เอกสารวิชาการ

การใช้สารกำจัดแมลงและไรศัตรูพืช

เพื่อแก้ไขปัญหาความต้านทานศัตรูพืช

สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช

กรมวิชาการเกษตร

ประจำปีงบประมาณ 2564

คำนำ

สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช กรมวิชาการเกษตร มีหน้าที่ศึกษา ค้นคว้า วิจัย ทดลอง และพัฒนาวิชาการเกษตรด้านอารักขาพืชตามนโยบายสำคัญและแนวทางการปฏิบัติงานของกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ เรื่องการลดการใช้สารเคมีทางการเกษตร นอกจากนี้กรมวิชาการเกษตรยังมีนโยบายอารักขาพืชที่มุ่งเน้นลดการใช้สารกำจัดศัตรูพืชและใช้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด เพื่อลดปัญหาพิษตกค้างของสารเคมีที่เป็นอันตรายต่อเกษตรกรและผู้บริโภค และยกระดับมาตรฐานการผลิตพืชและผลผลิตสู่เกษตรปลอดภัยอย่างยั่งยืน

เนื่องจากเกษตรกรมีการใช้สารกำจัดศัตรูพืชบ่อยครั้งโดยไม่มีการหมุนเวียนกลุ่มสารอย่างถูกต้อง ทำให้ศัตรูพืชสร้างความต้านทานต่อสารกำจัดศัตรูพืชมากขึ้นเรื่อย ๆ ส่งผลให้เกษตรกรต้องใช้สารในปริมาณที่สูงขึ้นเพื่อควบคุมศัตรูพืชที่ต้านทาน เพื่อปกป้องผลผลิตทางการเกษตรให้มีคุณภาพตรงตามความต้องการของตลาด สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืชจึงได้มีการศึกษาวิจัยโดยมีเป้าหมายเพื่อหาเทคโนโลยีที่หมาะสมสำหรับจัดการปัญหาศัตรูพืชต้านทาน ซึ่งจะทำให้สามารถลดการใช้สารเคมีทางการเกษตรที่เพิ่มมากขึ้นในการป้องกันกำจัดศัตรูพืชต้านทาน และยังทำให้สามารถรักษาผลผลิตทางการเกษตรให้มีคุณภาพ เพื่อเผยแพร่สู่เกษตรกรต่อไป

เอกสารวิชาการ การใช้สารกำจัดแมลงและไรศัตรูพืชเพื่อแก้ไขปัญหาความต้านทานศัตรูพืชเล่มนี้จัดทำขึ้นเพื่อเป็นคู่มือในการแก้ปัญหาแมลงและไรต้านทานต่อสารกำจัดศัตรูพืชสำหรับนักวิชาการ เกษตรกร และผู้สนใจทั่วไป เนื้อหาในเอกสารนี้เป็นการรวบรวมข้อมูลทางวิชาการและองค์ความรู้จากนักวิจัยหลายท่านที่มีประสบการณ์ทำงานเกี่ยวข้องกับการบริหารศัตรูพืช ซึ่งข้อมูลและองค์ความรู้ที่รวบรวมจะเป็นประโยชน์ต่อการแก้ปัญหาความต้านทานของแมลงและไรศัตรูพืชของประเทศไทย สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืชหวังเป็นอย่างยิ่งว่าข้อมูลในเอกสารวิชาการเล่มนี้จะเป็นประโยชน์ เพื่อนำไปปฏิบัติเพื่อแก้ปัญหาความต้านทานของแมลงและไรศัตรูพืชอย่างมีประสิทธิภาพ และถูกต้องตามหลักวิชาการ อันจะทำให้การป้องกันกำจัดแมลงและไรศัตรูพืชทำได้ง่ายขึ้น ซึ่งจะเป็นการลดการใช้สารเคมีทางการเกษตรได้อย่างยั่งยืน

(ศรุต สุทธิอารมณ์)
ผู้อำนวยการสำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช

บทนำ

เอกสารวิชาการ การใช้สารกำจัดแมลงและไรศัตรูพืชเพื่อแก้ไขปัญหาความต้านทานศัตรูพืชเล่มนี้ เป็นเอกสารวิชาการที่รวบรวมความรู้ในการแก้ปัญหาความต้านทานของแมลงและไรศัตรูพืชทางการเกษตร โดยเฉพาะ มีเนื้อหาครอบคลุมการแก้ปัญหาความต้านทานในหนอนใยผักในพืชตระกูลกะหล่ำ เพลี้ยไฟพริกในพริก กุหลาบ มะม่วง และมะนาว เพลี้ยไฟฝ้ายในกล้วยไม้สกุลหวาย หนอนกระทู้ลายจุดในข้าวโพด และไรสองจุดในสตรอว์เบอร์รี

ปัจจุบันเกษตรกรมักประสบปัญหาเรื่องค่าใช้จ่ายในการป้องกันกำจัดศัตรูพืชเพิ่มขึ้นมาก ทั้งนี้เนื่องจากเกษตรกรหลายรายมักใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชอย่างไม่ถูกต้อง และมักใช้สารกลุ่มเดิมซ้ำกันบ่อยครั้งโดยไม่มีการหยุดพักการใช้สารแต่ละกลุ่มนานเพียงพอ ทำให้แมลงและไรศัตรูพืชที่มีความต้านทานเกิดการระบาดเพิ่มมากขึ้นและมีแนวโน้มที่จะขยายตัวเป็นวงกว้างในแหล่งปลูกพืชต่าง ๆ ของประเทศไทย ปัญหาศัตรูพืชต้านทานทำให้การป้องกันกำจัดทำได้ยาก และทำให้ผลผลิตทางการเกษตรเกิดความสูญเสียทั้งด้านคุณภาพและปริมาณเพิ่มมากขึ้นในแต่ละปี เป็นอุปสรรคต่อการผลิตผลผลิตเกษตรที่มีคุณภาพสูงเพื่อแข่งขันในตลาดทั้งภายในประเทศและต่างประเทศ

วิธีจัดการปัญหาความต้านทานของศัตรูพืชที่ปฏิบัติได้ง่ายที่สุดก็คือ การใช้สารแบบหมุนเวียน วิธีการนี้จะใช้สารกำจัดศัตรูพืชชนิดต่าง ๆ ที่อยู่ต่างกลุ่มกันในแต่ละช่วงเวลา หรือในแต่ละหนึ่งอายุขัยของศัตรูพืช การที่นักวิชาการด้านการเกษตรและเกษตรกรมีความรู้ความเข้าใจในวิธีการจัดการความต้านทานของศัตรูพืชและสามารถวางแผนการใช้สารกำจัดศัตรูพืชแบบหมุนเวียนอย่างถูกต้องและเหมาะสมในแต่ละพื้นที่ปลูกก็จะทำให้การแก้ปัญหาศัตรูพืชต้านทานในแต่ละพื้นที่ประสบความสำเร็จ

ในเอกสารวิชาการ การใช้สารกำจัดแมลงและไรศัตรูพืชเพื่อแก้ไขปัญหาความต้านทานศัตรูพืชเล่มนี้ มีเนื้อหาสำคัญด้านต่าง ๆ ได้แก่ สถานการณ์ความต้านทานของแมลงและไรต่อสารกำจัดศัตรูพืชชนิดต่าง ๆ ทำให้ทราบว่าพื้นที่ใดสามารถใช้สารชนิดใด และพื้นที่ใดไม่ควรใช้สารชนิดใด ทราบการจัดแบ่งกลุ่มสารฆ่าแมลงและไรโดย IRAC (Insecticide Resistance Action Committee) เพื่อใช้ในการเลือกกลุ่มสารในการใช้แบบหมุนเวียน ทราบสาเหตุการเกิดความต้านทานของศัตรูพืช และกลไกความต้านทานเพื่อสามารถลดปัจจัยในการเกิดความต้านทานและสามารถหลีกเลี่ยงการเลือกใช้สารที่มีความต้านทานข้าม (cross-resistance) ทราบหลักการจัดการความต้านทานและการใช้สารแบบหมุนเวียนเพื่อใช้ปฏิบัติในแปลงปลูกพืช ทำให้สามารถลดและแก้ปัญหาความต้านทานอย่างถูกต้องตามหลักวิชาการ อีกทั้งยังมีตัวอย่างการใช้สารแบบหมุนเวียนเพื่อแก้ปัญหาความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงและไรศัตรูพืชที่ได้จากงานวิจัยของสำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช ซึ่งเนื้อหาทั้งหมดจะเป็นแนวทางทำให้นักวิชาการ เกษตรกร และผู้สนใจทั่วไป ที่ได้อ่านเอกสารวิชาการเล่มนี้มีความสามารถวางแผนและตัดสินใจเลือกกลุ่มสารเพื่อใช้แบบหมุนเวียนในพื้นที่ปลูกพืชชนิดต่าง ๆ เพื่อแก้ปัญหาศัตรูพืชต้านทานได้อย่างถูกต้องด้วยตัวเอง ซึ่งจะทำให้ลดปัญหาการสูญเสียผลผลิตเกษตรทั้งด้านคุณภาพและปริมาณเนื่องจากการระบาดทำลายของศัตรูพืชที่ต้านทานต่อสารกำจัดศัตรูพืช อันจะทำให้ภาพรวมของประเทศสามารถผลิตผลผลิตทางการเกษตรที่มีคุณภาพสูงเพื่อแข่งขันในตลาดทั้งภายในประเทศและต่างประเทศเพิ่มมากขึ้น

สารบัญ

	หน้า
คำนำ	i
บทนำ	ii
สถานการณ์ความต้านทานของแมลงและไรต่อสารกำจัดศัตรูพืช	1
การจัดแบ่งกลุ่มสารกำจัดแมลงและไรโดย IRAC เพื่อใช้ในการจัดการความต้านทาน	48
ความรู้พื้นฐานความต้านทานของแมลงและไรต่อสารกำจัดศัตรูพืช	62
ความรู้พื้นฐานกลไกความต้านทานสารกำจัดแมลงและไรเพื่อการใช้สารแบบหมุนเวียน	71
หลักการจัดการความต้านทานของแมลงและไรต่อสารกำจัดศัตรูพืช	79
หลักการใช้สารแบบหมุนเวียนเพื่อแก้ปัญหาความต้านทานต่อสารกำจัดศัตรูพืชในแมลงและไร	95
คำแนะนำการใช้สารแบบหมุนเวียนเพื่อแก้ปัญหาความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงและไรในพืชเศรษฐกิจบางชนิด	102
ภาคผนวก	116
ทำเนียบผู้ทรงความรู้และผู้เชี่ยวชาญด้านการใช้สารกำจัดแมลงและไรเพื่อแก้ปัญหาความต้านทานศัตรูพืช	141
ชื่อสารกำจัดแมลงและไร	143

กรมวิชาการเกษตร

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ความต้านทานต่อสาร spinosad (กลุ่ม 5) ในหนอนใยผักจากพื้นที่ต่าง ๆ ของประเทศไทยในช่วงปี พ.ศ. 2555-2557	4
2	ความต้านทานต่อสาร spinetoram (กลุ่ม 5) ในหนอนใยผักจากพื้นที่ต่าง ๆ ของประเทศไทยในช่วงปี พ.ศ. 2555-2557	5
3	ความต้านทานต่อสาร indoxacarb (กลุ่ม 22) ในหนอนใยผักจากพื้นที่ต่าง ๆ ของประเทศไทยในช่วงปี พ.ศ. 2555-2557	6
4	ความต้านทานต่อสาร emamectin benzoate (กลุ่ม 6) ในหนอนใยผักจากพื้นที่ต่าง ๆ ของประเทศไทยในช่วงปี พ.ศ. 2555-2557	7
5	ความต้านทานต่อสาร fipronil (กลุ่ม 2B) ในหนอนใยผักจากพื้นที่ต่าง ๆ ของประเทศไทยในช่วงปี พ.ศ. 2555-2557	8
6	ความต้านทานต่อสาร chlorfenapyr (กลุ่ม 13) ในหนอนใยผักจากพื้นที่ต่าง ๆ ของประเทศไทยในช่วงปี พ.ศ. 2555-2557	9
7	ความต้านทานต่อสาร tolfenpyrad (กลุ่ม 21) ในหนอนใยผักจากพื้นที่ต่าง ๆ ของประเทศไทยในช่วงปี พ.ศ. 2555-2557	10
8	ความต้านทานต่อสาร flubendiamide (กลุ่ม 28) ในหนอนใยผักจากพื้นที่ต่าง ๆ ของประเทศไทยในช่วงปี พ.ศ. 2555-2557	11
9	ความต้านทานต่อสาร chlorantraniliprole (กลุ่ม 28) ในหนอนใยผักจากพื้นที่ต่าง ๆ ของประเทศไทยในช่วงปี พ.ศ. 2555-2557	12
10	ความต้านทานต่อแบคทีเรีย *Bacillus thuringiensis* subsp. *aizawai* (กลุ่ม 11) ในหนอนใยผักจากพื้นที่ต่าง ๆ ของประเทศไทยในช่วงปี พ.ศ. 2555-2557	13
11	ความต้านทานต่อแบคทีเรีย *Bacillus thuringiensis* subsp. *kurstaki* (กลุ่ม 11) ในหนอนใยผักจากพื้นที่ต่าง ๆ ของประเทศไทยในช่วงปี พ.ศ. 2555-2557	14
12	การตอบสนองต่อสารกำจัดแมลงชนิดต่าง ๆ ต่อการตายของเพลี้ยไฟพริกที่ทำลายพริกในแหล่งปลูก จังหวัดกาญจนบุรีและราชบุรีในช่วงปี พ.ศ. 2560-2561	16
13	การตอบสนองต่อสารกำจัดแมลงชนิดต่าง ๆ ต่อการตายของเพลี้ยไฟฝ้ายที่ทำลายกล้วยไม้สกุลหวาย ในแหล่งปลูก จังหวัดนครปฐมในปี พ.ศ.2561	19
14	การตอบสนองต่อสารกำจัดแมลงชนิดต่าง ๆ ต่อการตายของเพลี้ยไฟฝ้ายที่ทำลายกล้วยไม้สกุลหวาย ในแหล่งปลูก จังหวัดปทุมธานี และนนทบุรีในปี พ.ศ. 2561	20
15	การตอบสนองต่อสารกำจัดแมลงชนิดต่าง ๆ ต่อการตายของเพลี้ยไฟพริกที่ทำลายกุหลาบพวงในแหล่งปลูก จังหวัดนครปฐม ในช่วงปี พ.ศ.2560-2561	23

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
16	การตอบสนองต่อสารกำจัดแมลงชนิดต่าง ๆ ต่อการตายของเพลี้ยไฟพริกทำลายมะม่วงในแหล่งปลูก จังหวัดสุพรรณบุรี ในปี พ.ศ.2562	26
17	การตอบสนองต่อสารกำจัดแมลงชนิดต่าง ๆ ต่อการตายของเพลี้ยไฟพริกที่ทำลายมะม่วงในแหล่งปลูก จังหวัดสุโขทัย พิษณุโลก และพิจิตร ในช่วงปี พ.ศ. 2562-2563	27
18	การตอบสนองต่อสารกำจัดแมลงชนิดต่าง ๆ ต่อการตายของเพลี้ยไฟพริกที่ทำลายมะม่วงในแหล่งปลูก จังหวัดฉะเชิงเทรา และนครราชสีมาในปี พ.ศ. 2562	28
19	การตอบสนองต่อสารกำจัดแมลงชนิดต่าง ๆ ต่อการตายของเพลี้ยไฟพริกที่ทำลายมะนาวในแหล่งปลูก จังหวัดกำแพงเพชร และจังหวัดพิจิตร ในช่วงปี พ.ศ. 2561-2562	31
20	การตอบสนองต่อสารกำจัดแมลงชนิดต่าง ๆ ต่อการตายของเพลี้ยไฟพริกที่ทำลายมะนาวในแหล่งปลูก จังหวัดสุพรรณบุรี และจังหวัดชัยนาทในปี พ.ศ. 2561	32
21	การตอบสนองต่อสารกำจัดแมลงชนิดต่าง ๆ ต่อการตายของเพลี้ยไฟฝ้ายที่ทำลายเมล่อนในแหล่งปลูก จังหวัดสุพรรณบุรี กาญจนบุรี พระนครศรีอยุธยาในปี พ.ศ.2562	34
22	ความต้านทานต่อสาร pyridaben (กลุ่ม 21A) ของไรสองจุดในสตรอว์เบอร์รีจากพื้นที่ต่าง ๆ ของประเทศไทยในปี พ.ศ.2562	36
23	ความต้านทานต่อสาร propargite (กลุ่ม 12C) ของไรสองจุดในสตรอว์เบอร์รีจากพื้นที่ต่าง ๆ ของประเทศไทยในปี พ.ศ.2562	37
24	ความต้านทานต่อสาร fenpyroximate (กลุ่ม 21A) ของไรสองจุดในสตรอว์เบอร์รีจากพื้นที่ต่าง ๆ ของประเทศไทยในปี พ.ศ.2562	38
25	ความต้านทานต่อสาร tebufenpyrad (กลุ่ม 21A) ของไรสองจุดในสตรอว์เบอร์รีจากพื้นที่ต่าง ๆ ของประเทศไทยในปี พ.ศ.2562	39
26	ความต้านทานต่อสาร spiromesifen (กลุ่ม 23) ของไรสองจุดในสตรอว์เบอร์รีจากพื้นที่ต่าง ๆ ของประเทศไทยในปี พ.ศ.2562	40
27	ความต้านทานต่อสาร abamectin (กลุ่ม 6) ของไรสองจุดในสตรอว์เบอร์รีจากพื้นที่ต่าง ๆ ของ ประเทศไทยในปี พ.ศ.2562	41
28	การตอบสนองต่อสารกำจัดแมลงชนิดต่าง ๆ ต่อการตายของหนอนกระทู้ข้าวโพดลายจุดที่ทำลายข้าวโพดในแหล่งปลูก จังหวัดกาญจนบุรี ปี พ.ศ.2562	44

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
29	ความต้านทานต่อสาร emamectin benzoate (กลุ่ม 6) ในหนอนกระทู้ข้าวโพดลายจุดที่ อ.บึงสามพัน จ.เพชรบูรณ์ และ อ.ท่าม่วง จ.กาญจนบุรี ในช่วงปี พ.ศ.2563-2564	45
30	ภาพรวมของกลไกการเกิดความต้านทานต่อสารกำจัดแมลง	71
31	การใช้สารกำจัดแมลงแบบหมุนเวียนตามหลัก IRM	87
32	การใช้สารกำจัดแมลงแบบหมุนเวียน (rotation)	87
33	แผนการพ่นสารแบบหมุนเวียนตามกลุ่มสารเป็นวงจรต่อเนื่องกันเพื่อแก้ปัญหาความต้านทานของศัตรูพืชต่อสารกำจัดแมลง	96
34	แผนการพ่นสารแบบหมุนเวียนตามกลุ่มสารเป็นวงจรต่อเนื่องกันเพื่อแก้ปัญหาความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงในหนอนกระทู้	97
35	แผนการพ่นสารแบบหมุนเวียนตามกลุ่มสารเป็นวงจรต่อเนื่องกันเพื่อแก้ปัญหาความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงในเพลี้ยไฟ	97
36	แผนการพ่นสารแบบหมุนเวียนตามกลุ่มสารเป็นวงจรต่อเนื่องกันเพื่อแก้ปัญหาความต้านทานของศัตรูพืชต่อสารกำจัดแมลงในพืชมีอายุสั้นกว่า 50 วัน	98
37	แผนการพ่นสารแบบหมุนเวียนตามกลุ่มสารเพื่อแก้ปัญหาความต้านทานของศัตรูพืชต่อสารกำจัดแมลงในพืชมีอายุประมาณ 50-70 วัน	99

กรมวิชาการเกษตร

สารบัญตารางภาคผนวก

ตารางที่		หน้า
1	ความต้านทานต่อสารกำจัดแมลง spinosad (กลุ่ม 5) ในหนอนใยผักจากพื้นที่ต่างๆ ของประเทศไทยในช่วงปี พ.ศ. 2555-2557	117
2	ความต้านทานต่อสารกำจัดแมลง spinetoram (กลุ่ม 5) ในหนอนใยผักจากพื้นที่ต่างๆ ของประเทศไทยในช่วงปี พ.ศ. 2555-2557	118
3	ความต้านทานต่อสารกำจัดแมลง indoxacarb (กลุ่ม 22A) ในหนอนใยผักจากพื้นที่ต่างๆ ของประเทศไทยในช่วงปี พ.ศ. 2555-2557	119
4	ความต้านทานต่อสารกำจัดแมลง emamectin benzoate (กลุ่ม 6) ในหนอนใยผัก จากพื้นที่ต่างๆ ของประเทศไทยในช่วงปี พ.ศ. 2555-2557	120
5	ความต้านทานต่อสารกำจัดแมลง fipronil (กลุ่ม 2B) ในหนอนใยผักจากพื้นที่ต่างๆ ของประเทศไทยในช่วงปี พ.ศ. 2555-2557	121
6	ความต้านทานต่อสารกำจัดแมลง chlorfenapyr (กลุ่ม 13) ในหนอนใยผักจากพื้นที่ต่างๆ ของประเทศไทยในช่วงปี พ.ศ. 2555-2557	122
7	ความต้านทานต่อสารกำจัดแมลง tolfenpyrad (กลุ่ม 21) ในหนอนใยผักจากพื้นที่ต่างๆ ของประเทศไทยในช่วงปี พ.ศ. 2555-2557	123
8	ความต้านทานต่อสารกำจัดแมลง flubendiamide (กลุ่ม 28) ในหนอนใยผักจากพื้นที่ต่างๆ ของประเทศไทยในช่วงปี พ.ศ. 2555-2557	124
9	ความต้านทานต่อสารกำจัดแมลง chlorantraniliprole (กลุ่ม 28) ในหนอนใยผักจากพื้นที่ต่างๆ ของประเทศไทยในช่วงปี พ.ศ. 2555-2557	125
10	ความต้านทานต่อแบคทีเรีย *Bacillus thuringiensis* subsp. *aizawai* (กลุ่ม 11) ในหนอนใยผักจากพื้นที่ต่างๆ ของประเทศไทยในช่วงปี พ.ศ. 2555-2557	126
11	ความต้านทานต่อแบคทีเรีย *Bacillus thuringiensis* subsp. *kurstaki* (กลุ่ม 11) ในหนอนใยผักจากพื้นที่ต่างๆ ของประเทศไทยในช่วงปี พ.ศ. 2555-2557	127
12	ผลของสารกำจัดแมลงชนิดต่าง ๆ ต่อการตายในเพลี้ยไฟพริกที่ทำลายพริกที่ปลูกในจังหวัดราชบุรี และกาญจนบุรี ในปี พ.ศ. 2560-2561	128
13	ผลของสารกำจัดแมลงชนิดต่าง ๆ ต่อการตายในเพลี้ยไฟฝ้ายที่ทำลายกล้วยไม้สกุลหวายที่ปลูกในจังหวัดนครปฐม ในปี พ.ศ. 2560-2561	128
14	ผลของสารกำจัดแมลงชนิดต่าง ๆ ต่อการตายในเพลี้ยไฟฝ้ายที่ทำลายกล้วยไม้สกุลหวายที่ปลูกในจังหวัดปทุมธานี และนนทบุรี ในปี พ.ศ. 2560-2561	129
15	ผลของสารกำจัดแมลงชนิดต่าง ๆ ต่อการตายในเพลี้ยไฟพริกที่ทำลายกุหลาบพวงที่ปลูกในจังหวัดนครปฐม ในปี พ.ศ. 2560-2561	129

สารบัญตารางภาคผนวก (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
16	ผลของสารกำจัดแมลงชนิดต่าง ๆ ต่อการตายในเพลี้ยไฟพริกที่ทำลายมะม่วงที่ปลูกในจังหวัดสุพรรณบุรี ในปี พ.ศ. 2562	130
17	ผลของสารกำจัดแมลงชนิดต่าง ๆ ต่อการตายในเพลี้ยไฟพริกที่ทำลายมะม่วงที่ปลูกในจังหวัดสุโขทัย พิษณุโลก และพิจิตร ในปี พ.ศ. 2562-2563	130
18	ผลของสารกำจัดแมลงชนิดต่าง ๆ ต่อการตายในเพลี้ยไฟพริกที่ทำลายมะม่วงที่ปลูกในจังหวัดฉะเชิงเทรา และนครราชสีมา ในปี พ.ศ. 2562	131
19	ผลของสารกำจัดแมลงชนิดต่าง ๆ ต่อการตายในเพลี้ยไฟพริกที่ทำลายมะนาวที่ปลูกในจังหวัดกำแพงเพชร และพิจิตร ในปี พ.ศ. 2561-2562	131
20	ผลของสารกำจัดแมลงชนิดต่าง ๆ ต่อการตายในเพลี้ยไฟพริกที่ทำลายมะนาวที่ปลูกในจังหวัดสุพรรณบุรี และชัยนาท ในปี พ.ศ. 2561	132
21	ผลของสารกำจัดแมลงชนิดต่าง ๆ ต่อการตายในเพลี้ยไฟฝ้ายที่ทำลายเมล่อนที่ปลูกในจังหวัดสุพรรณบุรี กาญจนบุรี และพระนครศรีอยุธยา ในปี พ.ศ. 2562	132
22	ความเป็นพิษของสาร pyridaben 20% WP (กลุ่ม 21A) ต่อไรสองจุด *Tetranychus urticae* Koch จากแหล่งปลูกสตรอว์เบอร์รีในประเทศไทย ในปี พ.ศ. 2562	133
23	ความเป็นพิษของสาร propargite 30% WP (กลุ่ม 12C) ต่อไรสองจุด *Tetranychus urticae* Koch จากแหล่งปลูกสตรอว์เบอร์รีในประเทศไทย ในปี พ.ศ. 2562	134
24	ความเป็นพิษของสาร fenpyroximate 5% SC (กลุ่ม 21A) ต่อไรสองจุด *Tetranychus urticae* Koch จากแหล่งปลูกสตรอว์เบอร์รีในประเทศไทยในปี พ.ศ. 2562	135
25	ความเป็นพิษของสาร tebufenpyrad 36% EC (กลุ่ม 21A) ต่อไรสองจุด *Tetranychus urticae* Koch จากแหล่งปลูกสตรอว์เบอร์รีในประเทศไทยในปี พ.ศ. 2562	136
26	ความเป็นพิษของสาร spiromesifen 24% SC (กลุ่ม 23) ต่อไรสองจุด *Tetranychus urticae* Koch จากแหล่งปลูกสตรอว์เบอร์รีในประเทศไทย ในปี พ.ศ. 2562	137
27	ความเป็นพิษของสาร abamectin 1.8% EC (กลุ่ม 6) ต่อไรสองจุด *Tetranychus urticae* Koch จากแหล่งปลูกสตรอว์เบอร์รีในประเทศไทย ในปี พ.ศ. 2562	138
28	ประสิทธิภาพสารกำจัดแมลงชนิดต่างๆ ต่อหนอนกระทู้ข้าวโพดลายจุดสายพันธุ์ท่าม่วง ในสภาพห้องปฏิบัติการ (กรกฎาคม 2562)	139

สารบัญตารางภาคผนวก (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
29	ผลการทดสอบความต้านทานสาร emamectin benzoate (กลุ่ม 6) ในประชากรหนอนกระทู้ข้าวโพดลายจุดจาก อ.บึงสามพัน จ.เพชรบูรณ์ และ อ.ท่าม่วง จ.กาญจนบุรี ในช่วงปี พ.ศ. 2563-2564	140

กรมวิชาการเกษตร

สถานการณ์ความต้านทานของแมลงและไร ต่อสารกำจัดศัตรูพืช

บทนำ

ความต้านทานของแมลงศัตรูพืชต่อสารกำจัดแมลงและไรเป็นปัญหาสำคัญในการป้องกันกำจัดศัตรูพืชสำหรับเกษตรกรไทยในปัจจุบัน ปัญหานี้ทำให้เกษตรกรไม่สามารถปกป้องผลผลิตการเกษตรจากการทำลายของศัตรูพืชได้อย่างทันท่วงทีเนื่องจากสารกำจัดศัตรูพืชหลาย ๆ ชนิดหมดประสิทธิภาพในการกำจัดศัตรูพืช เกษตรกรหลายรายสูญเสียรายได้หรือขาดทุนและต้องเป็นหนี้ก็เพราะผลผลิตเกษตรเสียหายจากการทำลายของศัตรูพืชต้านทานซึ่งไม่สามารถกำจัดได้ แนวทางสำคัญและง่ายที่สุดในการป้องกันและแก้ปัญหาแมลงและไรศัตรูพืชต้านทานต่อสารกำจัดแมลงคือการหยุดใช้สารที่แมลงและไรที่กำลังสร้างความต้านทาน และใช้สารที่แมลงและไรไม่มีความต้านทานหรือมีความต้านทานน้อยแบบหมุนเวียนตามกลุ่มกลไกการออกฤทธิ์

ในการใช้สารแบบหมุนเวียนในแต่ละพื้นที่จำเป็นต้องทราบสถานการณ์ว่าสารกำจัดแมลงหรือไรกลุ่มใดบ้างที่แมลงศัตรูพืชมีความต้านทานสูงและควรงดใช้ หรือสารกำจัดแมลงหรือไรกลุ่มใดบ้างที่แมลงหรือไรมีความต้านทานน้อยและไม่มีความต้านทานเพื่อนำมาใช้แบบหมุนเวียน สำหรับข้อมูลสถานการณ์ความต้านทานของแมลงและไรศัตรูพืชในพื้นที่ต่าง ๆ นั้น สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืชได้ศึกษาวิจัยไว้แล้วในแมลงและไรบางชนิด เช่น หนอนใยผัก เพลี้ยไฟที่ทำลายพริก กล้วยไม้สกุลหวาย กุหลาบพวง มะม่วง มะนาว เมล่อน ไรสองจุดใน สตรอว์เบอร์รี และหนอนกระทู้ข้าวโพดลายจุด การทราบชนิดสารหรือกลุ่มสารที่ศัตรูพืชดังกล่าวไม่มีความต้านทานหรือมีความต้านทานน้อยทำให้สามารถเลือกใช้สารในการวางแผนการใช้สารแบบหมุนเวียนตามกลุ่มกลไกการออกฤทธิ์อย่างถูกต้องเพื่อลดปัญหาความต้านทานต่อสารกำจัดศัตรูพืชได้อย่างมีประสิทธิภาพ

สถานการณ์ความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงในหนอนใยผัก (*Plutella xylostella* L.)

