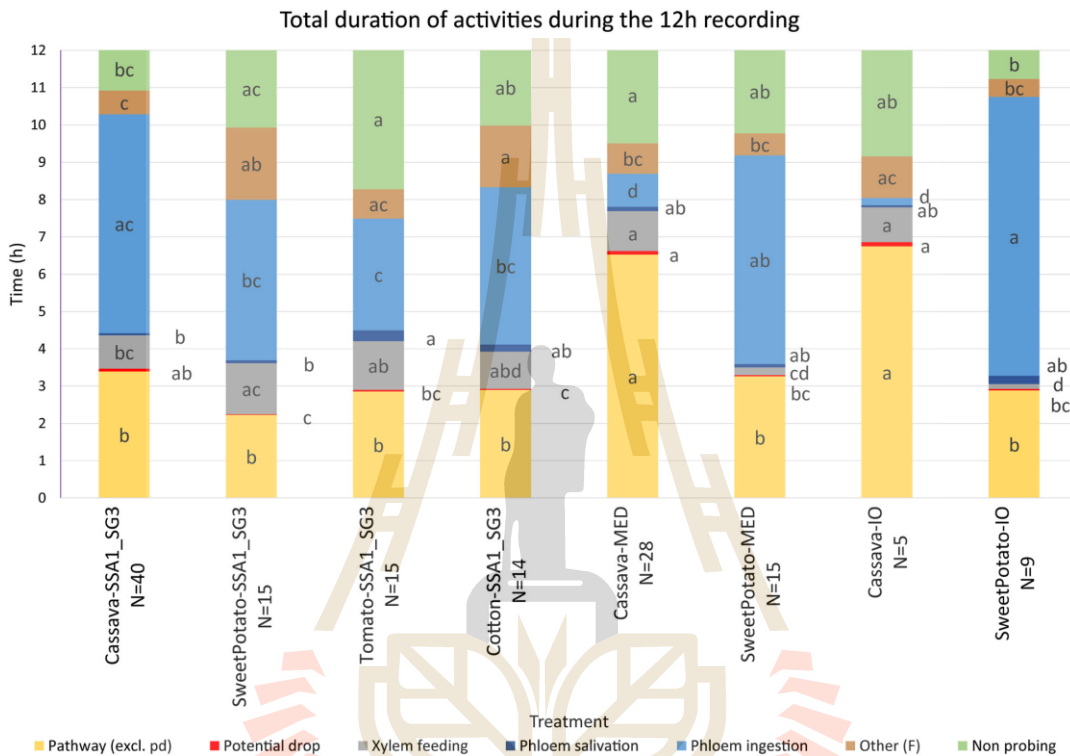
บรรเทาผลกระทบต่อพืช และกลยุทธ์การจัดการที่มีศักยภาพ เช่นการเลือกพืชที่มีแมลงมากขึ้นความต้านทาน (Almeida et al., 2020)

เครื่องมือ EPG ถูกนำมาศึกษาการคัดเลือกพืชอาหาร ได้แก่ มันสำปะหลัง SSA1-SG3 มันเทศ มะเขือเทศ และฝ้าย ในแมลงหริ้วขาว 3 ชนิด (colonizes cassava in coastal Tanzania; SSA1-SG3, Indian Ocean; IO และ Mediterranean (MED, formerly Q) ทั้ง colonize sweet potato และพืชอื่นยกเว้นมันสำปะหลัง; MED) พบว่า ลักษณะการดูดกินของแมลงหริ้วขาวทั้ง 3 ชนิด ดูดกินที่ชั้นท่อลำเลียงอาหาร (Phloem) (Liu et al., 2014) ลักษณะกราฟ E1 แลพ E2 (ภาพที่ 16) โดยพบว่าพืชอาหารที่แมลงหริ้วขาวชนิด SSA1-SG3 ใช้เวลาในการดูดกินยาวนานที่สุดคือมันสำปะหลัง ซึ่งการดูดกินเกิดขึ้นน้อยที่สุดในมะเขือเทศ และใช้เวลาในการหาแหล่งอาหารหรือไม่ดูดกิน นานถึง 99 นาที เมื่อเปรียบเทียบกับพืชอื่นใช้เพียง 10 นาที (ภาพที่ 17) แมลงหริ้วขาวชนิด MED ใช้เวลาดูดกินยาวนานในส่วนของชั้นท่อลำเลียงอาหารในมันเทศมากกว่ามันสำปะหลัง และแมลงหริ้วขาวชนิด IO ดูดกินส่วนของชั้นท่อลำเลียงอาหารในมันสำปะหลังมากกว่ามันเทศ จากการศึกษาทำให้ทราบว่าแมลงหริ้วขาวแต่ละชนิดดูดกินในพืชอาหารที่แตกต่างกัน ซึ่งการดูดกินของแมลงหริ้วขาวมีการตอบสนองต่อการรับเชื้อและการดูดเชื้อสาเหตุโรคที่ต่างกัน การศึกษาการคัดเลือกพืชอาหารนี้จะสามารถใช้ในการควบคุมแมลงหริ้วขาวและคัดเลือกพันธุ์ต้านทานต่อแมลงหริ้วขาวได้ (Milenovic et al., 2019)



ภาพที่ 16 ลักษณะกราฟที่เกิดจากการดูดกินของแมลงหริ้วขาวยาสูบ *Bemisia tabaci* ที่มา: Milenovic et al., (2019) Example of 1h EPG with xylem feeding (G), non-probing (np), stylet pathway (C), potential drop (pd), phloem salivation (E1), and phloem ingestion (E2) waveforms. (2) stylet pathway and sheath salivation (C). (3) different form of the pathway waveform C. (4) detailed stylet mechanics (F), note the high frequency. (5) phloem salivation (E1) from its beginning, notice gradual increase in voltage level. (6) typical passive phloem ingestion (E2). (7–9) different forms of xylem feeding waveform (G), note that this waveform even though similar to those in Figures 5, 10, and 11, occurs at extracellular voltage levels (does not start with a

potential drop). (10–12) different forms of phloem ingestion (E2). (13) intracellular puncture (pd) during pathway (C). (14) example of first 35min of a probe with 8 potential drops (pd) before reaching the sieve element of the phloem (E1 followed by E2). (15–18) oviposition waveform during non-probing (np), stylet pathway (C,) xylem feeding (G), and phloem ingestion (E2), respectively. Ticks on the time axis are 1s for all graphs except for: graph (1) 5min; (14) 100s; (16) 2s. Absolute voltage values on the y-axis are arbitrary in the EPG recordings.



ภาพที่ 17 การดูดกินของแมลงหวี่ขาวยาสูป *Bemisia tabaci* 3 ชนิด (SSA1-SG3, IO และ MED) บนต้นพืชต่างชนิด ที่มา: Milenovic et al., (2019)



บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การสำรวจชนิดแมลงหวี่ขาวยาสูบและอัตราการเกิดโรคใบต่างมันสำปะหลัง

สำรวจและการเก็บตัวอย่างแมลงหวี่ขาว สำรวจและการเก็บตัวอย่างแมลงหวี่ขาวในแปลงมันสำปะหลังในพื้นที่จังหวัดนครราชสีมา จำนวน 4 อำเภอ ได้แก่ อำเภอเสิงสาง อำเภอโชคชัย อำเภอคร และอำเภอเมืองนครราชสีมา จากนั้นจำแนกชนิดและลักษณะของแมลงหวี่ขาว ตรวจสอบ Biotype ของแมลงหวี่ขาวที่สามารถถ่ายทอดเชื้อไวรัสได้ โดยนำแมลงหวี่ขาวแต่ละพื้นที่สกัดดีเอ็นเอและตรวจเชื้อไวรัสใบต่างด้วยเทคนิค PCR จำนวน 20 ซ้ำ การทดลอง

3.2 การเก็บตัวอย่างแมลงหวี่ขาวและการเลี้ยงเพิ่มปริมาณ เก็บรวบรวมตัวอย่างแมลงหวี่ขาวชนิดที่พบเชื้อไวรัสใบต่างจากแปลงและเลี้ยงเพิ่มปริมาณบนต้นมันสำปะหลังปลอดเชื้อในโรงตาข่าย ในห้องปฏิบัติการที่ควบคุมอุณหภูมิ 28 ± 2 องศาเซลเซียส เมื่อแมลงหวี่ขาวพัฒนาเป็นตัวเต็มวัยรุ่นที่ 1 อายุ 1 - 3 วัน ใช้ในการทดสอบลักษณะการดูดกินและกลไกการถ่ายทอดเชื้อไวรัสใบต่าง

3.3 เตรียมต้นมันสำปะหลังที่ปลอดเชื้อและติดเชื้อเพื่อทดสอบกลไกการถ่ายทอดเชื้อไวรัสของแมลงหวี่ขาว

โดยเก็บท่อนพันธุ์มันสำปะหลังที่ไม่มีรายงานการระบาดของโรค ปลูกในกระถางในสภาพโรงเรือนปลอดเชื้อไวรัส โดยมีตาข่ายกันแมลงเพื่อป้องกันการเข้าทำลายของแมลงหวี่ขาว ตรวจยืนยันการปลอดเชื้อไวรัสใบต่างด้วยเทคนิค PCR ด้วย primer ที่เฉพาะเจาะจงของเชื้อไวรัสใบต่างมันสำปะหลัง เมื่อมันสำปะหลังอายุ 1 เดือนใช้ทดสอบกลไกการถ่ายทอดเชื้อไวรัสใบต่าง เตรียมต้นมันสำปะหลังติดเชื้อจากแปลงมาปลูกขยายพันธุ์ปลูกในกระถางในสภาพโรงเรือนที่แยกจากโรงเรือนเก็บรักษาท่อนพันธุ์ปลอดเชื้อ โดยมีตาข่ายกันแมลงเพื่อป้องกันการเข้าทำลายของแมลงหวี่ขาว ตรวจยืนยันการติดเชื้อไวรัสใบต่างด้วยเทคนิค PCR ด้วย primer ที่เฉพาะเจาะจงของเชื้อไวรัสใบต่างมันสำปะหลัง เมื่อมันสำปะหลังอายุ 1 เดือนใช้ทดสอบกลไกการถ่ายทอดเชื้อไวรัสใบต่าง

3.4 ศึกษาลักษณะการดูดกินและการคัดเลือกสายพันธุ์มันสำปะหลังต่อความไม่ชอบของแมลงหวี่ขาวด้วยเครื่องวัดการดูดกิน Electropenetrography (EPG)

นำแมลงหวี่ขาวตัวเต็มวัย อายุ 1 วัน มาตรวจวัดลักษณะการดูดกินและอัตราการดูดกินด้วยเครื่อง electrical penetration graph (EPG) โดยต่อหลอดทองแดงด้วยกาวที่นำกระแสไฟฟ้าเข้าที่ด้านสันหลังของแมลงหวี่ขาว จากนั้นต่อแมลงเข้ากับตัวควบคุมของเครื่อง EPG ให้แมลงหวี่ขาวดูดกินบนต้นมันสำปะหลังภายในกรงฟาราเดย์ (faraday cage) บันทึกลักษณะกราฟที่แสดงออกมาเป็นเวลา 5 ชั่วโมง วิเคราะห์ลักษณะกราฟ ระยะเวลา และความถี่การดูดกินของแมลงหวี่ขาวบนต้นมันสำปะหลังที่สอดคล้องกับการรับเชื้อ และถ่ายทอดเชื้อของแมลงหวี่ขาว ทำการทดลองจำนวน 20 ซ้ำการทดลอง วิเคราะห์ข้อมูลลักษณะกราฟการดูดกินของแมลงหวี่ขาว ด้วยโปรแกรม Data Q จากนั้นนำข้อมูลที่ได้เข้าวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรม SAS เปรียบเทียบลักษณะการดูดกินของแมลงหวี่ขาวที่เกิดขึ้น ค่าเฉลี่ยความถี่และระยะเวลาของการดูดกิน ด้วยวิธี LSD ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05

3.5 ทดสอบการเข้าทำลายของแมลงหริ่ขาวยาสูบในสภาพเรือนทดลอง

ปลูกมันสำปะหลังบริเวณห้องปฏิบัติการกีฏวิทยา โดยทดลองปลูก พันธุ์ระยอง 5 ระยอง 9 ระยอง 72 เกษตรศาสตร์ 50 ห้วยบง 80 และพันธุ์ CMR-89 พันธุ์ละ 20 ต้น ปลูกลงกระถาง นำกระถางของแต่ละสายพันธุ์มาวางแบบสลับ ระยะห่างระหว่างแถว 1 เมตร ระยะห่างระหว่างกระถาง 1 เมตร โดยจัดวางกระถางแบบสุ่ม ปล่อยแมลงหริ่ขาวยาสูบให้เข้าทำลายมันสำปะหลังตามธรรมชาติ ใช้วิธีการนับปริมาณแมลงหริ่ขาวยาสูบแบบ Non choice test โดยนับต้นละ 5 ใบ โดยใบที่ 1 คือใบยอดที่ไม่ได้คลี่ สุ่มนับตั้งแต่มันสำปะหลังออก 1 เดือน จนกระทั่งมันสำปะหลังอายุครบ 3 เดือน

3.6 ศึกษากลไกการถ่ายทอดเชื้อของแมลงหริ่ขาว

การรับเชื้อไวรัสของแมลงหริ่ขาว นำแมลงหริ่ขาวตัวเต็มวัย อายุ 1 วัน ที่ปลอดเชื้อไวรัสไปต่างมา ดูดกินบนต้นมันสำปะหลังที่ติดเชื้อไวรัสไปต่าง โดยให้มีระยะเวลาดูดกินที่ 2, 5, 10, 20, 40 และ 60 นาที จากนั้นแบ่งแมลงหริ่ขาวออกเป็น 2 ชุด ชุดแรกนำแมลงหริ่ขาวที่ผ่านการรับเชื้อไปสกัดดีเอ็นเอและตรวจเชื้อไวรัสไปต่างด้วยเทคนิค PCR จำนวน 20 ซ้ำ ชุดที่ 2 นำแมลงหริ่ขาวที่ผ่านการรับเชื้อไปถ่ายทอดเชื้อไวรัสบนต้นมันสำปะหลังที่ปลอดเชื้อไวรัส เป็นเวลา 1 วัน จากนั้นนำมันสำปะหลังที่ถูกถ่ายทอดเชื้อแล้วเก็บในโรงเรือนที่ป้องกันแมลง เมื่อมันสำปะหลังอายุ 1 เดือนหลังถ่ายทอดเชื้อ ตัดเนื้อเยื่อมันสำปะหลังไปตรวจเชื้อไวรัส และติดตามการแสดงอาการของโรคไวรัสไปต่าง

วางแผนการทดลองแบบ Complete Randomized Design (CRD) จำนวน 20 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลระยะเวลาการรับเชื้อและเปอร์เซ็นต์การติดเชื้อไวรัสไปต่างที่แมลงได้รับด้วยเทคนิค PCR เปรียบเทียบจำนวนเชื้อไวรัสด้วยโปรแกรม SAS เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของเชื้อไวรัสด้วยวิธี LSD ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05

ศึกษากลไกการถ่ายทอดเชื้อไวรัสของแมลงหริ่ขาว นำแมลงหริ่ขาวตัวเต็มวัยอายุ 1 วัน รับเชื้อบนต้นมันสำปะหลังที่ติดเชื้อไวรัส และบ่มเชื้อที่ระยะเวลาที่เหมาะสมบนต้นมันสำปะหลังปลอดเชื้อ จากนั้นนำแมลงหริ่ขาวถ่ายทอดเชื้อไวรัสบนต้นมันสำปะหลังปลอดเชื้อ เป็นเวลา 2, 5, 10, 20, 40 และ 60 นาที เมื่อมันสำปะหลังอายุ 1 และ 3 เดือน ตัดเนื้อเยื่อมันสำปะหลังไปสกัดดีเอ็นเอและตรวจเชื้อไวรัสไปต่างด้วยเทคนิค PCR ด้วย primer ที่เฉพาะเจาะจงของเชื้อไวรัสไปต่างมันสำปะหลัง และติดตามการแสดงอาการของโรคไวรัสไปต่าง