หนอนใยผักเป็นแมลงศัตรูพืชตระกูลกะหล่ำที่มีการระบาดอย่างรุนแรงและรวดเร็ว การระบาดของแมลงชนิดนี้ทำให้ผลผลิตเสียหายอย่างมาก เกษตรกรมักใช้สารกำจัดแมลงในการป้องกันกำจัดแมลงชนิดนี้ เนื่องจากสารกำจัดแมลงสามารถลดประชากรหนอนใยผักได้อย่างรวดเร็ว แต่เกษตรกรส่วนมากใช้สารกำจัดแมลงอย่างไม่ถูกต้องคือมักใช้สารชนิดเดิมหรือกลุ่มเดิมซ้ำกันบ่อยครั้งโดยไม่มีการหมุนเวียนสาร จึงทำให้หนอนใยผักมีความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงหลายชนิด Sukonthabhirom and Siripontangmun (2012) ได้รายงานความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงชนิดต่าง ๆ ในหนอนใยผักในหลายพื้นที่ของประเทศไทย โดยได้แบ่งระดับความต้านทานตามค่า Resistance factor (RF) หรือค่าความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงเมื่อเทียบกับประชากรแมลงอ่อนแอตาม Ahmad et al., (2007) และ Ahmad and Mehmood (2015) ดังนี้

ค่า RF $\leq$ 1	ไม่มีความต้านทาน (None, N)
ค่า RF = >1-10	มีความต้านทานต่ำมาก (Very Low, VL)
ค่า RF = >10-20	มีความต้านทานต่ำ (Low, L)
ค่า RF = >20-50	มีความต้านทานปานกลาง (Moderate, M)
ค่า RF = >50-100	มีความต้านทานสูง (High, H)
ค่า RF>100	มีความต้านทานสูงมาก (Very High, VH)

ซึ่งค่า RF = ค่า LC_{50} หรือค่าความเข้มข้นของสารกำจัดแมลงที่ทำให้แมลงแต่ละประชากรตาย 50% / ค่า LC_{50} ที่ต่ำที่สุดในประชากรแมลงอ่อนแอ

Sukonthabhirom and Siripontangmun (2012) ได้รายงานว่าในช่วงปี พ.ศ. 2555-2557 พบหนอนใยผักสร้างความต้านทานต่อสาร spinosad (กลุ่ม 5) สูงมากที่ อ. ศรีประจันต์ จ. สุพรรณบุรี และสร้างความต้านทานปานกลางที่ อ.สารภี จ. เชียงใหม่, อ. ปากช่อง จ. นครราชสีมา, อ. เมืองปทุมธานี จ. ปทุมธานี, อ. ไทรน้อย จ. นนทบุรี, อ. ชะอำ จ. เพชรบุรี และ อ. ท่าม่วง จ. กาญจนบุรี จึงควรลดการใช้สาร spinosad กับหนอนใยผักในพื้นที่ดังกล่าวเพื่อลดการสร้างความต้านทานเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 1, ตารางภาคผนวกที่ 1) ส่วนสาร spinetoram (กลุ่ม 5) นั้นพบว่าหนอนใยผักสร้างความต้านทานสูงและสูงมากที่ อ. ไทรน้อย จ. นนทบุรี, อ.ชะอำ จ.เพชรบุรี, อ.ศรีประจันต์ จ. สุพรรณบุรี และพบว่าหนอนใยผักสร้างความต้านทานปานกลางที่ อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา, อ.เมืองปทุมธานี จ.ปทุมธานี, อ ไทรน้อย จ. นนทบุรี และ อ. ท่าม่วง จ. กาญจนบุรี ดังนั้นควรลดการใช้สาร spinetoram กับหนอนใยผักในพื้นที่ดังกล่าวเพื่อป้องกันการสร้างความต้านทานเพิ่มมากขึ้น (ภาพที่ 2, ตารางภาคผนวกที่ 2)

ในสาร indoxacarb (กลุ่ม 22A) นั้นพบหนอนใยผักสร้างความต้านทานสูงและสูงมากในหลาย ๆ พื้นที่ ได้แก่ อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา, อ.เมืองปทุมธานี จ.ปทุมธานี, อ.ไทรน้อย จ.นนทบุรี, อ.ชะอำ จ.เพชรบุรี, อ.ศรีประจันต์ จ.สุพรรณบุรี และ อ.ท่าม่วง จ.กาญจนบุรี จึงต้องลดการใช้สาร indoxacarb กับหนอนใยผักในพื้นที่ดังกล่าวเพื่อป้องกันการสร้างความต้านทานเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 3, ตารางภาคผนวกที่ 3)

พบหนอนใยผักสร้างความต้านทานสูงต่อสาร emamectin benzoate (กลุ่ม 6) ในพื้นที่ อ. ไทรน้อย จ. นนทบุรี และ อ. ศรีประจันต์ จ. สุพรรณบุรี เท่านั้น แต่ก็พบหนอนใยผักสร้างความต้านทานปานกลางในบางพื้นที่ของ อ. เมืองปทุมธานี จ. ปทุมธานี, อ. ไทรน้อย จ. นนทบุรี แต่ในพื้นที่อื่น ๆ หนอนใยผักมีความต้านทานน้อยถึงน้อยมากต่อสารนี้ ดังนั้นจึงสามารถใช้สาร emamectin benzoate ในการพ่นแบบหมุนเวียนในพื้นที่อื่น ๆ เพื่อแก้ปัญหาความต้านทานที่เพิ่มสูงขึ้น (ภาพที่ 4, ตารางภาคผนวกที่ 4)

ในสาร fipronil (กลุ่ม 2B) นั้นไม่พบหนอนใยผักสร้างความต้านทานสูงเลย พบแต่สร้างความต้านทานปานกลางในพื้นที่ อ.ไทรน้อย จ.นนทบุรี ดังนั้นจึงสามารถใช้สาร fipronil พ่นแบบหมุนเวียนเพื่อแก้ปัญหาแมลงสร้างความต้านทานที่เพิ่มสูงขึ้น ในสาร fipronil (กลุ่ม 2B) นั้นไม่พบหนอนใยผักสร้างความต้านทานสูงเลย พบแต่สร้างความต้านทานปานกลางในพื้นที่ อ.ไทรน้อย จ.นนทบุรี ดังนั้นจึงสามารถใช้สาร fipronil พ่นแบบหมุนเวียนเพื่อแก้ปัญหาแมลงสร้างความต้านทานที่เพิ่มสูงขึ้น (ภาพที่ 5, ตารางผนวกที่ 5)

สำหรับสาร chlorfenapyr (กลุ่ม 13) พบหนอนใยผักสร้างความต้านทานสูงถึงสูงมากในพื้นที่ อ. เมืองปทุมธานี จ.ปทุมธานี, อ.ไทรน้อย จ.นนทบุรี, อ.ชะอำ จ.เพชรบุรี และ อ.ศรีประจันต์ จ.สุพรรณบุรี จึงต้องลดการใช้สาร chlorfenapyr กับหนอนใยผักในพื้นที่ดังกล่าวเพื่อป้องกันการสร้างความต้านทานเพิ่มสูงขึ้น (ภาพที่ 6, ตารางผนวกที่ 6)

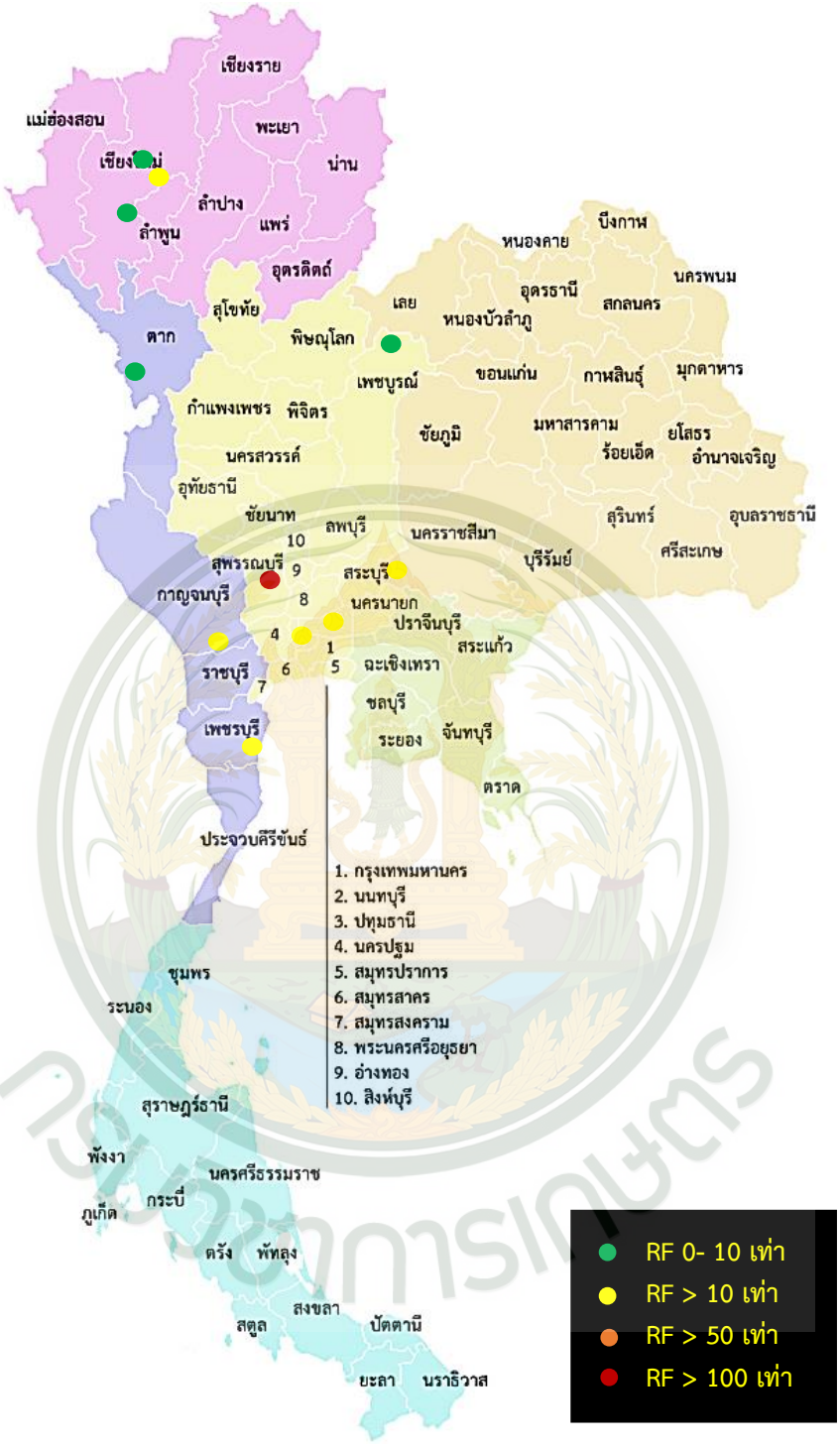
พบหนอนใยผักสร้างความต้านทานสูงและสูงมากต่อสาร tolfenpyrad (กลุ่ม 21) ในพื้นที่ อ. ปากช่อง จ. นครราชสีมา, อ. ไทรน้อย จ. นนทบุรี และ อ. ศรีประจันต์ จ. สุพรรณบุรี จึงควรลดการใช้สาร tolfenpyrad ในพื้นที่ดังกล่าว (ภาพที่ 7, ตารางผนวกที่ 7)

พบหนอนใยผักสร้างความต้านทานสูงมากต่อสาร flubendiamide (กลุ่ม 28) ในหลาย ๆ พื้นที่ ได้แก่ อ. สารภี จ. เชียงใหม่, อ. ปากช่อง จ. นครราชสีมา, อ. เมืองปทุมธานี จ. ปทุมธานี, อ. ไทรน้อย จ. นนทบุรี, อ. ชะอำ จ. เพชรบุรี, อ. ศรีประจันต์ จ. สุพรรณบุรี และ อ. ท่าม่วง จ. กาญจนบุรี นอกจากนี้ยังพบหนอนใยผักสร้างความต้านทานสูงมากต่อสาร chlorantraniliprole (กลุ่ม 28) ในหลาย ๆ พื้นที่ ได้แก่ อ.แม่สอด จ.ตาก, อ. เมืองปทุมธานี จ. ปทุมธานี, อ. ไทรน้อย จ. นนทบุรี, อ. ชะอำ จ. เพชรบุรี, อ. ศรีประจันต์ จ. สุพรรณบุรี

และ อ. ท่าม่วง จ. กาญจนบุรี ดังนั้นควรลดการใช้สาร flubendiamide และ chlorantraniliprole กับหนอนใยผักในพื้นที่ดังกล่าวเพื่อป้องกันการสร้างความต้านทานเพิ่มมากขึ้น (ภาพที่ 8 และ 9, ตารางผนวกที่ 8 และ 9)

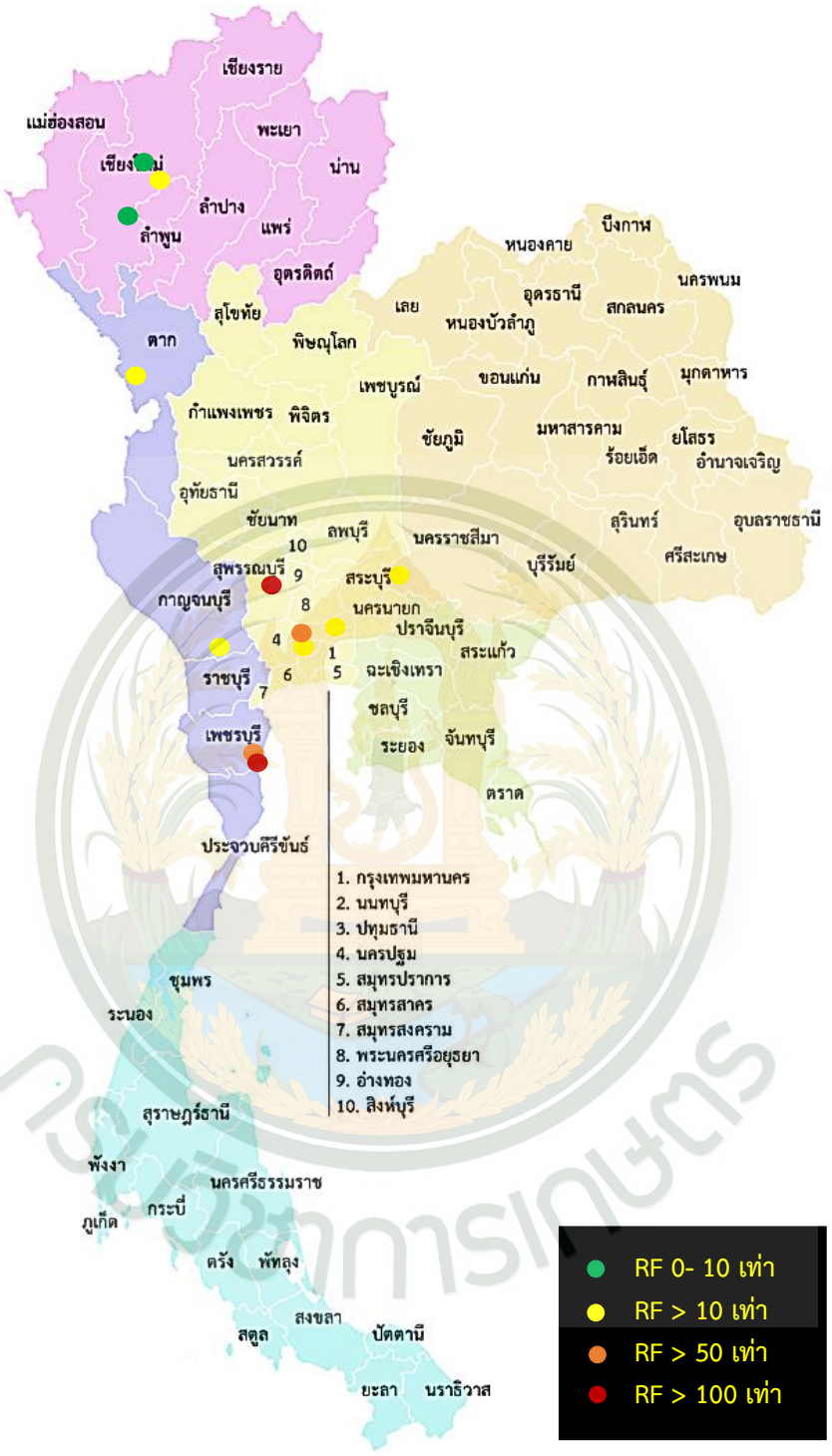
ไม่พบหนอนใยผักสร้างความต้านทานสูงต่อแบคทีเรีย *Bacillus thuringiensis* subsp. *aizawai* (กลุ่ม 11) พบแต่สร้างความต้านทานปานกลางในพื้นที่ อ.ไทรน้อย จ.นนทบุรี และ อ.ศรีประจันต์ จ.สุพรรณบุรี ดังนั้นจึงสามารถใช้แบคทีเรีย *Bacillus thuringiensis* subsp. *aizawai* พ่นแบบหมุนเวียนเพื่อแก้ปัญหาแมลงสร้างความต้านทานได้ในพื้นที่อื่น ๆ ส่วนในแบคทีเรีย *Bacillus thuringiensis* subsp. *kurstaki* พบว่าหนอนใยผักสร้างความต้านทานสูงในพื้นที่ อ.ไทรน้อย จ.นนทบุรี และต้านทานปานกลางในพื้นที่ อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา, อ.ไทรน้อย จ.นนทบุรี, อ.ชะอำ จ.เพชรบุรี และ อ.ศรีประจันต์ จ.สุพรรณบุรี (ภาพที่ 10 และ 11 , ตารางผนวกที่ 10 และ 11)

กรมวิชาการเกษตร



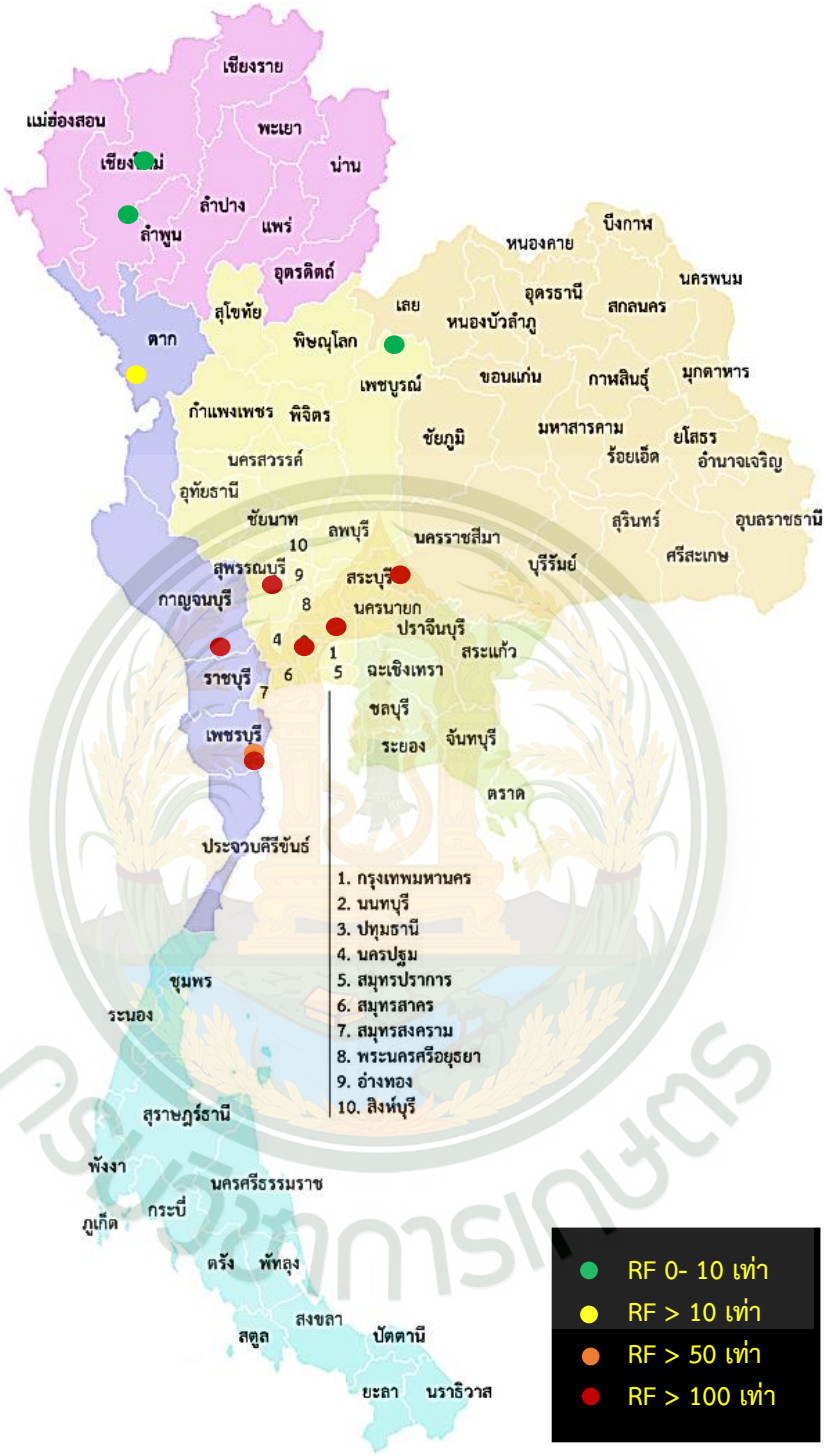
ภาพที่ 1 ความต้านทานต่อสาร spinosad (กลุ่ม 5) ในหนอนใยผักจากพื้นที่ต่าง ๆ ของประเทศไทยในช่วงปี พ.ศ. 2555-2557

RF (Resistance factor) = ค่าความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงเมื่อเปรียบเทียบกับประชากรแมลงอ่อนแอ



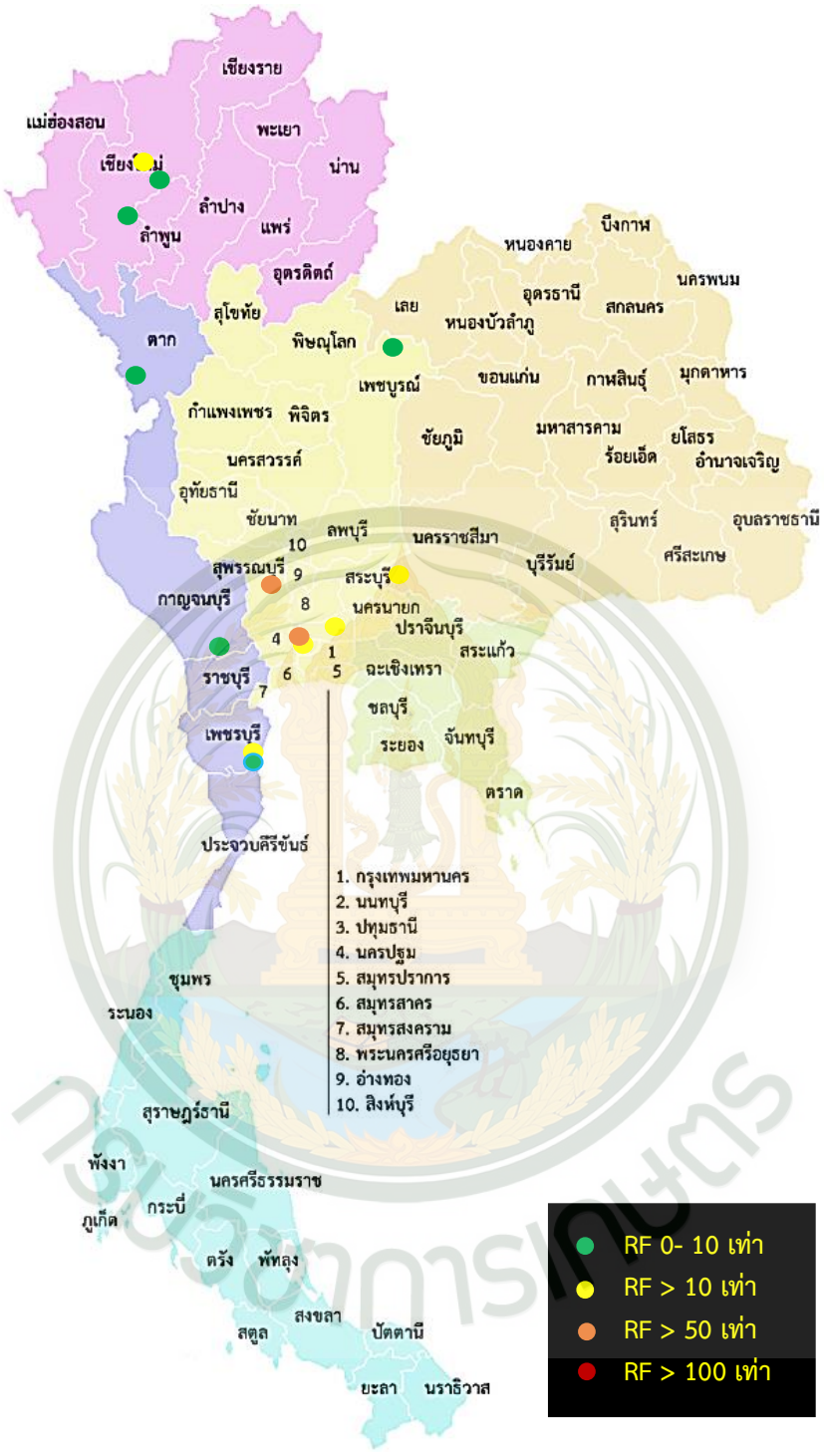
ภาพที่ 2 ความต้านทานต่อสาร spinetoram (กลุ่ม 5) ในหนอนใยผักจากพื้นที่ต่าง ๆ ของประเทศไทย ในช่วงปี พ.ศ. 2555-2557

RF (Resistance factor) = ค่าความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงเมื่อเปรียบเทียบกับประชากรแมลงอ่อนแอ



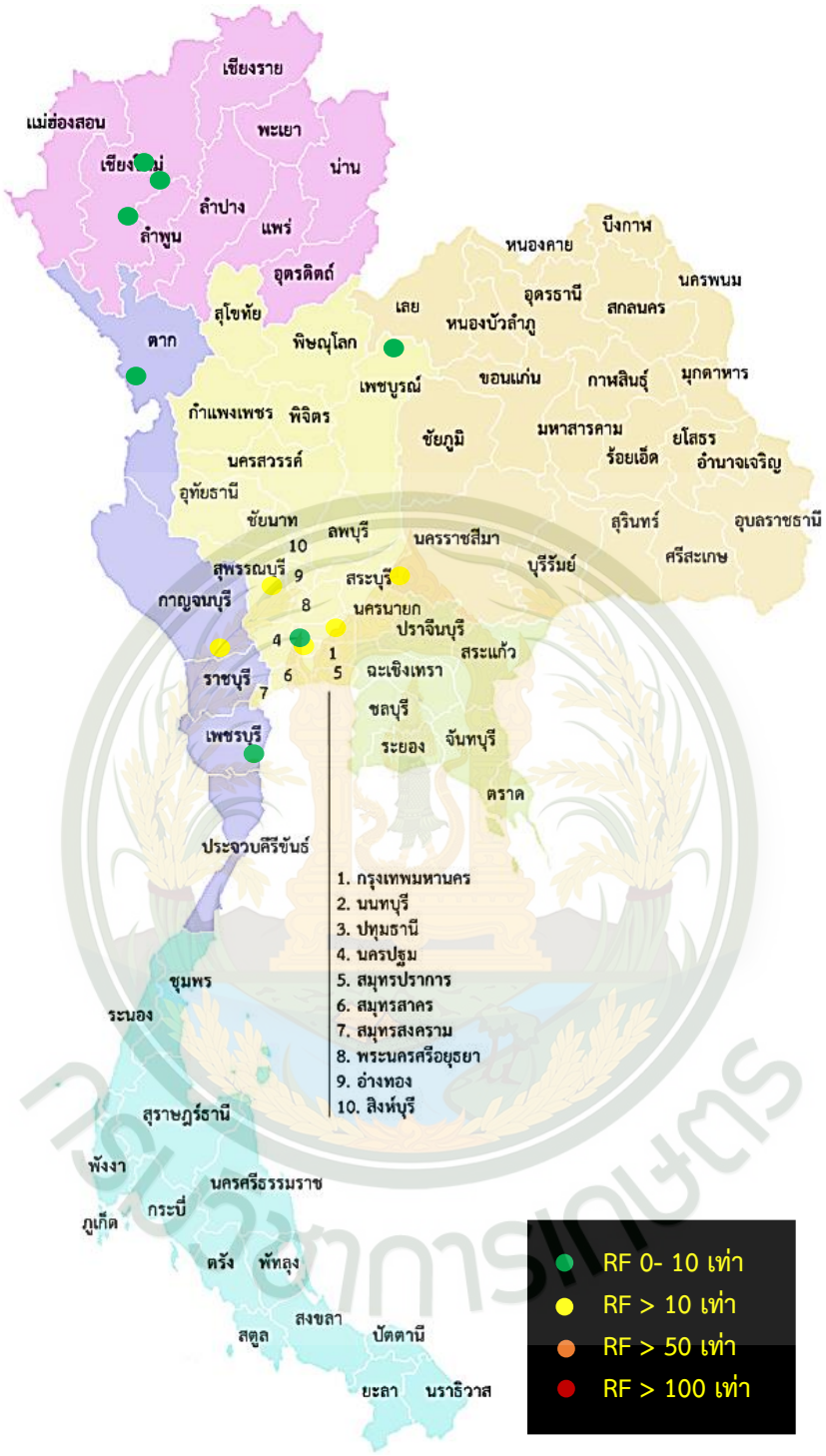
ภาพที่ 3 ความต้านทานต่อสาร indoxacarb (กลุ่ม 22) ในหนอนใยผักจากพื้นที่ต่าง ๆ ของประเทศไทย ในช่วงปี พ.ศ. 2555-2557

RF (Resistance factor) = ค่าความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงเมื่อเปรียบเทียบกับประชากรแมลงอ่อนแอ



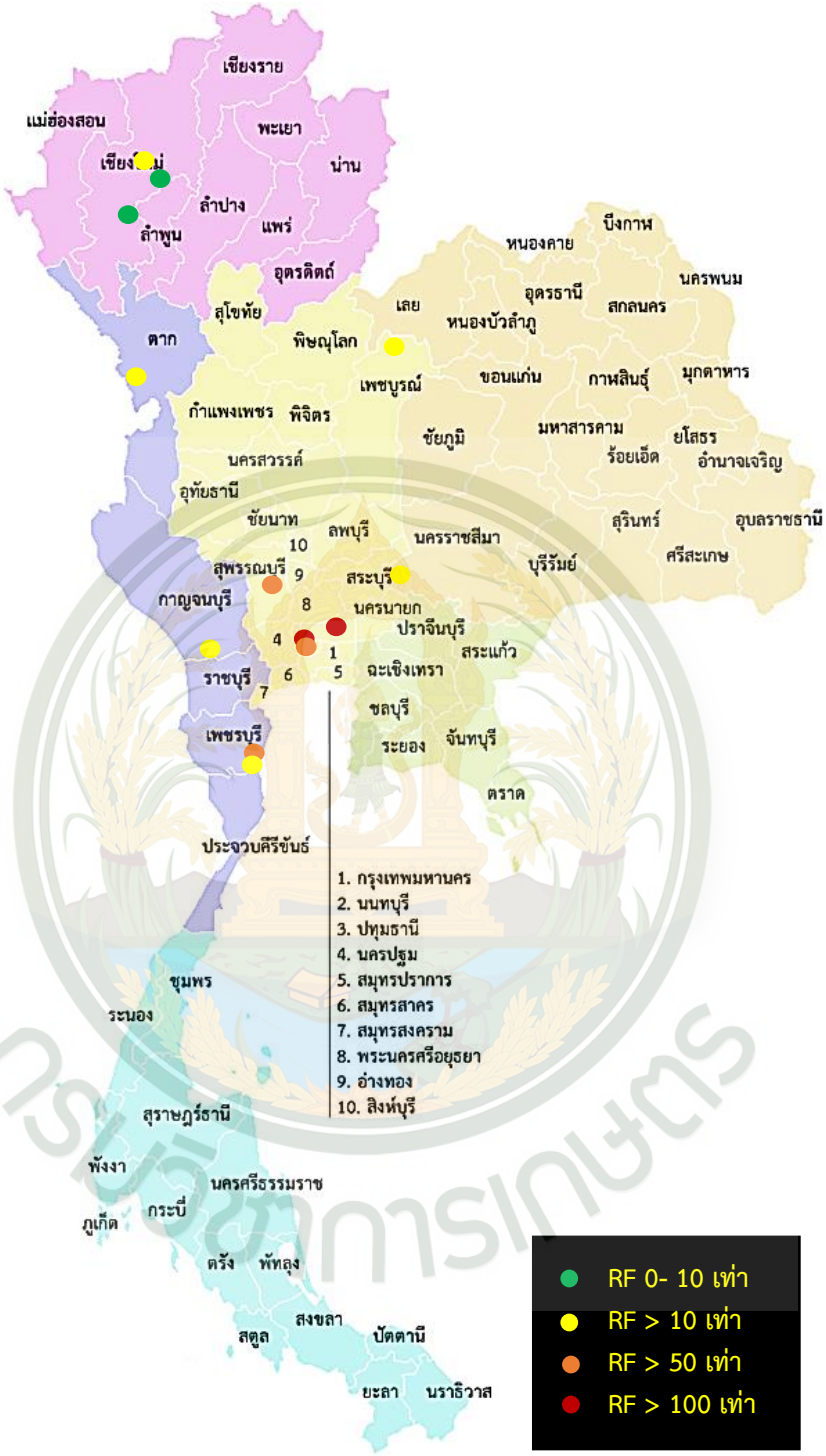
ภาพที่ 4 ความต้านทานต่อสาร emamectin benzoate (กลุ่ม 6) ในหนอนใยผักจากพื้นที่ต่าง ๆ ของประเทศไทยในช่วงปี พ.ศ. 2555-2557

RF (Resistance factor) = ค่าความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงเมื่อเปรียบเทียบกับประชากรแมลงอ่อนแอ



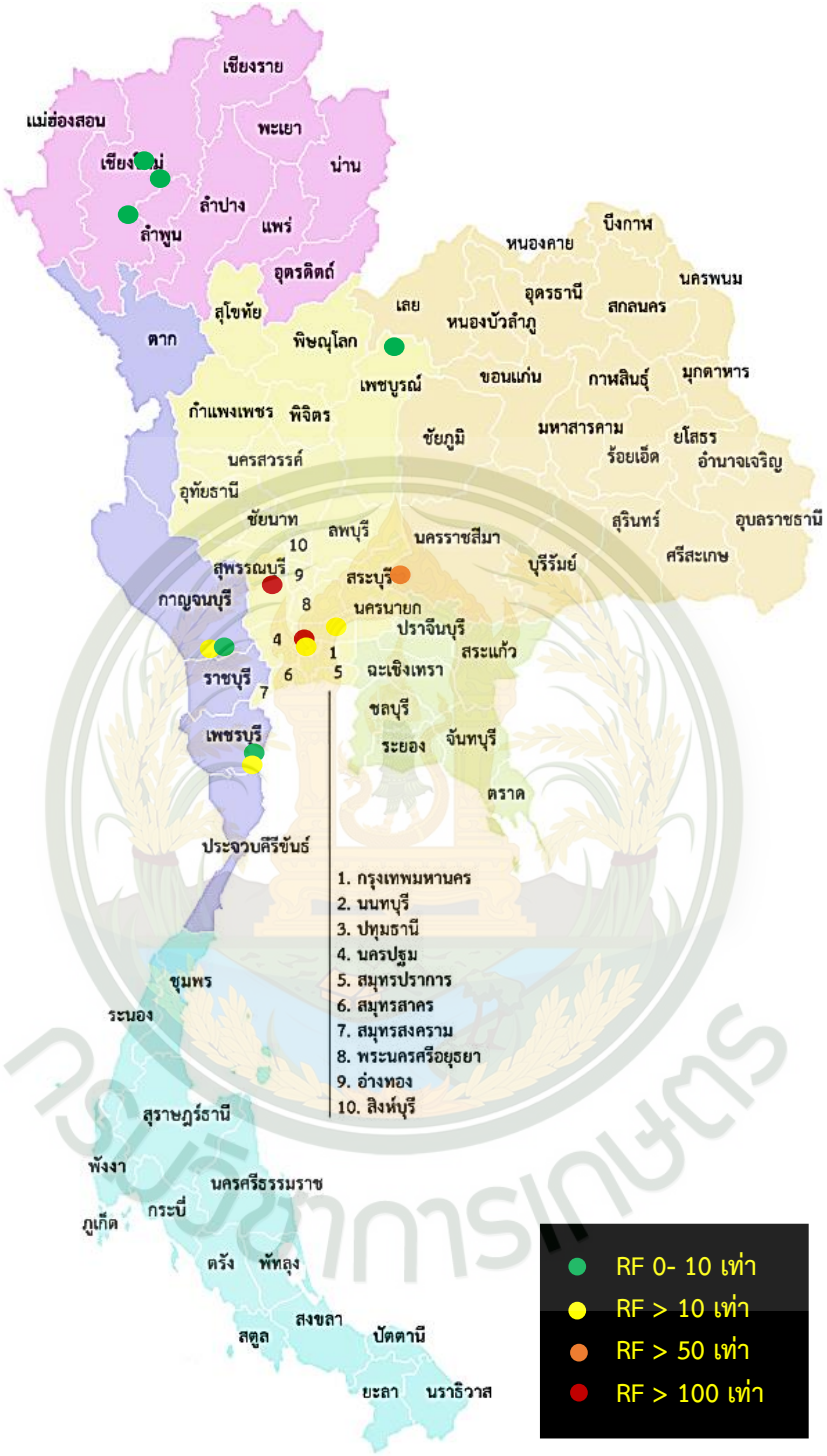
ภาพที่ 5 ความต้านทานต่อสาร fipronil (กลุ่ม 2B) ในหนอนใยผักจากพื้นที่ต่าง ๆ ของประเทศไทย ในช่วงปี พ.ศ. 2555-2557

RF (Resistance factor) = ค่าความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงเมื่อเปรียบเทียบกับประชากรแมลงอ่อนแอ



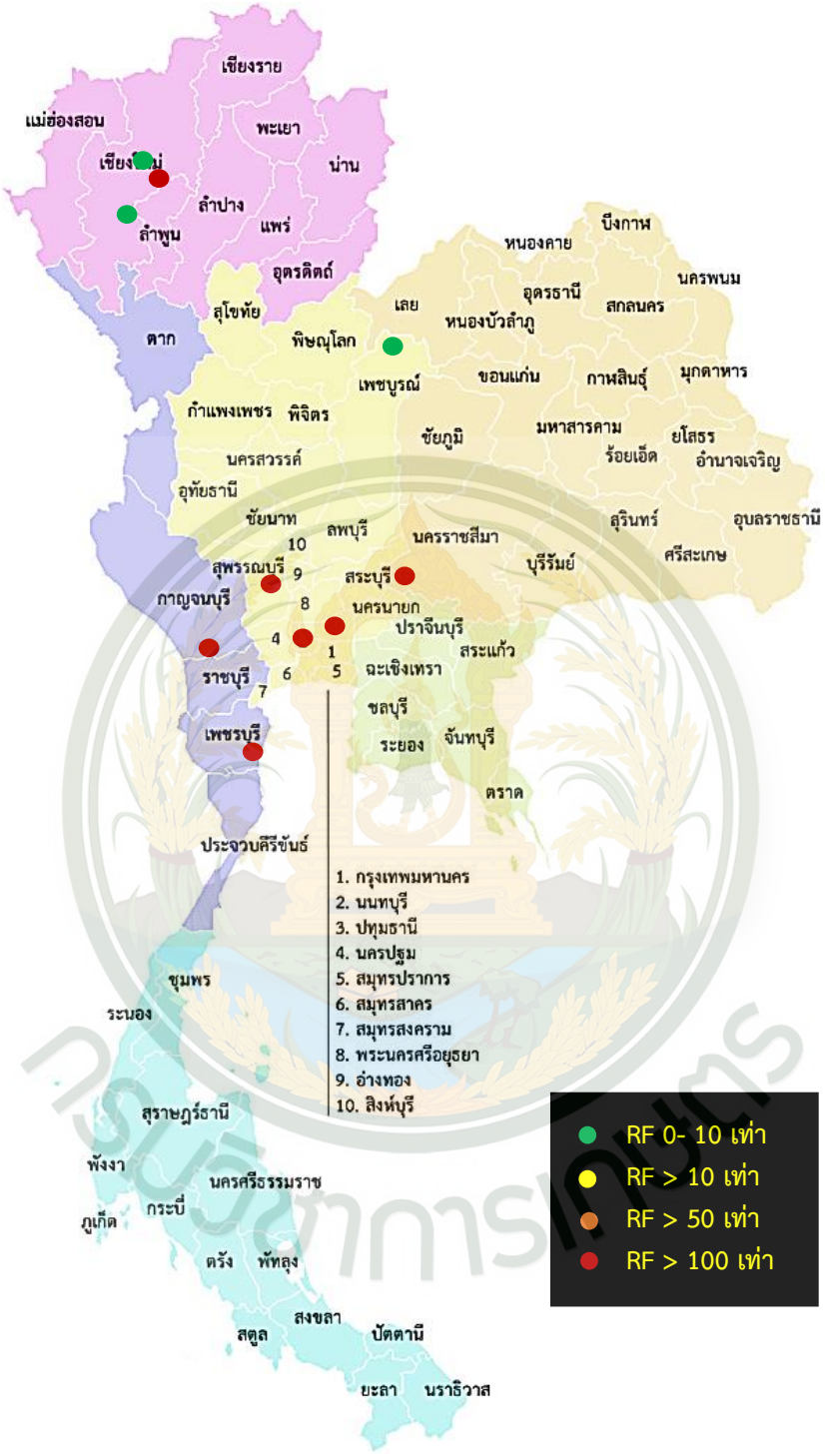
ภาพที่ 6 ความต้านทานต่อสาร chlorfenapyr (กลุ่ม 13) ในหนอนใยผักจากพื้นที่ต่าง ๆ ของประเทศไทย ในช่วงปี พ.ศ. 2555-2557

RF (Resistance factor) = ค่าความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงเมื่อเปรียบเทียบกับประชากรแมลงอ่อนแอ



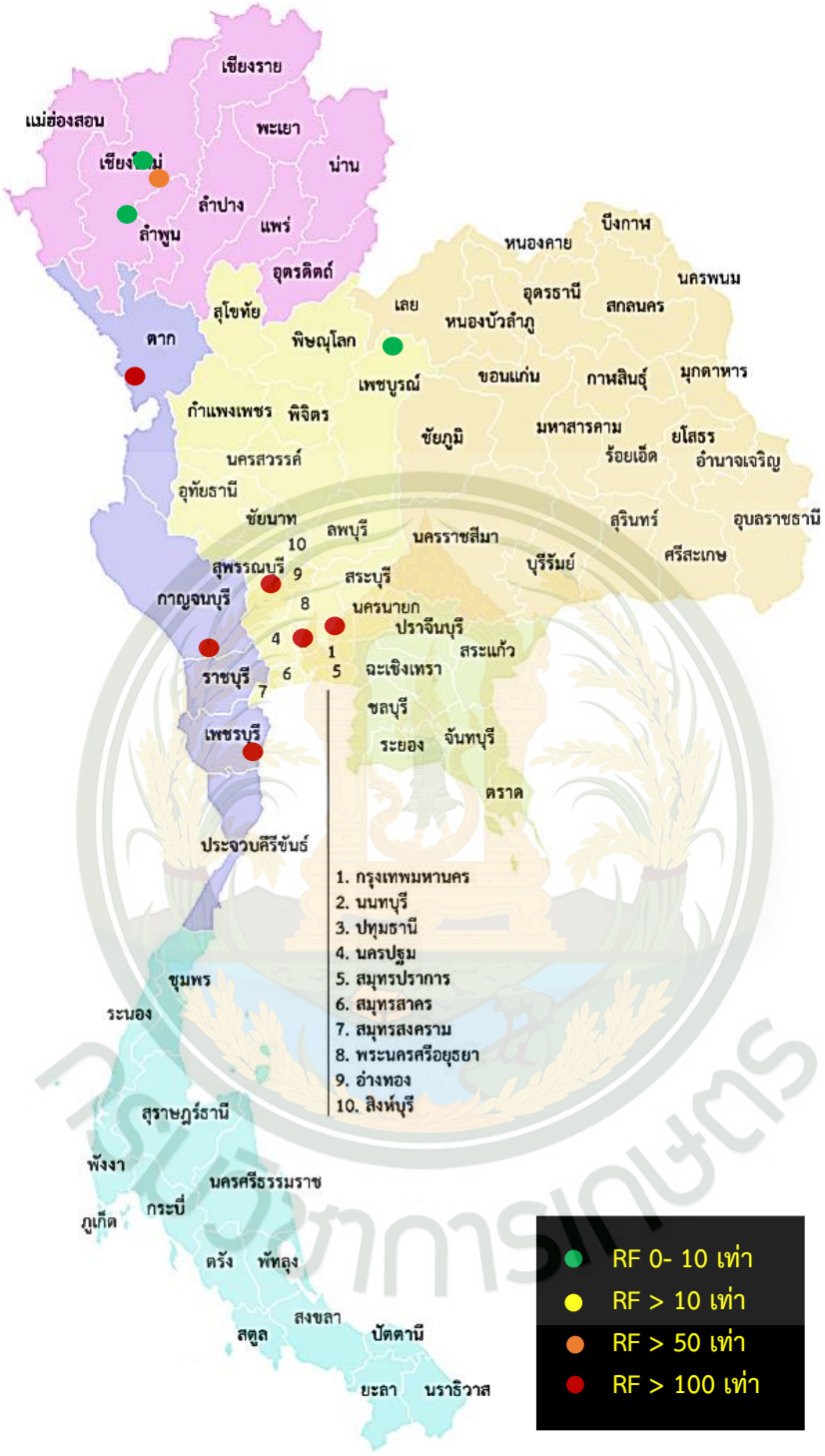
ภาพที่ 7 ความต้านทานต่อสาร tolfenpyrad (กลุ่ม 21) ในหนอนใยผักจากพื้นที่ต่าง ๆ ของประเทศไทย ในช่วงปี พ.ศ. 2555-2557

RF (Resistance factor) = ค่าความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงเมื่อเปรียบเทียบกับประชากรแมลงอ่อนแอ



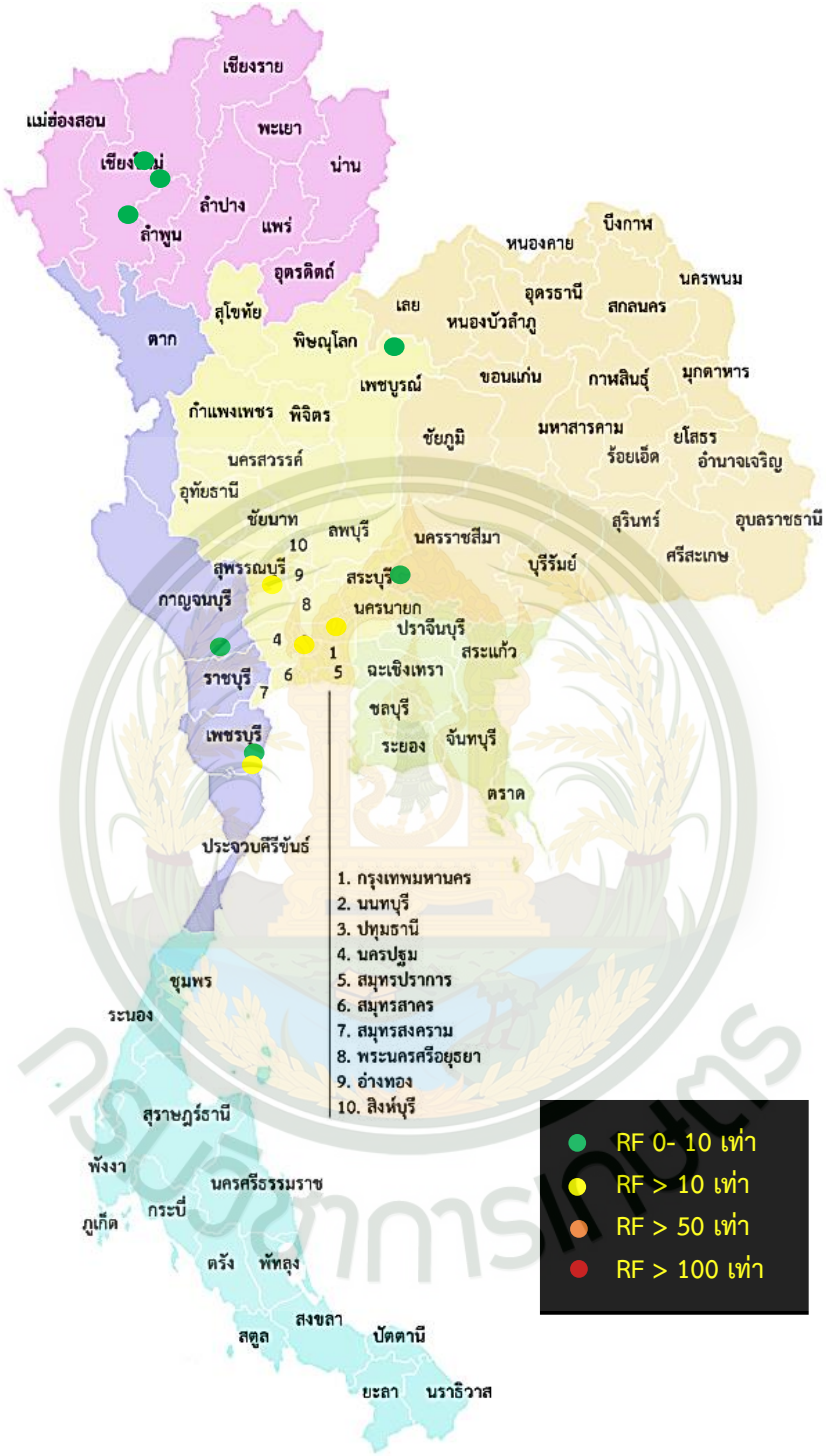
ภาพที่ 8 ความต้านทานต่อสาร flubendiamide (กลุ่ม 28) ในหนอนใยผักจากพื้นที่ต่าง ๆ ของประเทศไทย ในช่วงปี พ.ศ. 2555-2557

RF (Resistance factor) = ค่าความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงเมื่อเปรียบเทียบกับประชากรแมลงอ่อนแอ



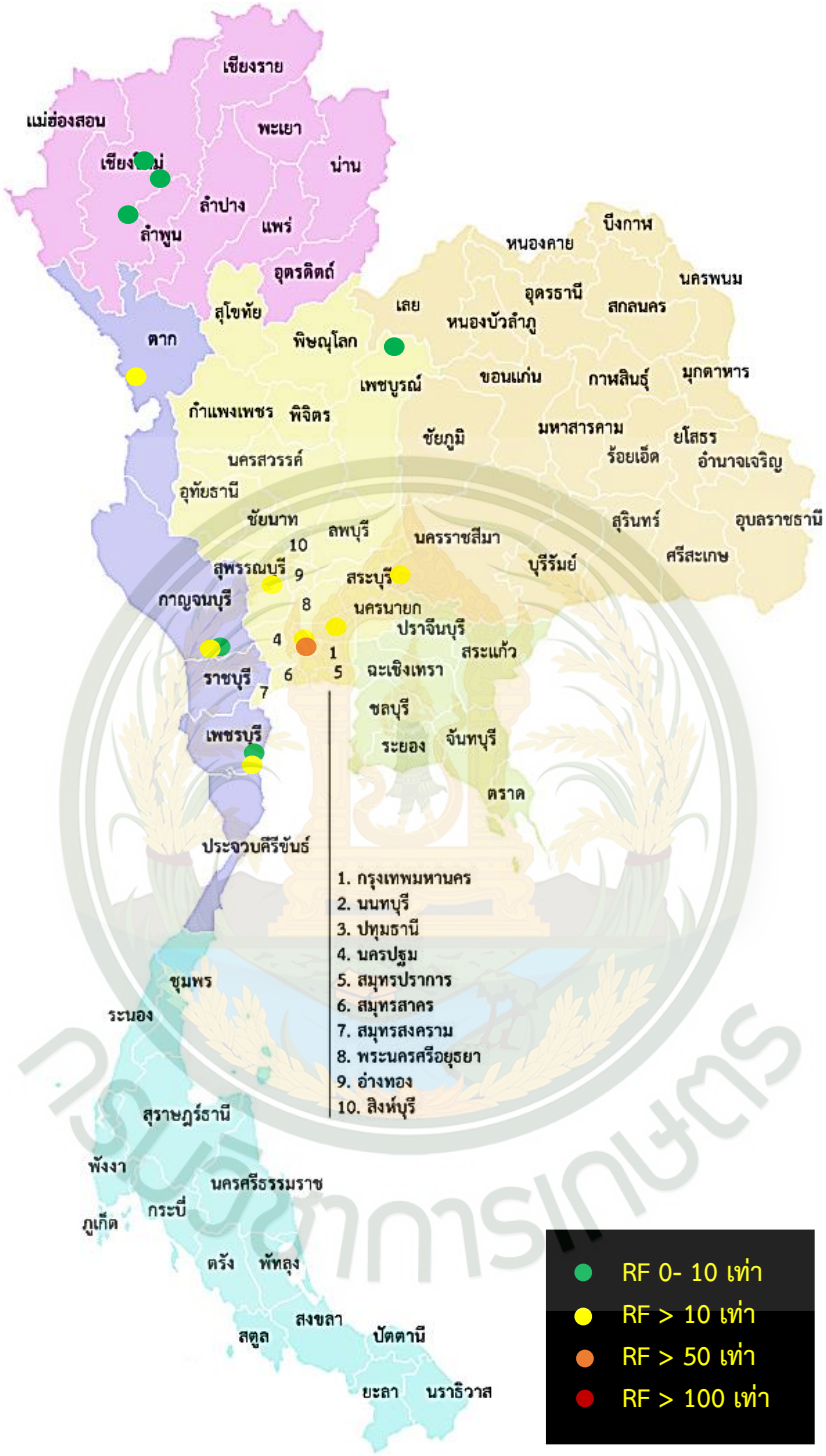
ภาพที่ 9 ความต้านทานต่อสาร chlorantraniliprole (กลุ่ม 28) ในหนอนใยผักจากพื้นที่ต่าง ๆ ของประเทศไทยในช่วงปี พ.ศ. 2555-2557

RF (Resistance factor) = ค่าความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงเมื่อเปรียบเทียบกับประชากรแมลงอ่อนแอ



ภาพที่ 10 ความต้านทานต่อแบคทีเรีย *Bacillus thuringiensis* subsp. *aizawai* (กลุ่ม 11) ในหนอนใยผัก จากพื้นที่ต่าง ๆ ของประเทศไทยในช่วงปี พ.ศ. 2555-2557

RF (Resistance factor) = ค่าความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงเมื่อเปรียบเทียบกับประชากรแมลงอ่อนแอ



ภาพที่ 11 ความต้านทานต่อแบคทีเรีย *Bacillus thuringiensis* subsp. *kurstaki* (กลุ่ม 11) ในหนอนใยผัก จากพื้นที่ต่าง ๆ ของประเทศไทยในช่วงปี พ.ศ. 2555-2557

RF (Resistance factor) = ค่าความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงเมื่อเปรียบเทียบกับประชากรแมลงอ่อนแอ

สถานการณ์ความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงในเพลี้ยไฟพริก (*Scirtothrips dorsalis* Hood) ในพริก

พริกเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย การปลูกพริกประสบปัญหาการทำลายของเพลี้ยไฟพริกเป็นประจำโดยเพลี้ยไฟพริกจะดูดกินที่บริเวณยอด ดอก และผลพริกอ่อน ทำให้ผลผลิตเสียหายในเวลาที่รวดเร็ว เกษตรกรมักใช้สารกำจัดแมลงเพื่อป้องกันกำจัดเพลี้ยไฟพริกบ่อยครั้งโดยไม่มีการหมุนเวียนสาร ทำให้เพลี้ยไฟพริกในพริกสร้างความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงได้อย่างรวดเร็วในพื้นที่ จ. ราชบุรี และ จ. กาญจนบุรี สุภราดาและคณะ (2562ก) ได้ศึกษาผลของสารกำจัดแมลงชนิดต่าง ๆ ต่อการตายของเพลี้ยไฟพริกในพริก โดยจำแนกผลต่อการตายในสารชนิดต่าง ๆ ที่อัตราแนะนำ ดังนี้

fipronil 5% SC	กลุ่ม	2B	อัตราแนะนำ	40ml/20L
lambda-cyhalothrin 2.5% CS	กลุ่ม	3A	อัตราแนะนำ	40ml/20L
Imidacloprid 70% WG	กลุ่ม	4A	อัตราแนะนำ	8g/20L
spinetoram 12% SC	กลุ่ม	5	อัตราแนะนำ	10ml/20L
emamectin benzoate 1.92% EC	กลุ่ม	6	อัตราแนะนำ	30ml/20L
abamectin 1.8% EC	กลุ่ม	6	อัตราแนะนำ	40ml/20L
chlorfenapyr 10% SC	กลุ่ม	13	อัตราแนะนำ	30ml/20L
tolfenpyrad 16% CS	กลุ่ม	21A	อัตราแนะนำ	40ml/20L
cyantraniliprole 10% OD	กลุ่ม	28	อัตราแนะนำ	40ml/20L

ผลต่อการตายของเพลี้ยไฟพริกในพริก :

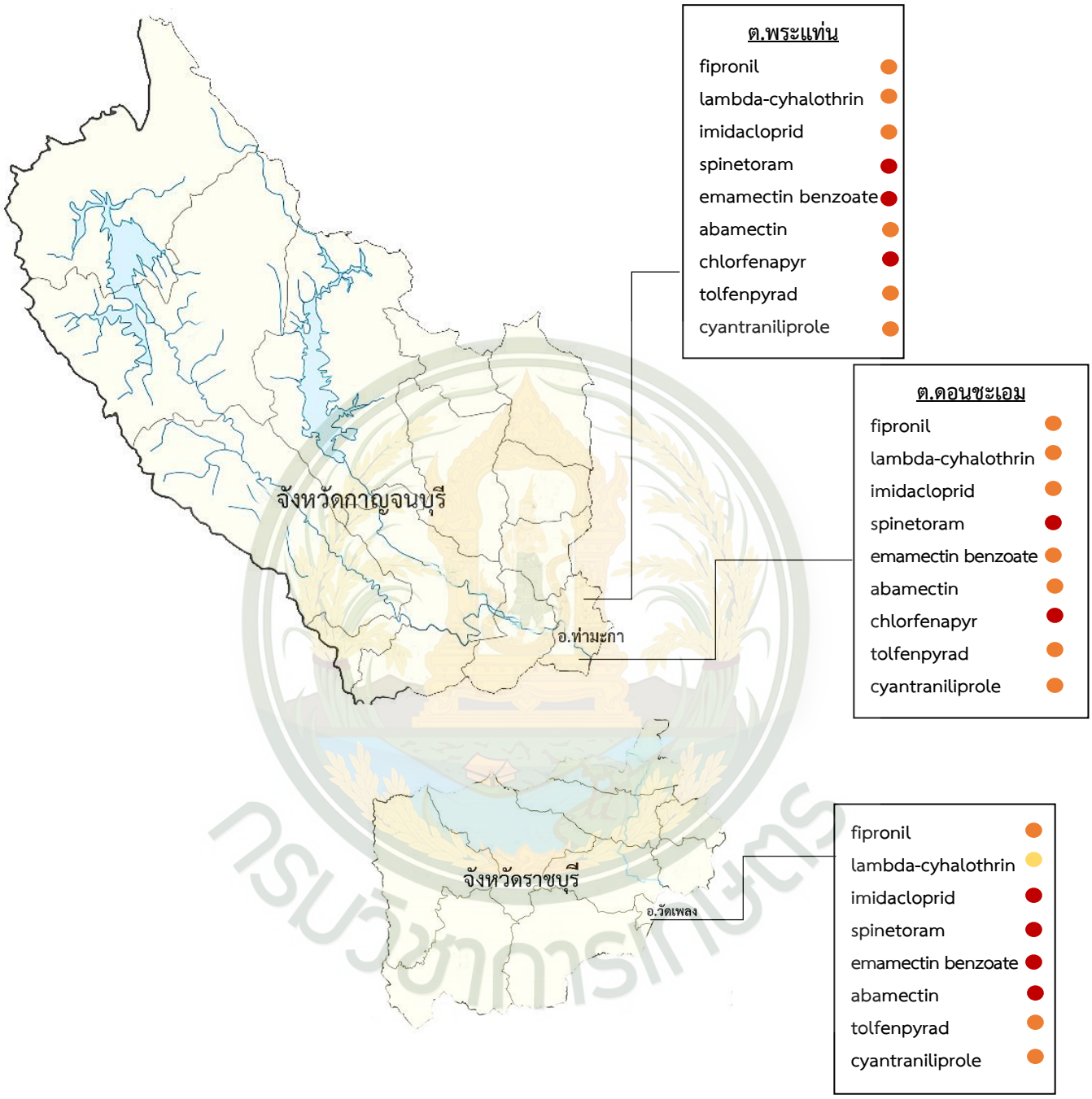
สูง = ที่อัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 60-100% หรือที่สองเท่าของอัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 80-100%

กลาง = ที่อัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 21-59% หรือที่สองเท่าของอัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 41-79%

ต่ำ = ที่อัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 0-20% หรือที่สองเท่าของอัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 0-40%

โดย สุภราดา และคณะ (2562ก) พบว่าในช่วงปี พ.ศ. 2560-2561 ในพื้นที่ปลูกพริก อ. วัดเพลง จ. ราชบุรี สารกำจัดแมลงที่มีผลต่อการตายของเพลี้ยไฟพริกต่ำ คือที่อัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 0-20% ซึ่งแสดงว่าเพลี้ยไฟมีความต้านทานสูง ได้แก่สาร lambda-cyhalothrin ส่วนสารกำจัดแมลงที่มีผลต่อการตายสูง คือที่อัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 60-100% ซึ่งแสดงว่าเพลี้ยไฟยังไม่แสดงความต้านทานมากนัก ได้แก่ imidacloprid, spinetoram, emamectin benzoate และ abamectin (ภาพที่ 12, ตารางภาคผนวกที่ 12) ดังนั้นสารกำจัดแมลงที่สามารถใช้แบบหมุนเวียนเพื่อลดปัญหาความต้านทานของเพลี้ยไฟพริกในพื้นที่ อ. วัดเพลง จ. ราชบุรี จึงได้แก่สาร imidacloprid, spinetoram, emamectin benzoate และ abamectin

ในพื้นที่ปลูกพริก ต.พระแท่น อ.ท่ามะกา จ.กาญจนบุรี สารกำจัดแมลงที่มีผลต่อการตายของเพลี้ยไฟพริกสูงคือที่อัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 60-100% ซึ่งแสดงว่าเพลี้ยไฟยังไม่แสดงความต้านทานมากนัก ได้แก่ spinetoram, emamectin benzoate และ chlorfenapyr ส่วนในพื้นที่ ต. ดอนชะเอม อ.ท่ามะกา จ.กาญจนบุรี ได้แก่ spinetoram และ chlorfenapyr (ภาพที่ 12, ตารางภาคผนวกที่ 12) ดังนั้นสารกำจัดแมลงที่สามารถใช้แบบหมุนเวียนเพื่อลดปัญหาความต้านทานของเพลี้ยไฟพริกในพื้นที่ อ.ท่ามะกา จ.กาญจนบุรี ได้แก่ สาร spinetoram, emamectin benzoate และ chlorfenapyr



- อัตราการตาย สูง = ที่อัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 60-100% หรือที่สองเท่าของอัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 80-100%
- อัตราการตาย ปานกลาง = ที่อัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 21-59% หรือที่สองเท่าของอัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 41-79%
- อัตราการตาย ต่ำ = ที่อัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 0-20% หรือที่สองเท่าของอัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 0-40%

ภาพที่ 12 การตอบสนองต่อสารกำจัดแมลงชนิดต่าง ๆ ต่อการตายของเพลี้ยไฟพริกที่ทำลายพริกในแหล่งปลูก จังหวัดกาญจนบุรีและราชบุรีในช่วงปี พ.ศ. 2560-2561

สถานการณ์ความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงในเพลี้ยไฟฝ้าย (*Thrips palmi* Karny) ในกล้วยไม้สกุลหวาย

กล้วยไม้เป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความจำเป็นต้องดูแลเรื่องคุณภาพของดอกเป็นอย่างมาก การทำลายของเพลี้ยไฟฝ้ายในกล้วยไม้ส่งผลให้ผลผลิตดอกกล้วยไม้เสียหายและขายไม่ได้ราคา เกษตรกรส่วนใหญ่ใช้สารกำจัดแมลงในการป้องกันกำจัดเพลี้ยไฟฝ้ายบ่อยครั้งจนพบว่าเพลี้ยไฟฝ้ายสร้างความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงหลายชนิดในพื้นที่ปลูกกล้วยไม้ที่สำคัญใน จ. นครปฐม จ. ปทุมธานี และ จ. นนทบุรี สุภราดา และคณะ (2563ก) ได้ศึกษาผลของสารกำจัดแมลงชนิดต่าง ๆ ต่อการตายของเพลี้ยไฟฝ้ายในกล้วยไม้สกุลหวาย โดยจำแนกผลต่อการตายในสารชนิดต่าง ๆ ที่อัตราแนะนำ ดังนี้

fipronil 5% SC	กลุ่ม	2B	อัตราแนะนำ	30ml/20L
imidacloprid 70% WG	กลุ่ม	4A	อัตราแนะนำ	15g/20L
acetamiprid 20% SP	กลุ่ม	4A	อัตราแนะนำ	20g/20L
spinetoram 12% SC	กลุ่ม	5	อัตราแนะนำ	10ml/20L
emamectin benzoate 1.92% EC	กลุ่ม	6	อัตราแนะนำ	30ml/20L
abamectin 1.8% EC	กลุ่ม	6	อัตราแนะนำ	50ml/20L
chlorfenapyr 10% SC	กลุ่ม	13	อัตราแนะนำ	30ml/20L
tolfenpyrad 16% CS	กลุ่ม	21A	อัตราแนะนำ	40ml/20L
cyantraniliprole 10% OD	กลุ่ม	28	อัตราแนะนำ	40ml/20L

ผลต่อการตายของเพลี้ยไฟฝ้ายในกล้วยไม้สกุลหวาย :

สูง = ที่อัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 60-100% หรือที่สองเท่าของอัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 80-100%

กลาง = ที่อัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 21-59% หรือที่สองเท่าของอัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 41-79%

ต่ำ = ที่อัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 0-20% หรือที่สองเท่าของอัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 0-40%

โดย สุภราดา และคณะ (2563ก) พบว่าในแหล่งปลูกกล้วยไม้สกุลหวายในจังหวัดนครปฐม ในช่วงปี พ.ศ. 2561 สารกำจัดแมลงที่มีผลต่อการตายของเพลี้ยไฟฝ้ายที่ทำลายกล้วยไม้ต่ำ คือที่อัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 0-20% ซึ่งแสดงว่าเพลี้ยไฟมีความต้านทานสูง ในพื้นที่ อ.นครชัยศรี ได้แก่ imidacloprid, acetamiprid, abamectin, tolfenpyrad และ cyantraniliprole ในพื้นที่ อ.พุทธมณฑล ได้แก่ imidacloprid, acetamiprid และ cyantraniliprole ในพื้นที่ อ.สามพราน ได้แก่ imidacloprid และ acetamiprid ในพื้นที่ อ.เมืองนครปฐม จ.นครปฐม ได้แก่ imidacloprid และ abamectin (ภาพที่ 13, ตารางภาคผนวกที่ 13) ส่วนสารกำจัดแมลงที่มีผลต่อการตายสูงคือที่อัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 60-100% ซึ่งแสดงว่าเพลี้ยไฟยังไม่แสดงความต้านทานมากนักในพื้นที่ อ.นครชัยศรี ได้แก่ spinetoram และ emamectin benzoate ในพื้นที่ อ.สามพราน ได้แก่ emamectin benzoate และในพื้นที่ อ.เมืองนครปฐม ได้แก่ spinetoram (ภาพที่ 13, ตารางภาคผนวกที่ 13)