วางแผนการทดลองแบบ Complete Randomized Design (CRD) จำนวน 20 ซ้ำ การทดลองวิเคราะห์ข้อมูลระยะเวลาการถ่ายทอดเชื้อและเปอร์เซ็นต์การติดเชื้อไวรัสไปต่างที่แมลงได้รับด้วยเทคนิค PCR เปรียบเทียบจำนวนเชื้อไวรัสด้วยโปรแกรม SAS เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของเชื้อไวรัสด้วยวิธี LSD ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05

3.7 สกัดดีเอ็นเอแมลงและตรวจเชื้อ

นำแมลงใส่หลอดทดลอง 1.5 μ l เติมสารละลาย Insect DNA extraction buffer จากนั้นบดแมลงด้วยเครื่องบดปั่นจนละเอียดแล้วนำไปปั่นที่ shaker incubate ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เติมสารละลาย Phenol : Chloroform : Isoamyl alcohol ลงในหลอดทดลอง ผสมให้เข้ากัน เติมสารละลาย Chloroform : Isoamyl alcohol ผสมให้เข้ากัน นำหลอดทดลองไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส $^{\circ}$ C ที่ 13,000 rpm เป็นเวลา 5 นาที เติมสารละลาย 3M Sodium Acetate ลงในหลอดทดลอง นำไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ตกตะกอนดีเอ็นเอด้วยสารละลาย Isopropanol นำไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2-3 ชั่วโมง ล้าง DNA โดยเติม

สารละลาย 70 เปอร์เซ็นต์ alcohol 100 ไมโครลิตร ลงในหลอดทดลอง นำหลอดทดลองไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ที่ 13,000 rpm เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นเทสารละลายทิ้งไป และทำให้แห้งโดยเปิดฝาวางไว้ที่อุณหภูมิห้อง รอจนหลอดแห้ง เติมสารละลาย TE-RNase buffer นำหลอดทดลองไปปั่นที่ shaker incubator ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 คืน นำดีเอ็นเอแมลงที่ได้วัดความเข้มข้น แล้วเจือจางให้ปริมาณดีเอ็นเอมีความเข้มข้นเท่ากัน จากนั้นนำดีเอ็นเอแมลงไปตรวจเชื้อไวรัสใบด่างมันสำปะหลังด้วยเทคนิค PCR

ตรวจเชื้อไวรัสใบด่างโดยการใช้ไพรเมอร์ที่เฉพาะเจาะจงกับเชื้อ C1-J-2195 5'-TTG ATT TTT TGG TCA TCC AGA AGT-3' and L2-N-3014 (5'-TCC AAT GCA CTA ATC TGC CAT ATT A-3' (Saokham et al.). และ 5'-GTT GAA GGT ACT TAT TCC C-3' and reverse: 5'-TAT TAA TAC GGT TGT AAA CGC-3' ด้วยปฏิกิริยาดังนี้ denaturation at 94°C for 5 min; 35 cycles of denaturation at 94°C for 40 s, annealing at 55°C for 40 s, and elongation at 72°C for 40 s; and final elongation at 72°C for 5 min.



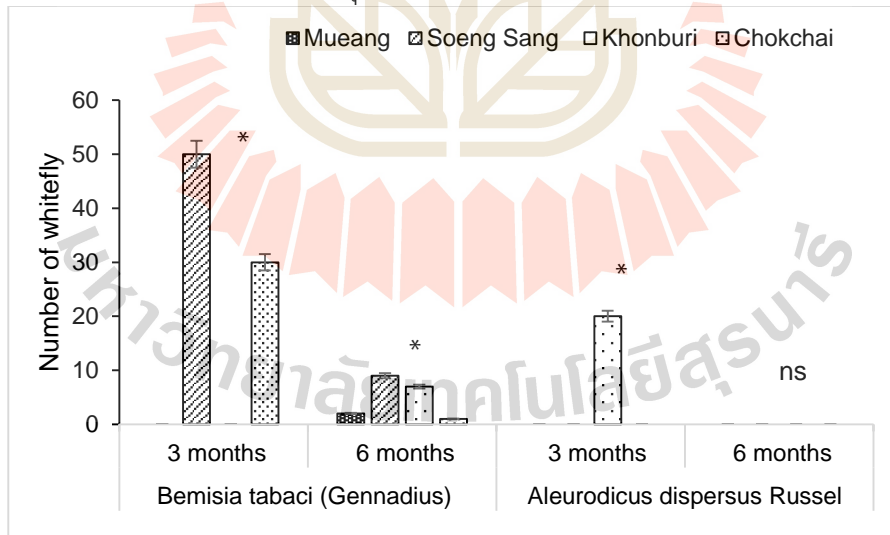
บทที่ 4

ผลการวิจัย

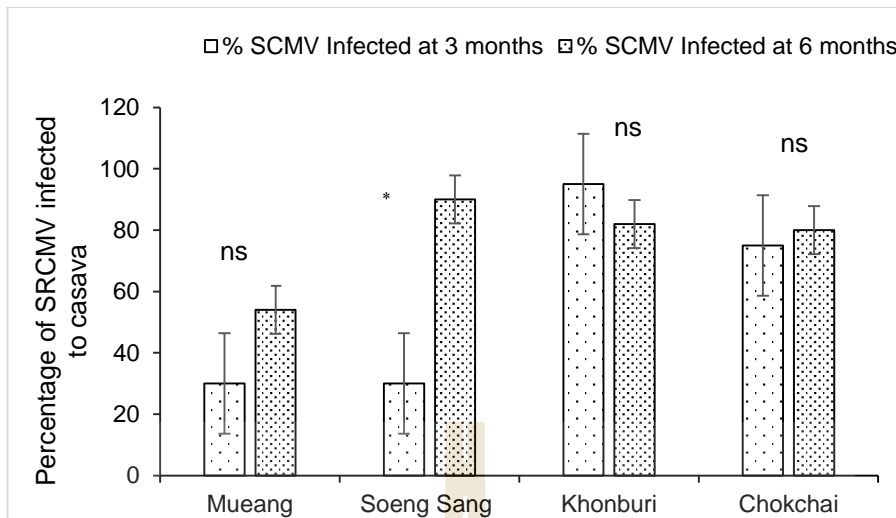
4.1 การสำรวจชนิดแมลงหริ่ขาวยาสูบและอัตราการเกิดโรคใบด่างมันสำปะหลัง

ปริมาณและชนิดแมลงหริ่ขาวในแปลงมันสำปะหลัง ทั้ง 4 อำเภอ พบว่า ในช่วง 3 เดือนแรกที่มีการสำรวจ บริเวณรอบมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี พื้นที่อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา แต่ไม่พบแมลงหริ่ขาว แปลงมันสำปะหลังอำเภอเสิงสาง จังหวัดนครราชสีมา พบแมลงหริ่ขาวยาสูบ *Bemisia tabaci* (Gennadius) ในระยะตัวอ่อนและตัวเต็มวัย จำนวน 50 ตัว แต่ไม่พบแมลงหริ่ขาวใยเกลียว *Aleurodicus dispersus* Russel แปลงมันสำปะหลังอำเภอครบุรี จังหวัดนครราชสีมา พบแมลงหริ่ขาวใยเกลียว *A. dispersus* ในระยะตัวเต็มวัย ประมาณ 20 ตัว แปลงมันสำปะหลัง อำเภอโชคชัย จังหวัดนครราชสีมา พบแมลงหริ่ขาวยาสูบในระยะตัวเต็มวัย เก็บตัวอย่างตัวเต็มวัยได้ประมาณ 30 ตัว (ภาพที่ 1) ช่วง 6 เดือน การสำรวจทั้ง 4 พื้นที่ ไม่พบแมลงหริ่ขาวใยเกลียว *A. disperses* พบเพียงแมลงหริ่ขาวยาสูบ *B. tabaci* (ภาพที่ 17)

การสำรวจอัตราการเกิดโรคไวรัสใบด่าง ทั้ง 4 อำเภอ ในช่วง 3 เดือนแรก พบว่า บริเวณรอบมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อยู่ในช่วงการเตรียมปลูกและเก็บเกี่ยวมันสำปะหลัง แปลงอัตราการเกิดโรคใบด่างมันสำปะหลัง 30 เปอร์เซ็นต์ สำรวจแปลงมันสำปะหลังบริเวณอำเภอเสิงสาง จังหวัดนครราชสีมา อยู่ในช่วงการเตรียมปลูกและเก็บเกี่ยว พบการเกิดโรคใบด่างมันสำปะหลังอยู่ที่ร้อยละ 30 ของแปลง แปลงมันสำปะหลังอำเภอครบุรี จังหวัดนครราชสีมา พบการเกิดโรคใบด่างมันสำปะหลังอยู่ที่ร้อยละ 95 ของแปลง แปลงมันสำปะหลัง อำเภอโชคชัย จังหวัดนครราชสีมา พบการเกิดโรคใบด่างมันสำปะหลังอยู่ที่ร้อยละ 75 ของแปลง (ภาพที่ 18) ช่วง 6 เดือน การสำรวจทั้ง 4 พื้นที่ พบว่า อำเภอเมือง และอำเภอเสิงสาง มีการเกิดโรคเพิ่มขึ้น ในขณะที่อำเภอโชคชัยและอำเภอครบุรี การเกิดโรคไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (ภาพที่ 19)



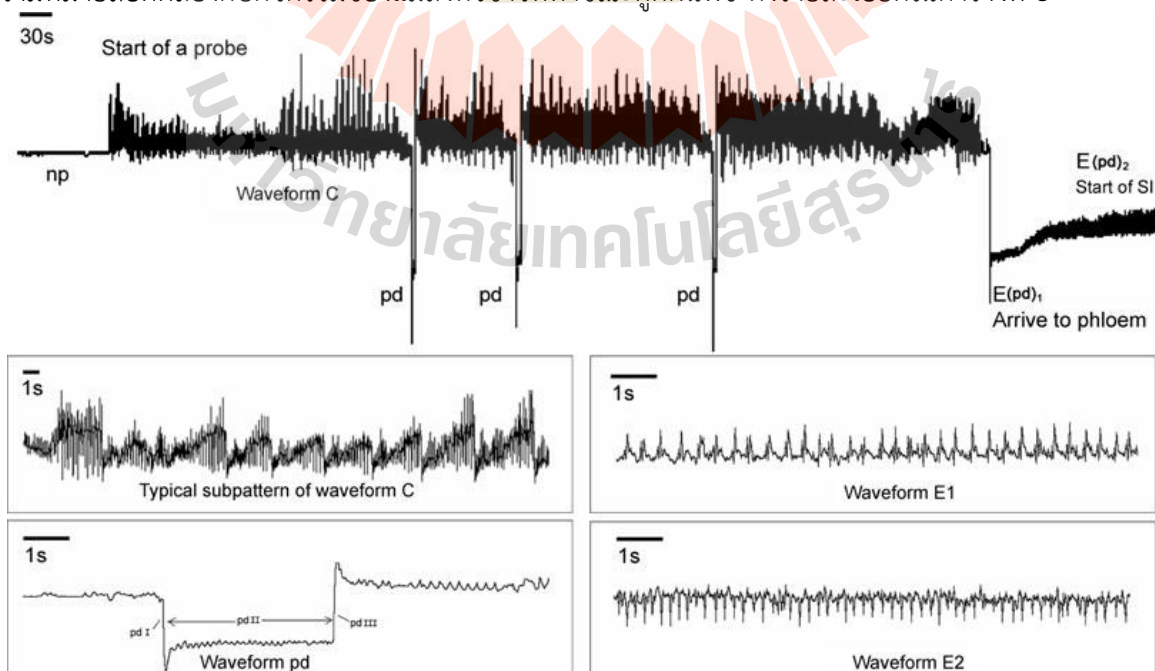
ภาพที่ 18 ปริมาณแมลงหริ่ขาว *Bemisia tabaci* (Gennadius) และแมลงหริ่ขาวใยเกลียว *Aleurodicus dispersus* Russel ที่สำรวจแปลงมันสำปะหลัง ทั้ง 4 อำเภอ



ภาพที่ 19 อัตราการเกิดโรคใบด่างมันสำปะหลัง ที่สำรวจแปลงมันสำปะหลัง ทั้ง 4 อำเภอ

4.2 การศึกษาลักษณะการดูดกินของแมลงหิวข้าวต่อมันสำปะหลังสายพันธุ์ต่างๆ และคัดเลือกสายพันธุ์มันสำปะหลังต่อความไม่ชอบของแมลงหิวข้าวด้วยเครื่องวัดการดูดกิน Electropenetrography (EPG)

ผลการศึกษาลักษณะการดูดกินของแมลงหิวข้าวต่อมันสำปะหลังสายพันธุ์ต่างๆ จำนวน 6 สายพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ระยอง 5 พันธุ์ระยอง 9 พันธุ์ระยอง 72 พันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 พันธุ์ห้วยบง 80 และพันธุ์ 89 ด้วยวิธีการตรวจวัดการดูดกินด้วยกระแสไฟฟ้า EPG การศึกษาลักษณะการดูดกินของแมลงหิวข้าวอายุสุบในมันสำปะหลังสายพันธุ์ต่างๆ ทำการทดสอบโดยนำแมลงหิวข้าวอายุสุบมาตรวจวัดการดูดกินด้วยเครื่องมือ EPG รุ่น DC-EPG ต่อหลอดทองแดงเข้าที่ส่วนด้านสันหลังของแมลง ทำการติดตั้งภายใต้กล้องจุลทรรศน์ จากนั้นต่อแมลงเข้ากับเครื่อง EPG ภายในกรงฟาราเดย์ บันทึกผลการดูดกินน้ำเลี้ยงบนมันสำปะหลังสายพันธุ์ต่างๆ จำนวน 3 ชั่วโมง ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการกีฏวิทยา ณ ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี พบลักษณะการดูดกินของแมลงหิวข้าวตามลักษณะกราฟในภาพที่ 20 ซึ่งกราฟที่เกิดขึ้นมีชื่อเรียกและความหมายสอดคล้องกับกิจกรรมของแมลงหิวข้าวที่ทำขณะดูดกินพืช ดังรายละเอียดในตารางที่ 3

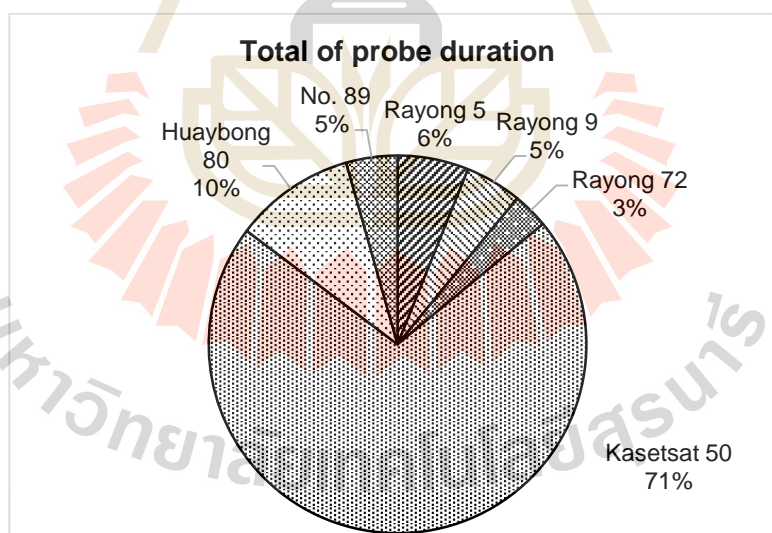


ภาพที่ 20 ลักษณะกราฟที่เกิดขึ้นจากการดูดกินของแมลงหริ้วขาวยาสูบ *Bemisia tabaci* ที่ตรวจด้วยเครื่อง electrical penetration graph (EPG)

ตารางที่ 3 ชื่อกราฟและความหมายของกราฟสอดคล้องกับกิจกรรมของแมลงหริ้วขาวยาสูบ *Bemisia tabaci* ขณะดูดกินเนื้อเยื่อพืช