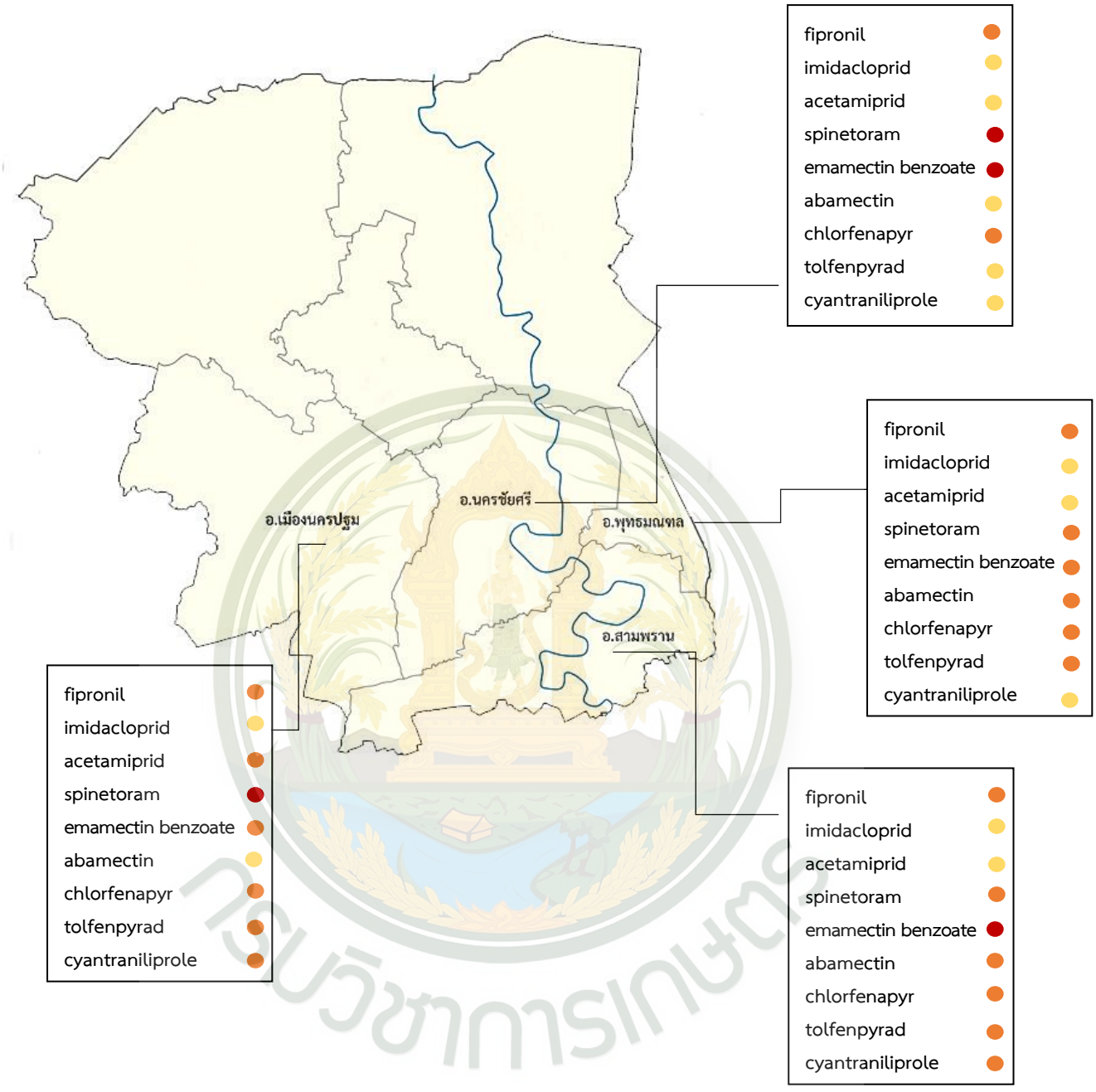
ดังนั้นสารกำจัดแมลงที่อาจใช้แบบหมุนเวียนเพื่อลดปัญหาความต้านทานในเพลี้ยไฟฝ้ายที่ทำลายกล้วยไม้ในพื้นที่ จ.นครปฐม ควรเลือกใช้สารที่มีผลต่อการตายปานกลาง-สูง ซึ่งได้แก่ สาร fipronil, spinetoram, emamectin benzoate และ chlorfenapyr

ในแหล่งปลูกกล้วยไม้สกุลหวายในจังหวัดปทุมธานี และนนทบุรี ในช่วงปี พ.ศ. 2561 พบว่าสารกำจัดแมลงที่มีผลต่อการตายของเพลี้ยไฟฝ้ายที่ทำลายกล้วยไม้ต่ำคือที่อัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 0-20% ซึ่งแสดงว่า

เพลี้ยไฟมีความต้านทานสูง ในพื้นที่ อ.ลาดหลุมแก้ว จ.ปทุมธานี ได้แก่ imidacloprid และ abamectin ส่วนในพื้นที่ อ.บางใหญ่ จ.นนทบุรี ได้แก่ imidacloprid และ acetamiprid (ภาพที่ 14, ตารางภาคผนวกที่ 14) ส่วนสารกำจัดแมลงที่มีผลต่อการตายสูงคือที่อัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 60-100% ซึ่งแสดงว่าเพลี้ยไฟยังไม่แสดงความต้านทานมากนัก ในพื้นที่ อ.ลาดหลุมแก้ว จ.ปทุมธานี ได้แก่ spinetoram, emamectin benzoate และ chlorfenapyr และในพื้นที่ อ.บางใหญ่ จ.นนทบุรี ได้แก่ fipronil, spinetoram, emamectin benzoate และ chlorfenapyr (ภาพที่ 14, ตารางภาคผนวกที่ 14)

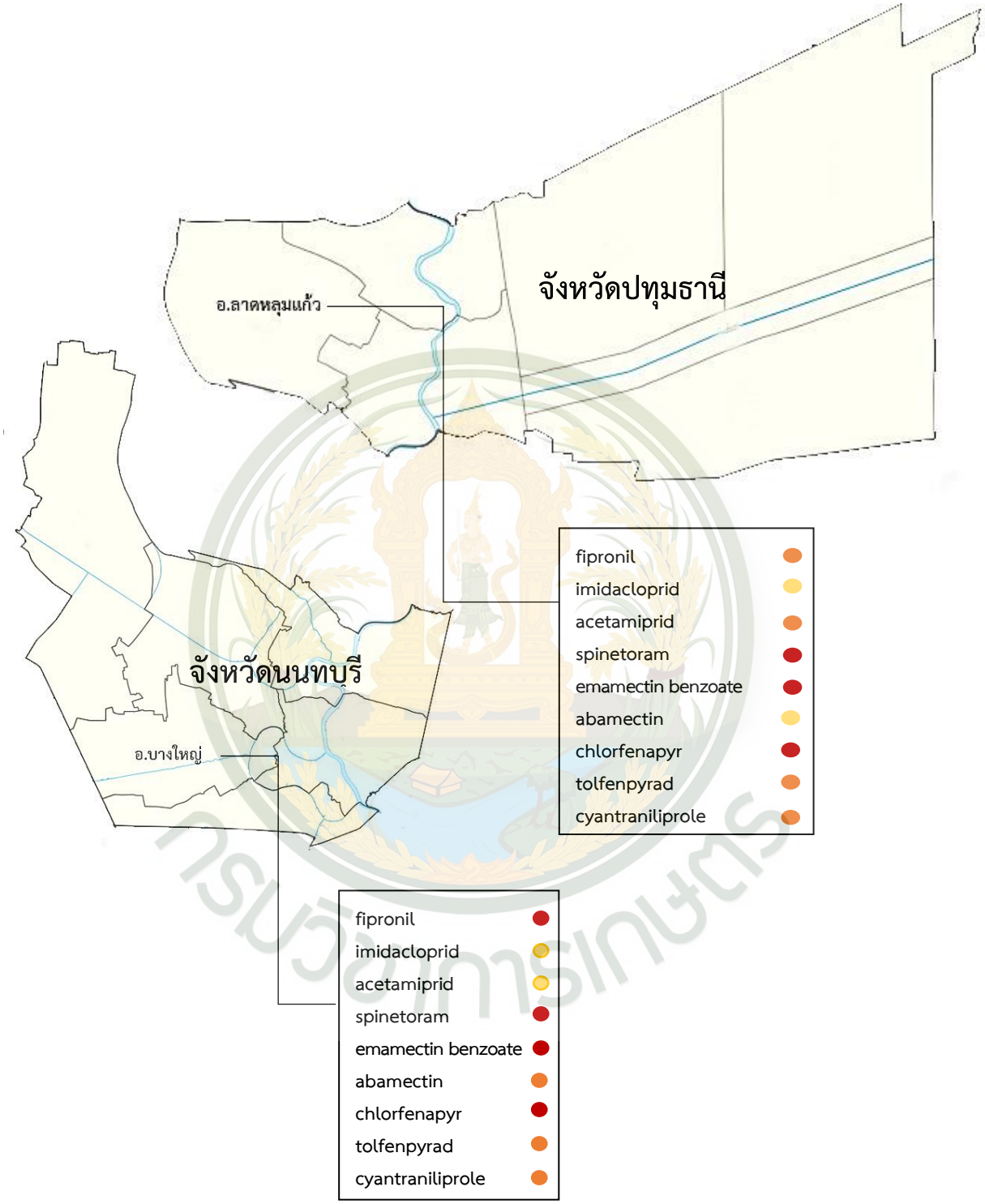
ดังนั้นสารกำจัดแมลงที่อาจใช้แบบหมุนเวียนเพื่อลดปัญหาความต้านทานในเพลี้ยไฟฝ้ายที่ทำลายกล้วยไม้ในพื้นที่ อ.ลาดหลุมแก้ว จ.ปทุมธานี ควรเลือกใช้สารที่มีผลต่อการตายปานกลาง-สูง ซึ่งได้แก่ fipronil, acetamiprid, spinetoram, emamectin benzoate, chlorfenapyr, tolfenpyrad, cyantraniliprole และในพื้นที่ อ.บางใหญ่ จ.นนทบุรี ได้แก่ สาร fipronil, spinetoram, emamectin benzoate, abamectin, chlorfenapyr, tolfenpyrad และ cyantraniliprole

กรมวิชาการเกษตร



- อัตราการตาย สูง = ที่อัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 60-100% หรือที่สองเท่าของอัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 80-100%
- อัตราการตาย ปานกลาง = ที่อัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 21-59% หรือที่สองเท่าของอัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 41-79%
- อัตราการตาย ต่ำ = ที่อัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 0-20% หรือที่สองเท่าของอัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 0-40%

ภาพที่ 13 การตอบสนองต่อสารกำจัดแมลงชนิดต่าง ๆ ต่อการตายของเพลี้ยไฟฝ้ายที่ทำลายกล้วยไม้สกุลหวาย ในแหล่งปลูก จังหวัดนครปฐม ในปี พ.ศ.2561



- อัตราการตาย สูง = ที่อัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 60-100% หรือที่สองเท่าของอัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 80-100%
- อัตราการตาย ปานกลาง = ที่อัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 21-59% หรือที่สองเท่าของอัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 41-79%
- อัตราการตาย ต่ำ = ที่อัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 0-20% หรือที่สองเท่าของอัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 0-40%

ภาพที่ 14 การตอบสนองต่อสารกำจัดแมลงชนิดต่าง ๆ ต่อการตายของเพลี้ยไฟฝ้ายที่ทำลายกล้วยไม้สกุลหวาย ในแหล่งปลูก จังหวัดปทุมธานี และนนทบุรี ในปี พ.ศ.2561

สถานการณ์ความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงในเพลี้ยไฟพริก (*Scirtothrips dorsalis* Hood) ในกุหลาบพวง

กุหลาบสำหรับร้อยพวงมาลัยหรือที่เรียกว่ากุหลาบพวงเป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญชนิดหนึ่งที่มีแมลงศัตรูทำลายมากโดยเฉพาะเพลี้ยไฟพริก แมลงชนิดนี้ทำความเสียหายโดยดูดกินน้ำเลี้ยงกุหลาบที่ยอดอ่อนและดอกอ่อนทำให้ดอกมีรอยทำลายเสียหายและขายไม่ได้ การทำลายของเพลี้ยไฟพริกรวดเร็วมากโดยเฉพาะช่วงแล้งฝนทิ้งช่วง เกษตรกรจำเป็นต้องพ่นสารกำจัดแมลงเพื่อป้องกันกำจัดเพลี้ยไฟให้ทันเวลา โดยเกษตรกรมักเลือกพ่นสารชนิดเดิมซ้ำกันบ่อยครั้งเพราะมั่นใจในประสิทธิภาพของสาร แต่การพ่นสารชนิดเดิมซ้ำกันบ่อยครั้งเป็นสาเหตุทำให้เพลี้ยไฟพริกที่ทำลายกุหลาบพวงสร้างความต้านทานต่อสารกำจัดแมลง โดยเฉพาะในพื้นที่ปลูกสำคัญใน จ. นครปฐม สุภราดา และคณะ (2562ข) ได้ศึกษาผลของสารกำจัดแมลงชนิดต่าง ๆ ต่อการตายของเพลี้ยไฟพริกในกุหลาบพวง โดยจำแนกผลต่อการตายในสารชนิดต่าง ๆ ที่อัตราแนะนำ ดังนี้

fipronil 5% SC	กลุ่ม	2B	อัตราแนะนำ	40ml/20L
lambda-cyhalothrin 2.5% CS	กลุ่ม	3A	อัตราแนะนำ	40ml/20L
imidacloprid 70% WG	กลุ่ม	4A	อัตราแนะนำ	8g/20L
spinetoram 12% SC	กลุ่ม	5	อัตราแนะนำ	10ml/20L
emamectin benzoate 1.92% EC	กลุ่ม	6	อัตราแนะนำ	30ml/20L
abamectin 1.8% EC	กลุ่ม	6	อัตราแนะนำ	40ml/20L
chlorfenapyr 10% SC	กลุ่ม	13	อัตราแนะนำ	30ml/20L
tolfenpyrad 16% CS	กลุ่ม	21A	อัตราแนะนำ	40ml/20L
cyantraniliprole 10% OD	กลุ่ม	28	อัตราแนะนำ	40ml/20L

ผลต่อการตายของเพลี้ยไฟพริกในกุหลาบพวง :

สูง = ที่อัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 60-100% หรือที่สองเท่าของอัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 80-100%

กลาง = ที่อัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 21-59% หรือที่สองเท่าของอัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 41-79%

ต่ำ = ที่อัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 0-20% หรือที่สองเท่าของอัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 0-40%

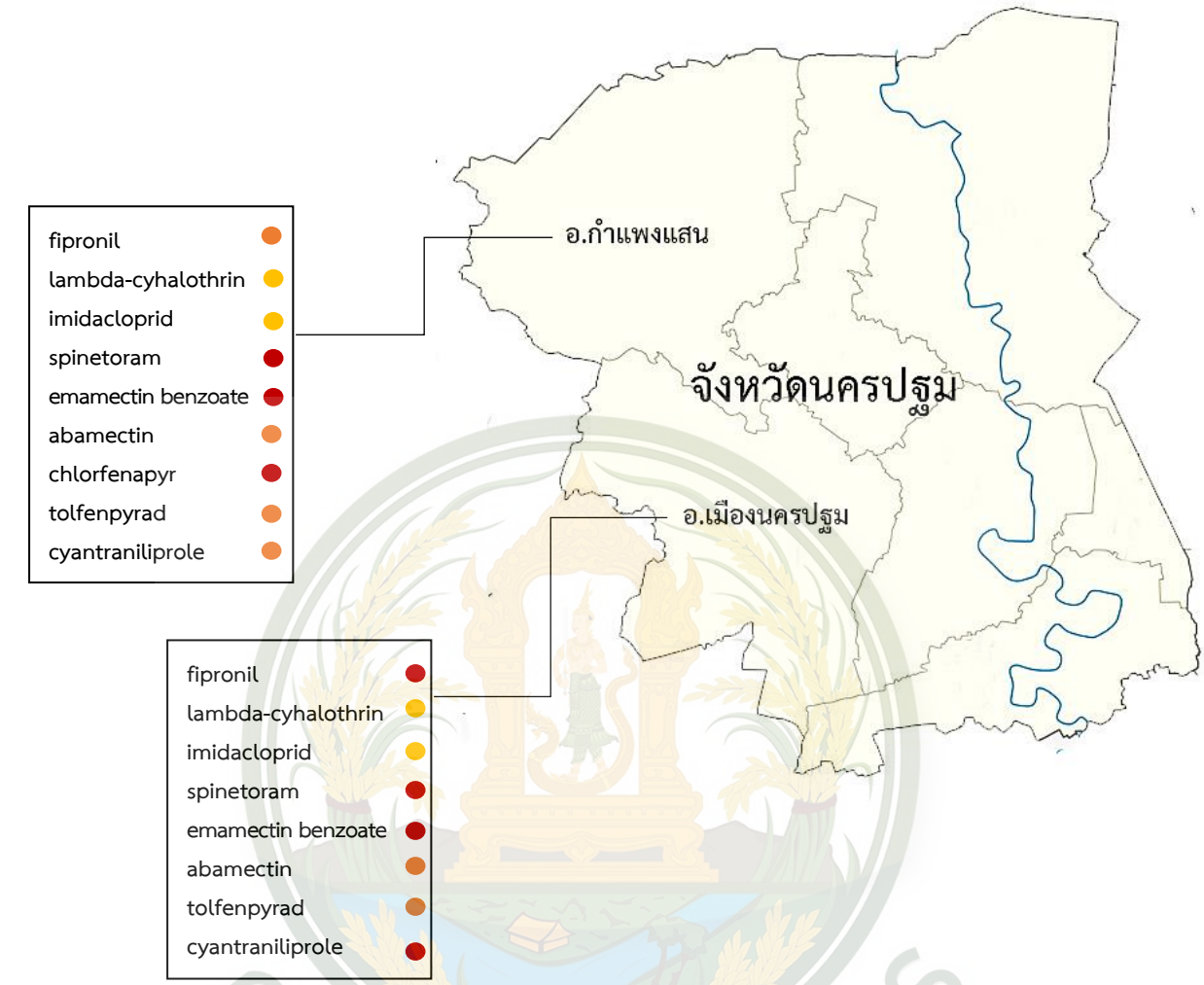
โดย สุภราดา และคณะ (2562ข) พบว่าในพื้นที่ อ. เมืองนครปฐม และ อ. กำแพงแสน จ. นครปฐม ซึ่งเป็นแหล่งปลูกกุหลาบพวงแหล่งใหญ่ของประเทศ สารกำจัดแมลงที่มีผลต่อการตายต่ำคือที่อัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 0-20% หรือที่สองเท่าของอัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 0-40% ซึ่งแสดงว่าเพลี้ยไฟมีความต้านทานสูง ในช่วงปี พ.ศ. 2560-2561 ได้แก่ lambda-cyhalothrin และ imidacloprid (ภาพที่ 15, ตารางภาคผนวกที่ 15)

ส่วนสารกำจัดแมลงที่มีผลต่อการตายสูงคือที่อัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 60-100% และที่สองเท่าของอัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 80-100% ซึ่งแสดงว่าเพลี้ยไฟยังไม่ต้านทาน ในพื้นที่ อ. เมืองนครปฐม ได้แก่ fipronil, spinetoram, emamectin benzoate และ cyantraniliprole ส่วนในพื้นที่ อ. กำแพงแสน จ. นครปฐม ได้แก่ spinetoram, emamectin benzoate และ chlorfenapyr (ภาพที่ 15, ตารางภาคผนวกที่ 15)

สารกำจัดแมลงที่มีผลต่อการตายปานกลางคืออัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 21-59% หรือที่สองเท่าของอัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 41-79% ซึ่งคาดว่าเพลี้ยไฟสร้างความต้านทานน้อย ในพื้นที่ อ. เมืองนครปฐม ได้แก่ abamectin และ tolfenpyrad ส่วนในพื้นที่ อ. กำแพงแสน จ. นครปฐม ได้แก่ fipronil, abamectin, tolfenpyrad และ cyantraniliprole (ภาพที่ 15, ตารางภาคผนวกที่ 15)

ดังนั้นเพื่อลดปัญหาเพลี้ยไฟสร้างความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงในเพลี้ยไฟพริกที่ทำลายกุหลาบพวงในพื้นที่ อ.เมืองนครปฐม และ อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม จึงควรใช้สารกำจัดแมลงกลุ่มต่าง ๆ แบบหมุนเวียน โดยใช้สารที่มีผลต่อการตายของเพลี้ยไฟปานกลาง-สูง ได้แก่ สาร fipronil, spinetoram, emamectin benzoate, abamectin, chlorfenapyr, tolfenpyrad และ cyantraniliprole โดยพ่นสารแต่ละชนิดหรือแต่ละกลุ่มติดต่อกันได้ไม่เกิน 3 ครั้งในช่วงเวลา 15 วัน แล้วต้องเปลี่ยนไปพ่นสารกลุ่มอื่น

กรมวิชาการเกษตร



ภาพที่ 15 การตอบสนองต่อสารกำจัดแมลงชนิดต่าง ๆ ต่อการตายของเพลี้ยไฟพริกที่ทำลายกุหลาบพวงในแหล่งปลูก จังหวัดนครปฐม ในช่วงปี พ.ศ.2560-2561

สถานการณ์ความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงในเพลี้ยไฟพริก (*Scirtothrips dorsalis* Hood) ในมะม่วง

มะม่วงเป็นพืชเศรษฐกิจที่ปลูกเพื่อขายภายในประเทศและเพื่อส่งออกเป็นจำนวนมาก ในระยะที่มะม่วงให้ผลผลิตมักพบการทำลายของเพลี้ยไฟพริกที่บริเวณยอดอ่อน ช่อดอกและผล การทำลายของเพลี้ยไฟพริกทำให้ผลมะม่วงอ่อนหลุดร่วงหรือผลมีรอยทำลาย ขายไม่ได้ราคา เพลี้ยไฟพริกสามารถเข้าทำลายมะม่วงอย่างรวดเร็ว ดังนั้นในการผลิตมะม่วงให้ได้คุณภาพสูงปราศจากการทำลายของเพลี้ยไฟจึงมีความจำเป็นต้องใช้สารกำจัดแมลงเพื่อหยุดยั้งการระบาดทำลายของเพลี้ยไฟได้ทันท่วงที เกษตรกรส่วนใหญ่มักใช้สารกำจัดแมลงชนิดเดิมหรือกลุ่มเดิมเพื่อป้องกันกำจัดเพลี้ยไฟบ่อยครั้ง ทำให้เพลี้ยไฟสร้างความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงหลายชนิดในพื้นที่ปลูกมะม่วงหลายแห่ง สุภราดา และคณะ (2563ข) ได้ศึกษาผลของสารกำจัดแมลงชนิดต่าง ๆ ต่อการตายของเพลี้ยไฟพริกในมะม่วง โดยจำแนกผลต่อการตายในสารชนิดต่าง ๆ ที่อัตราแนะนำ ดังนี้

fipronil 5% SC	กลุ่ม	2B	อัตราแนะนำ	30ml/20L
lambda-cyhalothrin 2.5% CS	กลุ่ม	3A	อัตราแนะนำ	20ml/20L
imidacloprid 70% WG	กลุ่ม	4A	อัตราแนะนำ	15g/20L
acetamiprid 20% SP	กลุ่ม	4A	อัตราแนะนำ	20g/20L
spinetoram 12% SC	กลุ่ม	5	อัตราแนะนำ	10ml/20L
emamectin benzoate 1.92% EC	กลุ่ม	6	อัตราแนะนำ	30ml/20L
abamectin 1.8% EC	กลุ่ม	6	อัตราแนะนำ	50ml/20L
chlorfenapyr 10% SC	กลุ่ม	13	อัตราแนะนำ	30ml/20L
cyantraniliprole 10% OD	กลุ่ม	28	อัตราแนะนำ	40ml/20L

ผลต่อการตายของเพลี้ยไฟพริกในมะม่วง :

สูง = ที่อัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 60-100% หรือที่สองเท่าของอัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 80-100%

กลาง = ที่อัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 21-59% หรือที่สองเท่าของอัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 41-79%

ต่ำ = ที่อัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 0-20% หรือที่สองเท่าของอัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 0-40%

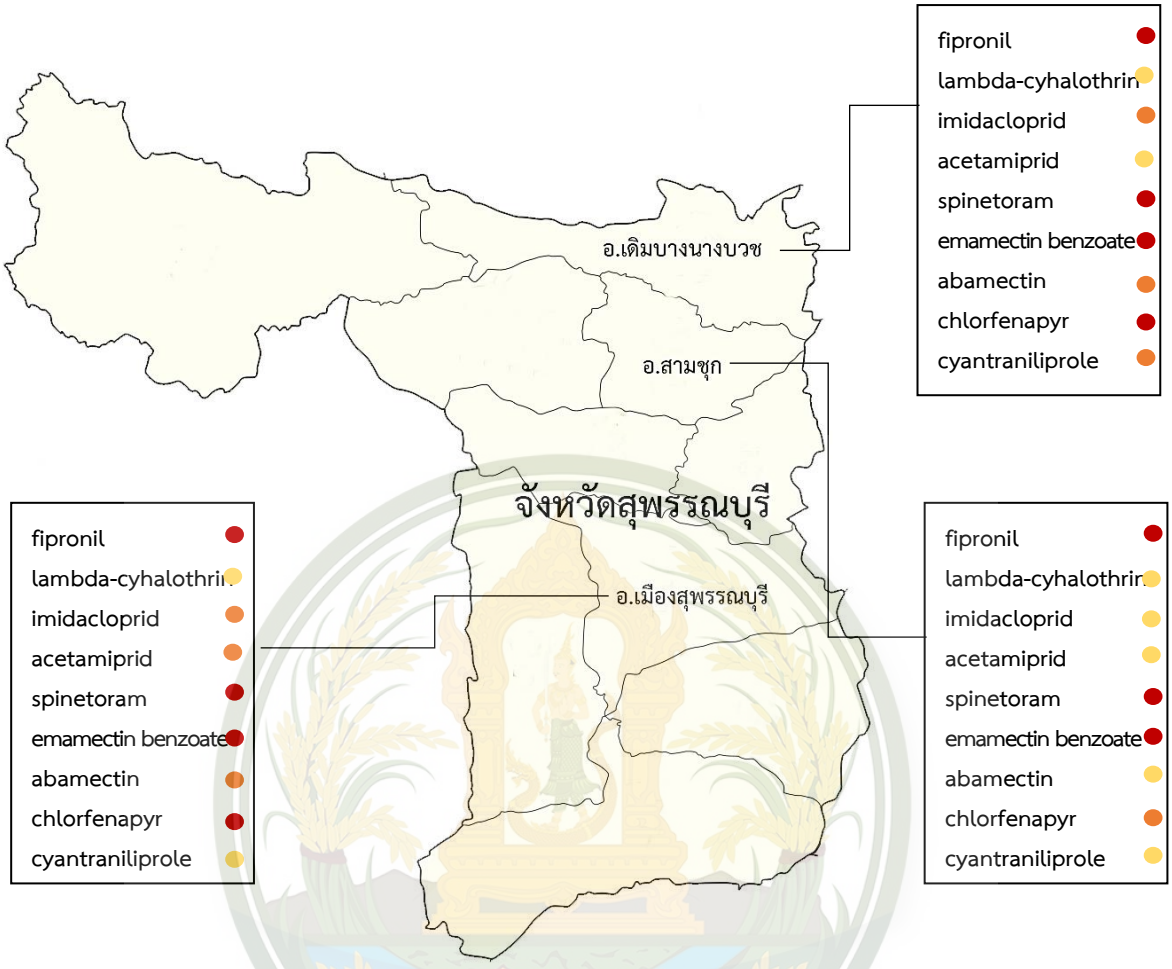
โดย สุภราดาและคณะ (2563ข) พบว่าในพื้นที่ปลูกมะม่วง จ. สุพรรณบุรี ในช่วงปี พ.ศ.2562 สารกำจัดแมลงที่มีผลต่อการตายของเพลี้ยไฟพริกที่ทำลายมะม่วงต่ำ คือที่อัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 0-20% ซึ่งแสดงว่าเพลี้ยไฟมีความต้านทานสูง ในพื้นที่ อ.เมืองสุพรรณบุรี ได้แก่ lambda-cyhalothrin และ cyantraniliprole ในพื้นที่ อ.สามชุก ได้แก่ lambda-cyhalothrin, imidacloprid, acetamiprid, abamectin และ cyantraniliprole ในพื้นที่ อ. เดิมบางนางบวช ได้แก่ lambda-cyhalothrin, acetamiprid ส่วนสารกำจัดแมลงที่มีผลต่อการตายสูงคือที่อัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 60-100% ซึ่งแสดงว่าเพลี้ยไฟยังไม่แสดงความต้านทานมากนัก ในพื้นที่ อ.เมืองสุพรรณบุรี และ อ.เดิมบางนางบวช ได้แก่ ได้แก่ fipronil, spinetoram, emamectin benzoate และ chlorfenapyr ในพื้นที่ อ. สามชุก ได้แก่ fipronil, spinetoram, emamectin benzoate (ภาพที่ 16, ตารางภาคผนวกที่ 16)

ดังนั้นสารกำจัดแมลงที่สามารถใช้แบบหมุนเวียนเพื่อลดปัญหาความต้านทานในเพลี้ยไฟพริกที่ทำลายมะม่วงในพื้นที่ จ. สุพรรณบุรี นั้นสามารถใช้สารที่มีผลต่อการตายของเพลี้ยไฟปานกลาง-สูง เช่น fipronil, spinetoram, emamectin benzoate และ chlorfenapyr

ในพื้นที่ปลูกมะม่วงใน จ. สุโขทัย พิษณุโลก และพิจิตร ในช่วงปี พ.ศ. 2562 - 2563 พบว่าสารกำจัดแมลงที่มีผลต่อการตายของเพลี้ยไฟพริกที่ทำลายมะม่วงต่ำ คือที่อัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 0-20% ซึ่งแสดงว่าเพลี้ยไฟมีความต้านทานสูง ในพื้นที่ อ. ศรีนคร จ. สุโขทัย ได้แก่ lambda-cyhalothrin และ acetamiprid ในพื้นที่ อ. วังทอง จ. พิษณุโลก ได้แก่ lambda-cyhalothrin, acetamiprid, abamectin และ cyantraniliprole ในพื้นที่ อ. สากเหล็ก จ. พิจิตร ได้แก่ lambda-cyhalothrin ส่วนสารกำจัดแมลงที่มีผลต่อการตายสูงคือที่อัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 60-100% ซึ่งแสดงว่าเพลี้ยไฟยังไม่แสดงความต้านทานมากนัก ในพื้นที่ อ. ศรีนคร จ.สุโขทัย ได้แก่ fipronil, spinetoram, emamectin benzoate, abamectin, chlorfenapyr และ cyantraniliprole ในพื้นที่ อ.วังทอง จ.พิษณุโลก ได้แก่ emamectin benzoate และ chlorfenapyr ในพื้นที่ อ.สากเหล็ก จ.พิจิตร ได้แก่ fipronil, spinetoram, emamectin benzoate และ chlorfenapyr (ภาพที่ 17, ตารางภาคผนวกที่ 17)

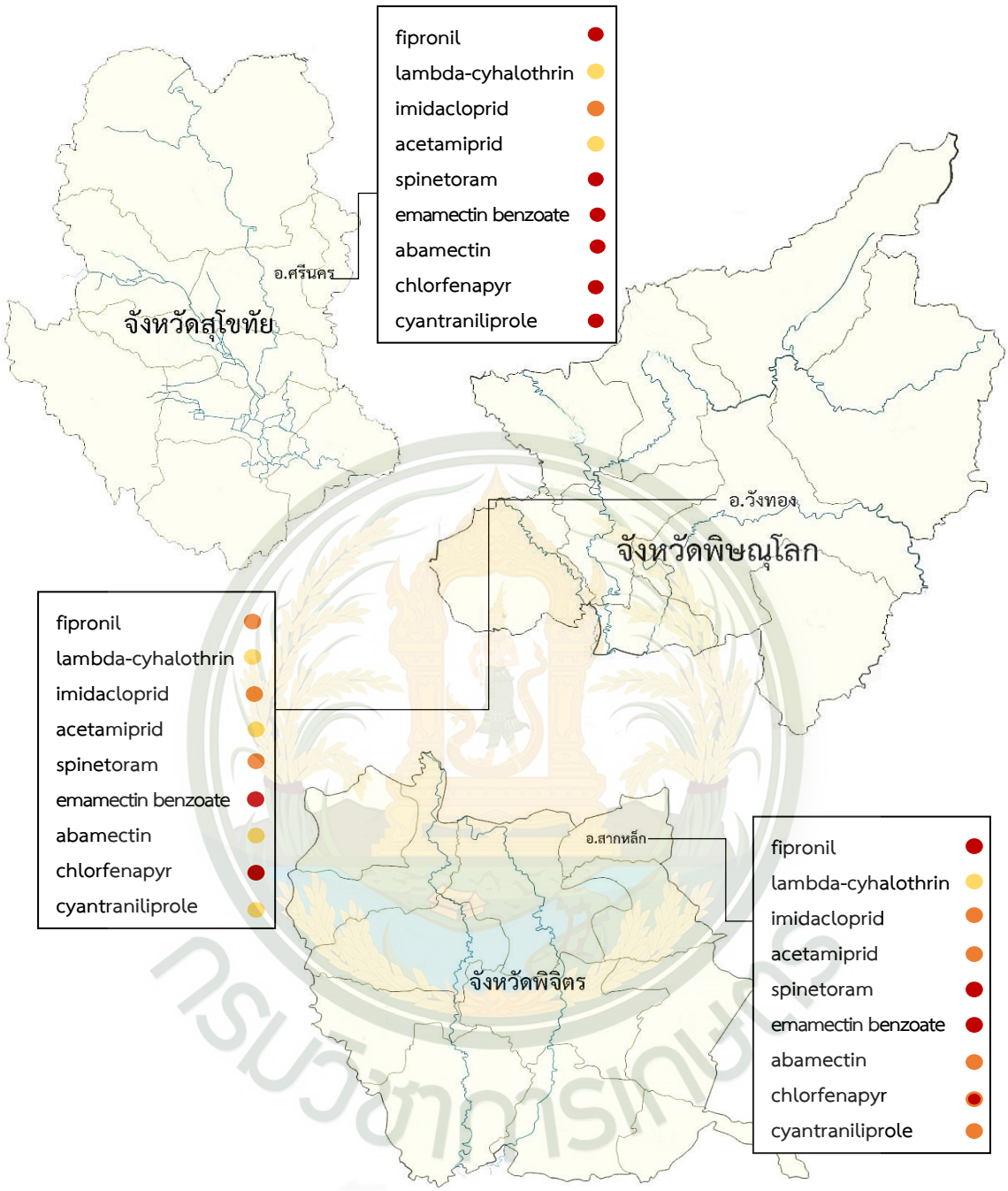
ดังนั้นสารกำจัดแมลงที่สามารถใช้แบบหมุนเวียนเพื่อลดปัญหาความต้านทานในเพลี้ยไฟพริกที่ทำลายมะม่วง ในพื้นที่ จ.สุโขทัย จ.พิษณุโลก จ.พิจิตร นั้นสามารถใช้สารที่มีผลต่อการตายของเพลี้ยไฟปานกลาง-สูง เช่น fipronil, spinetoram, emamectin benzoate และ chlorfenapyr