ชื่อกราฟ waveforms	ความหมาย	กิจกรรมของแมลง
np	Non-probe phase	ไม่แมลงไม่มีการดูดกิน เดินหรือเกาะอยู่บริเวณใบพืช
C	Pathway phase	แมลงเริ่มมีการดูดกินที่ชั้นเนื้อเยื่อต่างๆ ของพืช ได้แก่ ชั้นผนังเซลล์
E1	Salivation phase	แมลงมีการถ่ายน้ำลายออกสู่เนื้อเยื่อพืช ซึ่งหากแมลงมีเชื้อสาเหตุโรคพืชแมลงก็จะสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ในช่วงนี้
E2	Phloem phase	แมลงดูดกินสารอาหารจากพืชบริเวณท่อลำเลียงอาหาร
pd	Potential drops	แมลงดูดกินชั้นท่อลำเลียงอาหารในเซลล์ที่มีชีวิต

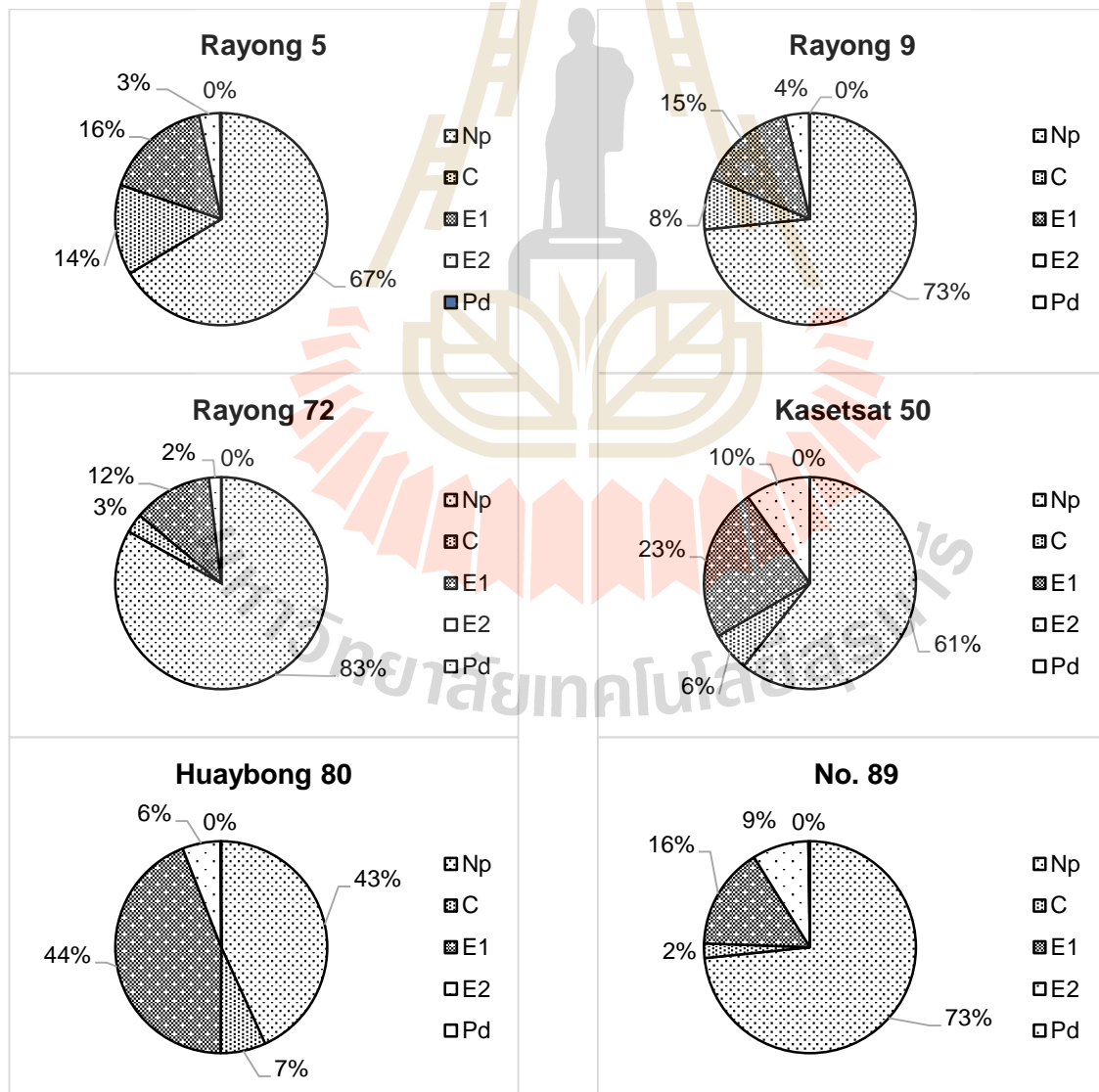
ผลการศึกษาเปรียบเทียบการดูดกินของแมลงหริ้วขาวยาสูบ *B. tabaci* บนต้นมันสำปะหลังทั้ง 6 สายพันธุ์ พบว่าพันธุ์ที่มีการดูดกินยาวนานที่สุดคือ พันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 รองลงมาคือ ห้วยบง 80 พันธุ์ระยอง 5 พันธุ์ 89 พันธุ์ระยอง 9 และพันธุ์ระยอง 72 ตามลำดับ (ภาพที่ 21)



ภาพที่ 21 อัตราการดูดกินของแมลงหริ้วขาวยาสูบ *Bemisia tabaci* ต่อพันธุ์มันสำปะหลัง 6 สายพันธุ์

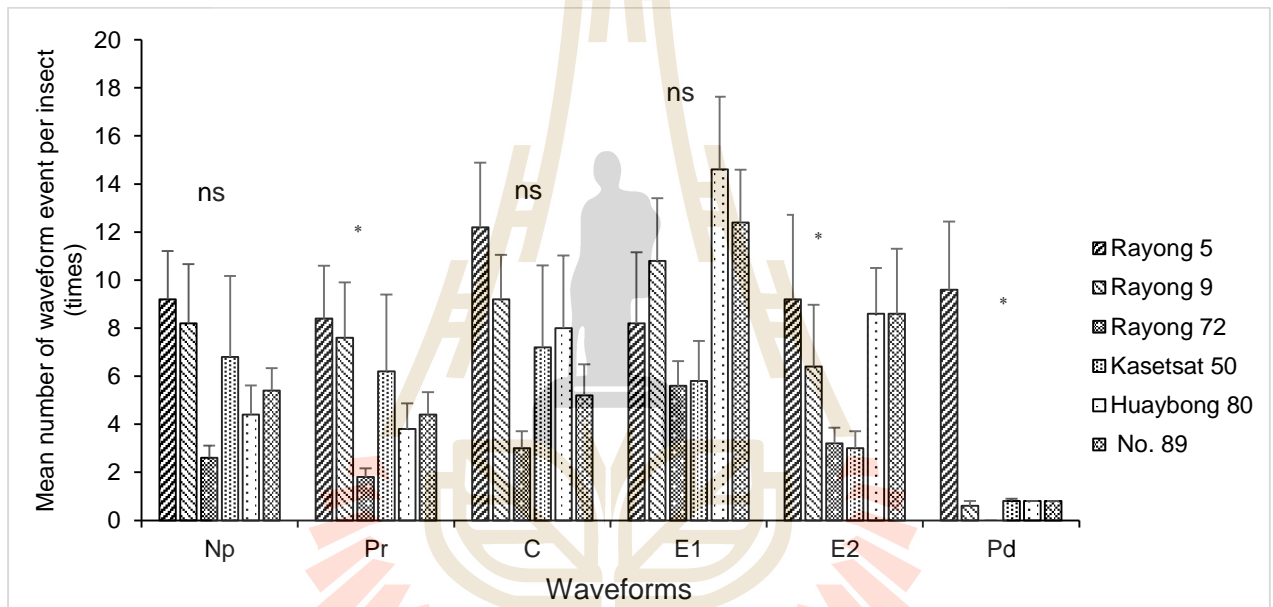
การศึกษาอัตราการดูดกินของแมลงหริ้วขาวยาสูบ *B. tabaci* ในชั้นเนื้อเยื่อต่างๆ พบว่า แมลงหริ้วขาวยาสูบ *B. tabaci* ใช้เวลาส่วนใหญ่ในการไม่ดูดกินเนื้อเยื่อมันสำปะหลัง ซึ่งพันธุ์ที่แมลงหริ้วขาวใช้เวลาในการไม่ดูดกินมากที่สุดคือ พันธุ์ระยอง 72 มีอัตราไม่ดูดกินมากถึง 83.11 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือพันธุ์ระยอง 9 และพันธุ์ 89 มีอัตราไม่ดูดกิน 73.39 และ 73.35 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ นอกจากนี้ ยังพบว่า แมลงหริ้วขาวยาสูบ *B.*

tabaci มีอัตราการดูดกินในชั้นท่อลำเลียงอาหารมากในพันธุ์ห้วยบง80 พันธุ์เกษตรศาสตร์50 และพันธุ์89 โดยมีกิจกรรมในการถ่ายน้ำลายมากในพันธุ์ห้วยบง80 มาถึง 44 เปอร์เซ็นต์ ภาพที่ 22

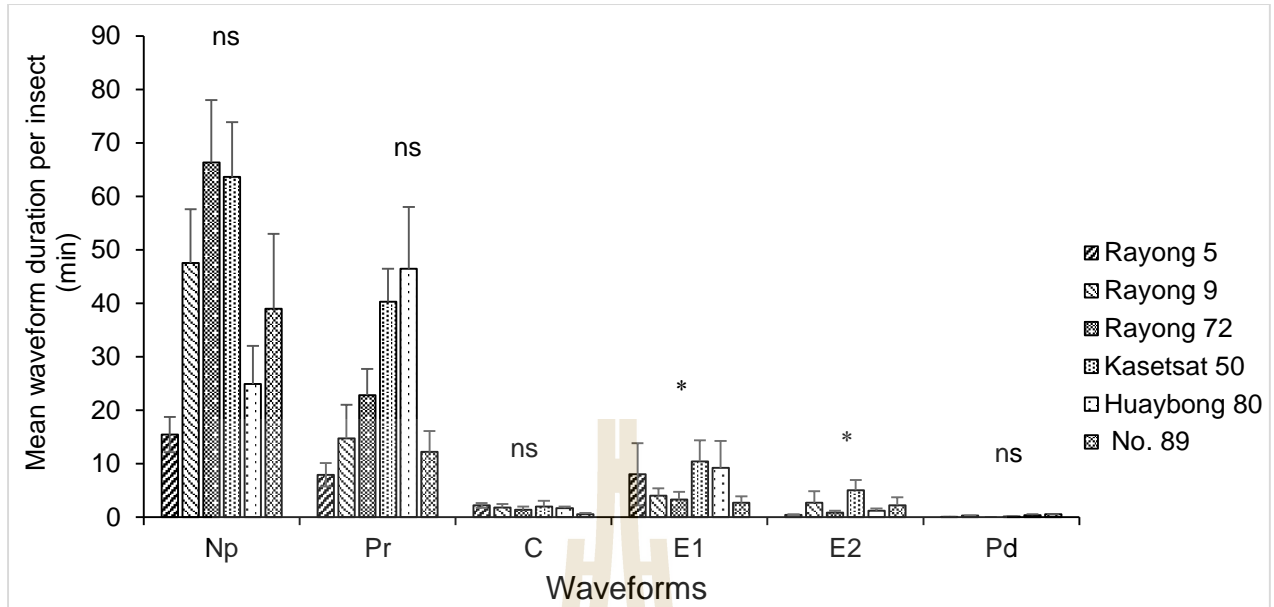


ภาพที่ 22 อัตราการดูดกินของแมลงหริ่ขาวยาสูบ *Bemisia tabaci* ที่ดูดกินชั้นเนื้อเยื่อต่างๆ ต่อพันธุ์มันสำปะหลัง 6 สายพันธุ์ Np = non-probe C= Pathway phase E1 = Salivation phase E2= Phloem phase Pd= Potential drops

ผลการเปรียบเทียบจำนวนครั้งของการดูดกินของแมลงหริ่ขาวยาสูบ *B. tabaci* ในชั้นเนื้อเยื่อต่างๆ ต่อพันธุ์มันสำปะหลัง 6 สายพันธุ์ พบว่า จำนวนครั้งในการดูดกินของแมลงหริ่ขาวยาสูบ *B. tabaci* ในพันธุ์ระยอง72 น้อยที่สุด โดยมีจำนวนครั้งของการไม่ดูดกินในชั้นเซลล์ต่างๆ ชั้นท่อลำเลียงอาหารน้อยกว่าพันธุ์อื่นๆ แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) (ภาพที่ 23) ผลการเปรียบเทียบระยะเวลาในการดูดกินเฉลี่ยของแมลงหริ่ขาวยาสูบ *B. tabaci* ต่อพันธุ์มันสำปะหลัง 6 สายพันธุ์ พบว่า ระยะเวลาในการดูดกินเฉลี่ยของแมลงหริ่ขาวยาสูบ *B. tabaci* ในพันธุ์ระยอง5 พันธุ์ระยอง9 พันธุ์89 และพันธุ์ระยอง72 น้อยแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) กับพันธุ์เกษตรศาสตร์50 และห้วยบง08 (ภาพที่ 24)



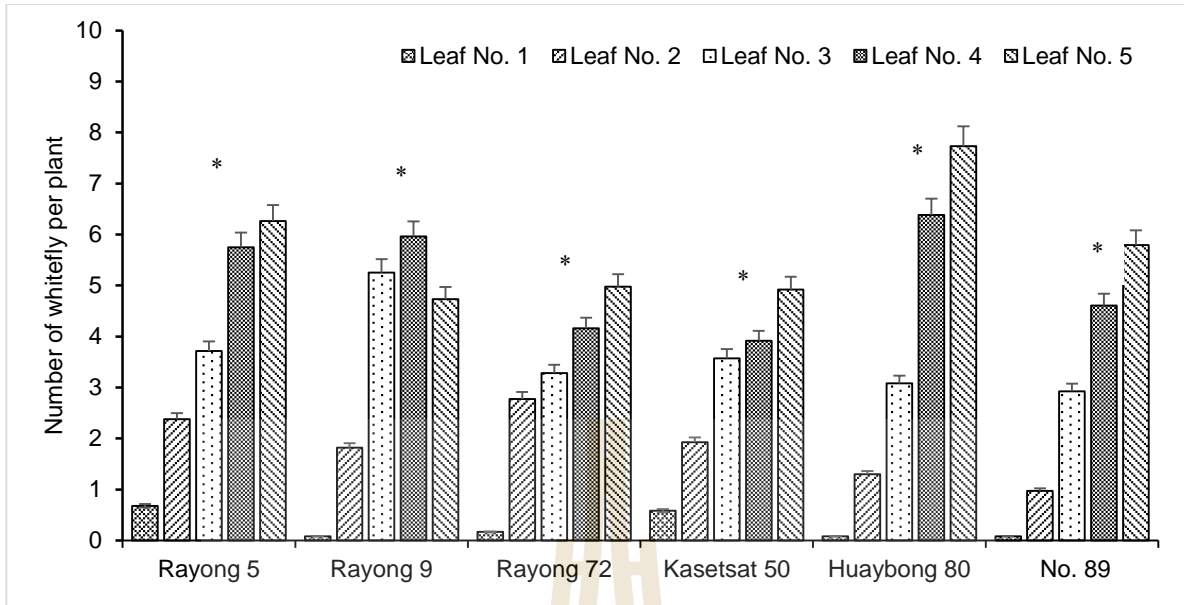
ภาพที่ 23 จำนวนครั้งของการดูดกินชั้นต่างๆ (Number of waveform even per insect) ของแมลงหริ่ขาวยาสูบ *Bemisia tabaci* บนพันธุ์มันสำปะหลัง 6 สายพันธุ์; * = แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$); NS = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ



ภาพที่ 24 ระยะเวลาของการดูดกินชั้นต่างๆ (Duration of waveforms even per insect) ของแมลงหริ่ขาวยาสูบ *Bemisia tabaci* บนพันธุ์มันสำปะหลัง 6 สายพันธุ์; * = แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$); NS = ไม่มี ความแตกต่างทางสถิติ

4.3 การศึกษาลักษณะการเข้าทำลายของแมลงหริ่ขาวในมันสำปะหลัง

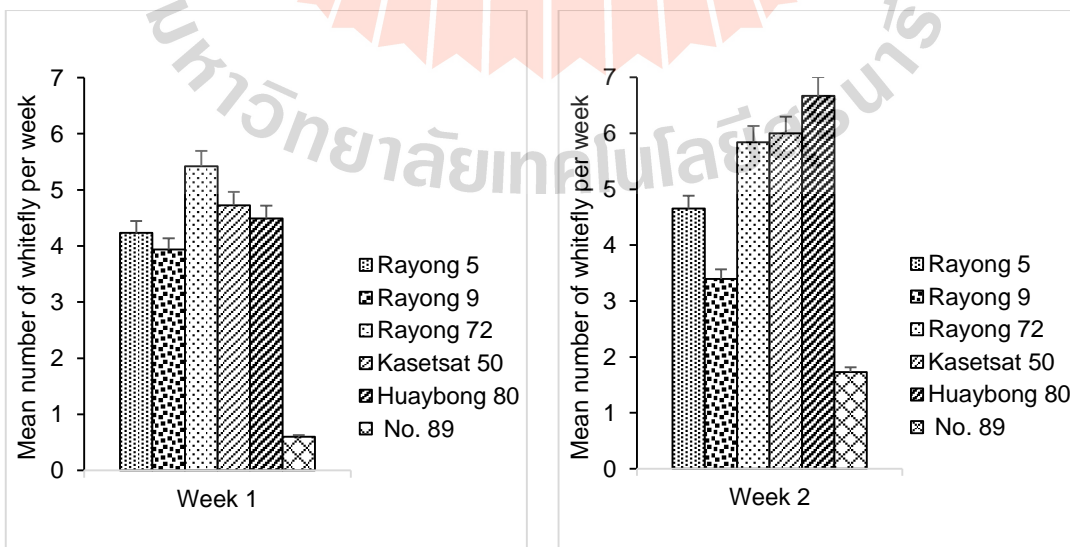
การศึกษากการเข้าทำลายของแมลงหริ่ขาวยาสูบต่อตำแหน่งใบมันสำปะหลัง ในสภาพเรือนทดลองเป็นเวลา 12 สัปดาห์ (ภาพที่ 25) ตำแหน่งใบที่ 1 มันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 5 มีการเข้าทำลายของแมลงหริ่ขาวยาสูบมากที่สุด เท่ากับ 2.04 ± 0.47 ตัว และพันธุ์ระยอง 9 ไม่พบการเข้าทำลายของแมลงหริ่ขาวยาสูบ ซึ่งตำแหน่งใบที่ 1 ของมันสำปะหลังทั้ง 6 สายพันธุ์ มีการเข้าทำลายของแมลงหริ่ขาวยาสูบไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P > 0.05$) ตำแหน่งใบที่ 2 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยมันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 72 มีการเข้าทำลายของแมลงหริ่ขาวยาสูบมากที่สุด เท่ากับ 2.77 ± 0.48 ตัว และพันธุ์ CMR-89 มีการเข้าทำลายของแมลงหริ่ขาวยาสูบน้อยที่สุด เท่ากับ 1.30 ± 0.14 ตัว ตำแหน่งใบที่ 3 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยมันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 9 มีการเข้าทำลายของแมลงหริ่ขาวยาสูบมากที่สุด เท่ากับ 5.25 ± 0.57 ตัว และพันธุ์ CMR-89 มีการเข้าทำลายของแมลงหริ่ขาวยาสูบน้อยที่สุด เท่ากับ 2.93 ± 0.55 ตัว ตำแหน่งใบที่ 4 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 80 มีการเข้าทำลายของแมลงหริ่ขาวยาสูบมากที่สุด เท่ากับ 6.38 ± 0.46 ตัว และพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 มีการเข้าทำลายของแมลงหริ่ขาวยาสูบน้อยที่สุด เท่ากับ 3.91 ± 0.57 ตัว ตำแหน่งใบที่ 5 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P > 0.05$) โดยมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 80 มีการเข้าทำลายของแมลงหริ่ขาวยาสูบมากที่สุด เท่ากับ 7.73 ± 1.38 ตัว และพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 มีการเข้าทำลายของแมลงหริ่ขาวยาสูบน้อยที่สุด เท่ากับ 4.92 ± 0.87 ตัว

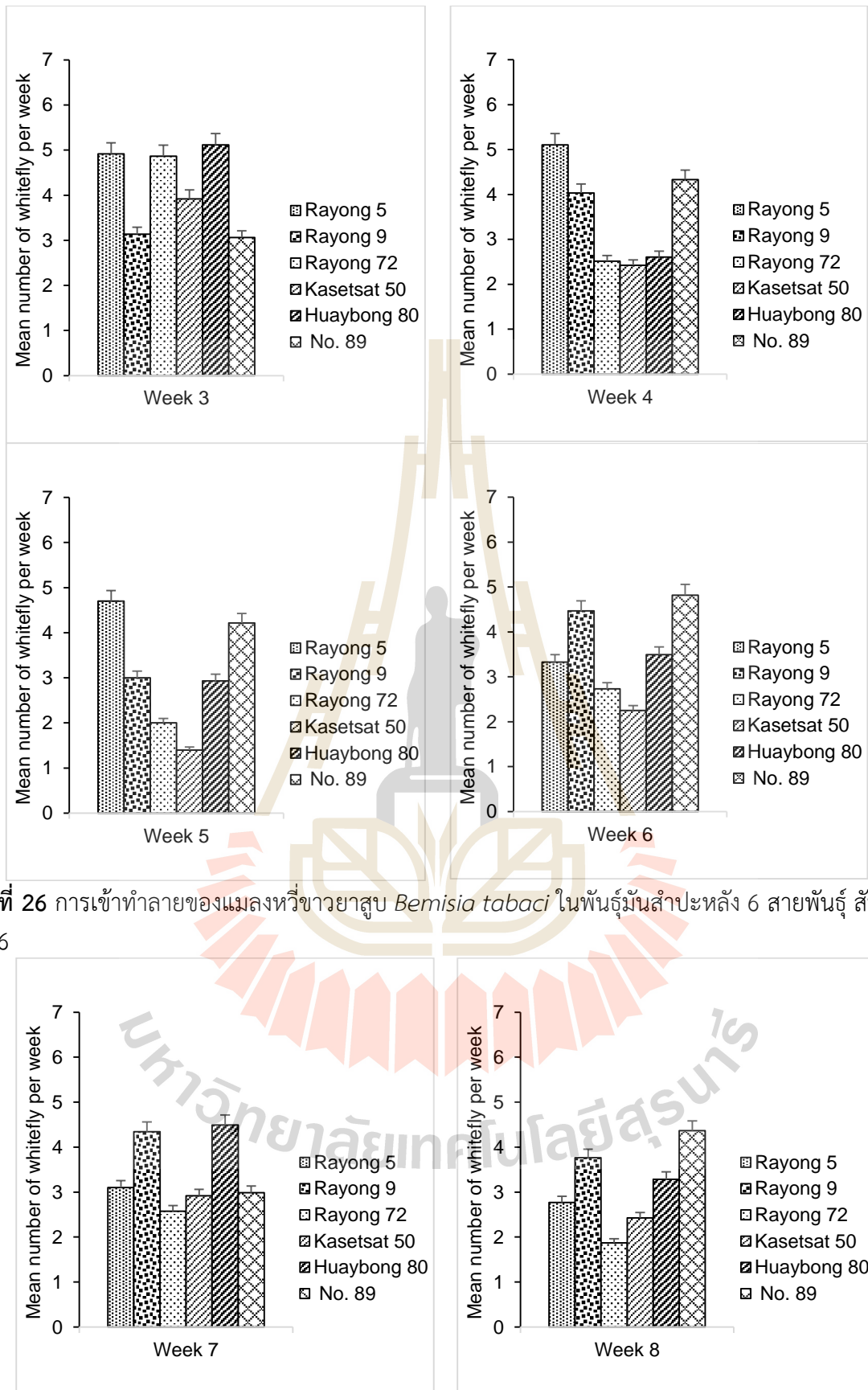


ภาพที่ 25 การเข้าทำลายของแมลงหิวขาอายุสุบต่อตำแหน่งใบมันสำปะหลัง ในสภาพเรือนทดลอง

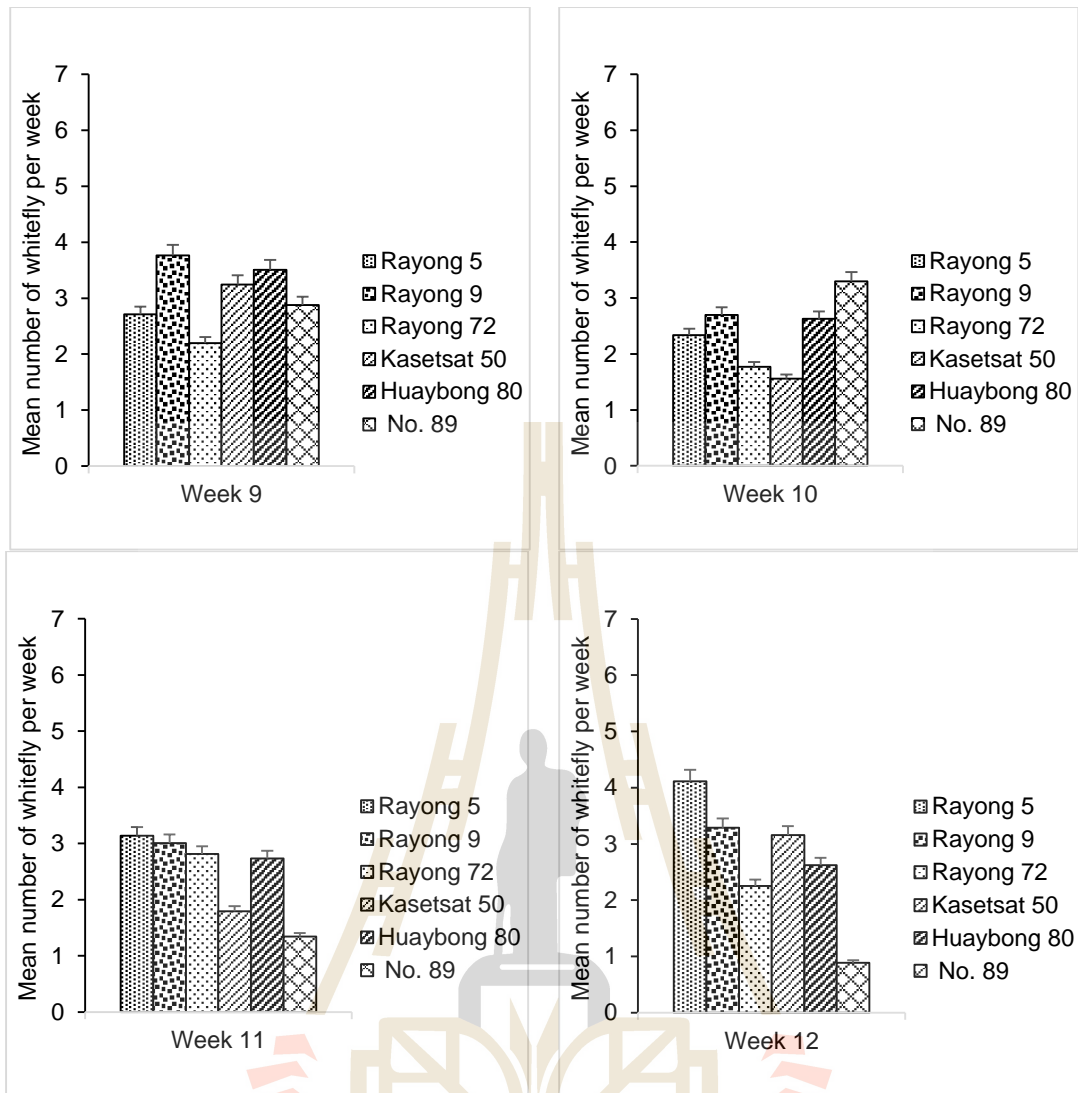
* = แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$)

ผลการคัดเลือกสายพันธุ์มันสำปะหลังต่อความไม่ชอบของแมลงหิวขาอายุสุบ *B. tabaci* ด้วยวิธี free choice-test โดยให้แมลงหิวขาเข้าทำลายมันสำปะหลังสายพันธุ์ต่าง ๆ อย่างอิสระภายใต้สภาพกึ่งแปลงทดลอง การประเมินการเข้าทำลายของแมลงหิวขาอายุสุบ *B. tabaci* ในแต่ละสัปดาห์พบว่า แมลงหิวขาเข้าทำลายในมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 80 พันธุ์ระยอง 5 และพันธุ์ระยอง 9 มากที่สุด โดยปริมาณการเข้าทำลายของแมลงหิวขาอายุสุบ *B. tabaci* มากในช่วงสัปดาห์ที่ 1-3 ของการสำรวจ การเข้าทำลายในมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 80 มากในสัปดาห์ที่ 1 2 3 และ 7 ตามลำดับ รองลงมาคือ พันธุ์ระยอง 5 เข้าทำลายมากในสัปดาห์ที่ 4 5 และ 12 พันธุ์ระยอง 9 เข้าทำลายมากในสัปดาห์ที่ 6 และ 7 (ภาพที่ 26) พันธุ์มันสำปะหลังที่แมลงหิวขาอายุสุบมีการเข้าทำลายน้อยคือ มีพันธุ์ระยอง 72 และพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 นอกจากนี้ยังพบว่า มีการเข้าทำลายน้อยในช่วงสัปดาห์ที่ 1-2 ของการสำรวจ แต่ปริมาณการเข้าทำลายเพิ่มขึ้นมากในช่วงสัปดาห์ที่ 3-10 แล้วมีการเข้าทำลายลดลงในสัปดาห์ที่ 11-12 (ภาพที่ 27)





ภาพที่ 26 การเข้าทำลายของแมลงหิวขาวยาสูบ *Bemisia tabaci* ในพันธุ์มันสำปะหลัง 6 สายพันธุ์ สัปดาห์ที่ 1-6



ภาพที่ 27 การเข้าทำลายของแมลงหิวขา *Bemisia tabaci* ในพันธุ์มันสำปะหลัง 6 สายพันธุ์ สัปดาห์ที่ 7-12

4.4 กลไกการถ่ายทอดเชื้อของแมลงหิวขา

ผลการรับเชื้อไวรัสของแมลงหิวขา นำแมลงหิวขาตัวเต็มวัย อายุ 1 วัน ที่ปลอดเชื้อไวรัสใบต่างมาทดสอบบนต้นมันสำปะหลังที่ติดเชื้อไวรัสใบต่าง โดยให้มีระยะเวลาการทดสอบที่ 2, 5, 10, 20, 40 และ 60 นาที จากนั้นแบ่งแมลงหิวขาออกเป็น 2 ชุด ชุดแรกนำแมลงหิวขาที่ผ่านการรับเชื้อไปสกัดดีเอ็นเอและตรวจเชื้อไวรัสใบต่างด้วยเทคนิค PCR จำนวน 20 ซ้ำ ชุดที่ 2 นำแมลงหิวขาที่ผ่านการรับเชื้อไปถ่ายทอดเชื้อไวรัสบนต้นมันสำปะหลังที่ปลอดเชื้อไวรัส เป็นเวลา 1 วัน จากนั้นนำมันสำปะหลังที่ถูกถ่ายทอดเชื้อแล้วเก็บในโรงเรือนที่ป้องกันแมลง เมื่อมันสำปะหลังอายุ 1 เดือนหลังถ่ายทอดเชื้อ ตัดเนื้อเยื่อมันสำปะหลังไปตรวจเชื้อไวรัส และติดตามการแสดงอาการของโรคไวรัสใบต่าง พบว่า การตรวจเชื้อไวรัสใบต่างในแมลงหิวขาที่ระยะเวลาการรับเชื้อต่างกันไม่พบเชื้อทุกช่วงเวลา ตารางที่ 4