ในพื้นที่ปลูกมะม่วง จ.ฉะเชิงเทรา และ จ.นครราชสีมา ในช่วงปี พ.ศ. 2562 พบว่าสารกำจัดแมลงที่มีผลต่อการตายของเพลี้ยไฟพริกที่ทำลายมะม่วงต่ำ คือที่อัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 0-20% ซึ่งแสดงว่าเพลี้ยไฟมีความต้านทานสูง ในพื้นที่ อ. บางคล้า จ. ฉะเชิงเทรา ได้แก่ lambda-cyhalothrin และ abamectin ส่วนในพื้นที่ อ. ปากช่อง จ. นครราชสีมา ได้แก่ lambda-cyhalothrin และ acetamiprid ส่วนสารกำจัดแมลงที่มีผลต่อการตายสูงคือที่อัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 60-100% ซึ่งแสดงว่าเพลี้ยไฟยังไม่แสดงความต้านทานมากนัก ในพื้นที่ อ. บางคล้า จ. ฉะเชิงเทรา ได้แก่ fipronil, emamectin benzoate และ chlorfenapyr ส่วนในพื้นที่ อ. ปากช่อง จ. นครราชสีมา ได้แก่ spinetoram, emamectin benzoate และ chlorfenapyr สารเหล่านี้เหมาะในการใช้แบบหมุนเวียนเพื่อป้องกันปัญหาความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงในเพลี้ยไฟในพื้นที่ดังกล่าว (ภาพที่ 18, ตารางภาคผนวกที่ 18)



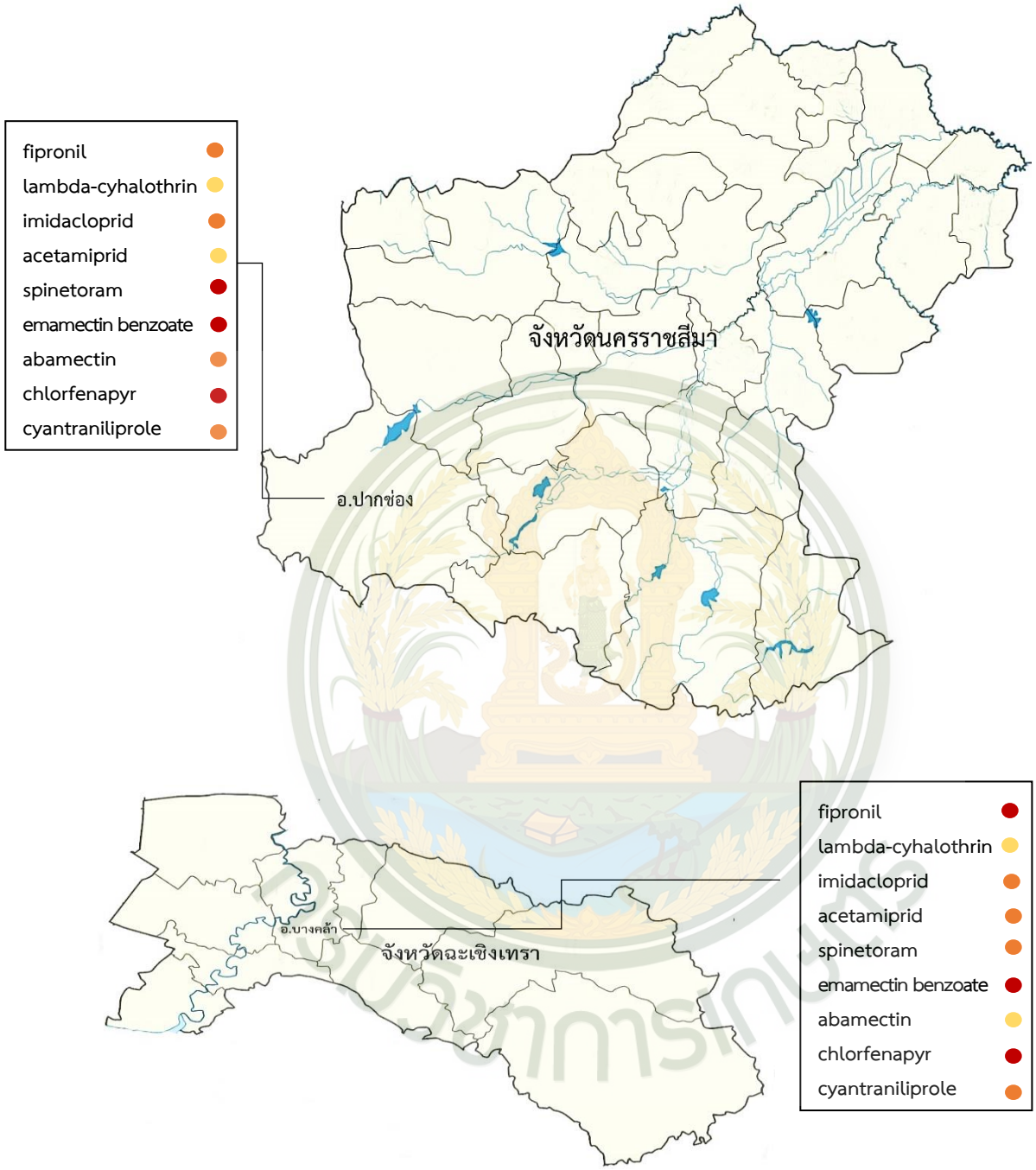
- อัตราการตาย สูง = ที่อัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 60-100% หรือที่สองเท่าของอัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 80-100%
- อัตราการตาย ปานกลาง = ที่อัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 21-59% หรือที่สองเท่าของอัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 41-79%
- อัตราการตาย ต่ำ = ที่อัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 0-20% หรือที่สองเท่าของอัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 0-40%

ภาพที่ 16 การตอบสนองต่อสารกำจัดแมลงชนิดต่าง ๆ ต่อการตายของเพลี้ยไฟพริกทำลายมะม่วงในแหล่งปลูก จังหวัดสุพรรณบุรี ในปี พ.ศ.2562



- อัตราการตาย สูง = ที่อัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 60-100% หรือที่สองเท่าของอัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 80-100%
- อัตราการตาย ปานกลาง = ที่อัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 21-59% หรือที่สองเท่าของอัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 41-79%
- อัตราการตาย ต่ำ = ที่อัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 0-20% หรือที่สองเท่าของอัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 0-40%

ภาพที่ 17 การตอบสนองต่อสารกำจัดแมลงชนิดต่าง ๆ ต่อการตายของเพลี้ยไฟพริกที่ทำลายมะม่วงในแหล่งปลูก จังหวัดสุโขทัย พิษณุโลก และพิจิตร ในช่วงปี พ.ศ. 2562-2563



ภาพที่ 18 การตอบสนองต่อสารกำจัดแมลงชนิดต่าง ๆ ต่อการตายของเพลี้ยไฟพริกที่ทำลายมะม่วงในแหล่งปลูกจังหวัดฉะเชิงเทรา และนครราชสีมาในปี พ.ศ. 2562

สถานการณ์ความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงในเพลี้ยไฟพริก (*Scirtothrips dorsalis* Hood) ในมะนาว

มะนาวเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญ การปลูกมะนาวมักมีปัญหาเนื่องจากมีศัตรูพืชเข้าทำลายหลายชนิด เพลี้ยไฟพริกเป็นแมลงศัตรูที่สำคัญชนิดหนึ่งที่ทำให้ได้ผลผลิตมะนาวลดลง ทำให้ผลเป็นขี้กลาก แคระแกร็น ร่วงหล่นและขายไม่ได้ราคา การระบาดทำลายของเพลี้ยไฟเกิดได้รวดเร็วมากโดยเฉพาะในช่วงแล้ง ฝนทิ้งช่วง เกษตรกรมักใช้สารกำจัดแมลงเพื่อป้องกันการระบาดทำลายของเพลี้ยไฟพริกโดยเกษตรกรมักใช้สารชนิดเดิม ๆ บ่อยครั้งจนทำให้เพลี้ยไฟสร้างความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงในหลายพื้นที่ สุภราดา และคณะ (2563ค) ได้ศึกษาผลของสารกำจัดแมลงชนิดต่าง ๆ ต่อการตายของเพลี้ยไฟพริกในมะนาว โดยจำแนกผลต่อการตายในสารชนิดต่าง ๆ ที่อัตราแนะนำ ดังนี้

fipronil 5% SC	กลุ่ม	2B	อัตราแนะนำ	40ml/20L
lambda-cyhalothrin 2.5% CS	กลุ่ม	3A	อัตราแนะนำ	40ml/20L
imidacloprid 70% WG	กลุ่ม	4A	อัตราแนะนำ	15g/20L
acetamiprid 20% SP	กลุ่ม	4A	อัตราแนะนำ	20g/20L
spinetoram 12% SC	กลุ่ม	5	อัตราแนะนำ	10ml/20L
emamectin benzoate 1.92% EC	กลุ่ม	6	อัตราแนะนำ	20ml/20L
abamectin 1.8% EC	กลุ่ม	6	อัตราแนะนำ	50ml/20L
chlorfenapyr 10% SC	กลุ่ม	13	อัตราแนะนำ	30ml/20L
cyantraniliprole 10% OD	กลุ่ม	28	อัตราแนะนำ	40ml/20L

ผลต่อการตายของเพลี้ยไฟพริกในมะนาว:

สูง = ที่อัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 60-100% หรือที่สองเท่าของอัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 80-100%

กลาง = ที่อัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 21-59% หรือที่สองเท่าของอัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 41-79%

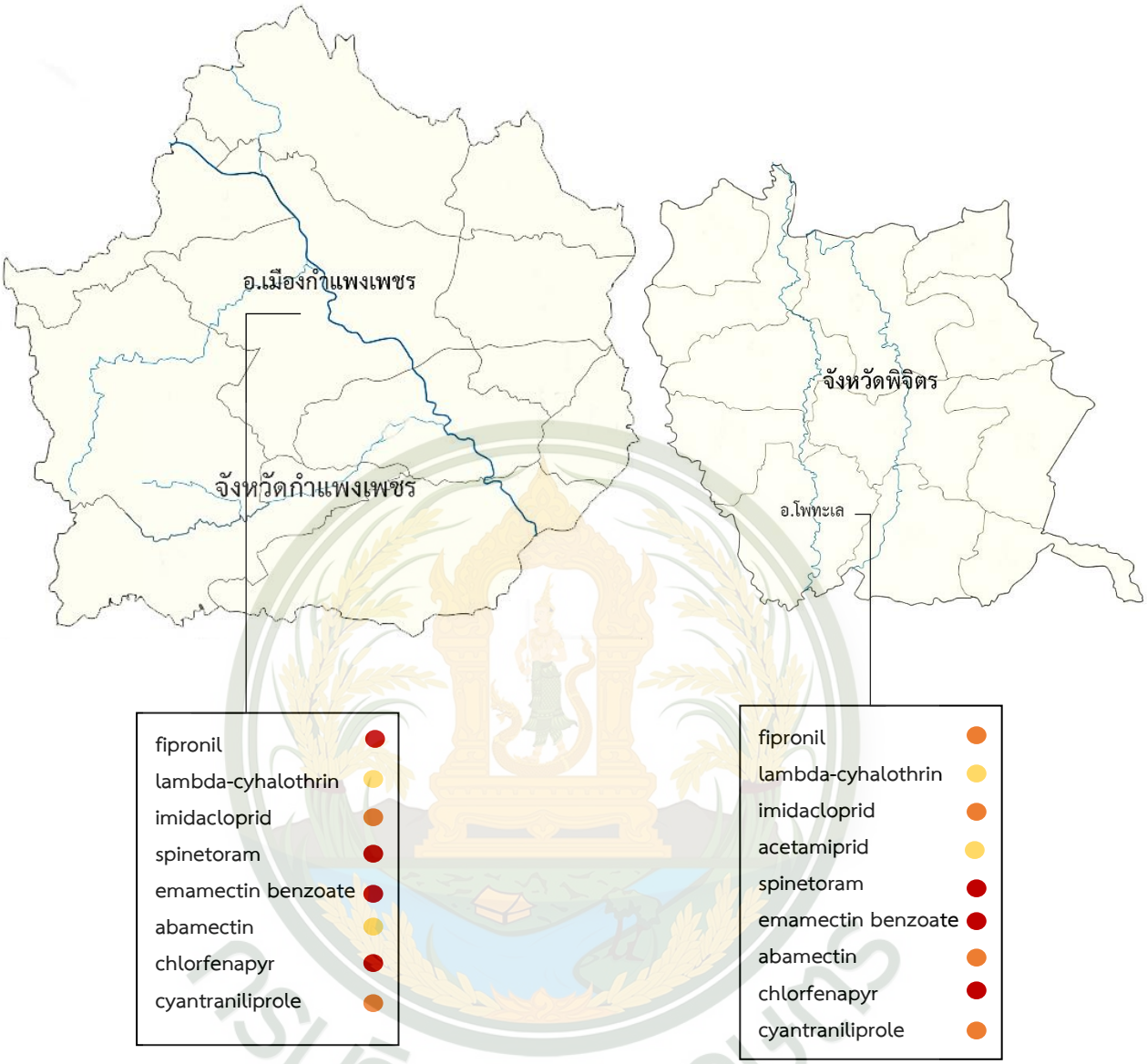
ต่ำ = ที่อัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 0-20% หรือที่สองเท่าของอัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 0-40%

โดย สุภราดา และคณะ (2563ค) พบว่าในพื้นที่ปลูกมะนาวของ จ. กำแพงเพชร และ จ. พิจิตร ในช่วงปี พ.ศ. 2561-2562 สารกำจัดแมลงที่มีผลต่อการตายของเพลี้ยไฟพริกที่ทำลายมะนาวต่ำ คือที่อัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 0-20% ซึ่งแสดงว่าเพลี้ยไฟมีความต้านทานสูง ในพื้นที่ อ.เมืองกำแพงเพชร จ.กำแพงเพชร ได้แก่ lambda-cyhalothrin และ abamectin ส่วนในพื้นที่ อ.โพทะเล จ. พิจิตร ได้แก่ lambda-cyhalothrin และ acetamiprid ส่วนสารกำจัดแมลงที่มีผลต่อการตายสูงคือที่อัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 60-100% ซึ่งแสดงว่าเพลี้ยไฟยังไม่แสดงความต้านทานมากนัก ในพื้นที่ อ.เมืองกำแพงเพชร จ.กำแพงเพชร ได้แก่ fipronil, spinetoram, emamectin benzoate และ chlorfenapyr ส่วนในพื้นที่ อ.โพทะเล จ.พิจิตร ได้แก่ spinetoram, emamectin benzoate และ chlorfenapyr สารเหล่านี้เหมาะในการใช้แบบหมุนเวียนเพื่อป้องกันปัญหาความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงในเพลี้ยไฟในพื้นที่ดังกล่าว (ภาพที่ 19, ตารางภาคผนวกที่ 19)

ในพื้นที่ปลูกมะนาวใน จ.สุพรรณบุรี และ จ.ชัยนาท ในช่วงปี พ.ศ. 2561 พบว่าสารกำจัดแมลงที่มีผลต่อการตายของเพลี้ยไฟพริกที่ทำลายมะนาวต่ำ คือที่อัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 0-20% ซึ่งแสดงว่าเพลี้ยไฟมีความต้านทานสูง ในพื้นที่ อ.ศรีประจันต์ จ.สุพรรณบุรี ได้แก่ abamectin ส่วนในพื้นที่ อ.เดิมบางนางบวช จ.สุพรรณบุรี ได้แก่ lambda-cyhalothrin และในพื้นที่ อ.เมืองชัยนาท จ.ชัยนาท ได้แก่ lambda-cyhalothrin ส่วนสารกำจัดแมลงที่มีผลต่อการตายสูงคือที่อัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 60-100% ซึ่งแสดงว่าเพลี้ยไฟยังไม่

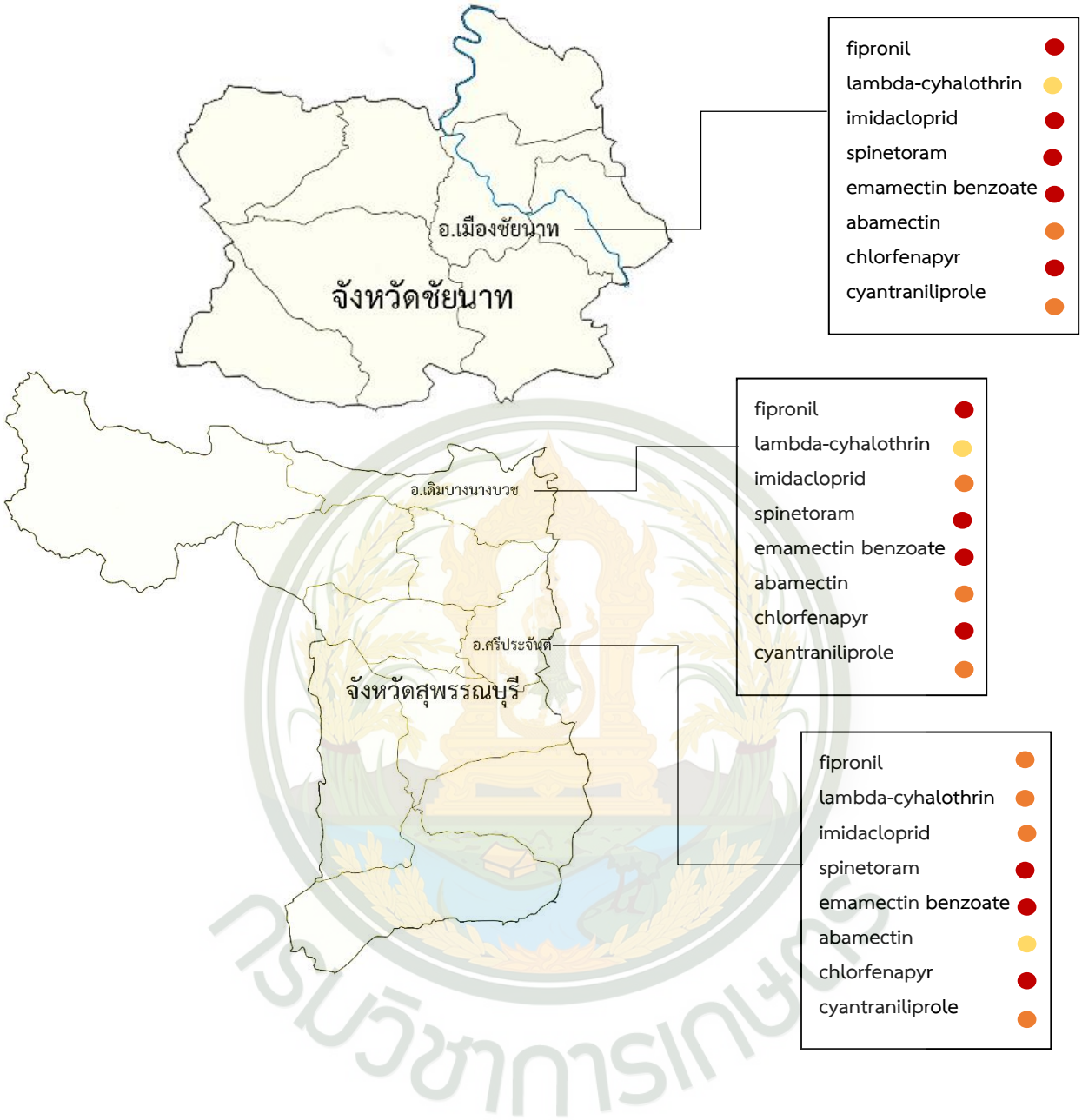
แสดงความต้านทานมากนัก ในพื้นที่ อ. ศรีประจันต์ จ. สุพรรณบุรี ได้แก่ spinetoram, emamectin benzoate และ chlorfenapyr ส่วนในพื้นที่ อ. เดิมบางนางบวช จ. สุพรรณบุรี ได้แก่ fipronil, spinetoram, emamectin benzoate และ chlorfenapyr และในพื้นที่ อ. เมืองชัยนาท จ. ชัยนาท ได้แก่ fipronil, imidacloprid, spinetoram, emamectin benzoate และ chlorfenapyr สารเหล่านี้เหมาะในการใช้แบบหมุนเวียนเพื่อป้องกันปัญหาความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงในเพลี้ยไฟในพื้นที่ดังกล่าว (ภาพที่ 20, ตารางภาคผนวกที่ 20)

กรมวิชาการเกษตร



- อัตราการตาย สูง = ที่อัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 60-100% หรือที่สองเท่าของอัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 80-100%
- อัตราการตาย ปานกลาง = ที่อัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 21-59% หรือที่สองเท่าของอัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 41-79%
- อัตราการตาย ต่ำ = ที่อัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 0-20% หรือที่สองเท่าของอัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 0-40%

ภาพที่ 19 การตอบสนองต่อสารกำจัดแมลงชนิดต่าง ๆ ต่อการตายของเพลี้ยไฟพริกที่ทำลายมะนาวในแหล่งปลูก จังหวัดกำแพงเพชร และจังหวัดพิจิตร ในช่วงปี พ.ศ. 2561-2562



- อัตราการตาย สูง = ที่อัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 60-100% หรือที่สองเท่าของอัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 80-100%
- อัตราการตาย ปานกลาง = ที่อัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 21-59% หรือที่สองเท่าของอัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 41-79%
- อัตราการตาย ต่ำ = ที่อัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 0-20% หรือที่สองเท่าของอัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 0-40%

ภาพที่ 20 การตอบสนองต่อสารกำจัดแมลงชนิดต่าง ๆ ต่อการตายของเพลี้ยไฟพริกที่ทำลายมะนาวในแหล่งปลูกจังหวัดสุพรรณบุรี และจังหวัดชัยนาท ในปี พ.ศ.2561

สถานการณ์ความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงในเพลี้ยไฟฝ้าย (*Thrips palmi* Karny) ในเมล่อน

เมล่อนเป็นพืชเศรษฐกิจชนิดใหม่ที่มีการปลูกอย่างแพร่หลายและมีราคาสูง การปลูกเมล่อนมีศัตรูพืชทำลายมากโดยเฉพาะเพลี้ยไฟซึ่งสามารถทำลายผลผลิตโดยดูดกินน้ำเลี้ยงที่ใบยอด ดอก ผลอ่อน ทำให้ผลมีรอยทำลายและขายไม่ได้ราคา จึงต้องมีการป้องกันกำจัดศัตรูพืชอย่างดี เนื่องจากเมล่อนเป็นผลไม้ที่มีราคาสูง เกษตรกรจึงนิยมใช้สารกำจัดแมลงในการป้องกันกำจัดเพลี้ยไฟฝ้ายที่ทำลายเมล่อนเนื่องจากสามารถป้องกันกำจัดได้อย่างรวดเร็ว แต่การใช้สารกำจัดแมลงของเกษตรกรมักไม่มีการหมุนเวียนสารที่ถูกต้อง ทำให้เกิดปัญหาเพลี้ยไฟสร้างความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงโดยเฉพาะในพื้นที่ปลูกเมล่อนใน จ.สุพรรณบุรี จ.กาญจนบุรี และ จ.พระนครศรีอยุธยา สุภราดา และคณะ (2563ง) ได้ศึกษาผลของสารกำจัดแมลงชนิดต่าง ๆ ต่อการตายของเพลี้ยไฟฝ้ายในเมล่อน โดยจำแนกผลต่อการตายในสารชนิดต่าง ๆ ที่อัตราแนะนำ ดังนี้

fipronil 5% SC	กลุ่ม	2B	อัตราแนะนำ	30ml/20L
lambda-cyhalothrin 2.5% CS	กลุ่ม	3A	อัตราแนะนำ	20ml/20L
imidacloprid 70% WG	กลุ่ม	4A	อัตราแนะนำ	15g/20L
acetamiprid 20% SP	กลุ่ม	4A	อัตราแนะนำ	20g/20L
spinetoram 12% SC	กลุ่ม	5	อัตราแนะนำ	10ml/20L
emamectin benzoate 1.92% EC	กลุ่ม	6	อัตราแนะนำ	30ml/20L
abamectin 1.8% EC	กลุ่ม	6	อัตราแนะนำ	50ml/20L
chlorfenapyr 10% SC	กลุ่ม	13	อัตราแนะนำ	30ml/20L
cyantraniliprole 10% OD	กลุ่ม	28	อัตราแนะนำ	40ml/20L

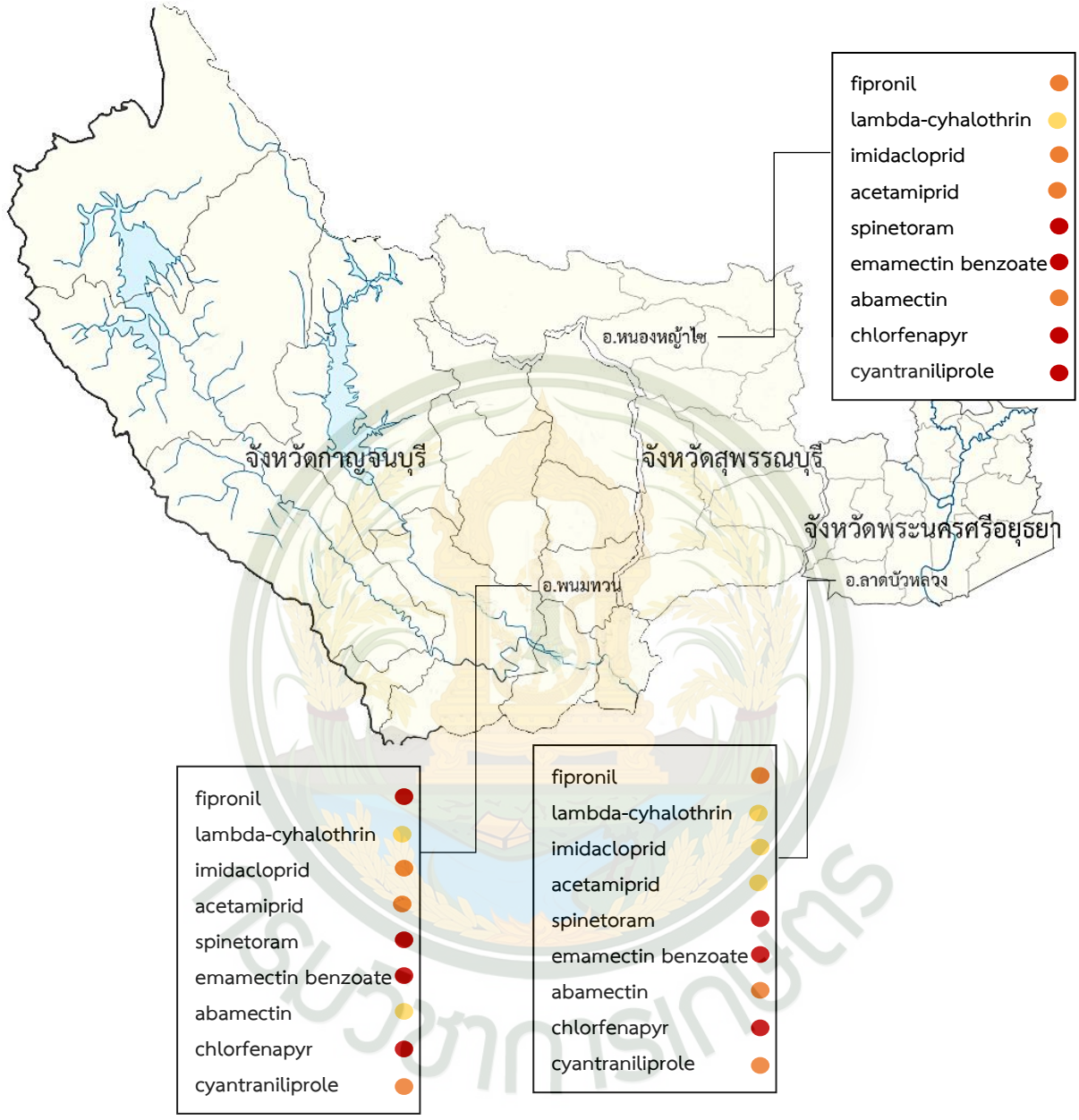
ผลต่อการตายของเพลี้ยไฟฝ้ายในเมล่อน:

สูง = ที่อัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 60-100% หรือที่สองเท่าของอัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 80-100%

กลาง = ที่อัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 21-59% หรือที่สองเท่าของอัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 41-79%

ต่ำ = ที่อัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 0-20% หรือที่สองเท่าของอัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 0-40%

โดย สุภราดา และคณะ (2563ง) พบว่าในช่วงปี พ.ศ. 2562 สารกำจัดแมลงที่มีผลต่อการตายของเพลี้ยไฟฝ้ายที่ทำลายเมล่อนต่ำ คือที่อัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 0-20% ซึ่งแสดงว่าเพลี้ยไฟมีความต้านทานสูงในพื้นที่ อ. หนองหญ้าไซ จ.สุพรรณบุรี ได้แก่ lambda-cyhalothrin ส่วนในพื้นที่ อ.พนมทวน จ.กาญจนบุรี ได้แก่ lambda-cyhalothrin และ abamectin และในพื้นที่ อ.ลาดบัวหลวง จ.พระนครศรีอยุธยา ได้แก่ lambda-cyhalothrin, imidacloprid และ acetamiprid ส่วนสารกำจัดแมลงที่มีผลต่อการตายสูงคือที่อัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 60-100% ซึ่งแสดงว่าเพลี้ยไฟยังไม่แสดงความต้านทานมากนัก ในพื้นที่ อ.หนองหญ้าไซ จ.สุพรรณบุรี ได้แก่ spinetoram, emamectin benzoate, chlorfenapyr และ cyantraniliprole ในพื้นที่ อ.พนมทวน จ.กาญจนบุรี ได้แก่ fipronil, spinetoram, emamectin benzoate และ chlorfenapyr และในพื้นที่ อ. ลาดบัวหลวง จ.พระนครศรีอยุธยา ได้แก่ spinetoram, emamectin benzoate และ chlorfenapyr สารเหล่านี้เหมาะในการใช้แบบหมุนเวียนเพื่อป้องกันปัญหาความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงในเพลี้ยไฟในพื้นที่ดังกล่าว (ภาพที่ 21, ตารางภาคผนวกที่ 21)



- อัตราการตาย สูง = ที่อัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 60-100% หรือที่สองเท่าของอัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 80-100%
- อัตราการตาย ปานกลาง = ที่อัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 21-59% หรือที่สองเท่าของอัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 41-79%
- อัตราการตาย ต่ำ = ที่อัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 0-20% หรือที่สองเท่าของอัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 0-40%

ภาพที่ 21 การตอบสนองต่อสารกำจัดแมลงชนิดต่าง ๆ ต่อการตายของเพลี้ยไฟฝ้ายที่ทำลายเมล่อนในแหล่งปลูก จังหวัดสุพรรณบุรี กาญจนบุรี พระนครศรีอยุธยา ในปี พ.ศ.2562

สถานการณ์ความต้านทานต่อสารกำจัดไรในไรสองจุด (*Tetranychus urticae* Koch) ในสตรอว์เบอร์รี

สตรอว์เบอร์รีเป็นพืชที่นิยมปลูกมากทางภาคเหนือ ปัญหาสำคัญในการปลูกสตรอว์เบอร์รีคือมักพบการทำลายของไรสองจุดอยู่เสมอ โดยไรสองจุดจะดูดกินน้ำเลี้ยงที่บริเวณใต้ใบ เมื่อต้นสตรอว์เบอร์รีถูกไรทำลายมากใบจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลและร่วงในที่สุด ทำให้ต้นสตรอว์เบอร์รีหยุดการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตน้อย เนื่องจากผลผลิตสตรอว์เบอร์รีสามารถขายได้ราคาดี เกษตรกรจึงมีการดูแลเอาใจใส่ในการป้องกันกำจัดไรสองจุดเป็นอย่างดี เกษตรกรหลายรายมักใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชในการป้องกันกำจัดไรสองจุดเนื่องจากสะดวกและให้ผลรวดเร็วในการป้องกันกำจัด แต่เกษตรกรมักใช้สารกำจัดไรชนิดเดิมหรือกลุ่มเดิมซ้ำ ๆ กัน ทำให้ไรสองจุดสร้างความต้านทานขึ้นในแหล่งปลูกสตรอว์เบอร์รีหลายแห่ง ณพชรกร และคณะ (2563) ได้รายงานความต้านทานต่อสารกำจัดไรชนิดต่าง ๆ ในไรสองจุดที่ทำลายสตรอว์เบอร์รีในหลายพื้นที่ของประเทศไทย โดยได้แบ่งระดับความต้านทานตามค่า Resistance factor (RF) หรือค่าความต้านทานต่อสารกำจัดไรเมื่อเทียบกับประชากรไรอ่อนแอตาม Al-Antary et al., (2012) และ Fukami et al., (1983) ดังนี้

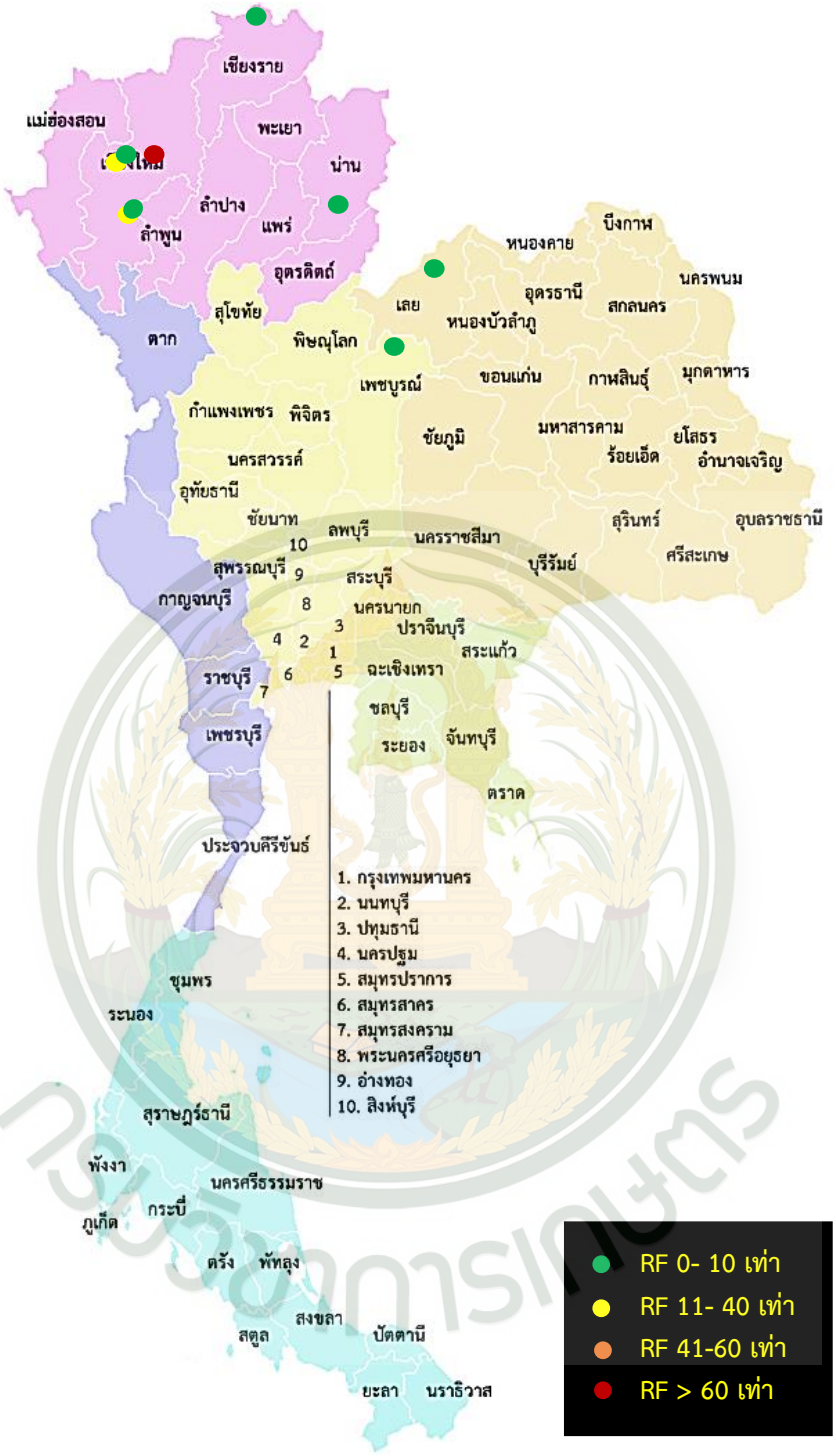
RF <10 คือ ระดับต้านทานต่ำ (Low Resistance, LR)
RF 11-40 คือ ระดับต้านทานปานกลาง (Moderate Resistance, MR)
RF 41-60 คือ ระดับต้านทานสูง (High Resistance, HR)
RF>60 คือ ระดับต้านทานสูงมาก (Very High Resistance, VHR)

ซึ่งค่า RF = ค่า LC_{50} หรือค่าความเข้มข้นของสารกำจัดไรที่ทำให้ไรแต่ละประชากรตาย 50% / ค่า LC_{50} ที่ต่ำที่สุดในประชากรไรอ่อนแอ

ณพชรกร และคณะ (2563) ได้รายงานว่าในปี พ.ศ. 2562 พบไรสองจุดในสตรอว์เบอร์รีในพื้นที่ อ. แม่ริม จ.เชียงใหม่ มีความต้านทานสูงมากต่อสารฆ่าไร pyridaben (กลุ่ม 21A) จึงควรหยุดพักการใช้สารชนิดนี้และใช้สารในกลุ่มอื่น และพบไรสองจุดในสตรอว์เบอร์รีในพื้นที่อื่นที่มีความต้านทานปานกลางต่อ pyridaben คือที่ อ.จอมทอง จ.เชียงใหม่ ดังนั้นการใช้สารนี้ในพื้นที่ดังกล่าวจึงไม่ควรใช้บ่อยครั้งเพราะอาจทำให้ไรสองจุดเกิดความต้านทานสูงขึ้น (ภาพที่ 22, ตารางภาคผนวกที่ 22)

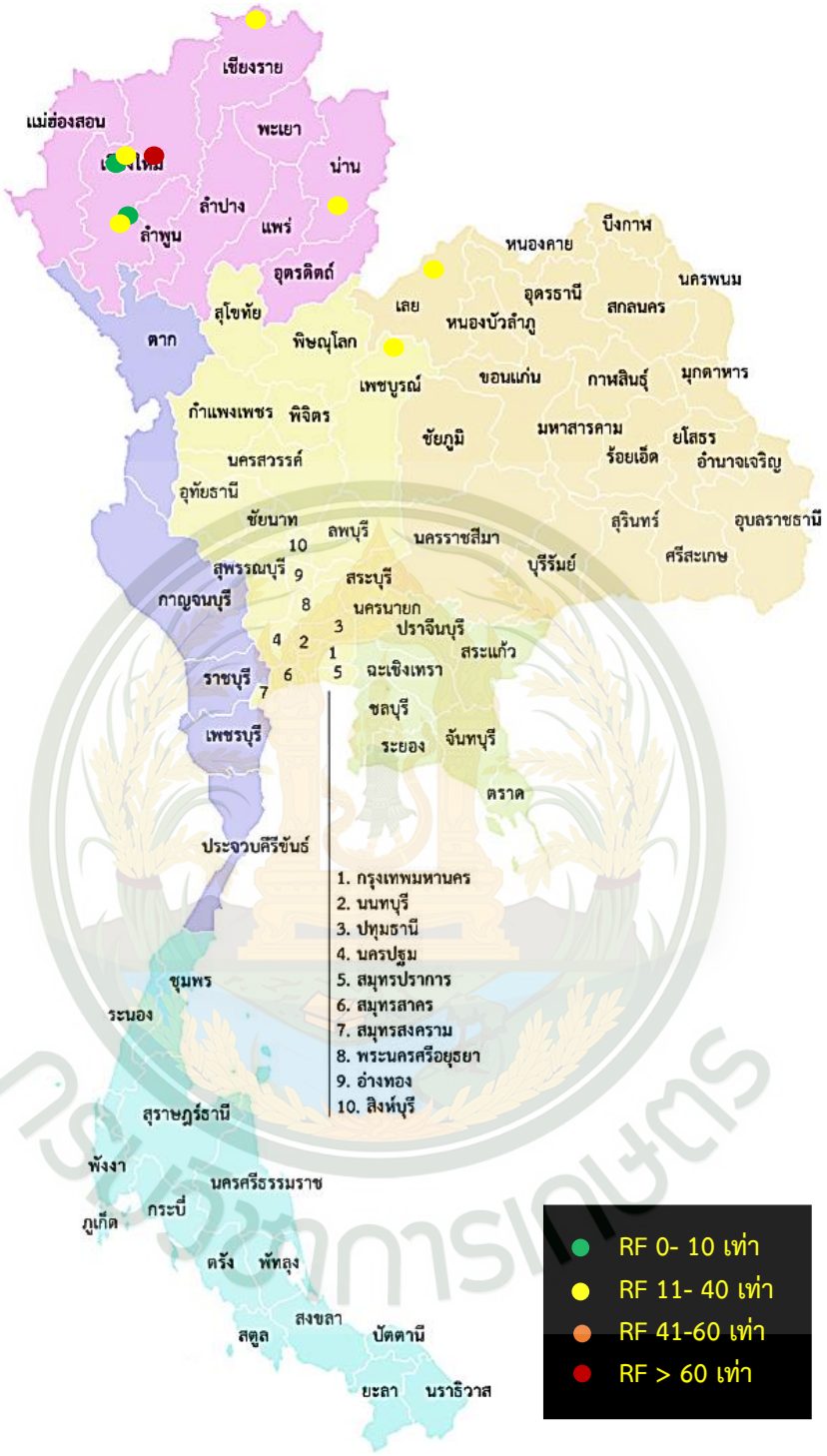
ในพื้นที่ อ. แม่ริม จ. เชียงใหม่ พบไรสองจุดในสตรอว์เบอร์รีมีความต้านทานสูงมากต่อสารกำจัดไร propargite (กลุ่ม 12C) จึงควรหยุดพักการใช้สารชนิดนี้และเลือกใช้สารกลุ่มอื่น ส่วนไรสองจุดในสตรอว์เบอร์รีที่พบในพื้นที่อื่นที่มีความต้านทานปานกลางต่อ propargite คือที่ อ.เวียงสา จ.น่าน, อ.สะเมิง, อ.จอมทอง จ.เชียงใหม่, อ.เขาค้อ จ.เพชรบูรณ์, อ.เชียงคาน จ.เลย และ อ.แม่สาย จ.เชียงราย เนื่องจากสารชนิดนี้มีความต้านทานหลายพื้นที่ ดังนั้นจึงต้องระมัดระวังในการใช้โดยไม่ควรใช้บ่อยครั้งเพราะอาจทำให้ไรสองจุดเกิดความต้านทานสูงขึ้นในอนาคต (ภาพที่ 23, ตารางภาคผนวกที่ 23)

พบไรสองจุดในสตรอว์เบอร์รีมีความต้านทานปานกลางต่อสาร fenpyroximate (กลุ่ม 21A) ในพื้นที่ อ.สะเมิง อ.จอมทอง จ.เชียงใหม่ ส่วนในพื้นที่ อ.เวียงสา จ.น่าน และ อ.จอมทอง จ.เชียงใหม่ พบไรสองจุดในสตรอว์เบอร์รีมีความต้านทานปานกลางต่อสาร tebufenpyrad (กลุ่ม 21A) นอกจากนี้ในพื้นที่ อ. เวียงสา จ.น่าน, อ.แม่ริม จ.เชียงใหม่ ยังพบไรสองจุดในสตรอว์เบอร์รีมีความต้านทานปานกลางต่อสาร spiromesifen (กลุ่ม 23) แต่ในพื้นที่บางแห่งของ อ.สะเมิง จ.เชียงใหม่ พบไรสองจุดในสตรอว์เบอร์รีมีความต้านทานสูงต่อสาร spiromesifen (กลุ่ม 23) จึงควรหยุดพักการใช้สารกลุ่มที่ไรสองจุดมีความต้านทานสูงและเปลี่ยนไปใช้สารกลุ่มอื่น นอกจากนี้ยังพบไรสองจุดในสตรอว์เบอร์รีมีความต้านทานปานกลางต่อสาร abamectin (กลุ่ม 6) ในพื้นที่บางแห่งของ อ.สะเมิง และ อ.จอมทอง จ.เชียงใหม่ ดังนั้นจึงต้องระมัดระวังการใช้สารเหล่านี้โดยไม่ควรใช้บ่อยครั้งเพราะอาจทำให้ไรสองจุดสร้างความต้านทานสูงขึ้น (ภาพที่ 24-27, ตารางภาคผนวกที่ 24-27)



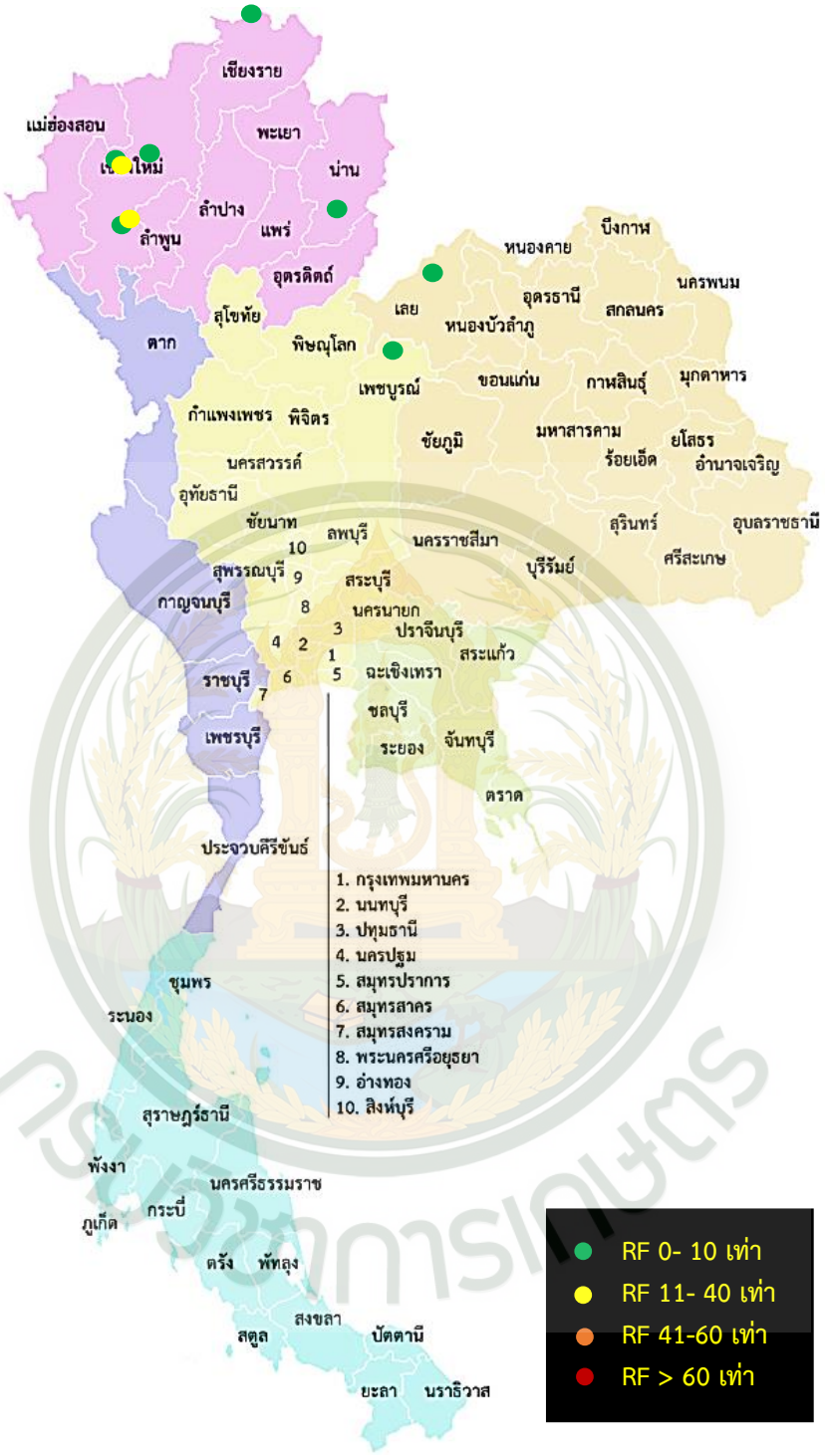
ภาพที่ 22 ความต้านทานต่อสาร pyridaben (กลุ่ม 21A) ของไรสองจุดในสตรอว์เบอร์รีจากพื้นที่ต่าง ๆ ของประเทศไทยในปี พ.ศ.2562

RF (Resistance factor) = ค่าความต้านทานต่อสารกำจัดไรเมื่อเปรียบเทียบกับประชากรไรอ่อนแอ



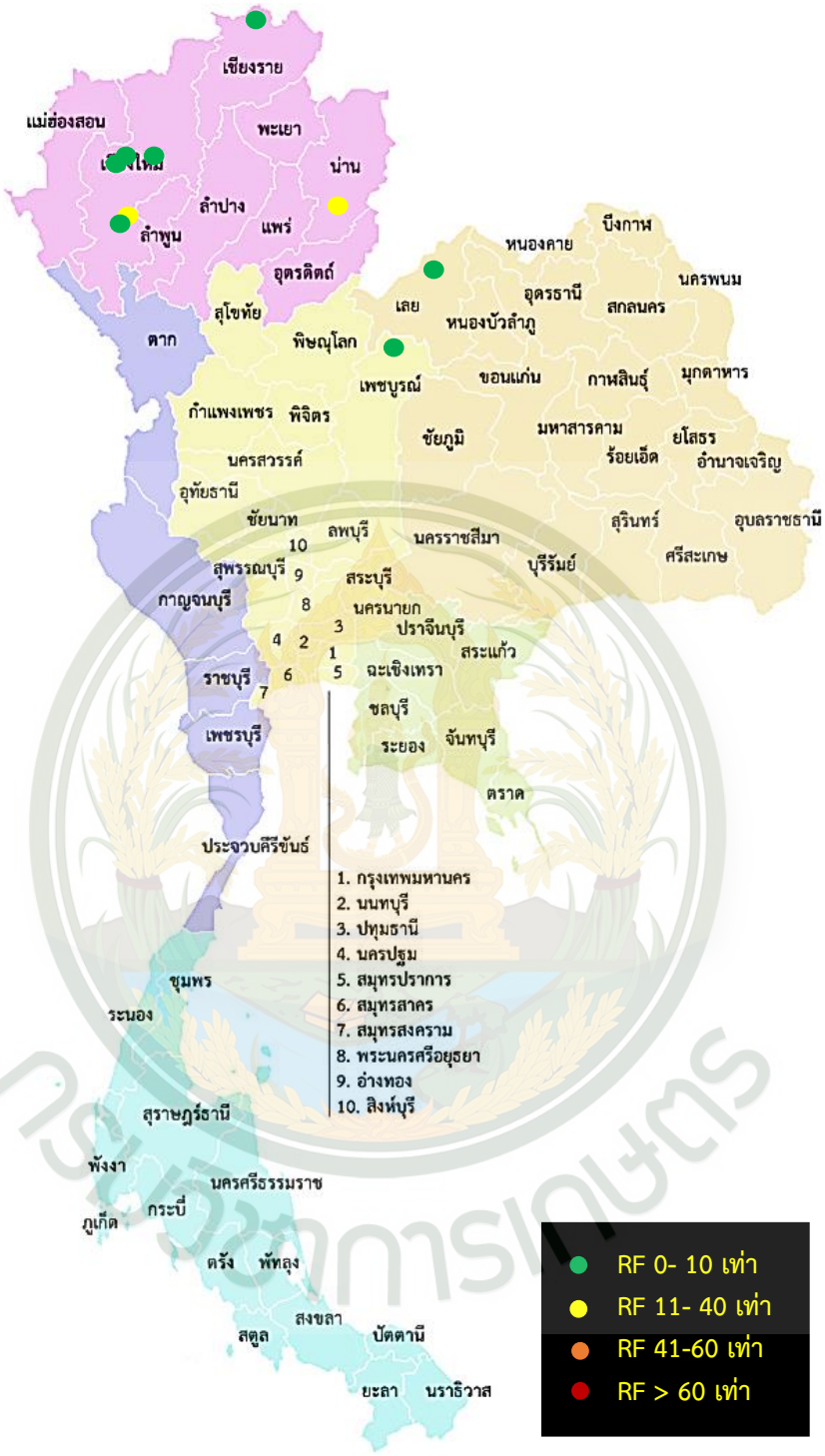
ภาพที่ 23 ความต้านทานต่อสาร propargite (กลุ่ม 12C) ของไรสองจุดในสตรอว์เบอร์รีจากพื้นที่ต่าง ๆ ของประเทศไทยในปี พ.ศ.2562

RF (Resistance factor) = ค่าความต้านทานต่อสารกำจัดไรเมื่อเปรียบเทียบกับประชากรไรอ่อนแอ



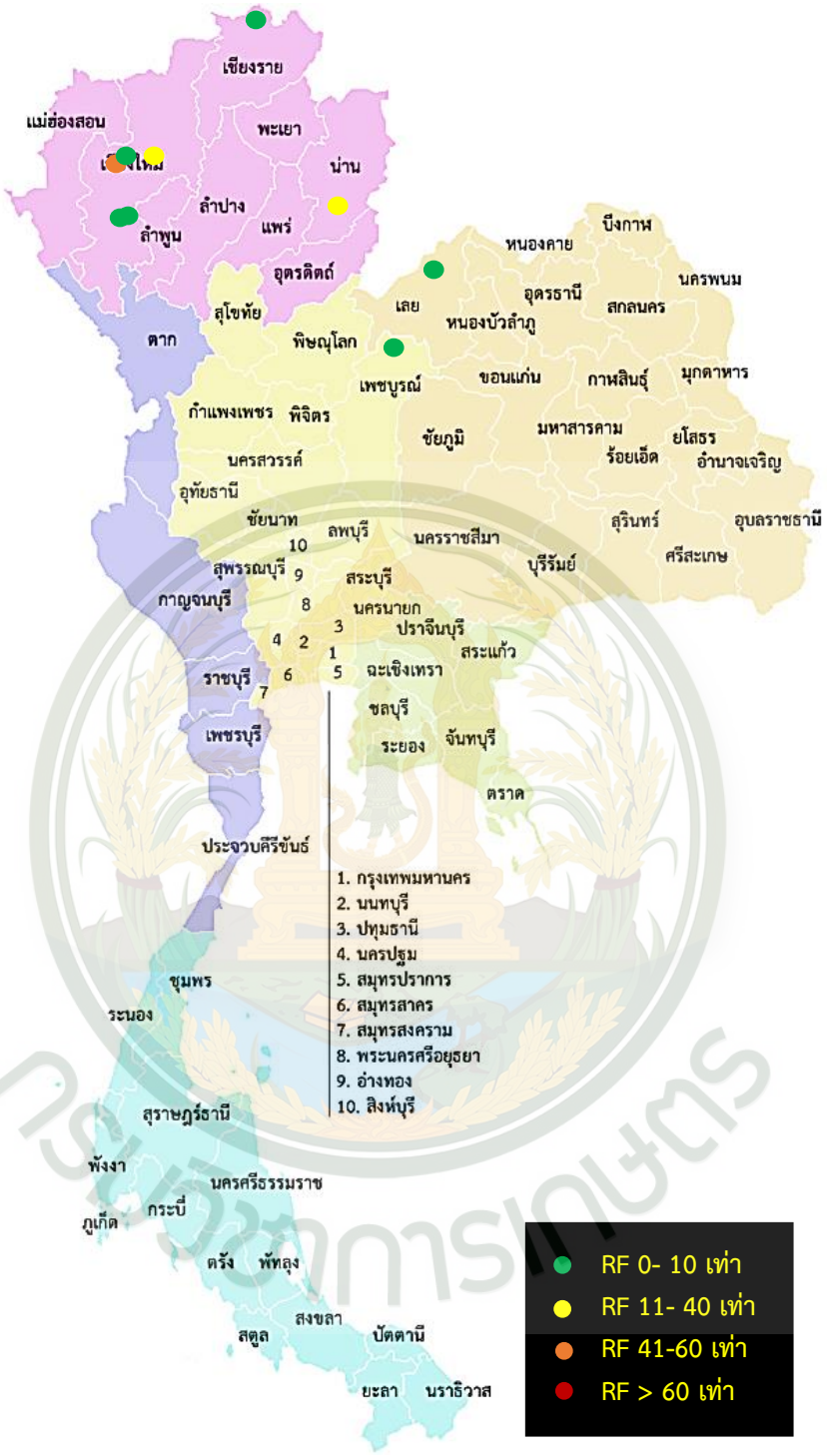
ภาพที่ 24 ความต้านทานต่อสาร fenpyroximate (กลุ่ม 21A) ของไรสองจุดในสตรอว์เบอร์รีจากพื้นที่ต่าง ๆ ของประเทศไทยในปี พ.ศ.2562

RF (Resistance factor) = ค่าความต้านทานต่อสารกำจัดไรเมื่อเปรียบเทียบกับประชากรไรอ่อนแอ



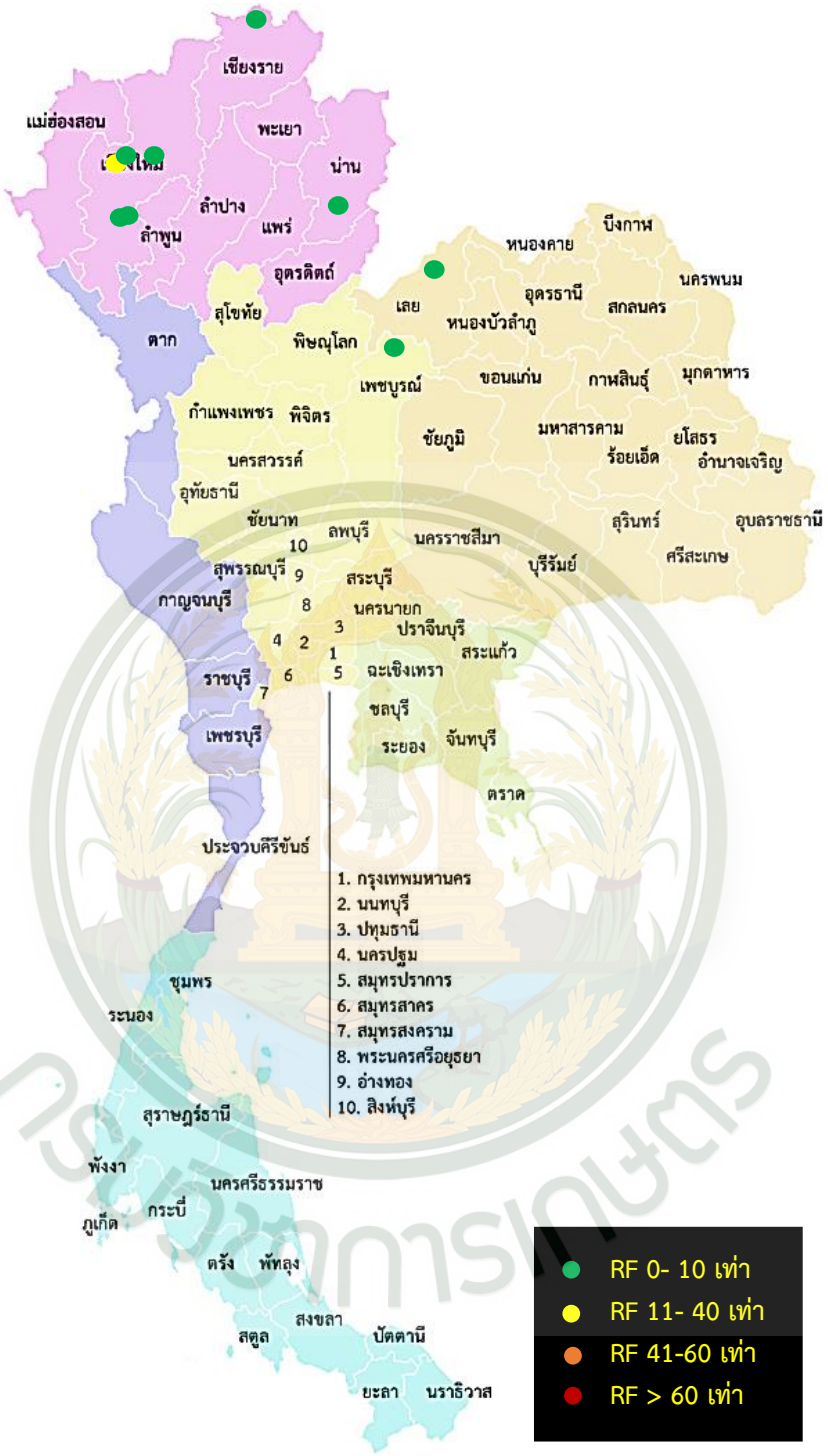
ภาพที่ 25 ความต้านทานต่อสาร tebufenpyrad (กลุ่ม 21A) ของไรสองจุดในสตรอว์เบอร์รีจากพื้นที่ต่าง ๆ ของประเทศไทยในปี พ.ศ.2562

RF (Resistance factor) = ค่าความต้านทานต่อสารกำจัดไรเมื่อเปรียบเทียบกับประชากรไรอ่อนแอ



ภาพที่ 26 ความต้านทานต่อสาร spiromesifen (กลุ่ม 23) ของไรสองจุดในสตรอว์เบอร์รีจากพื้นที่ต่าง ๆ ของประเทศไทยในปี พ.ศ.2562

RF (Resistance factor) = ค่าความต้านทานต่อสารกำจัดไรเมื่อเปรียบเทียบกับประชากรไรอ่อนแอ



ภาพที่ 27 ความต้านทานต่อสาร abamectin (กลุ่ม 6) ของไรสองจุดในสตรอว์เบอร์รีจากพื้นที่ต่าง ๆ ของประเทศไทยในปี พ.ศ.2562

RF (Resistance factor) = ค่าความต้านทานต่อสารกำจัดไรเมื่อเปรียบเทียบกับประชากรไรอ่อนแอ

สถานการณ์ความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงในหนอนกระทู้ข้าวโพดลายจุด (*Spodoptera frugiperda* J.E. Smith) ในข้าวโพด

หนอนกระทู้ข้าวโพดลายจุดเป็นแมลงศัตรูพืชชนิดใหม่ที่เพิ่งมีการระบาดทำลายข้าวโพดในประเทศไทยเมื่อไม่นานมานี้ การระบาดทำลายของแมลงชนิดนี้รวดเร็วและรุนแรงมากจนทำให้ข้าวโพดไม่ได้ผลผลิต เนื่องจากแมลงชนิดนี้มีการระบาดที่รุนแรงและทำความเสียหายได้มาก เกษตรกรมักใช้สารกำจัดแมลงเพื่อป้องกันกำจัดแมลงชนิดนี้ได้ทันเวลา แต่การใช้สารกำจัดแมลงชนิดเดิมซ้ำกันบ่อยครั้งทำให้แมลงเกิดความต้านทานได้ ดังนั้นเพื่อป้องกันการเกิดปัญหาความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงในหนอนกระทู้ข้าวโพดลายจุด จึงต้องมีการเลือกชนิดกลุ่มสารกำจัดแมลงเพื่อวางแผนการใช้สารกำจัดแมลงแบบหมุนเวียนตามกลุ่มกลไกการออกฤทธิ์อย่างเหมาะสม จึงจำเป็นต้องทราบข้อมูลความต้านทานของแมลงต่อสารกำจัดแมลงชนิดต่าง ๆ เพื่อเลือกใช้สารที่หนอนกระทู้ข้าวโพดลายจุดยังไม่เกิดความต้านทาน

สุภางคนา และคณะ (2563) ได้ศึกษาผลของสารกำจัดแมลงชนิดต่าง ๆ ต่อการตายของหนอนกระทู้ข้าวโพดลายจุดในพื้นที่ปลูกข้าวโพด อ. ท่าม่วง จ. กาญจนบุรี โดยจำแนกผลต่อการตายในสารชนิดต่าง ๆ ที่อัตราแนะนำ ดังนี้

spinetoram 12% SC	กลุ่ม	5	อัตราแนะนำ	20ml/20L
chlorfenapyr 10% SC	กลุ่ม	13	อัตราแนะนำ	30ml/20L
emamectin benzoate 5% WG	กลุ่ม	6	อัตราแนะนำ	10g/20L
methoxyfenozide+spinetoram 30%+6% SC	กลุ่ม	18+5	อัตราแนะนำ	30ml/20L
spinetoram 25% WG	กลุ่ม	5	อัตราแนะนำ	10g/20L
emamectin benzoate 1.92% EC	กลุ่ม	6	อัตราแนะนำ	20ml/20L
indoxacarb 15% SC	กลุ่ม	22A	อัตราแนะนำ	30ml/20L
lufenuron 5% EC	กลุ่ม	15	อัตราแนะนำ	20ml/20L
abamectin+chlorantraniliprole 1.8% + 4.5% SC	กลุ่ม	6+28	อัตราแนะนำ	20ml/20L
flubendiamide+thiacloprid 24%+24% SC	กลุ่ม	28+4A	อัตราแนะนำ	20ml/20L
chlorantraniliprole 5.17% SC	กลุ่ม	28	อัตราแนะนำ	20ml/20L
flubendiamide 20% WDG	กลุ่ม	28	อัตราแนะนำ	6g/20L