ผลศึกษากลไกการถ่ายทอดเชื้อไวรัสของแมลงหิวขา นำแมลงหิวขาตัวเต็มวัยอายุ 1 วัน รับเชื้อบนต้นมันสำปะหลังที่ติดเชื้อไวรัส และบ่มเชื้อที่ระยะเวลาที่เหมาะสมบนต้นมันสำปะหลังปลอดเชื้อ จากนั้นนำแมลงหิวขาถ่ายทอดเชื้อไวรัสบนต้นมันสำปะหลังปลอดเชื้อ เป็นเวลา 2, 5, 10, 20, 40 และ 60 นาที เมื่อมัน

สำปะหลังอายุ 1 และ 3 เดือน ตัดเนื้อเยื่อมันสำปะหลังไปสกัดดีเอ็นเอและตรวจเชื้อไวรัสใบด่างด้วยเทคนิค PCR ด้วย primer ที่เฉพาะเจาะจงของเชื้อไวรัสใบด่างมันสำปะหลัง และติดตามการแสดงอาการของโรคไวรัสใบด่าง พบว่า การตรวจเชื้อไวรัสใบด่างในแมลงหริ่งขาวที่ระยะเวลาการถ่ายเชื้อที่ต่างกันไม่พบเชื้อทุกช่วงเวลา

ตารางที่ 4 The number of insects, percentage of SriLanka cassava mosaic virus positive insects, measured at various periods post-acquisition access period (AAP) by real-time PCR

AAP	Number of insects tested	Number of SriLanka cassava mosaic virus positive by real-time PCR	Percentage
2 min	20	0/20	0
5 min	20	0/20	0
10 min	20	0/20	0
20 min	20	0/20	0
40 min	20	0/20	0
60 min	20	0/20	0
P-value		ns	ns

ตารางที่ 5 The number of insects, percentage of SriLanka cassava mosaic virus positive insects, measured at various periods post-inoculation access period (IAP) by real-time PCR

IAP	Number of insects tested	Number of SriLanka cassava mosaic virus positive by real-time PCR	Percentage
2 min	20	0/20	0
5 min	20	0/20	0
10 min	20	0/20	0
20 min	20	0/20	0
40 min	20	0/20	0
60 min	20	0/20	0
P-value		ns	ns

บทที่ 5

อภิปรายผลการวิจัย สรุปผล และข้อเสนอแนะ

5.1 อภิปรายผลการวิจัย

จากผลการศึกษาปริมาณและชนิดแมลงหิวข้าวในแปลงมันสำปะหลัง ทั้ง 4 อำเภอ ให้ผลต่อการเกิดโรคไวรัสใบด่างมันสำปะหลังในแปลงไม่สอดคล้องกับการเกิดโรคใบด่าง อาจเนื่องมาจากการติดโรคใบด่างมันสำปะหลังเกิดจากท่อนพันธุ์ที่มีการติดโรคมามาก่อนแล้ว และอยู่ในช่วงอาการแฝง ซึ่งไม่แสดงอาการ เมื่อนำมาปลูกในแปลง ทำให้เกิดการแสดงการในแปลงปลูก พบว่า ในช่วง 3 เดือนแรกที่มีการสำรวจ บริเวณรอบมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี พื้นที่อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา แต่ไม่พบแมลงหิวข้าว แต่พบว่า แปลงมันสำปะหลังบริเวณรอบมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี มีอัตราการเกิดโรคใบด่างมันสำปะหลัง 30 เปอร์เซ็นต์ แปลงมันสำปะหลังอำเภอเสิงสาง จังหวัดนครราชสีมา พบแมลงหิวข้าวอายุ *B. tabaci* ในระยะตัวอ่อนและตัวเต็มวัย จำนวน 50 ตัว แต่ไม่พบแมลงหิวข้าวไยเกลียว *A.s dispersus* Russel มีอัตราการเกิดโรคในแปลงมันสำปะหลังบริเวณอำเภอเสิงสาง จังหวัดนครราชสีมา อยู่ที่ร้อยละ 30 ของแปลง แปลงมันสำปะหลังอำเภอครบุรี จังหวัดนครราชสีมา พบแมลงหิวข้าวไยเกลียว *A. dispersus* ในระยะตัวเต็มวัย ประมาณ 20 ตัว พบการเกิดโรคใบด่างมันสำปะหลังอยู่ที่ร้อยละ 95 ของแปลง อำเภอโชคชัย จังหวัดนครราชสีมา พบแมลงหิวข้าวอายุใน ระยะตัวเต็มวัย เก็บตัวอย่างตัวเต็มวัยได้ประมาณ 30 ตัว การเกิดโรคใบด่างมันสำปะหลังอยู่ที่ร้อยละ 75 ของแปลง ช่วง 6 เดือน การสำรวจทั้ง 4 พื้นที่ ไม่พบแมลงหิวข้าวไยเกลียว *A. dispersus* พบเพียงแมลงหิวข้าวอายุ *B. tabaci* แต่พบว่าอัตราการเกิดโรคในแปลงอำเภอเมือง และอำเภอเสิงสาง มีการเกิดโรคเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เชื่อมีที่การเพิ่มขึ้นอาจเกิดจากการติดเชื้อไวรัสใบด่างโดยท่อนพันธุ์มันสำปะหลัง เมื่อเวลาผ่านไปจาก 3 เดือน เป็น 6 เดือน พบว่าอัตราการติดเชื้อหรือการแสดงออกของโรคเพิ่มขึ้น เกิดจากการสะสมของเชื้อที่อยู่ในลำต้น นอกจากนี้การเกิดโรคใบด่างมันสำปะหลังที่พบในแปลงปลูกจากการสำรวจเกษตรกรปลูกมันสำปะหลังในแปลงต่างสายพันธุ์ โดยบริเวณรอบมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี พื้นที่อำเภอเมือง อำเภอครบุรี และอำเภอโชคชัย จังหวัดนครราชสีมาปลูกพันธุ์ระยอง 72 อำเภอเสิงสาง จังหวัดนครราชสีมา ปลูกพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50

การศึกษาเปรียบเทียบการดูดกินของแมลงหิวข้าวอายุ *B. tabaci* บนต้นมันสำปะหลังทั้ง 6 สายพันธุ์ ด้วยเครื่องมือตรวจวัดการดูดกิน Electropenetrography (EPG) พบว่าพันธุ์ที่มีการดูดกินยาวนานที่สุดคือ พันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 รองลงมาคือ ห้วยบง 80 พันธุ์ระยอง 5 พันธุ์ 89 พันธุ์ระยอง 9 และพันธุ์ระยอง 72 พบว่ามันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 72 มีค่าเฉลี่ยของช่วงเวลาที่แมลงหิวข้าวอายุไม่มีการเจาะดูดมากที่สุด ใช้เวลาเฉลี่ยในการแทง Stylet เจาะดูดที่ชั้น epidermis น้อย และพบว่าแมลงหิวข้าวอายุใช้เวลาเฉลี่ยในการปล่อยน้ำลายเข้าสู่เนื้อเยื่อพืช และดูดกินน้ำเลี้ยงของพืชน้อย อันเป็นผลให้การถ่ายทอดเชื้อไวรัส SLCMV เข้าสู่เซลล์ของมันสำปะหลังน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับพันธุ์ห้วยบง 80 พบว่าใช้เวลาในการปล่อยน้ำลายเข้าสู่เนื้อเยื่อพืชสูง อาจส่งผลให้เกิดการถ่ายทอดเชื้อไวรัส SLCMV ในปริมาณมากเข้าสู่เนื้อเยื่อพืช ซึ่งพฤติกรรมของแมลงหิวข้าวอายุในการเจาะดูดกินน้ำเลี้ยงของพืช สอดคล้องกับจริยา และยุพา (2561) ที่รายงานว่า พฤติกรรมการดูดกินของเพลี้ยจักจั่นปีกลายจุดสีน้ำตาล มีพฤติกรรมในการเดินหาตำแหน่งของการดูดกิน ก่อนที่แมลงจะใช้ปากเจาะดูดเข้าไปที่ชั้นเนื้อเยื่อพืช จากนั้นปากของแมลงเข้าไปที่ชั้นเอพิเดอร์มิสเซลล์ ผ่านชั้นไซฟิลล์ และบันเดินซิสเซลล์ก่อนที่แมลงจะดูดกินที่ชั้นท่อลำเลียงอาหาร ซึ่งระหว่างที่แมลงดูดกินที่ชั้นท่อลำเลียงอาหาร แมลงจะมี 2 กิจกรรมเกิดขึ้น คือ การปล่อยน้ำลายออกมาจะเกี่ยวข้องกับการถ่ายทอดเชื้อไฟโตพลาสมา และการดูดกินน้ำเลี้ยงเกี่ยวข้องกับการรับเชื้อไฟโตพลาสมา

การเข้าทำลายของแมลงหริ่วขาวยาสูบต่อมันสำปะหลัง 6 สายพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ระยอง 5 ระยอง 9 ระยอง 72 เกษตรศาสตร์ 50 ห้วยบง 80 และพันธุ์ CMR-89 พบว่าใบมันสำปะหลังตำแหน่งที่ 1 ของมันสำปะหลังทั้ง 6 สายพันธุ์ มีการเข้าทำลายของแมลงหริ่วขาวยาสูบน้อยกว่าตำแหน่งใบอื่น ๆ เนื่องจากใบมันสำปะหลังตำแหน่งที่ 1 เป็นใบยอดที่ไม่ได้คลี่ มีปริมาณสาร cyanide และ tannin สูง (Padmaja, G., 1989) ซึ่งสาร tannin เป็นสารที่มีโมเลกุลและโครงสร้างซับซ้อน มีสถานะเป็นกรดอ่อนรสฝาด สามารถจับตัวกับโปรตีนของหนังสือตัวได้ดี (นิตยา แท้โรสง, 2561) ช่วยป้องกันพืชจากการทำลายโดยแมลง แบบที่เรีย และเราได้เนื่องจาก tannin มีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ (ปานทิพย์ และวัลภา, 2557) ความไม่เหมาะสมดังกล่าวจึงทำให้แมลงหริ่วขาวยาสูบเข้าทำลายใบมันสำปะหลังตำแหน่งที่ 1 น้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับตำแหน่งใบที่ 2, 3, 4 และ 5 การเข้าทำลายมันสำปะหลังของแมลงหริ่วขาวยาสูบ ในสภาพเรือนทดลองเป็นเวลา 12 สัปดาห์ พบว่ามันสำปะหลังทั้ง 6 สายพันธุ์ มีการเข้าทำลายของแมลงหริ่วขาวยาสูบสูงใน 3 สัปดาห์แรก และมีแนวโน้มการเข้าทำลายของแมลงหริ่วขาวยาสูบลดลงในสัปดาห์ถัดไป เนื่องจากมีการเริ่มทำการสำรวจการเข้าทำลายของแมลงหริ่วขาวยาสูบในเดือนมกราคม ถึงเดือนเมษายน พ.ศ. 2564 ประกอบกับช่วงเดือนมีนาคม ถึงเมษายนเป็นช่วงที่มีฝนตกชุก ทำให้ประชากรของแมลงหริ่วขาวยาสูบที่เข้าทำลายมันสำปะหลังลดลง ซึ่งแมลงหริ่วขาวยาสูบจะเพิ่มจำนวนมากขึ้น เมื่อสภาพอากาศเหมาะสมคือ ร้อน ชื้น ฝนทิ้งช่วง หากในแปลงมันสำปะหลังมีต้นที่เป็นโรคเพียงต้นเดียว แมลงหริ่วขาวยาสูบสามารถแพร่กระจายโรคไปยังต้นอื่น ๆ ได้อย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดโรคระบาดเป็นวงกว้างในเวลาไม่นาน (กรมวิชาการเกษตร, ม.ป.ป.) เมื่อเปรียบเทียบการระบาดของแมลงหริ่วขาวยาสูบทั้ง 12 สัปดาห์ พบว่าพันธุ์ห้วยบง 80 มีการระบาดของแมลงหริ่วขาวยาสูบมากที่สุด เท่ากับ 54.19% รองลงมาคือ พันธุ์ระยอง 9, ระยอง 5, CMR-89, ระยอง 72 และพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 เท่ากับ 53.31%, 48.59%, 44.93%, 41.42% และ 36.81% ตามลำดับ จากรายงานของ Siriwan et al. (2021) ที่ตรวจหาระดับโมเลกุลของไวรัสใบด่างมันสำปะหลัง พบว่า พันธุ์ CMR-89 มีความอ่อนแอต่อเชื้อไวรัส SLCMV (> 70% ของโรค) และแสดงอาการของโรคอย่างรุนแรง ในขณะที่พันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 และระยอง 72 มีความต้านทานต่อเชื้อไวรัส SLCMV ได้ระดับปานกลาง ซึ่งจากการสำรวจการเข้าทำลายของแมลงหริ่วขาวยาสูบแบบ non-choice test ในสภาพเรือนทดลองพบว่า ระยอง 5 ระยอง 72 เกษตรศาสตร์ 50 และห้วยบง 80 ไม่พบอาการของโรคใบด่างมันสำปะหลัง และจากข้อมูลข้างต้นที่กล่าวว่าพันธุ์ CMR-89 มีความอ่อนแอต่อเชื้อไวรัส SLCMV กลับพบว่าการระบาดของแมลงหริ่วขาวยาสูบในพันธุ์ CMR-89 มีไม่มากนัก เป็นเพราะมีการนำพันธุ์ CMR-89 มาศึกษาเพิ่มเติมภายหลัง ประกอบกับปัจจัยทางสิ่งแวดล้อม และสภาพอากาศ ณ ช่วงที่ทำการศึกษาเป็นช่วงที่มีฝนตกชุก เป็นผลให้แมลงหริ่วขาวยาสูบเข้าทำลายมันสำปะหลังพันธุ์ CMR-89 น้อย แต่พันธุ์ CMR-89 กลับมีการแสดงอาการของโรคใบด่างมันสำปะหลังอย่างรุนแรง โดยเริ่มแสดงอาการของโรคใบด่างมันสำปะหลังเมื่อต้นมันสำปะหลังมีอายุ 2 เดือน ซึ่งใบยอดเกิดอาการด่าง ชิด และหยิกเสียรูปทรง ใบที่ถล่มมาจากยอดมีลักษณะอาการด่าง สีเหลืองสลับกับสีเขียวเข้ม

5.2 สรุปผล

การทดสอบการดูดกินของแมลงหริ่วขาวยาสูบด้วยเครื่องมือตรวจวัดการดูดกิน Electropenetrography (EPG) พันธุ์ระยอง 72 และพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 มีค่าเฉลี่ยของเวลาที่แมลงหริ่วขาวยาสูบไม่มีการดูดกินน้ำเลี้ยงของมันสำปะหลังนานที่สุด ซึ่งแมลงหริ่วขาวยาสูบใช้เวลาเฉลี่ยในการแทง Stylet เจาะดูที่ชั้น epidermis ของพันธุ์ระยอง 72 น้อยที่สุด และแมลงหริ่วขาวยาสูบมีช่วงเวลาเฉลี่ยในการปล่อยน้ำลายและการดูดกินน้ำเลี้ยงน้อย อันเป็นผลให้การถ่ายทอดเชื้อไวรัส SLCMV เข้าสู่เซลล์ของมันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 72 น้อย ทำให้พันธุ์ระยอง 72 ไม่พบการแสดงอาการของโรคใบด่างมันสำปะหลัง