ผลต่อการตายของหนอนกระทู้ข้าวโพดลายจุดในข้าวโพด :

สูง = ที่อัตราแนะนำหนอนตาย 60-100%

กลาง = ที่อัตราแนะนำหนอนตาย 21-59%

ต่ำ = ที่อัตราแนะนำหนอนตาย 0-20%

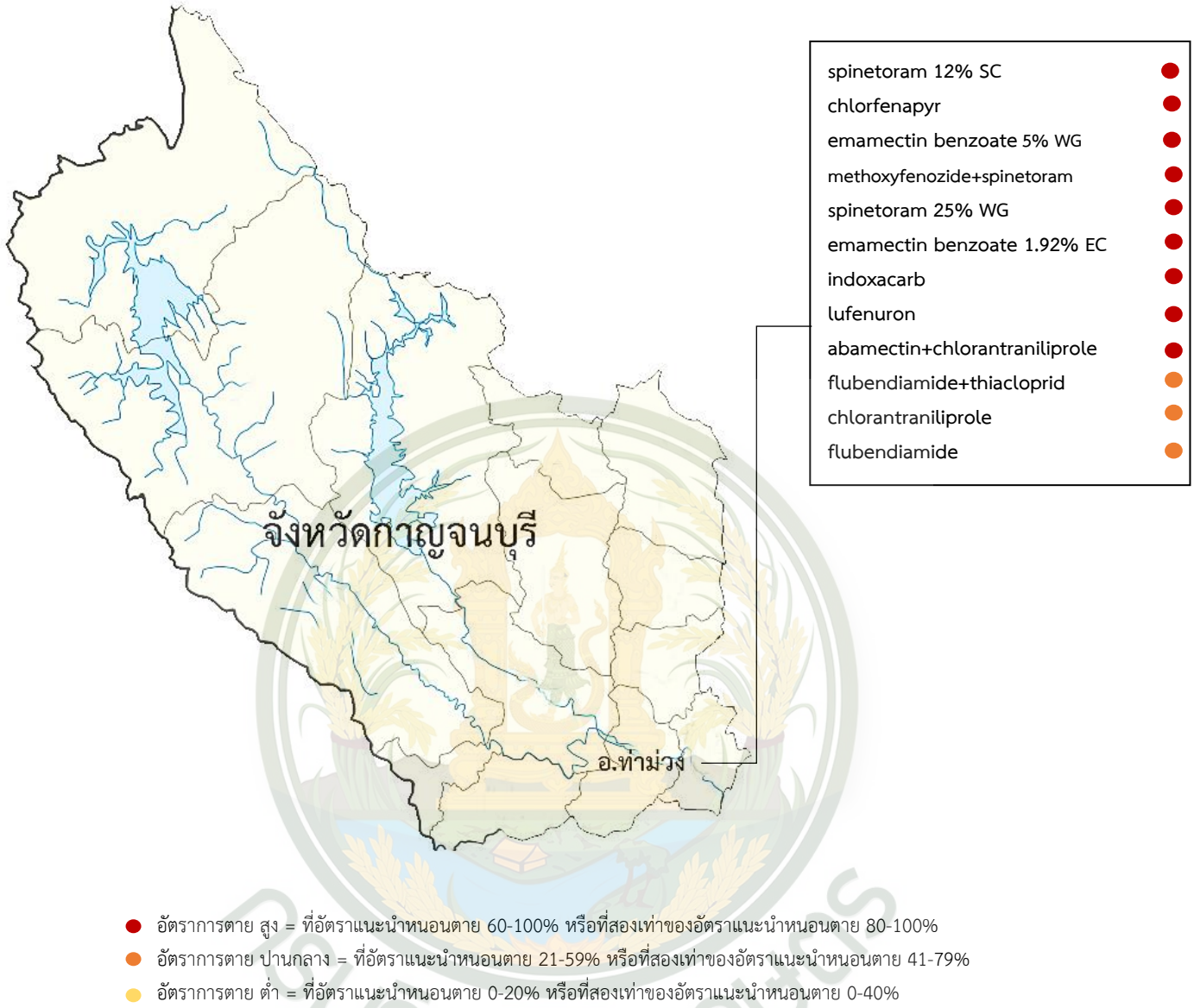
นอกจากนี้ สุภางคนา และคณะ (2563) ได้ศึกษาความต้านทานของสาร emamectin benzoate 1.92% EC ในหนอนกระทู้ข้าวโพดลายจุดในพื้นที่ปลูกข้าวโพด อ.บึงสามพัน จ.เพชรบูรณ์ และ อ.ท่าม่วง จ.กาญจนบุรี โดยได้แบ่งระดับความต้านทานตามค่า Resistance factor (RF) หรือค่าความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงเมื่อเทียบกับประชากรแมลงอ่อนแอตาม Ahmad and Arif (2009) ดังนี้

1)	ไม่ต้านทาน (no resistance)	RF ≤1
2)	ต้านทานน้อยมาก (very low resistance)	RF >1-10
3)	ต้านทานน้อย (low resistance)	RF >10-20
4)	ต้านทานปานกลาง (moderate resistance)	RF >20-50

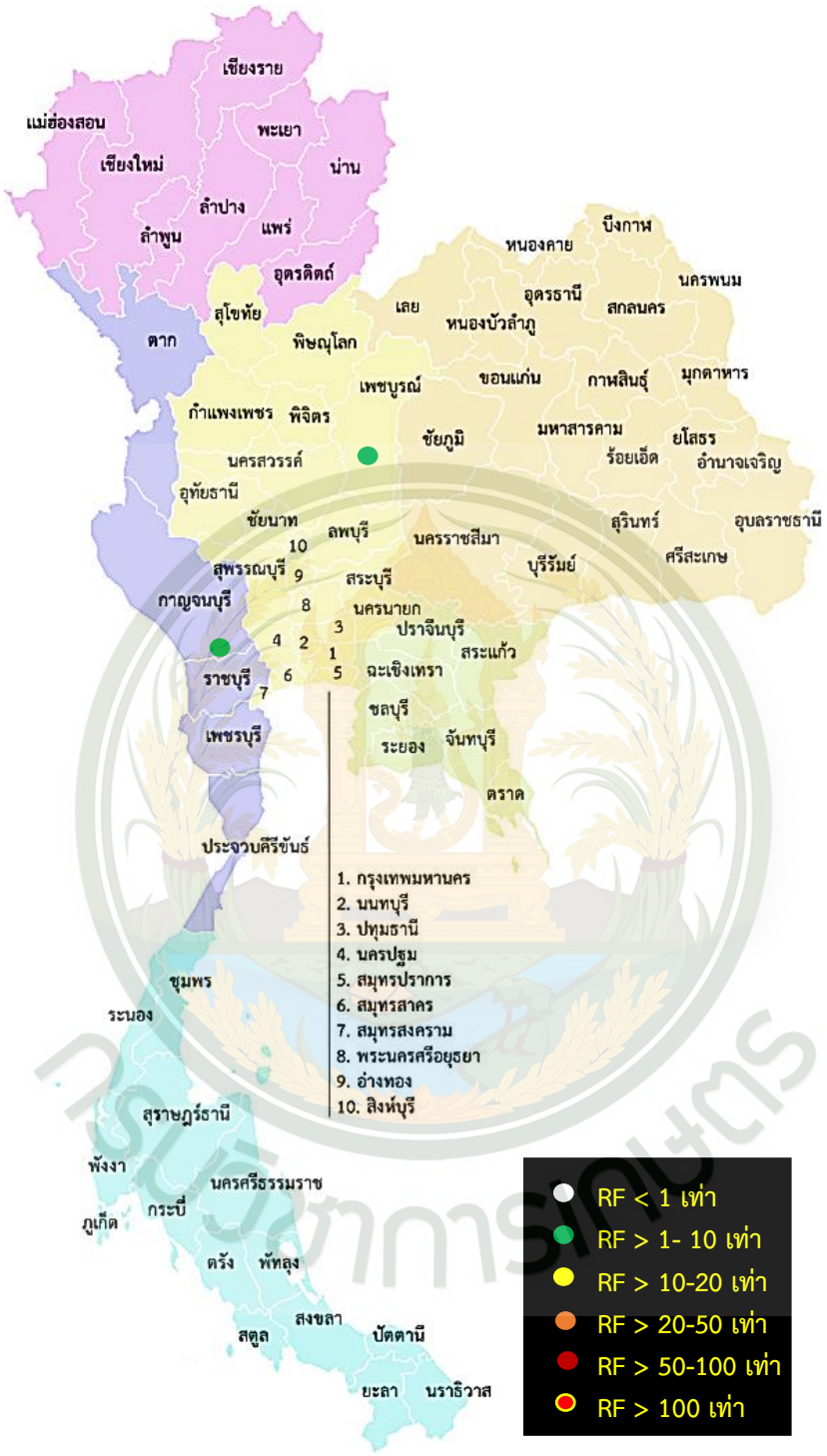
5) ต้านทานสูง (high resistance) RF >50-100
6) ต้านทานสูงมาก (very high resistance) RF >100

ซึ่งค่า RF = ค่า LC_{50} หรือค่าความเข้มข้นของสารกำจัดแมลงที่ทำให้หนอนแต่ละประชากรตาย 50% / ค่า LC_{50} ที่ต่ำที่สุดในประชากรหนอนอ่อนแอ

ข้อมูลในปี พ.ศ. 2562 ชี้ว่าสารกำจัดแมลงที่มีพิษสูงต่อหนอนกระทู้ข้าวโพดลายจุดจาก อ.ท่าม่วง จ.กาญจนบุรี โดยทำให้แมลงชนิดนี้ตาย 100% ในอัตราที่แนะนำและสามารถใช้ในการพ่นสารแบบหมุนเวียนได้แก่ spinetoram 12% SC, chlorfenapyr 10% SC, emamectin benzoate 5% WG, methoxy-fenozide+spinetoram 30%+6% SC, spinetoram 25% WG, indoxacarb 15% SC และ emamectin benzoate 1.92% EC (สุภางคนา และคณะ 2563) นอกจากนี้ยังพบว่าประชากรหนอนกระทู้ข้าวโพดลายจุดจากพื้นที่ปลูกข้าวโพดขนาดใหญ่ใน อ.บึงสามพัน จ.เพชรบูรณ์ และ อ.ท่าม่วง จ.กาญจนบุรี มีความต้านทานต่อสาร emamectin benzoate ในระดับที่ต่ำมาก จึงยังสามารถใช้สารนี้ในการพ่นสารแบบหมุนเวียนได้ (ภาพที่ 28-29, ตารางภาคผนวกที่ 28-29)



ภาพที่ 28 การตอบสนองต่อสารกำจัดแมลงชนิดต่าง ๆ ต่อการตายของหนอนกระทู้ข้าวโพดลายจุดที่ทำลายข้าวโพดในแหล่งปลูก จังหวัดกาญจนบุรี ปี พ.ศ.2562



ภาพที่ 29 ความต้านทานต่อสาร emamectin benzoate (กลุ่ม 6) ในหนอนกระทู้ข้าวโพดลายจุดที่ อ.บึงสามพัน จ.เพชรบูรณ์ และ อ.ท่าม่วง จ.กาญจนบุรี ในช่วงปี พ.ศ.2563-2564

RF (Resistance factor) = ค่าความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงเมื่อเปรียบเทียบกับประชากรแมลงอ่อนแอ

บทสรุป

ข้อมูลสถานการณ์ความต้านทานของศัตรูพืชชนิดต่าง ๆ เช่น ในหนอนใยผักที่ทำลายพืชตระกูลกะหล่ำ เพลี้ยไฟที่ทำลายพริก กล้วยไม้สกุลหวาย กุหลาบพวง มะม่วง มะนาว เมล่อน ไรสองจุดที่ทำลายสตรอว์เบอร์รี และหนอนกระทู้ข้าวโพดลายจุดที่ทำลายข้าวโพดในพื้นที่ต่าง ๆ นั้นสามารถนำมาใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการวางแผนการใช้สารแบบหมุนเวียนเพื่อแก้ปัญหาความต้านทานต่อสารกำจัดศัตรูพืช ส่วนในพื้นที่ที่ศัตรูพืชยังไม่มีความต้านทานก็ควรใช้สารแบบหมุนเวียนได้เลยเพื่อเป็นการป้องกันการเกิดปัญหาในอนาคต จากข้อมูลสถานการณ์ความต้านทานของศัตรูพืชชนิดต่าง ๆ ชี้ว่าสารกำจัดแมลงและไรชนิดใดบ้างและกลุ่มใดบ้างที่ศัตรูพืชมีความต้านทานสูงและควรงดใช้ หรือสารกำจัดแมลงชนิดใดบ้างและกลุ่มใดบ้างที่ศัตรูพืชมีความต้านทานน้อย และไม่มีความต้านทาน เพื่อให้นักวิชาการ เกษตรกร และผู้สนใจทั่วไป สามารถเลือกใช้ในการพ่นสารแบบหมุนเวียนตามกลุ่มกลไกการออกฤทธิ์หรือใช้ปรับปรุงแผนการใช้สารแบบหมุนเวียนเพื่อป้องกันและแก้ปัญหาศัตรูพืชต้านทานต่อสารกำจัดศัตรูพืชอย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารอ้างอิง

ณพชรกร ธไภษัชย์ อัจฉราภรณ์ ประเสริฐผล พลอยชมพู กรวิภาสเรือง อทิติยา แก้วประดิษฐ์ วิมลวรรณ โชติวงศ์. 2564. ความต้านทานและการจัดการสารกำจัดไร ในไรสองจุด *Tetranychus urticae Koch* ในสตรอว์เบอร์รี . *ใน* ผลงานวิจัยประจำปี 2563. สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (อยู่ระหว่างการตีพิมพ์)

สุภราดา สุคนธาภิรมย์ ณ พัทลุง สมศักดิ์ ศิริพลตั้งมั่น ศรีจำนรรจ์ ศรีจันทรา. 2562ก. ความต้านทานต่อสารฆ่าแมลงในเพลี้ยไฟพริก *Scirtothrips dorsalis* ที่ทำลายพริก. รายงานผลงานวิจัยประจำปี 2561. สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช. กรมวิชาการเกษตร. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

สุภราดา สุคนธาภิรมย์ ณ พัทลุง ศรีจำนรรจ์ ศรีจันทรา สมศักดิ์ ศิริพลตั้งมั่น. 2562ข. ความต้านทานต่อสารฆ่าแมลงในเพลี้ยไฟพริก *Scirtothrips dorsalis* ที่ทำลายกุหลาบพวงในแหล่งปลูกภาคกลาง. รายงานผลงานวิจัยประจำปี 2561. สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช. กรมวิชาการเกษตร. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

สุภราดา สุคนธาภิรมย์ ณ พัทลุง ศรีจำนรรจ์ ศรีจันทรา สมศักดิ์ ศิริพลตั้งมั่น. 2563ก. การเปลี่ยนแปลงความเป็นพิษของสารฆ่าแมลง spinetoram และ emamectin benzoate ในเพลี้ยไฟฝ้าย *Thrips palmi* ที่ทำลายกล้วยไม้. รายงานผลงานวิจัยประจำปี 2562. สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช. กรมวิชาการเกษตร. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

สุภราดา สุคนธาภิรมย์ ณ พัทลุง ศรีจำนรรจ์ ศรีจันทรา สมศักดิ์ ศิริพลตั้งมั่น. 2563ข. ความต้านทานต่อสารฆ่าแมลงในเพลี้ยไฟพริก *Scirtothrips dorsalis* Hood ที่ทำลายมะม่วง. รายงานผลงานวิจัยประจำปี 2562. สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช. กรมวิชาการเกษตร. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

สุภราดา สุคนธาภิรมย์ ณ พัทลุง ศรีจำนรรจ์ ศรีจันทรา สมศักดิ์ ศิริพลตั้งมั่น. 2563ค. ความเป็นพิษของสารฆ่าแมลงชนิดต่าง ๆ ต่อเพลี้ยไฟพริก *Scirtothrips dorsalis* ในมะนาว. รายงานผลงานวิจัยประจำปี 2562. สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช. กรมวิชาการเกษตร. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

สุภราดา สุคนธาภิรมย์ ณ พัทลุง ศรีจำนรรจ์ ศรีจันทรา สมศักดิ์ ศิริพลตั้งมั่น. 2563ง. ความต้านทานต่อสารฆ่าแมลงในเพลี้ยไฟฝ้าย *Thrips palmi* Karny ที่ทำลายเมล่อน. รายงานผลงานวิจัยประจำปี 2562. สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช. กรมวิชาการเกษตร. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

สุภางคนา ถิรวุธ วรวิช สุดจริตธรรมจริยางกูร อุราพร หนูนารถ สมรวย รวมชัยอภิกุล. 2563. ระดับความเป็นพิษของสารฆ่าแมลงชนิดต่าง ๆ ต่อหนอนกระทู้ข้าวโพดลายจุด, น. 197-209. ใน: เอกสารประกอบการประชุมวิชาการสำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืชประจำปี 2563. ห้องประชุมกองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร. กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.

Ahmad, M., and M. I. Arif. 2009. Resistance of Pakistani field populations of spotted bollworm *Earias vittella* (Lepidoptera: Noctuidae) to pyrethroid, organophosphorus and new chemical insecticides. Pest Manag. Sci. 65(4): 433-439.

Ahmad, M., M. I. Arif and M. Ahmad. 2007. Occurrence of insecticide resistance in field populations of *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae) in Pakistan. Crop Protection. 26(6): 809-817.

Ahmad, M. and R. Mehmood. 2015. Monitoring of resistance to new chemistry insecticides in *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae) in Pakistan. J. Econ. Entomol. 108(3): 1279-1288.

Al-Antary, T. M., M. R. K. Al-LALA and M. I. Abdel-Wali. 2012. Response of seven populations of the two-spotted spider mite (*Tetranychus urticae* Koch) for chlorfenapyr acaricide on cucumber in Jordan. Adv. Environ. Biol. 6(7): 2208-2212.

Fukami, J., Y. Uesugi and K. Ishizuka. 1983. Pest resistance to pesticides. Soft Science Inc., Tokyo, Japan.

Sukonthabhirom na Pattalung, S. and S. Siripontangmun. 2012. Current situation of insecticide resistance in the diamondback moth in Thailand. In: International seminar on the development of insecticide resistance and its management in the diamondback moth, August 27, 2012. Nagoya University, Nagoya, Japan.

การจัดแบ่งกลุ่มสารกำจัดแมลงและไรโดย IRAC เพื่อใช้ในการจัดการความต้านทาน

บทนำ

การจัดการความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงและไรเป็นหัวใจสำคัญในการป้องกันไม่ให้ศัตรูพืชสร้างความต้านทานอย่างรวดเร็ว การที่ศัตรูพืชมีความต้านทานจะทำให้เกษตรกรมีค่าใช้จ่ายในการป้องกันกำจัดเพิ่มขึ้น และผลผลิตที่ได้มีคุณภาพและปริมาณลดลง ในปัจจุบันมีหน่วยงานระดับนานาชาติที่ให้ความรู้ด้านการจัดการความต้านทานคือ IRAC (Insecticide Resistance Action Committee) ซึ่งส่งเสริมแนะนำวิธีการจัดการความต้านทานโดยวิธีต่าง ๆ วิธีการจัดการความต้านทานที่สำคัญมากคือการใช้สารแบบหมุนเวียนตามกลุ่มกลไกการออกฤทธิ์ ผู้ที่จะใช้วิธีนี้จะต้องทราบว่าสารที่ใช้อยู่ในกลุ่มกลไกการออกฤทธิ์ใด เพื่อที่จะได้ใช้สารแบบหมุนเวียนตามกลุ่มกลไกการออกฤทธิ์ได้ถูกต้อง ดังนั้น IRAC จึงได้เผยแพร่การจำแนกกลุ่มสารกำจัดแมลงและสารกำจัดไรตามกลุ่มกลไกการออกฤทธิ์ในเว็บไซต์ของ IRAC (http://www.irac-online.org) โดยจำแนกสารแต่ละกลุ่มเป็นตัวเลข ตั้งแต่ 1 – 32 เพื่อความสะดวกในการเลือกใช้กลุ่มสารแบบหมุนเวียนได้ถูกต้อง

IRAC (Insecticide Resistance Action Committee)

คณะกรรมการความต้านทานต่อสารกำจัดแมลง (Insecticide Resistance Action Committee, IRAC) เป็นองค์กรที่บริษัทผู้ผลิตสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชรายใหญ่หลาย ๆ บริษัทร่วมกันจัดตั้งขึ้นเมื่อปี ค.ศ. 1984 โดยให้เป็นส่วนหนึ่งของ CropLife International การทำงานของ IRAC คือเป็นที่ปรึกษาทางเทคนิคและให้ความรู้ต่อสาธารณชนในการบริหารจัดการความต้านทานศัตรูพืชอย่างถูกต้อง (Sparks and Nauen, 2015)

การดำเนินงานของ IRAC มีเป้าหมายเพื่อยืดอายุหรือยืดประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์สารป้องกันกำจัดแมลงและไรที่ขายในท้องตลาดให้ยาวนานขึ้น (Nauen et al., 2012) โดยที่ศัตรูพืชไม่เกิดความต้านทานเร็วเกินไปจนทำให้ผลิตภัณฑ์สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชหมดประสิทธิภาพและใช้ไม่ได้ผล ทั้งนี้เนื่องจากการผลิตสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชชนิดใหม่ ๆ ทำได้ยากและต้องใช้เวลาทดสอบตามขั้นตอนต่าง ๆ นานหลายปีกว่าที่จะออกวางขายตามท้องตลาดได้ ดังนั้นการให้ความรู้ในการจัดการความต้านทานของแมลงและไรศัตรูพืชจึงเป็นงานสำคัญของ IRAC (Sparks and Nauen, 2015)

ความสำคัญในการจัดแบ่งกลุ่มสารกำจัดแมลงและไรตามกลไกการออกฤทธิ์

เครื่องมือหลักของ IRAC ในการจัดการความต้านทานของศัตรูพืชโดยการใช้สารแบบหมุนเวียนคือการจัดแบ่งกลุ่มสารกำจัดแมลงและไรออกเป็นกลุ่ม ๆ ตามกลไกการออกฤทธิ์ ซึ่งจะช่วยให้ผู้ที่เกี่ยวข้องในหลาย ๆ ภาคส่วน เช่น เกษตรกร บริษัทผู้ผลิต ร้านค้าสารป้องกันกำจัดศัตรูพืช และผู้ที่ให้คำแนะนำแก่เกษตรกรสามารถเข้าใจตรงกันในการเลือกชนิดกลุ่มสารเพื่อใช้ในการจัดการความต้านทาน (Insecticide Resistance Management, IRM) (Sparks and Nauen, 2015) โดยการใช้สารแบบหมุนเวียน (insecticide rotation) ซึ่งเป็นวิธีการสำคัญในการจัดการความต้านทานที่ IRAC แนะนำ การหมุนเวียนการใช้สารกำจัดแมลงหรือสารกำจัดไรต้องใช้สารกลุ่มที่มีกลไกการออกฤทธิ์ที่แตกต่างกันเพื่อลดการคัดเลือกแมลงที่ต้านทาน (selection pressure) ต่อสารกำจัดแมลงหรือไรกลุ่มใดกลุ่มหนึ่งโดยเฉพาะ (IRAC, 2021) ทั้งนี้ IRAC ได้เผยแพร่การ

จำแนกสารกำจัดแมลงและสารฆ่าไรตามกลุ่มกลไกการออกฤทธิ์ ซึ่งสามารถดูได้จากเว็บไซต์ของ IRAC (http://www.irac-online.org)

การจัดการความต้านทานและการจัดแบ่งกลุ่มสารตามกลไกการออกฤทธิ์

ในการจัดการความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงและไรนั้น สิ่งที่สำคัญคือต้องมีการแนะนำเกษตรกรให้ใช้สารกำจัดแมลงและไรแบบหมุนเวียนตามกลุ่มกลไกการออกฤทธิ์ให้ได้ ซึ่งการวางแผนการใช้สารกำจัดแมลงและไรแบบหมุนเวียนจะต้องมีความรู้เกี่ยวกับกลุ่มกลไกการออกฤทธิ์ของสารที่สามารถใช้ร่วมกันได้โดยไม่ส่งเสริมให้แมลงและไรสร้างความต้านทานเพิ่มขึ้น

วิธีง่าย ๆ ที่จะทราบกลุ่มของสารตามกลไกการออกฤทธิ์ก็คือ การดูชื่อสามัญของสารกำจัดแมลงและไรชนิดนั้น ๆ ที่ฉลากผลิตภัณฑ์ แล้วค้นในเว็บไซต์ของ IRAC (http://www.irac-online.org) หรือค้นใน IRAC MoA application ของ smart phone ที่สามารถ download ได้จาก Play Store หรือ App Store เมื่อทราบว่าสารอยู่ในกลุ่มกลไกการออกฤทธิ์ใดแล้วจึงทำการวางแผนการใช้สารหมุนเวียนได้ และในแต่ละช่วงเวลาการหมุนเวียนสารจะต้องใช้สารที่ต่างกลุ่มกลไกการออกฤทธิ์กัน ซึ่งแต่ละช่วงเวลาการหมุนเวียนสารควรนานประมาณหนึ่งชั่วอายุขัยของศัตรูพืชเป็นอย่างน้อย เช่น ในหนอนมีช่วงเวลาการหมุนเวียนสารแต่ละช่วงนานประมาณ 30 วัน และในเพลี้ยไฟมีช่วงเวลาการหมุนเวียนสารแต่ละช่วงนานประมาณ 15 วันเป็นอย่างน้อย

การจัดแบ่งกลุ่มสารกำจัดแมลงและไรตามกลไกการออกฤทธิ์ ข้อมูลจาก IRAC, 2021a,b (http://www.irac-online.org) และ BASF, 2020 (https://www.researchgate.net/publication/275959530_BASF_Insecticide_Mode_of_Action_Technical_Training_Manual)

กลุ่ม 1. สารกลุ่มยับยั้งเอนไซม์อะเซทิลโคลินเอสเทอเรส

กลไกการออกฤทธิ์: สารกลุ่มนี้ออกฤทธิ์ต่อระบบประสาทโดยเป็นตัวยับยั้งการทำงาน (inhibitor) ของเอนไซม์อะเซทิลโคลินเอสเทอเรส ซึ่งทำหน้าที่ย่อยสารสื่อประสาทชนิด acetyl choline ที่ทำหน้าที่ถ่ายทอดกระแสประสาทที่บริเวณปลายประสาท (synapse) จากเซลล์ประสาทหนึ่งไปสู่อีกเซลล์ประสาทหนึ่งในระบบประสาทส่วนกลางของแมลง (central nervous system, CNS) การยับยั้งการทำงานของเอนไซม์อะเซทิลโคลินเอสเทอเรสทำให้มีการคั่งของสารสื่อประสาท acetyl choline ที่บริเวณปลายประสาทในปริมาณมาก ส่งผลให้เกิดการถ่ายทอดกระแสประสาทไม่หยุดและเกิดมากเกินไป (hyperexcitation) จนทำให้แมลงตาย

กลุ่มย่อย 1A สารคาร์บาเมท (Carbamates)

ชื่อสามัญ : alanycarb, Aldicarb, bendiocarb, benfuracarb, butocarboxim, butoxycarboxim, carbaryl, carbofuran, carbosulfan, ethiofencarb, fenobucarb, formetanate, furathiocarb, isoprocarb, methiocarb, methomyl, metolcarb, oxamyl, pirimicarb, propoxur, thiodicarb, thiofanox, triazamate, trimethacarb, XMC, xylylcarb

กลุ่มย่อย 1B สารออร์แกโนฟอสเฟต (Organophosphates)

ชื่อสามัญ : acephate, azamethiphos, azinphos-ethyl, azinphosmethyl, cadusafos, chlorethoxyfos, chlorfenvinphos, chlormephos, chlorpyrifos, chlorpyrifos-methyl, coumaphos, cyanophos, demeton-S-methyl, diazinon, dichlorvos/ DDVP, dicrotophos, dimethoate, dimethylvinphos, disulfoton, EPN, ethion, ethoprophos, famphur, fenamiphos, fenitrothion, fenthion, fosthiazate, heptenophos, imicyafos, isofenphos, isopropyl O-

	(methoxyaminothio-phosphoryl) salicylate, isoxathion, malathion, mecarbam, methamidophos, methidathion, mevinphos, monocrotophos, naled, omethoate, oxydemeton-methyl, parathion, parathion-methyl, phenthoate, phorate, phosalone, phosmet, phosphamidon, phoxim, pirimiphos- methyl, profenofos, propetamphos, prothiofos, pyraclofos, pyridaphenthion, quinalphos, sulfotep, tebupirimfos, temephos, terbufos, tetrachlorvinphos, thiometon, triazophos, trichlorfon, vamidothion
กลุ่ม 2. สารกลุ่มที่หยุดการทำงานของช่องคลอไรด์ที่ทำงานโดยกรดแกมมา อะมิโนบิวไทริค (GABA)	
กลไกการออกฤทธิ์: สารกลุ่มนี้ออกฤทธิ์ต่อระบบประสาทโดยไปขัดขวาง (block) การทำงานของช่องคลอไรด์ที่ทำงานโดยกรดแกมมาอะมิโนบิวไทริค (GABA-gated chloride channel) ทำให้ไม่สามารถลดระดับการส่งกระแสประสาทได้ นอกจากนี้สารกลุ่มนี้บางชนิดยังสามารถขัดขวางการทำงานของช่องคลอไรด์ที่ทำงานโดยกลูตาเมท (Glutamate-gated chloride channel) ได้ด้วย เช่นสารฟิโพรนิล ซึ่งจะทำให้ chloride ion ไม่สามารถไหลเข้าไปภายในเซลล์ประสาทเพื่อลดระดับกระแสประสาท (potential) ทำให้มีการส่งกระแสประสาทมากผิดปกติ (hyperexitation)	<u>กลุ่มย่อย 2A สารไซโคลไดอีน (Cyclodiene)</u> **ชื่อสามัญ :** chlordane, endosulfan <u>กลุ่มย่อย 2B สารฟีนีลไพราโซล (Phenylpyrazoles)</u> **ชื่อสามัญ :** ethiprole, fipronil
กลุ่ม 3. สารกลุ่มที่ปรับการทำงานของช่องโซเดียม	
กลไกการออกฤทธิ์: สารกลุ่มนี้ออกฤทธิ์ต่อระบบประสาทโดยจะไปปรับ (modulator) ของ voltage-gated sodium channel ที่บริเวณผิว axon ของเซลล์ประสาท ทำให้การปิดของ voltage-gated sodium channel ช้ากว่าปกติ ทำให้ช่วงการถ่ายทอดกระแสประสาทเกิดยาวนาน (hyperexitation) สารกลุ่มนี้ออกฤทธิ์ได้รวดเร็วมาก ทำให้แมลงตายทันทีเมื่อแมลงได้รับสาร โดยเรียกอาการตายทันทีนี้ว่า “knockdown”	<u>กลุ่มย่อย 3A สารไพรีทริน (Pyrethrins) และไพรีทรอยด์ (Pyrethroids)</u> **ชื่อสามัญ :** acrinathrin, allethrin, d-cis-trans allethrin, d-trans allethrin, bifenthrin, bioallethrin, bioallethrin S-cyclopentenyl isomer , bioresmethrin, cycloprothrin, cyfluthrin, beta-cyfluthrin, cyhalothrin, lambda-cyhalothrin, gamma-cyhalothrin, cypermethrin,alpha-cypermethrin, beta-cypermethrin, thetacypermethrin, zeta-cypermethrin, cyphenothrin , (1R)-trans- isomers], deltamethrin, empenthrin (EZ)-(1R)- isomers], esfenvalerate, etofenprox, fenpropathrin, fenvalerate, flucythrinate, flumethrin,

	tau-fluvalinate, halfenprox, imiprothrin, kadethrin, permethrin, phenothrin [(1R)-trans- isomer], prallethrin, pyrethrins (pyrethrum), resmethrin, silafluofen, tefluthrin, tetramethrin, tetramethrin [(1R)-isomers], tralomethrin, transfluthrin, **กลุ่มย่อย 3B สารดีดีที (DDT) และเมท็อกซีคลอร์ (Methoxychlor)** **ชื่อสามัญ :** DDT, methoxychlor ถูกประกาศห้ามใช้ทางการเกษตรเมื่อปี 2526
กลุ่ม 4. สารกลุ่มที่ปรับการทำงานของตัวรับสารอะเซทิลโคลีนชนิดนิโคตินิกโดยการจับแบบแข่งขัน	
กลไกการออกฤทธิ์: สารกำจัดแมลงกลุ่มนี้เป็นสารที่ออกฤทธิ์ต่อระบบประสาทคล้ายกับสารนิโคตินที่พบในใบยาสูบ โดยสารจะเลียนแบบ (agonist) การทำงานของสารสื่อประสาท acetylcholine สารกลุ่มนี้จะไปแข่งขัน (แย่งกัน) กับสารอะเซทิลโคลีนในการจับที่ตัวรับสารอะเซทิลโคลีนชนิดนิโคตินิก (nicotinic acetylcholine receptor, nAChR) ที่ผิวของปลายเซลล์ประสาทบริเวณ synapse แล้วกระตุ้นให้ nAChRs ทำงานในการส่งกระแสประสาทที่มากผิดปกติ (overstimulation) ในระยะแรก ส่วนระยะต่อมาเมื่อสารกำจัดแมลงกลุ่มนี้จับที่ตัวรับสารอะเซทิลโคลีนชนิดนิโคตินิกนานๆ จะทำให้ตัวรับเปลี่ยนรูปทรงไปเป็นรูปทรงที่ไม่สามารถทำงานได้ (desensitized) หรือ nAChD สารกำจัดแมลงกลุ่มนี้มีพิษสูงมากต่อผึ้ง จึงไม่ควรใช้ในพืชช่วงที่พืชกำลังออกดอกและมีผึ้งมาช่วยผสมเกสร	**กลุ่มย่อย 4A สารนีโอนิโคตินอยด์ (Neonicotinoids)** **ชื่อสามัญ :** acetamiprid, clothianidin, dinotefuran, imidacloprid, nitenpyram, thiacloprid, thiamethoxam **กลุ่มย่อย 4B** nicotine สารสกัดจากพืชตระกูลยาสูบ **กลุ่มย่อย 4C** Sulfoximines **กลุ่มย่อย 4D สารบูทีโนไลด์ (Butenolides)** **ชื่อสามัญ :** flupyradifurone **กลุ่มย่อย 4E สารเมโสไอโอนิกส์ (Mesoionics)** **ชื่อสามัญ :** triflumezopyrim **กลุ่มย่อย 4F สารไพริไดลิดีนส์ (Pyridylidenes)** **ชื่อสามัญ :** flupyrimin
กลุ่ม 5. สารกลุ่มที่ปรับการทำงานของตัวรับสารอะเซทิลโคลินชนิดนิโคตินิกโดยการจับที่ตำแหน่งแอลโลสเตอริกที่ตำแหน่งที่ 1	
กลไกการออกฤทธิ์: สารกำจัดแมลงกลุ่มนี้ออกฤทธิ์ต่อระบบประสาท โดยจะไปจับที่ตัวรับสารอะเซทิลโคลินชนิดนิโคตินิก (nicotinic acetylcholine receptors, nAChRs) ที่ตำแหน่งแอลโลสเตอริกที่ตำแหน่งที่ 1 ที่ผิวของปลายเซลล์ประสาทบริเวณ synapse ซึ่งจะแตกต่างจากสารกลุ่ม 32 โดยสารกำจัดแมลงในกลุ่ม 5 จะไปจับที่ nAChRs ในตำแหน่ง macrocyclic lactone site ซึ่งอยู่ห่างจากตำแหน่งที่สารกำจัดแมลงที่อยู่ในกลุ่ม 4 จับ (สารฆ่ากลุ่ม 4 จับที่ nAChRs ในตำแหน่งที่ acetylcholine จับ) การจับของสารกำจัดแมลงในกลุ่ม 5 จะกระตุ้นให้ nAChRs ทำงานในการส่งกระแสประสาทมากผิดปกติ (hyperexcitation) คล้ายๆ กับสารกำจัดแมลงที่อยู่ในกลุ่ม 4	**ชื่อสามัญ :** spinetoram, spinosad