การศึกษาการเข้าทำลายของแมลงหริ่งขาวยาสูบต่อมันสำปะหลัง 6 สายพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ระยอง 5 ระยอง 9 ระยอง 72 เกษตรศาสตร์ 50 ห้วยบง 80 และพันธุ์ CMR-89 พบแมลงหริ่งขาวยาสูบเข้าทำลายใบมันสำปะหลัง ตำแหน่งใบที่ 5 มากที่สุด และเข้าทำลายตำแหน่งใบที่ 1 น้อยที่สุด เมื่อเปรียบเทียบการเข้าทำลายของแมลงหริ่งขาวยาสูบเป็นเวลา 12 สัปดาห์ พบว่าพันธุ์ห้วยบง 80 มีการระบาดของแมลงหริ่งขาวยาสูบมากที่สุด เท่ากับ 54.19% ส่วนพันธุ์ระยอง 72 กับพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 มีการระบาดของแมลงหริ่งขาวยาสูบน้อยที่สุด

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. จากการศึกษาที่มีการสำรวจการเข้าทำลายของแมลงหริ่งขาวยาสูบเพียง 12 สัปดาห์เท่านั้น ควรเพิ่มการสำรวจในมันสำปะหลังให้ถึงระยะเก็บเกี่ยว เพื่อดูผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการเข้าทำลายของแมลงหริ่งขาวยาสูบในมันสำปะหลังต่างสายพันธุ์
2. จากการประเมินการระบาดของแมลงหริ่งขาวยาสูบในมันสำปะหลังสายพันธุ์ต่าง ๆ พบว่า พันธุ์ห้วยบง 80 มีการระบาดของแมลงหริ่งขาวยาสูบมากที่สุด ดังนั้นจึงควรหลีกเลี่ยงการปลูกมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 80 พันธุ์มันสำปะหลังที่ควรปลูกเพื่อหลีกเลี่ยงการเข้าทำลายของแมลงหริ่งขาวยาสูบ คือ พันธุ์ระยอง 72 กับพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50



บรรณานุกรม

- กฤติญา แสงภักดิ์. ม.ป.ป.. ความต้านทานด้านพันธุกรรมของพืชต่อแมลง. ศูนย์วิจัยและการจัดการความรู้ทางพฤกษศาสตร์. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- กรมวิชาการเกษตร. 2561. ประกาศเขตควบคุมโรคใบด่างมันสำปะหลังบางพื้นที่ในจังหวัดปราจีนบุรี. <http://www.doa.go.th/main/>. 26 ตุลาคม 2561.
- กรมวิชาการเกษตร. 2561. คู่มือการสำรวจและเฝ้าระวังโรคใบด่างมันสำปะหลัง. สืบค้นจาก <https://www.opsmoac.go.th/bpsp-dwl-files-402891791842>
- กรมวิชาการเกษตร. ม.ป.ป. แมลงหิวข้าวยาสูบพาหะโรคใบด่างมันสำปะหลัง. สืบค้นจาก https://www.doa.go.th/plprotect/wp-content/uploads/2020/08/6_แมลงหิวข้าวยาสูบพาหะโรคใบด่างมันสำปะหลัง.pdf
- กรมพัฒนาที่ดิน. ม.ป.ป. การปลูกมันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 5. สืบค้นจาก <http://mordin.ddd.go.th/nana/web-ddd/Plant/Page03.htm>
- ชนิษฐา แก้วสีขาว, จุรีพร สุกติภูมิ, Le Xuan Vi, และ ประกายจันทร์ นิมกักรัตน์. 2559. การศึกษาลักษณะทางชีววิทยาของแมลงหิวข้าว (*Pealius amamianus* Takahashi) และเพลี้ยแป้งน้อยหน้า (*Planococcus citri* Risso). เกษตร 44(1), 80-86.
- ครองทรัพย์ สิงหราช. 2562. ข่าวพยากรณ์และเตือนภัยการระบาดของศัตรูพืช. สืบค้นจาก <https://esc.doae.go.th/wp-content/uploads/2019/08/warn261.pdf>
- ศัทธิยา สิทธิฤทธิ์. 2561. สันฐานวิทยาและสรีรวิทยาของมะเขือเทศที่มีผลต่อความชอบของแมลงหิวข้าว. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร.
- จริยา รอดดี, และยุพา หาญบุญทรง. 2561. การตรวจวัดพฤติกรรมการดูดกินของเพลี้ยจักจั่น *Matsumuratettix hiroglyphicus* (Matsumura) พาหะโรคใบขาวอ้อยด้วยกระแสไฟฟ้าและการประยุกต์ใช้. เกษตร 46(2), 218-225.
- ทัศนีย์ แจ่มจรรยา, นุชรี ศรี, กมลทอพย์ ใจชาล, และวัชลาวัลย์ บุญมี. (2558). ศัตรูและศัตรูธรรมชาติในมันสำปะหลัง 3 พันธุ์. เกษตร 43(1), 332-336.
- ธนาคารแห่งประเทศไทย. 2561. สถานการณ์มันสำปะหลังที่เปลี่ยนแปลงไป https://www.bot.or.th/Thai/MonetaryPolicy/NorthEastern/DocLib_Research/cassava_situation_change.pdf, 24 ตุลาคม 2561.
- นิตยา แท้ไธสง. 2561. การเสริมใบสะเดาที่เป็นแหล่งของคอนเดนซ์แทนนินในระดับที่แตกต่างกันร่วมกับโพลีเอทิลีนไกลคอลต่อประชากรของจุลินทรีย์และสมรรถนะการผลิตในแพะที่กำลังเจริญเติบโต. สาขา วิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- ปวีร์ ศิริศักดิ์, และพรพรรณ ทองแพง. 2561. รายงานการวิจัยการวิเคราะห์การส่งผ่านราคาของมันสำปะหลังเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของกิจกรรมในห่วงโซ่อุปทาน และโลจิสติกส์ของมันสำปะหลัง (SUT7-717-59-12-12). สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

- ปานทิพย์ บุญส่ง และวัลภา เนตรดวงตา. 2557. ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระและองค์ประกอบทางพฤกษเคมี ของใบพืชไม้ผลเขตร้อนบางชนิด. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 24(3), 624-633.
- พัชรภรณ์ สุวอ. 2560. โรคไวรัสใบหงิกเหลืองในพริก และแนวทางในการจัดการโรค. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า, 147-152.
- ภูวนาด มณีโชติ, สุนัดดา เชาวลิต, กาญจนา วาระวิชนี, วาสนา รุ่งสว่าง, ภาณุวัฒน์ มูลจันทะ, ศิริลักษณ์ ล้าณแก้ว, และประภาพร แพงดา. 2562. การสำรวจและการเฝ้าระวังโรคใบด่างมันสำปะหลังที่เกิดจากเชื้อไวรัส. สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช.
- มติชนออนไลน์. 2563. ไทยผู้นำส่งออกมันสำปะหลังโลก นิวซีแลนด์พุ่ง400% มั่นใจหลังโควิด-19ยังไปต่อ. สืบค้นจาก https://www.matichon.co.th/news-monitor/news_2115022
- มูลนิธิสถาบันพัฒนามันสำปะหลังแห่งประเทศไทย. ม.ป.ป. ห้วยบง 80. สืบค้นจาก <https://www.tapiocathai.org/K1.html>
- วชิรวิทย์ เลิศบำรุง. 2561. “มันสำปะหลัง” ความมหัศจรรย์ที่อยู่รอบตัวเรา <http://www.nationtv.tv/main/content/378635617/>,. 24 ตุลาคม 2561.
- วัลย์พร ศะศิประภา, วิชญ์ย์ ออมทรัพย์สิน, รวีวรรณ เชื้อกิตติศักดิ์ และกฤษมา รอดแผ้วพาล. 2562. การตอบสนองทางสรีรวิทยาบางประการของมันสำปะหลังต่อสภาพแห้งแล้ง. *Thai Agricultural Research Journal*, 37(1), 93-104.
- วันวิสา ศิริวรรณ, เฉลิมพล ภูมิไชย์, และเจริญศักดิ์ โรจนฤทธิ์พิเชษฐ์. 2561. สถานการณ์การระบาดของโรคใบด่างมันสำปะหลังในราชอาณาจักรกัมพูชา สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว สาธารณรัฐประชาธิปไตยเวียดนาม และประเทศไทย. การประชุมหารือสถานการณ์และการจัดการโรคใบด่างมันสำปะหลังในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้, สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว.
- วิกันดา รัตนพันธ์ และจตุพร ไกรถาวร. 2557. สันฐานวิทยาและความหนาแน่นของขนบนใบพริกที่มีผลต่อการแพร่กระจายของเพลี้ยอ่อน. วารสารแก่นเกษตร, 43(3), 712-717.
- วิกันดา รัตนพันธ์ และสุภาภรณ์ เอี่ยมแข็ง. 2557. การประเมินระดับความต้านทานของพันธุ์พริกต่อการเข้าทำลายของเพลี้ยอ่อน (*Myzus persicae*) โดยอาศัยลักษณะทางสันฐานวิทยาและปริมาณธาตุอาหารสะสมในพริก. การประชุมวิชาการระดับชาติมหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 24, ณ ศูนย์ประชุมนานาชาติฉลองสิริราชสมบัติครบ 60 ปี อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา.
- ศูนย์วิจัยมันสำปะหลังและผลิตภัณฑ์ เทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. 2551. พันธุ์มันสำปะหลัง และ การ เ ต ร ี ย ม ที่ อ น พ ัน ธุ์ มัน สำ ปะ ห ล ึ่ง . ส ื บ ค ้น จ า ก : http://web.sut.ac.th/cassava/?name=14cas_plant&file=readknowledge&id=56, <http://web.sut.ac.th/cassava/UserFiles/File/plant.pdf>
- ศูนย์วิจัยมันสำปะหลังและผลิตภัณฑ์ เทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. 2551. มันสำปะหลังแป้น พันธุ์ ไ ห ม่ ร ะ ย อ ง 7. ส ื บ ค ้น จ า ก http://web.sut.ac.th/cassava/?name=11cas_research&file=readknowledge&id=61
- ศูนย์วิจัยมันสำปะหลังและผลิตภัณฑ์ เทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. ม.ป.ป. มันสำปะหลังพันธุ์ต่างๆ. สืบค้นจาก http://web.sut.ac.th/cassava/?name=1cas_source/cas_source/

- สุนัดดา เชาวลิต, ชมัยพร บัวมาศ, อธิพิล บรรณาการ, เกศสุดา สนศิริ, และสิทธิศิริโรดม แก้วสวัสดิ์. (2556). อนุกรมวิธานแมลงหริ่ขาวในมันสำปะหลัง. สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช.
- สุนัดดา เชาวลิต. ม.ป.ป. แมลงหริ่ขาวยาสูบพาหะโรคใบด่างมันสำปะหลัง. สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช กรมวิชาการเกษตร.
- สุพรรณิกา นพคุณ. (2560). ผลของความแห้งแล้งต่อลักษณะทางสรีรวิทยาผลผลิตของมันสำปะหลังพันธุ์ต่างๆ. สาขาวิชา เทคโนโลยีการผลิตพืช สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2563. สศก. ลุยโคราชแหล่งระบาดใหญ่โรคใบด่างมันฯ แนะนำเกษตรกรหมั่นสังเกตหากพบรีบแจ้งจนท. / ผู้นำชุมชน. สืบค้นจาก <http://www.oae.go.th/view/1/%E0%B8%A3%E0%B8%B2%E0%B8%A2%E0%B8%A5%E0%B8%B0%E0%B9%80%E0%B8%AD%E0%B8%B5%E0%B8%A2%E0%B8%94%E0%B8%82%E0%B9%88%E0%B8%B2%E0%B8%A7/%E0%B8%82%E0%B9%88%E0%B8%B2%E0%B8%A7%20%E0%B8%AA%E0%B8%A8%E0%B8%81./34863/TH-TH>
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2560. เนื้อที่เพาะปลูก เนื้อที่เก็บเกี่ยว ผลผลิต และผลผลิตต่อไร่ ปี 2560. แหล่งที่มา : <http://www.oae.go.th/assets/portals/1/files/production/fieldcrop/casava/2560/.pdf> ,22 ตุลาคม 2560.
- อนงค์นุช ผลวงษ์. 2548. บทบาทของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (polyphenol oxidases) ในมะเขือเทศต่อการเข้าทำลายของหนอนเจาะสมอฝ้าย [*Heliothis armigera* (Hübner)] และหนอนกระทู้หอม [*Spodoptera exigua* (Hübner)]. สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช, สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- อรุณี วงศ์ราชน. 2549. การดำเนินธุรกิจมันสำปะหลังผ่านระบบสหกรณ์. ในเอกสารประกอบการบรรยายวิชาการและระบบบัญชีธุรกิจมันสำปะหลัง (น. 1-20). กาศสินธุ์: สำนักงานตรวจบัญชีสหกรณ์ที่ 4 กรมตรวจ
- โสภณ วงศ์แก้ว. 2560. ไวรัสใบด่างของมันส ำปะหลัง:วายร้ายเอกระดับโลก Cassava Mosaic Virus: The most damaging crop virus of the world 28 กรกฎาคม2560. แหล่งสืบค้น <http://www.thaitapiocastarch.org/pdf/cmd/Article-CMD-2.pdf>.
- Almeida, A. C. d. S., de Jesus, F. G., and Barrigossi, J. A. F. 2020. Unveiling the Feeding Behavior of *Tibraca limbativentris* (Hemiptera: Pentatomidae) on Rice Using an Electropenetrography Waveform Library. *Journal of Insect Science*, 20(4), 14.
- Ammar E. D., U. Jarlfors, and T. P. Pirone. 1994. Association of Potyvirus helper component protein with virions and the cuticle lining the maxillary food canal and foregut of an aphid vector. *Phytopathology*. 84(10): 1054 – 1060.
- Backus, E. A., Cervantes, F. A., Guedes, R. N. C., Li, A. Y., and Wayadande, A. C. 2019. AC–DC electropenetrography for in-depth studies of feeding and oviposition behaviors. *Annals of the Entomological Society of America*, 112(3), 236-248.

- Backus, E. A., and Shih, H.-T. 2020. Review of the EPG waveforms of sharpshooters and spittlebugs including their biological meanings in relation to transmission of *Xylella fastidiosa* (Xanthomonadales: Xanthomonadaceae). *Journal of Insect Science*, 20(4), 6.
- Brown, J. K., Zerbini, F. M., Navas-Castillo, J. et al. 2015. Revision of *Begomovirus* taxonomy based on pairwise sequence comparisons. *Arch Virol.* 160: 1593 - 1619. <https://doi.org/10.1007/s00705-015-2398-y>
- Chant S. R. 1958. Studies on the transmissions of cassava mosaic virus by *Bemisia* spp. (Aleyrodidae). *Annals of Applied Biology* 46: 210-215.
- Dubern, J. 1994. Transmission of African cassava mosaic germinivirus by the whitefly (*Bemisia tabaci*). *Tropical Science* 34: 82-91.
- Eisner, T., Eisner, M., and Hoebeker, E. R. 1998. When defense backfires: detrimental effect of a plant's protective trichomes on an insect beneficial to the plant. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 95(8), 4410-4414.
- Fereres, A. and A. Moreno. 2009. Behavioural aspects influencing plant virus transmission by homopteran insects. *Virus Research* 141: 158-168.
- Han, Y., P. Li, S. Gong, L. Yang, L. Wen, M. Hou. 2016. Defense Responses in rice Induced by silicon amendment against Infestation by the leaf folder *Cnaphalocrocis medinalis*. *PLoS One* 11: e0153918.
- Hanboonsong, Y., C. Choosai, S. Panyim and S. Damak. 2002. Transovarial transmission of sugarcane white leaf phytoplasma in vector *Matsumuratettix hiroglyphicus* (Matsumura). *Insect Molecular Biology*. 11: 97- 110.
- Koch, K. G., Chapman, K., Louis, J., Heng-Moss, T., and Sarath, G. 2016. Plant tolerance: a unique approach to control hemipteran pests. *Frontiers in Plant Science*, 7, 1363.
- Liu, B., Zhou, X. and Zhang, Y. 2014. Electrical Penetration Graph Recording (Whitefly). *Bio-protocol* 4(5): e1063. DOI: 10.21769/BioProtoc.1063.
- Luo X, Yen AL, Powell KS, Wu F, Wang Y. 2015. Feeding behavior of *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae) and its acquisition of 'Candidatus *Liberibacter asiaticus*', on huanglongbing infected *Citrus reticulata* leaves of several maturity stages. *Florida Entomologist* 98: 186-192.
- Milenovic, M., Wosula, E. N., Rapisarda, C. and Legg, J. P. 2019. Impact of Host Plant Species and Whitefly Species on Feeding Behavior of *Bemisia tabaci*. *Front. Plant Sci.* 10:1. doi: 10.3389/fpls.2019.00001
- Minato, N., S. Sok, S. Chen, E. Delaquis, I. Phirun, V. X. Le, D. D. Burra, C. J. Newby, A. G. K. Wyckhuys, S. de Haan. 2019. Surveillance for Sri Lankan cassava mosaic virus (SLCMV) in Cambodia and Vietnam one year after its initial detection in a single plantation in 2015. *PLoS ONE* 14(2): e0212780. <https://doi.org/10.1371/journal>.
- Nault, L.R. 1997. Arthropod transmission of plant viruses: a new synthesis. *Ann.*

- Entomol.Soc. Am. 90: 522–541.
- Padmaja, G. 1989. Evaluation of techniques to reduce assayable tannin and cyanide in cassava leaves. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 37(3), 712-716.
- Pathak, M. D. Defense of rice crop against insect pest. *Annals of New York Academy of Science* 287:287-295.
- Pirone, T. P., and K. L. Perry. 2002. Aphids: Non-persistent transmission. *Advances in Botanical Research*. 36: 1-19.
- Roddee, J., Kobori Y, Yorozuya, H. and Hanboonsong Y. 2017. Characterization of direct current electrical penetration graph waveforms and correlation with the probing behavior of *Matsumuratettix hiroglyphicus*, the insect vector of sugarcane white leaf phytoplasma. *Journal of Economic Entomology* 110: 893–902.
- Saxena, K. N., J. R. Gandhi and R. C. 1974. Patterns of relationship between certain leafhoppers and plants - I. Responses to plants. *Entomol. Exp. Apple*, 17, 303-318.
- Sade, N., K. Umnajkitikorn, Rubio Wilhelmi M. del M., M. Wright, S. Wang, E. Blumwald. 2017. Delaying chloroplast turnover increases water-deficit stress tolerance through the enhancement of nitrogen assimilation in rice. *J Exp Bot.* doi: 10.1093/jxb/erx247
- Santos, T. L. B. d., Baldin, E. L. L., Ribeiro, L. d. P., Souza, C. M. d., Bueno, N. M., and Silva, I. F. d. (2020). Silverleaf whitefly-resistant common beans: an investigation of antibiosis and/or antixenosis. *Bragantia(AHEAD)*.
- Siriwan, W., Saokham, K., Hemniam, N., Roekwan, S., Hunsawattanakul, S., & Thawinampan, J. (2021). Survey and Molecular Detection of Sri Lankan Cassava Mosaic Virus in Thailand. *bioRxiv*.
- Svgroup online farmer assistant. 2019. เตือนภัยแมลงหริ่งข้าวศัตรูพืชผัก. สืบค้นจาก <https://www.svgroup.co.th/blog/%E0%B9%80%E0%B8%95%E0%B8%B7%E0%B8%AD%E0%B8%99%E0%B8%A0%E0%B8%B1%E0%B8%A2%E0%B9%81%E0%B8%A1%E0%B8%A5%E0%B8%87%E0%B8%AB%E0%B8%A7%E0%B8%B5%E0%B9%88%E0%B8%82%E0%B8%B2%E0%B8%A7%E0%B9%83%E0%B8%99%E0%B8%9E/>
- Tjallingii, W. F. (2006). Salivary secretions by aphids interacting with proteins of phloem wound responses. *Journal of experimental botany*, 57(4), 739-745.
- Tjallingii, W. F. 1985. Membrane potentials as an indication for plant cell penetration by aphid stylets. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 38: 187–193.
- Ueda, H., S. Kugimiya, J. Tabata, H. Kitamoto, I. Mitsuahara, 2018. Accumulation of salicylic acid in tomato plant under biological stress affects oviposition preference of *Bemisia tabaci*. *J. Plant Interact* 14: 73–78.
- Wang, H. L., X. Y. Cui, X. W. Wang, S. S. Liu, Z. H. Zhang, and X. P. Zhou., 2016. First Report of *SriLankan cassava mosaic virus* Infecting Cassava in Cambodia. *Plant Disease*, 100 (5): 1029– 1029.

Wu, T., X. Luo, C. Xu, F. Wu, J. A. Qureshi and Cen Y., 2016. Feeding behavior of *Diaphorina citri* and its transmission of 'Candidatus *Liberibacter asiaticus*' to citrus. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 161: 104–111.





ตารางที่ 1 ปริมาณแมลงหวี่ขาวยาสูบ *Bemisia tabaci* ต่อการเข้าทำลายใบมันสำปะหลัง

Varieties	Number of whiteflies <i>Bemisia tabaci</i> per cassava leaf (Mean \pm SE)					df	F-value	P-value
	ตำแหน่งใบที่ 1	ตำแหน่งใบที่ 2	ตำแหน่งใบที่ 3	ตำแหน่งใบที่ 4	ตำแหน่งใบที่ 5			
Rayong 5	2.04 \pm 0.47 ^a	2.38 \pm 0.33 ^a	3.72 \pm 0.48 ^b	5.75 \pm 0.63 ^{ab}	6.27 \pm 0.50 ^a	4	12.360 ^{**}	0.000
Rayong 9	.	1.98 \pm 0.24 ^{ab}	5.25 \pm 0.57 ^a	5.96 \pm 0.76 ^{ab}	5.68 \pm 0.45 ^a	3	10.834 ^{**}	0.000
Rayong 72	1.00 \pm 0.00 ^a	2.77 \pm 0.48 ^a	3.28 \pm 0.46 ^b	4.16 \pm 0.67 ^b	4.98 \pm 1.01 ^a	4	2.208 ^{ns}	0.083
Kasetsart 50	1.00 \pm 0.00 ^a	1.93 \pm 0.31 ^{ab}	3.57 \pm 0.43 ^b	3.91 \pm 0.57 ^b	4.92 \pm 0.87 ^a	4	5.734 ^{**}	0.001
Huaybong 80	2.00 \pm 1.00 ^a	1.42 \pm 0.11 ^b	3.16 \pm 0.32 ^b	6.38 \pm 0.46 ^a	7.73 \pm 1.38 ^a	4	11.284 ^{**}	0.000
CMR-89	1.00 ^a	1.30 \pm 0.14 ^b	2.93 \pm 0.55 ^b	4.61 \pm 0.83 ^{ab}	5.79 \pm 0.80 ^a	4	6.078 ^{**}	0.001
df	4	5	5	5	5			
F-value	1.740 ^{ns}	3.175 [*]	3.094 [*]	2.415 [*]	1.320 ^{ns}			
P-value	0.225	0.013	0.014	0.045	0.267			

หมายเหตุ: ^{a-b} ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรแตกต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยวิธี LSD

^{*} แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

^{**} แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ

^{ns} ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ

ตารางที่ 2 การเข้าทำลายของแมลงหิวขาสาบ *Bemisia tabaci* ต่อสายพันธุ์มันสำปะหลังทั้ง 6 สายพันธุ์ ใน 12 สัปดาห์

Weeks	Number of whiteflies <i>Bemisia tabaci</i> per cassava (Mean ± SE)						df	F-value	P-value
	Rayong 5	Rayong 9	Rayong 72	Kasetsart 50	Huaybong 80	CMR-89			
1	5.66±0.36 ^{ab}	5.43±0.37 ^b	7.40±0.61 ^a	5.90±0.28 ^{ab}	6.73±1.14 ^{ab}	1.00±0.00 ^c	5	15.074 ^{**}	0.000
2	6.26±0.24 ^b	5.57±0.07 ^b	7.37±0.61 ^b	6.73±1.13 ^b	9.63±0.74 ^a	1.70±0.52 ^c	5	16.140 ^{**}	0.000
3	6.46±0.67 ^a	5.83±0.83 ^a	6.04±0.40 ^a	4.93±0.52 ^a	6.24±1.18 ^a	4.50±0.69 ^a	5	1.053 ^{ns}	0.432
4	6.20±0.18 ^a	5.94±1.38 ^{ab}	3.29±0.90 ^{bc}	3.08±0.68 ^c	3.43±1.06 ^{bc}	6.78±0.18 ^a	5	3.933 [*]	0.024
5	6.46±0.41 ^a	4.17±0.37 ^b	2.92±1.04 ^{bc}	2.02±0.27 ^c	3.72±0.33 ^{bc}	6.63±0.32 ^a	5	12.582 ^{**}	0.000
6	5.09±0.06 ^{bc}	6.62±1.06 ^{ab}	3.19±0.98 ^c	2.96±0.58 ^c	4.91±0.90 ^{bc}	7.61±0.31 ^a	5	6.060 ^{**}	0.005
7	4.45±0.30 ^{bc}	6.90±0.55 ^a	3.49±0.82 ^c	3.36±0.62 ^c	6.04±0.68 ^{ab}	4.77±0.46 ^{bc}	5	5.562 ^{**}	0.007
8	4.05±0.07 ^{cd}	5.64±0.30 ^{ab}	2.91±0.25 ^d	2.89±0.13 ^d	5.11±0.88 ^{bc}	6.60±0.31 ^a	5	13.147 ^{**}	0.000
9	3.33±0.15 ^{bc}	5.18±0.54 ^a	3.10±0.09 ^c	3.28±0.35 ^{bc}	6.19±0.81 ^a	4.72±0.39 ^{ab}	5	7.678 ^{**}	0.002
10	2.79±0.23 ^{cd}	3.73±0.47 ^{bc}	2.36±0.52 ^{cd}	2.05±0.19 ^d	4.53±0.93 ^{ab}	5.67±0.25 ^a	5	7.793 ^{**}	0.002
11	3.21±0.42 ^{ab}	4.31±0.71 ^a	4.25±0.20 ^a	2.35±0.35 ^b	4.48±0.54 ^a	2.53±0.15 ^b	5	4.677 [*]	0.013
12	4.35±0.13 ^a	4.64±0.22 ^a	3.39±0.97 ^a	4.61±0.36 ^a	4.02±0.51 ^a	1.39±0.26 ^b	5	6.269 ^{**}	0.004
df	11	11	11	11	11	11			
F-value	18.131 ^{**}	2.081 ^{ns}	6.536 ^{**}	8.432 ^{**}	4.052 ^{**}	40.396 ^{**}			
P-value	0.000	0.650	0.000	0.000	0.002	0.000			

หมายเหตุ: ^{a-d} ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรแตกต่างกันในแนวนอน มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยวิธี LSD
* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 3 จำนวนครั้งการดูดกินของแมลงหิวขาสาบ *Bemisia tabaci* ในชั้นเนื้อเยื่อต่าง ๆ ด้วยเครื่อง Electropenetrography (EPG)

waveforms	Number of waveforms even per insect (time)	df	F-value	P-value
-----------	--	----	---------	---------

	Rayong 5	Rayong 9	Rayong 72	Kasetsart 50	Huaybong 80	CMR-89			
	Mean±SE	Mean±SE	Mean±SE	Mean±SE	Mean±SE	Mean±SE			
non-probe	9.20±2.01 ^a	8.20±3.46 ^a	2.60±0.51 ^a	6.80±3.37 ^a	4.40±1.21 ^a	5.40±1.94 ^a	5	1.103 ^{ns}	0.385
probe	8.40±2.20 ^a	7.60±3.30 ^a	1.80±0.37 ^a	6.20±3.2 ^a	3.80±1.07 ^a	4.40±1.94 ^a	5	1.200 ^{ns}	0.339
epidermis	12.20±2.69 ^a	9.20±2.85 ^{ab}	3.00±0.71 ^b	7.20±3.41 ^{ab}	8.00±3.02 ^{ab}	5.20±2.29 ^{ab}	5	1.458 ^{ns}	0.240
salivation	8.20±2.96 ^a	10.80±3.61 ^a	5.60±1.03 ^a	5.80±1.66 ^a	14.60±3.03 ^a	12.40±4.19 ^a	5	1.530 ^{ns}	0.218
ingestion	9.20±6.52 ^a	6.40±3.57 ^a	3.20±0.66 ^a	3.00±0.71 ^a	8.60±1.91 ^a	8.60±3.70 ^a	5	0.640 ^{ns}	0.671
potential drop	9.60±6.83 ^a	0.60±0.60 ^{ab}	0.00±0.00 ^b	0.80±0.80 ^{ab}	0.80±0.58 ^{ab}	0.80±0.80 ^{ab}	5	1.677 ^{ns}	0.178
df	5	5	5	5	5	5			
F-value	0.109 ^{ns}	1.309 ^{ns}	8.430 ^{**}	1.028 ^{ns}	5.610 ^{**}	2.103 ^{ns}			
P-value	0.989	0.293	0.000	0.423	0.001	0.100			

หมายเหตุ: ^{a-b} ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรแตกต่างกันในแนวนอน มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยวิธี LSD

^{**} แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ

^{ns} ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ

ตารางที่ 4 ค่าเฉลี่ยการดูดกินของแมลงหริ่งชား *Bemisia tabaci* ในชั้นเนื้อเยื่อต่างๆ ด้วยเครื่อง Electropenetrography (EPG)

	Mean waveforms duration (minutes)						df	F-value	P-value
	Rayong 5	Rayong 9	Rayong 72	Kasetsart 50	Huaybong 80	CMR-89			
non-probe	15.46±3.29 ^a	47.57±25.01 ^a	66.35±11.67 ^a	63.64±28.28 ^a	24.88±7.16 ^a	38.98±14.0 ^a	5	1.381 ^{ns}	0.266
probe	7.92±2.17 ^a	14.71±6.33 ^a	22.81±14.90 ^a	40.32±16.12 ^a	46.47±21.53 ^a	12.19±3.94 ^a	5	1.500 ^{ns}	0.227

epidermis	2.19±0.47 ^a	1.78±0.65 ^a	1.39±0.57 ^a	1.96±1.12 ^a	1.69±0.25 ^a	0.55±0.21 ^b	5	0.858 ^{ns}	0.523
salivation	8.02±5.82 ^a	4.00±1.39 ^a	3.28±1.47 ^a	10.43±3.95 ^a	9.25±4.99 ^a	2.68±1.18 ^a	5	0.843 ^{ns}	0.533
ingestion	0.39±7.53 ^b	2.68±2.15 ^{ab}	0.84±0.34 ^{ab}	5.03±1.92 ^a	1.21±25.01 ^{ab}	2.23±1.50 ^{ab}	5	1.45 ^{ns}	0.244
potential drop	3.09±0.13 ^a	0.32 ^a	.	0.10 ^a	0.37±0.42 ^a	0.55 ^a	4	0.881 ^{ns}	0.593
df	5	5	5	5	5	5			
F-value	3.012 [*]	2.291 ^{ns}	10.894 ^{**}	2.758 [*]	3.059 [*]	4.937 ^{**}			
P-value	0.035	0.084	0.000	0.047	0.031	0.004			

หมายเหตุ: ^{a-b} ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรแตกต่างกันในแนวนอน มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยวิธี LSD

^{*} แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

^{**} แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ

^{ns} ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ

ตารางที่ 5 ผลรวมการดูดกินของแมลงหีวขาวยาสูบ *Bemisia tabaci* ในชั้นเนื้อเยื่อต่าง ๆ ด้วยเครื่อง Electropenetrography (EPG)

waveforms	sum of waveforms duration (minutes)						df	F-value	P-value
	Rayong 5	Rayong 9	Rayong 72	Kasetsart 50	Huaybong 80	CMR-89			
non-probe	119.84±14.99 ^{ab}	132.26±8.47 ^a	149.60±14.29 ^a	109.37±18.88 ^{ab}	77.86±9.30 ^b	135.38±19.67 ^a	5	2.841 [*]	0.037
probe	60.16±14.99 ^b	47.74±8.47 ^b	30.40±14.29 ^b	703.97±18.88 ^{ab}	102.14±9.30 ^a	43.36±10.72 ^b	5	3.614 [*]	0.014
epidermis	24.80±5.95 ^a	14.14±8.37 ^{ab}	5.28±2.34 ^b	10.67±4.74 ^{ab}	12.42±5.07 ^{ab}	4.09±2.35 ^b	5	2.026 ^{ns}	0.111
salivation	29.59±12.10 ^b	27.09±8.03 ^b	21.76±11.60 ^b	42.16±10.90 ^b	79.21±9.85 ^a	28.75±10.95 ^b	5	3.972 ^{**}	0.009
ingestion	5.77±5.07 ^a	6.51±2.56 ^a	3.36±1.84 ^a	17.80±9.25 ^a	10.50±5.26 ^a	15.89±7.70 ^a	5	0.981 ^{ns}	0.450

potential drop	0.31±0.24 ^a	0.19±0.19 ^a	0.00±0.00 ^a	0.08±0.08 ^a	0.19±0.13 ^a	0.44±0.44 ^a	5	0.478 ^{ns}	0.789
df	5	5	5	5	5	5			
F-value	18.028 ^{**}	50.976 ^{**}	35.762 ^{**}	11.085 ^{**}	36.188 ^{**}	22.102 ^{**}			
P-value	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000			

หมายเหตุ: ^{a-b} ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรแตกต่างกันในแนวนอน มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยวิธี LSD

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ

^{ns} ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ





ภาพที่ 1 แปลงมันสำปะหลังบริเวณรอบมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา





ภาพที่ 2 สํารวจแปลงมันสำปะหลังบริเวณอำเภอลำปาง จังหวัดนครราชสีมา



ภาพที่ 3 แปลงมันสำปะหลังบริเวณอำเภอครบุรี จังหวัดนครราชสีมา



ภาพที่ 4 แปลงมันสำปะหลังบริเวณอำเภोजังหวัดนครราชสีมา



ประวัติผู้วิจัย

1. ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นางสาวจริยา รอดดี
ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Miss Jariya Roddee

3. ตำแหน่งปัจจุบัน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร
4. สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี 111 ถนนมหาวิทยาลัย ตำบลสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000
โทรศัพท์ (044) 224259 โทรสาร (044) 224281
E-mail jariyaroddee@g.sut.ac.th
5. ประวัติการศึกษา
2555 – 2561 Doctor of Philosophy (Entomology), Khon Kaen University
2551 – 2554 Bachelor of Science (Agricultural), Khon Kaen University
6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิมหาบัณฑิต) ระบุสาขาวิชาการ
Transmission and feeding behavior of insect vectors, the electrical penetration graph (EPG) technique, insect and Plant Biotechnology, insect vector of plant pathology and edible insects
7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดยระบุสถานภาพในการทำการวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการแผนงานวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย หรือผู้ร่วมวิจัยในแต่ละผลงานวิจัย

หัวหน้าโครงการวิจัย

ชื่อโครงการ	แหล่งทุน	ระยะเวลา	สถานะ
1. การติดตามและประเมินสถานการณ์การระบาดของวิทยาของแมลงศัตรูอ้อยและแมลงพาหะนำโรคใบขาวอ้อย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี	1 ปี (ตุลาคม 2561 - กันยายน 2562)	ดำเนินการเสร็จสิ้นแล้ว
2. ประสิทธิภาพของเชื้อราในการลดการถ่ายทอดเชื้อของแมลงพาหะนำโรคใบขาวอ้อย	สำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.)	1 ปี (กันยายน 2563 - สิงหาคม 2564)	ดำเนินการเสร็จสิ้นแล้ว
3. การพัฒนาวิธีการคัดเลือกพันธุ์ข้าวต้านทานและการศึกษาพฤติกรรมการกินของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล <i>Nilaparvata lugens</i> (Stål) และเพลี้ยกระโดดหลังขาว <i>Sogatella furcifera</i> (Horvath)	สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน) (สวก.)	1 ปี (มกราคม 2564 - เมษายน 2565)	ดำเนินการเสร็จสิ้นแล้ว
4. การพัฒนารูปแบบผลิตภัณฑ์เชื้อราเขียวเมตาไรเซียมให้เหมาะสมต่อการใช้งานในอุตสาหกรรมปลูกอ้อย	บริษัท มิตรผลวิจัยพัฒนาอ้อยและน้ำตาลจำกัดและ (ITAP)	1 ปี (มกราคม 2564 - มกราคม 2565)	ดำเนินการเสร็จสิ้นแล้ว
5. พฤติกรรมการดูดกินและกลไกการถ่ายทอดเชื้อไฟโตพลาสมาของเพลี้ยจักจั่นแมลงพาหะนำโรคใบขาวอ้อย	สำนักงานปลัดกระทรวงการอุดมศึกษา	2 ปี (พฤษภาคม 2564 - เมษายน 2566)	กำลังดำเนินการ

	วิทยาศาสตร์ วิจัยและ นวัตกรรม (สป.อว.)		
6. การพัฒนาวัสดุเพาะเลี้ยงจิ้งหรีดเพื่อ เพิ่มความปลอดภัยและมูลค่าทาง เศรษฐกิจของจิ้งหรีด	สำนักงานการวิจัย แห่งชาติ (วช.)	1 ปี (พฤษภาคม 2564 – เมษายน 2565)	ดำเนินการเสร็จ สิ้นแล้ว
7. การคัดเลือกและปรับปรุงสายพันธุ์ จิ้งหรีดเพื่อลดการผสมเลือดชิดและ เหมาะสมต่อการผลิตโปรตีนผงในเชิง พาณิชย์	สำนักงานการวิจัย แห่งชาติ (วช.)	1 ปี 6 เดือน (พฤษภาคม 2565 – พฤศจิกายน 2566)	กำลังดำเนินการ
5. การคัดเลือกพันธุ์อ้อยทนทานต่อแมลง พาหะนำโรคใบขาวอ้อยด้วยเทคนิค Electropenetrography (EPG), อัตรา การปล่อยมูลหوان และกล้องจุลทรรศน์ อิเล็กตรอนแบบส่องกราด SEM	สำนักงาน ปลัดกระทรวงการ อุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและ นวัตกรรม (สป.อว.)	2 ปี (มกราคม 2565 – มกราคม 2567)	กำลังดำเนินการ

ผู้ร่วมโครงการวิจัย			
ชื่อโครงการ	แหล่งทุน	ระยะเวลา	สถานะ
1. การควบคุมแมลงศัตรูข้าวเปลือกและ วิเคราะห์คุณภาพในการผลิตเมล็ดพันธุ์ ข้าวด้วยคลื่นความถี่วิทยุเพื่อการผลิตข้าว อินทรีย์แปลงใหญ่	สำนักงานพัฒนาการ วิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน) (สวก.)	1 ปี (พฤษภาคม 2563 – เมษายน 2564)	ดำเนินการเสร็จ สิ้นแล้ว
2. การศึกษาความต้องการพลังงาน โปรตีน และกรดอะมิโน เพื่อเป็น ฐานข้อมูลสำหรับการผลิตอาหาร จิ้งหรีดของประเทศไทย	สำนักงานการวิจัย แห่งชาติ (วช.)	1 ปี (พฤษภาคม 2564 – เมษายน 2565)	กำลังดำเนินการ

1. ผลงานวิจัย

Roddee J., E. A. Backus, F. A. Cervantes, and Y. Hanboonsong. 2023. *Xylella fastidiosa* inoculation behaviors (EPG X wave) are performed differently by blue-green sharpshooters based on infection status of prior probing host. *Journal of Economic Entomology* (DOI: toad043).

Kaewsashan M K., J. Wangkeeree, J. Roddee and Y. Hanboonsong. 2023 Efficiency of entomopathogenic fungi *Metarhizium anisopliae* BCC16762 and *Beauveria bassiana* BCC2779 after in vivo passage through the leafhoppers (*Matsumuratettix hiroglyphicus* (Matsumura)). *Khon Kaen Agriculture Journal*. (suppl.1). 208-214.

- Noonark A., A. Prutale, **J. Roddee***, N. Chansawang, J. Wangkeeree and Y. Hanboonsong. 2023. The bio- produces of entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* (Balsamo) like pellets to control the brown planthopper (*Nilaparvata lugens* (Stål)). *Khon Kaen Agriculture Journal*. (suppl.1). 222-229.
- Ondee T., N. Thomanat, V. Jitjapo, N. Chansawang and **J. Roddee*** and Y. Hanboonsong. 2023. The effectiveness of containers for black soldier fly larvae (*Hermetia illucens* L.) domestication in household. *Khon Kaen Agriculture Journal*. (suppl.1). 571-578.
- Hoemkhunthod N., Pat-on Kunya, S. Pimkhonburee, **J. Roddee***, I. Voraphab, J. Wangkeeree and Y. Hanboonsong. 2023. Diversity and occurrence of insects in the forest rehabilitation at Suranaree University of Technology *Khon Kaen Agriculture Journal*. (suppl.1). 579-586.
- Pansuntia R., K. Fanpimai, **J. Roddee***, S. Promboot, P. Sangsawad, K. Promyo and T. Phahom. Product development of furikake-rice seasoning from the cricket. *Khon Kaen Agriculture Journal*. (suppl.1). 587-594.
- Kaewsashan K., J. Wangkeeree, **J. Roddee** and Y. Hanboonsong. 2022. Effect of Entomopathogenic Fungi on Phytoplasma Transmission by Leafhopper (*Matsumuratettix hiroglyphicus* (Matsumura)), Vector of Sugarcane White Leaf Disease. *KHON KAEN AGRICULTURE JOURNAL SUPPL. 1: (2022).154-160*.
- Wangkeeree J. K. Suwanchaisri., **J. Roddee.** and Y. Hanboonsong. 2022. Selective Elimination of *Wolbachia* from the Leafhopper *Yamatotettix flavovittatus* Matsumura. *Current Microbiology* (2022) 79:173
<https://doi.org/10.1007/s00284-022-02822-8>.
- Wangkeeree, J., P. Sanit, **J. Roddee,** and Y. Hanboonsong. 2021. Population Dynamics of *Wolbachia* in the Leafhopper Vector *Yamatotettix flavovittatus* (Hemiptera: Cicadellidae). *Journal of Insect Science*, (2021) 21(6): 16; 1–8
- Roddee J.,** Backus E. A., Wangkeeree, J., and Hanboonsong, Y. 2021. Alteration in the Stylet Probing Behavior and Host Preference of the Vector *Matsumuratettix hiroglyphicus* (Hemiptera: Cicadellidae) After Infection with Sugarcane White Leaf Phytoplasma. *Journal of Economic Entomology*.114 (3), 1081–1090. doi: 10.1093/jee/toab059
- Wangkeeree J., P. Sanit, **J. Roddee,** and Y. Hanboonsong. 2021. Phylogeny and Strain Typing of *Wolbachia* from *Yamatotettix flavovittatus* Matsumura Leafhoppers. *Current Microbiology* 78(4): 1367 – 1376. DOI: 10.1007/s00284-021-02405-z.

- Wangkeeree J., P. Tewaruxsa, **J. Roddee**, and Y. Hanboonsong (2020a). *Wolbachia* (Rickettsiales: Alphaproteobacteria) infection in the leafhopper Vector of sugarcane white leaf disease. *Journal of Insect Science*. 20(3): 20; 1–8. doi: 10.1093/jisesa/ieaa053.
- Wangkeeree J., K. Suwanchaisri, **J. Roddee**, and Y. Hanboonsong (2020b). Effect of *Wolbachia* infection states on the life history and reproductive traits of the leafhopper *Yamatotettix flavovittatus* Matsumura. *Journal of Invertebrate Pathology*. 177: 107490. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2020.107490>.
- Roddee J.**, N. Nonkheang and S. Klangjoho. (2020). Efficacy of botanical extracts against tomato mealybug *Ferrisia virgata* (Hemiptera: Pseudococcidae). *KHON KAEN AGR. J.* 48 (6): 1434-1441 (2020)./doi:10.14456/kaj.2020
- Boon-um, K. and **Roddee J.** 2020. Development of artificial diet for growth rate and survival rate of silkworm *Bombyx mori* L. *KHON KAEN AGR. J.* 48 SUPPL. 1: 773 – 782.
- Prommahit P., Bamphenphiartham S. and **Roddee J.** 2020. The influence of host plants to the growth rate and oviposition of the butterfly *Cethosia cyane euanthes* Drury. *KHON KAEN AGR. J.* 48 SUPPL. 1: 765 – 772.
- Nonkheang N., Klangjoho S. and **Roddee J.** 2019. Effect of Herb Extracts in Controlling Tomato-aphids *Macrosiphum euphorbiae* (Hemiptera: Aphididae). *KHON KAEN AGR. J.* 47. (suppl.1) 365 - 370.
- Chaiyawan N., R. Morakote and **Roddee J.** 2019. Seasonal Fluctuations of Melon Insect Pests. *KHON KAEN AGR. J.* 47. (suppl.1). 937 – 946.
- Roddee, J.**, Kobori, Y. and Hanboonsong, Y. 2019. Characteristics of sugarcane white leaf phytoplasma transmission by the leafhopper *Matsumuratettix hiroglyphicus* (Matsumura). *Entomologia Experimentalis et Applicata*. 167: 108– 117. doi: 10.1111/eea.1274.
- Roddee, J.**, Y. Kobori and Y. Hanboonsong. 2018. Multiplication and Distribution of Sugarcane White Leaf Phytoplasma Transmitted by the Leafhopper, *Matsumuratettix hiroglyphicus*(Matsumura) (Hemiptera: Cicadellidae) , in Infected Sugarcane. *Sugar Tech*. 20(4). 445 - 453. doi:10.1007/s12355-017-0559-x.
- Roddee J.** and Y. Hanboonsong. 2018. Optimal latent period of sugarcane white leaf phytoplasma disease transmission by leafhopper vector. *Khon Kaen Agriculture Journal*. 46(6):1067-1074. (in Thai)
- Roddee J.** and Y. Hanboonsong. 2018. Determination of feeding behavior of leafhopper *Matsumuratettix hiroglyphicus* (Matsumura), vector of sugarcane white leaf

disease be electropenetrography (EPG) and technique application. Khon Kaen Agriculture Journal. 2: 218-225. (in Thai)

- Roddee, J.**, Y. Hanboonsong, and Y. Kobori. 2018. Sugarcane mechanism and distribution of phytoplasma in infected sugarcane transmit by leafhopper *Matsumuratettix hiroglyphicus* (Matsumura), vector of sugarcane white leaf disease. RGJ – Ph. D. Congress 19. 7 – 9 June 2018. Jomtien Palm Beach Hotel & Resort Pattaya, Chonburi, Thailand.
- Roddee, J.**, Y. Kobori, H. Yorozuya, and Y. Hanboonsong. 2017. Characterization of direct current-electrical penetration graph waveforms and correlation with the probing behavior of *Matsumuratettix hiroglyphicus* (Hemiptera: Cicadellidae), the insect vector of sugarcane white leaf phytoplasma. Journal of Economic Entomology, 110 (3), 893–902. doi: 10.1093/jee/tox090.
- Roddee, J.** E. A. Backus, F. A. Cervantes and Y. Hanboonsong. Acquisition of *Xylella fastidiosa* causes changes to the inoculation behavior (EPG X wave) of an efficient sharpshooter vector. HEMIPTERAN-PLANT INTERACTIONS SYMPOSIUM. 4 - 8 June 2017. The CSIC Residencia located in Calle Pinar 21, Madrid, Spain. pp: 73.
- Hanboonsong, Y., **Roddee, J.** and Soonthorn, S. Evaluation of sugarcane varieties for differential resistance to insect vector of sugarcane white leaf disease. HEMIPTERAN-PLANT INTERACTIONS SYMPOSIUM. 4 - 8 June 2017. The CSIC Residencia located in Calle Pinar 21, Madrid, Spain. pp: 180.