กลุ่ม 6. สารกลุ่มที่ปรับการทำงานของช่องคลอไรด์ที่ทำงานโดยกลูตาเมตโดยการจับที่ตำแหน่งแอลโลสเตอริก	
กลไกการออกฤทธิ์: สารกำจัดแมลงกลุ่มนี้ออกฤทธิ์ต่อระบบประสาทและกล้ามเนื้อ โดยจะไปยับยั้งการนำกระแสประสาทระหว่างเซลล์ประสาทและเซลล์กล้ามเนื้อ โดยสารกลุ่มอะเวอเมคตินจะไปกระตุ้นการจับของ glutamate ที่ Glutamate-gated chloride channels (GluCls) บริเวณปลายเซลล์ประสาทที่เชื่อมต่อกับเซลล์กล้ามเนื้อ ทำให้คลอไรด์ไอออนจำนวนมากไหลผ่านช่องคลอไรด์เข้าไปในเซลล์ประสาท จึงเกิดการยับยั้งกระแสประสาท หรือเกิด hyperpolarization ขึ้น และทำให้กล้ามเนื้อแมลงเป็นอัมพาต	**ชื่อสามัญ :** abamectin, emamectin benzoate, lepimectin, milbemectin
กลุ่ม 7. สารกลุ่มเลียนแบบฮอร์โมนจูวีไนล์	
กลไกการออกฤทธิ์: สารกำจัดแมลงกลุ่มนี้ออกฤทธิ์ขัดขวางกระบวนการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของแมลง (metamorphosis) จากตัวอ่อน (larval stage) ไปเป็นตัวเต็มวัย (adult stage) โดยสารกลุ่มนี้จะไปเลียนแบบการทำงานของฮอร์โมนจูวีไนล์ (Juvenile hormone, JH) โดยการเข้าไปจับที่ juvenile hormone receptor ทำให้เกิดการยับยั้งการแสดงออกของยีน (gene expression) ต่างๆ ที่จำเป็นในขบวนการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของแมลง (metamorphosis) ส่งผลให้แมลงมีการลอกคราบที่ไม่สมบูรณ์ สภาพเป็นตัวอ่อนผิดปกติ และไม่สามารถเจริญเป็นตัวเต็มวัยได้ นอกจากนี้สารกำจัดแมลงกลุ่มนี้ยังมีผลในการฆ่าไข่ของแมลง (ovicidal effect) อีกด้วย	**กลุ่มย่อย 7A สารจูวีไนล์ฮอร์โมนอานาล็อก (Juvenile hormone analogues** **ชื่อสามัญ :** hydroprene, kinoprene, methoprene ยังไม่มีการขึ้นทะเบียนในประเทศไทย **กลุ่มย่อย 7B** **ชื่อสามัญ :** fenoxycarb **กลุ่มย่อย 7C** **ชื่อสามัญ :** pyriproxyfen
กลุ่ม 8. สารกลุ่มที่ยับยั้งกลไกการทำงานของร่างกายแบบไม่เฉพาะเจาะจง (ยับยั้งหลายจุด)	
กลไกการออกฤทธิ์: สารกำจัดแมลงกลุ่มนี้เป็นสารที่ว่องไวในการทำปฏิกิริยา สารจะไปจับที่โปรตีนต่างๆ ในร่างกายแมลงแล้วเปลี่ยนแปลงโครงสร้างความจำเพาะเจาะจงของโปรตีนนั้นๆ ทำให้โปรตีนในอวัยวะต่างๆ มีโครงสร้างผิดปกติและไม่สามารถทำงานตามหน้าที่ได้ สารกำจัดแมลงกลุ่มนี้จึงมีผลในการยับยั้งกลไกการทำงานของร่างกายอย่างไม่จำเพาะเจาะจงได้ในหลายๆ จุด	**กลุ่มย่อย 8A แอลคิล เฮไลด์ (Alkyl halides)** **ชื่อสามัญ :** methyl bromide ใช้ในการรมสินค้าเกษตร **กลุ่มย่อย 8B** **ชื่อสามัญ :** chlorpicrin ยังไม่มีการขึ้นทะเบียนวัตถุอันตรายทางการเกษตรในประเทศไทย **กลุ่มย่อย 8C ฟลูออไรด์ (Fluorides)** **ชื่อสามัญ :** cryolite (Sodium aluminum fluoride), sulfuryl fluoride **กลุ่มย่อย 8D โบเรต (Borates)** **ชื่อสามัญ :** borax, boric acid, disodium octaborate, sodium borate, sodium metaborate ยังไม่มีการขึ้นทะเบียนวัตถุอันตรายทางการเกษตรในประเทศไทย

	กลุ่มย่อย 8E ตาตา อีมีติก **ชื่อสามัญ :** tatar emetic ยังไม่มีการขึ้นทะเบียนวัตถุอันตรายทางการเกษตรในประเทศไทย **กลุ่มย่อย 8F สารที่ทำให้เกิดเมธิลไอโซไธโอไซยาเนท (Methyl isothiocyanate generators)** **ชื่อสามัญ :** dazomet, metam
กลุ่ม 9. สารกลุ่มที่ปรับการทำงานของช่อง TRPV ที่ Chordotonal organ	
กลไกการออกฤทธิ์: สารกำจัดแมลงกลุ่มนี้ออกฤทธิ์ต่อระบบประสาท โดยไปปรับการทำงานของช่อง Transient receptor potential vanilloid (TRPV channel) ใน chordotonal organ ซึ่ง chordotonal organ เป็นอวัยวะรับความรู้สึกที่มีกระจายทั่วร่างกายแมลง มีหน้าที่สำคัญในการรับความรู้สึกต่างๆ เช่น การสัมผัสและประสานงานเกี่ยวกับการเคลื่อนไหวส่วนต่างๆ ของร่างกายให้เป็นไปตามปกติ ในแมลงพวกมวน (Hemiptera) การทำงานของ chordotonal organ จะช่วยให้แมลงเคลื่อนไหวส่วนต่างๆ ของปากในการดูดกินน้ำเลี้ยงพืชอย่างเป็นปกติ สารกำจัดแมลงกลุ่มนี้เมื่อเข้าสู่ร่างกายของแมลงจะไปรบกวนการทำงานของ chordotonal organ จึงทำให้แมลงไม่สามารถดูดกินน้ำเลี้ยงจากพืชได้ เกิดการหยุดดูดกินพืชอย่างรวดเร็ว ในปัจจุบันมักใช้สารกำจัดแมลงกลุ่มนี้ในการป้องกันกำจัดเพลี้ยจักจั่น เพลี้ยอ่อน และแมลงหวี่ขาว สารกำจัดแมลงกลุ่มนี้มีพิษน้อยต่อแมลงที่มีประโยชน์ จึงนิยมใช้ในการบริหารศัตรูพืช	**กลุ่มย่อย 9B สารอนุพันธ์ของไพริดีน อะโซเมธีน (Pyridine azomethine)** **ชื่อสามัญ :** pymetrozine, pyrifluquinazon **กลุ่มย่อย 9D สารไพโรพีน (Pyropenes)** **ชื่อสามัญ :** afidopyropen
กลุ่ม 10. สารกลุ่มที่ยับยั้งการเจริญเติบโตของไรโดยไปจับที่เอนไซม์ chitin synthase (CHS1)	
กลไกการออกฤทธิ์: สารกลุ่มนี้ยับยั้งการเจริญเติบโตของไรศัตรูพืช โดยสารจะไปจับที่เอนไซม์ chitin synthase (CHS1) ทำให้ยับยั้งการสังเคราะห์สารไคติน (chitin) ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญของผนังลำตัวของไร สารชนิดนี้มีประสิทธิภาพในการฆ่าไข่ และตัวอ่อนไร ได้ดี แต่ไม่มีประสิทธิภาพในการฆ่าตัวเต็มวัยไร	**กลุ่มย่อย 10A** **ชื่อสามัญ :** hexythiazox, clofentezin, diflovidazin **กลุ่มย่อย 10B** **ชื่อสามัญ :** etoxazole
กลุ่ม 11. สารกลุ่มจุลินทรีย์ที่ทำลายผนังเนื้อเยื่อลำไส้ส่วนกลางของแมลง	
กลไกการออกฤทธิ์: สารกำจัดแมลงกลุ่มนี้ออกฤทธิ์ที่ลำไส้ส่วนกลางของแมลง โดยแบคทีเรียบาซิลลัส ทูริงเจนซิส ซึ่งเป็นแบคทีเรียแกรมบวกที่สามารถสร้างผลึกโปรตีนสารพิษในตัว เมื่อแมลงกินผลึกโปรตีนของเชื้อชนิดนี้ผลึกก็จะละลายภายใต้สภาพด่างของทางเดินอาหารของแมลง และปลดปล่อยสารพิษ (Cry toxins) ออกมา สารพิษที่ถูกปลดปล่อยออกมาตอนแรกยังอยู่ในสภาพที่ไม่เป็นพิษ	**กลุ่มย่อย 11A** *Bacillus thuringiensis* และโปรตีนสารพิษที่สร้างขึ้นมาของ *Bacillus thuringiensis* subsp. *israelensis* *Bacillus thuringiensis* subsp. *aizawai* *Bacillus thuringiensis* subsp. *kurstaki* *Bacillus thuringiensis* subsp. *tenebrionis*

(protoxin) ต่อมาน้ำย่อยภายในทางเดินอาหารของแมลงจะย่อยสารพิษที่อยู่ในสภาพที่ไม่เป็นพิษจนกลายเป็นสารที่เป็นพิษ (toxin) ต่อแมลง สารพิษนี้จะไปจับกับcadherin ที่บริเวณผิวของทางเดินอาหารส่วนกลาง ทำให้เกิดการสร้างรู (pores) ที่ผนังทางเดินอาหารของแมลง ทำให้เกิดการสูญเสียสมดุลของร่างกาย เช่น สมดุลของไอออนต่างๆ แมลงเกิดอาการป่วยและติดเชื้อในกระแสโลหิตตาย (septicemia)	**กลุ่มย่อย 11B** *Bacillus sphaericus* และโปรตีนสารพิษที่สร้างขึ้นมา
กลุ่ม 12. สารกลุ่มที่ยับยั้งเอนไซม์เอทีพี ซินเธส ในไมโตคอนเดรีย	
กลไกการออกฤทธิ์: สารกำจัดแมลงกลุ่มนี้ออกฤทธิ์กับระบบผลิตพลังงาน โดยยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ATP synthase ใน mitochondria เอนไซม์นี้ทำหน้าที่ในการสังเคราะห์ ATP ซึ่งเป็นสารที่เซลล์ใช้เป็นแหล่งพลังงานในการทำกิจกรรมต่างๆ ดังนั้นสารกำจัดแมลงกลุ่มนี้จึงทำให้เซลล์ต่างๆ ของแมลงขาดพลังงาน	**กลุ่มย่อย 12A ไดอะเฟนไธยูรอน** **ชื่อสามัญ :** diafenthiuron **กลุ่มย่อย 12B ออร์แกนโนติน ไมติไซด์ (Organotin miticides)** **ชื่อสามัญ :** azocyclotin, cyhexatin, fenbutatin oxide **กลุ่มย่อย 12C โพรพาไกต์** **ชื่อสามัญ :** propagite **กลุ่มย่อย 12D เตตราไดฟอน** **ชื่อสามัญ :** tetradifon
กลุ่ม 13. สารกลุ่มอันคับเพล่อ (uncouplers) ที่รบกวนการเกิดปฏิกิริยาเติมหมู่ฟอสเฟต (การสร้าง ATP) โดยขัดขวางการเกิดความต่างระดับของโปรตอน	
กลไกการออกฤทธิ์: สารกำจัดแมลงกลุ่มนี้ออกฤทธิ์กับระบบผลิตพลังงาน โดยสารจะเข้าไปรับโปรตอนจากบริเวณกลางๆ ของผนังชีวภาพภายในไมโตคอนเดรีย (inner membrane) ที่มีโปรตอนปริมาณมากๆ และส่งโปรตอนข้ามผนังชีวภาพเข้าไปตรงบริเวณช่องว่าง (matrix) ด้านในสุดของไมโตคอนเดรีย จากนั้นสารกำจัดแมลงกลุ่มนี้ก็จะข้ามผนังชีวภาพกลับเข้ามาอีกเพื่อไปรับโปรตอนจากบริเวณกลางๆ ของผนังชีวภาพภายในไมโตคอนเดรียอีก แล้วส่งโปรตอนเข้าไปภายในบริเวณช่องว่างของไมโตคอนเดรียอีก ทำเช่นนี้ซ้ำกันเรื่อยๆ จึงเป็นการขัดขวางการเกิดความต่างระดับของโปรตอนภายในไมโตคอนเดรีย ทำให้ไม่สามารถสังเคราะห์ ATP ได้ แมลงจึงขาดพลังงานและตายในที่สุด	**ชื่อสามัญ :** chlorfenapyr, DNOC, sulfluramid
กลุ่ม 14. สารกลุ่มที่ขวางช่องของตัวรับสารอะเซทิลโคลินชนิดนิโคตินิก	
กลไกการออกฤทธิ์: สารกำจัดแมลงกลุ่มนี้ออกฤทธิ์กับระบบประสาท สารกลุ่มนี้ได้แก่ สารพวก thiocarbamate หรือ สารเนรีสท็อกซิน อานาล็อก (nereistoxin analogues) เช่น bensultap, cartap hydrochloride, thiocyclam, thiosultap-sodium สารกลุ่มนี้เป็น proinsecticides	**ชื่อสามัญ :** bensultap, cartap hydrochloride, thiocyclam, thiosultap-sodium

ทั้งหมด หมายความว่าสารกลุ่มนี้ไม่มีพิษต่อแมลงโดยทันที แต่เมื่อแมลงได้รับสารกลุ่มนี้เข้าสู่ร่างกาย สารจะถูกเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีจนกลายเป็นสารอีกชนิดหนึ่งที่เรียกว่า เนรีสท็อกซิน (nereistoxin) ซึ่งจะมีพิษสูงต่อแมลงโดยจะไปขวาง (block) ที่ช่องทางผ่านของไอออนของตัวรับสารอะเซทิลโคลินชนิดนิโคตินิก (nicotinic acetylcholine receptors) ทำให้ไม่สามารถส่งกระแสประสาทได้ และเป็นอัมพาต	
กลุ่ม 15. สารกลุ่มที่ยับยั้งการสังเคราะห์ไคตินโดยไปจับที่เอนไซม์ chitin synthase (CHS1)	
กลไกการออกฤทธิ์: สารกำจัดแมลงกลุ่มนี้ออกฤทธิ์ต่อระบบการเจริญเติบโต สารกลุ่มนี้ได้แก่ สารกลุ่มเบนโซอิลยูเรีย ซึ่งเป็นสารอนุพันธ์ของยูเรีย (H_2NCONH_2) มีคุณสมบัติในการควบคุมการเจริญเติบโตของแมลงในระยะหนอนผีเสื้อ โดยสารจะไปจับกับเอนไซม์ chitin synthase (CHS1) ทำให้ยับยั้งการสังเคราะห์สารไคติน (chitin) ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญของผนังลำตัวของหนอนผีเสื้อ เมื่อแมลงไม่มีสารไคตินที่ผนังลำตัวจึงทำให้แมลงตายในขั้นตอนการลอกคราบเนื่องจาก ผนังลำตัวที่สร้างขึ้นมาใหม่จะไม่แข็งแรงเปราะบางผิดปกติ ปริแตกง่าย ทำให้น้ำระเหยออกจากลำตัวแมลงได้ง่ายภายหลังการลอกคราบ แมลงจึงขาดน้ำตาย นอกจากนี้ผนังลำตัวที่สร้างขึ้นมาใหม่จะอ่อนนิ่มเกินไป ไม่สามารถพยุงโครงสร้างรูปทรงของอวัยวะต่างๆ ได้ ทำให้แมลงพิการ	**ชื่อสามัญ :** bistrifluron, chlorfluazuron, diflubenzuron, flucycloxuron, flufenoxuron, hexaflumuron, lufenuron, novaluron, noviflumuron, teflubenzuron, triflumuron
กลุ่ม 16. สารกลุ่มที่ยับยั้งการสังเคราะห์ไคติน ชนิด 1	
กลไกการออกฤทธิ์: สารกำจัดแมลงกลุ่มนี้ออกฤทธิ์ต่อระบบการเจริญเติบโตคล้ายกับสารกำจัดแมลงกลุ่ม 15 คือ ยับยั้งการสังเคราะห์สารไคติน แต่สารกลุ่ม 16 จะออกฤทธิ์เฉพาะเจาะจงกับแมลงปากดูดในอันดับ Hemiptera ได้แก่ เพลี้ยอ่อน เพลี้ยแป้ง เพลี้ยหอย เพลี้ยจักจั่น เพลี้ยกระโดด และแมลงหวี่ขาว จึงแตกต่างกับสารกลุ่ม 15 ซึ่งจะออกฤทธิ์เฉพาะเจาะจงกับหนอนผีเสื้อและหนอนด้วงเท่านั้น	**ชื่อสามัญ :** buprofezin
กลุ่ม 17. สารกลุ่มที่ขัดขวางการลอกคราบในพวกหนอนแมลงวัน	
กลไกการออกฤทธิ์: สารกำจัดแมลงกลุ่มนี้ออกฤทธิ์ต่อระบบการเจริญเติบโต โดยขัดขวางการเจริญเติบโตและพัฒนาของหนอนแมลงในอันดับ Diptera ซึ่งได้แก่ หนอนแมลงวันชนิดต่างๆ โดยการรบกวนการทำงานของระบบฮอร์โมนที่ควบคุมการลอกคราบ ทำให้ไม่สามารถลอกคราบตามปกติได้	**ชื่อสามัญ :** cyromazine

กลุ่ม 18. สารกลุ่มที่ทำให้ตัวรับฮอร์โมนเอคไดโซนทำงาน	
กลไกการออกฤทธิ์: สารกำจัดแมลงในกลุ่มนี้ออกฤทธิ์ต่อระบบการเจริญเติบโต สารกลุ่มนี้ได้แก่ สารกลุ่มไดเอซิลไฮดราซีน (diacylhydrazines) ซึ่งเป็นสารอนุพันธ์ของไฮดราซีน (H_2N-NH_2) สารกำจัดแมลงกลุ่มนี้ออกฤทธิ์ควบคุมการเจริญเติบโตของแมลง โดยจะไปเหนี่ยวนำให้แมลงเกิดการลอกคราบก่อนเวลาที่สมควร กลไกการออกฤทธิ์ของสารกำจัดแมลงกลุ่มนี้คือการเลียนแบบการทำงานของฮอร์โมนเอ็คไดโซน (ecdysone) ที่ทำหน้าที่ในการลอกคราบ โดยโมเลกุลของสารกำจัดแมลงจะไปจับกับตัวรับฮอร์โมนเอ็คไดโซน (ecdysone receptors) ทำให้ตัวรับฮอร์โมนเอ็คไดโซนเกิดการกระตุ้นและทำงานโดยส่งสัญญาณให้ยีนต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการลอกคราบทำงาน (gene expression) ในช่วงจังหวะเวลาที่ไม่เหมาะสม ผลที่ได้คือแมลงมีการสร้างผนังลำตัวใหม่ที่ผิดปกติ ไม่สมบูรณ์ แมลงไม่สามารถลอกคราบเก่าออกจากลำตัวได้ ทำให้การลอกคราบผิดปกติและแมลงจะตายในที่สุด สารกลุ่มนี้ออกฤทธิ์กับหนอนผีเสื้อและหนอนด้วง	**ชื่อสามัญ :** chromafenozide, halofenozide, methoxyfenozide, tebufenozide
กลุ่ม 19. สารกลุ่มที่ทำให้ตัวรับสารอ็อกโตปามีนทำงาน	
กลไกการออกฤทธิ์: สารกำจัดแมลงกลุ่มนี้ออกฤทธิ์ต่อระบบประสาท โดยการทำหน้าที่คล้ายสารสื่อประสาทชนิดอ็อกโตปามีน (octopamine) ของแมลง ซึ่งสารสื่อประสาทชนิดอ็อกโตปามีนในแมลงนี้จะทำหน้าที่คล้ายฮอร์โมนอะดรีนาลีนในคน คือทำให้เกิดอาการตื่นตัว และมีพละกำลังมากเพื่อหนีหรือต่อสู้เอาชีวิตรอดจากภัยอันตราย เมื่อแมลงได้รับสารกำจัดแมลงกลุ่มนี้เข้าไปในร่างกาย สารจะไปจับที่ตัวรับสารอ็อกโตปามีน (octopamine receptor) แล้วกระตุ้นให้เกิดการผลิตสาร cAMP ในปริมาณที่สูงมากในเซลล์ สาร cAMP ที่ผลิตขึ้นมาจะไปกระตุ้นให้ร่างกายแมลงเกิดการตื่นตัวในระดับที่สูงมาก (hyperexcitation) จนเกิดอาการสั่น ควบคุมตัวเองไม่ได้ และไม่สามารถกินอาหารได้	**ชื่อสามัญ :** amitraz
กลุ่ม 20. สารกลุ่มที่ยับยั้งการขนส่งอิเลกตรอนที่คอมเพล็กซ์ 3 ในไมโตคอนเดรีย	
กลไกการออกฤทธิ์: สารกำจัดแมลงกลุ่มนี้ออกฤทธิ์ต่อระบบการผลิตพลังงาน โดยการยับยั้งการขนส่งอิเลกตรอนที่โปรตีนคอมเพล็กซ์ 3 ในไมโตคอนเดรียของเซลล์ จึงยับยั้งขบวนการผลิตพลังงานในรูป ATP และแมลงจะตายเนื่องจากการขาดพลังงาน	**กลุ่มย่อย 20A ไฮดราเมธิลนอน** **ชื่อสามัญ :** hydramethylnon **กลุ่มย่อย 20B อะซีควิโนซิล** **ชื่อสามัญ :** acequinocyl_ยังไม่มีการขึ้นทะเบียนวัตถุอันตรายทางการเกษตรในประเทศไทย

	กลุ่มย่อย 20C ฟลูอะไครไพริม **ชื่อสามัญ :** fluacrypyrim_ยังไม่มีการขึ้นทะเบียนวัตถุอันตรายทางการเกษตรในประเทศไทย **กลุ่มย่อย 20D ไบฟีนาเซท** **ชื่อสามัญ :** bifenazate
กลุ่ม 21. สารกลุ่มที่ยับยั้งการขนส่งอิเลกตรอนที่คอมเพล็กซ์ 1 ในไมโตคอนเดรีย	
กลไกการออกฤทธิ์: สารกลุ่มนี้ออกฤทธิ์ต่อระบบการผลิตพลังงาน สารกลุ่มนี้สามารถฆ่าแมลงและไร โดยสารจะไปยับยั้งขบวนการถ่ายทอดอิเลคตรอนที่โปรตีนคอมเพล็กซ์ I ซึ่งอยู่ภายในไมโตคอนเดรีย (mitochondrial complex I electron transport inhibitors, MET I) จึงยับยั้งขบวนการผลิตพลังงานในรูป ATP ทำให้แมลงและไรเป็นอัมพาต (paralysis) และตายเนื่องจากการขาดพลังงาน สารกลุ่มนี้มีฤทธิ์กว้างและออกฤทธิ์เร็วต่อแมลงทั้งปากกัดและปากดูด	**กลุ่มย่อย 21A เอ็มอีทีวัน อะคาริไซด์ (METI acaricides)** **ชื่อสามัญ :** fenazaquin, fenpyroximate, pyridaben, pyrimidifen, tebufenpyrad, tolfenpyrad **กลุ่มย่อย 21B โรติโนน (Rotinone)** rotenone (Derris) สารสกัดจากพืชตระกูลหางไหล อาจมีชื่อเรียกแตกต่างกันตามท้องถิ่น เช่น โล่ติ๊น อวดน้ำ ไหลน้ำ กะลำเพาะ เป็นต้น
กลุ่ม 22. สารกลุ่มที่เป็นตัววางช่องโซเดียมที่ทำงานโดยความต่างศักย์ไฟฟ้า	
กลไกการออกฤทธิ์: สารกำจัดแมลงกลุ่มนี้ออกฤทธิ์ต่อระบบประสาท โดยการไปขวาง (block) ที่ช่องทางผ่านของโซเดียม (sodium channels) ที่เซลล์ประสาท จึงทำให้ไม่เกิดการถ่ายทอดกระแสประสาท และแมลงเป็นอัมพาต (paralyze)	**กลุ่มย่อย 22A อ๊อกซาไดอะซีน (Oxadiazines)** **ชื่อสามัญ :** indoxacarb **กลุ่มย่อย 22B เซมิคาร์บาโซน (Semicarbazones)** **ชื่อสามัญ :** metaflumizone
กลุ่ม 23. สารกลุ่มที่ยับยั้งเอ็นไซม์อะเซทิล โคเอ คาร์บ็อกซิเลส	
กลไกการออกฤทธิ์: สารกำจัดแมลงกลุ่มนี้ออกฤทธิ์ต่อระบบการเจริญเติบโต โดยยับยั้งเอนไซม์ acetyl coenzyme A carboxylase (ACCase) ซึ่งมีหน้าที่ในการสังเคราะห์กรดไขมัน (fatty acids) เพื่อนำไปสร้างผนังเซลล์ของแมลงในกระบวนการเจริญเติบโตและพัฒนา แมลงที่ได้รับสารกลุ่มนี้จึงไม่สามารถสังเคราะห์กรดไขมันได้ ทำให้ตัวอ่อนแมลงหยุดการเจริญเติบโต	**ชื่อสามัญ :** spirodiclofen, spiromesifen, spiropidion, spirotetramat
กลุ่ม 24. สารกลุ่มที่เป็นตัวยับยั้งการขนส่งอิเลคตรอนที่คอมเพล็กซ์ 4 ในไมโตคอนเดรีย	
กลไกการออกฤทธิ์: สารกำจัดแมลงกลุ่มนี้ออกฤทธิ์ต่อระบบการผลิตพลังงาน ได้แก่ แก๊สฟอสฟีน (phosphine) และไซยาไนด์ ซึ่งออกฤทธิ์โดยสารจะไปยับยั้งขบวนการถ่ายทอดอิเลคตรอนที่โปรตีนคอมเพล็กซ์ IV ซึ่งอยู่ภายในไมโตคอนเดรีย (mitochondrial complex IV electron transport inhibitors, MET IV) จึงยับยั้งขบวนการผลิต	**กลุ่มย่อย 24A ฟอสไฟด์ (Phosphides)** **ชื่อสามัญ :** aluminium phosphide, calcium phosphide, phosphine, zinc phosphide เป็นสารสำหรับรมแมลงศัตรูในโรงเก็บ **กลุ่มย่อย 24B ไซยาไนด์ (Cyanides)** **ชื่อสามัญ :** calcium cyanide, potassium cyanide, sodium cyanide

พลังงานในรูป ATP ทำให้แมลงตายเนื่องจากการขาดพลังงาน	
กลุ่ม 25. สารกลุ่มที่เป็นตัวยับยั้งการขนส่งอิเลคตรอนที่คอมเพล็กซ์ 2 ในไมโตคอนเดรีย	
กลไกการออกฤทธิ์: สารกำจัดแมลงกลุ่มนี้ออกฤทธิ์ต่อระบบการผลิตพลังงาน โดยการยับยั้งขบวนการถ่ายทอดอิเลคตรอนที่โปรตีนคอมเพล็กซ์ II ซึ่งอยู่ภายในไมโตคอน-เดรีย (mitochondrial complex II electron transport inhibitors, MET II) จึงยับยั้งขบวนการผลิตพลังงานในรูป ATP ทำให้แมลงตายเนื่องจากการขาดพลังงาน	**กลุ่มย่อย 25A อนุพันธุ์ของ Beta-ketonitrile** **ชื่อสามัญ :** cyenopyrafen, cyflumetofen **กลุ่มย่อย 25B คาร์บอกซานิไลด์ (Carboxanilides)** **ชื่อสามัญ :** pyflubumide
กลุ่ม 26. (ว่าง)	
กลุ่ม 27. (ว่าง)	
กลุ่ม 28. สารกลุ่มที่เป็นตัวปรับการทำงานของตัวรับชนิดไรยาโนดีน	
กลไกการออกฤทธิ์: สารฆ่ากลุ่มนี้เป็นสารที่มีกลไกการออกฤทธิ์ต่อระบบประสาทและกล้ามเนื้อ โดยสารจะเข้าไปภายในเซลล์กล้ามเนื้อแมลง แล้วไปที่บริเวณ sarcoplasmic reticulum ซึ่งเป็นที่เก็บสะสม calcium ion แล้วสารจะไปจับตรง ryanodine receptors ที่อยู่บริเวณผิวของ sarcoplasmic reticulum ทำให้เกิดการกระตุ้นการปลดปล่อย calcium ion ออกมาภายในเซลล์กล้ามเนื้อ ซึ่ง calcium ion จะไปเหนี่ยวนำทำให้กล้ามเนื้อแมลงเกิดการหดตัว กล่าวได้ว่าสารฆ่ากลุ่มนี้ไปจับและกระตุ้นที่ ryanodine receptors ทำให้เกิดการปลดปล่อย calcium ion ออกมาเรื่อยๆ จึงทำให้กล้ามเนื้อแมลงเกิดการหดตัวอยู่ตลอดเวลา ไม่เกิดการคลายตัว กล้ามเนื้อแมลงจึงไม่สามารถทำงานเป็นปกติได้ เช่น กล้ามเนื้อส่วนปากไม่สามารถทำงานในการกัดกินใบพืชได้ แมลงไม่สามารถเดินหรือเคลื่อนไหวส่วนต่างๆ ของร่างกาย และเป็นอัมพาต	**ชื่อสามัญ :** chlorantraniliprole, cyantraniliprole, cyclaniliprole, flubendiamide, tetraniliprole
กลุ่ม 29. สารกลุ่มที่ปรับการทำงานที่ Chordotonal organ - ยังไม่ทราบจุดจับที่ชัดเจน	
กลไกการออกฤทธิ์: สารกำจัดแมลงกลุ่มนี้ออกฤทธิ์ที่ระบบประสาท โดยไปปรับการทำงานของ chordotonal organ โดยสารไปจับที่จุดจับอื่นซึ่งเป็นคนละจุดกับสารกำจัดแมลงในกลุ่ม 9 ซึ่ง chordotonal organ เป็นอวัยวะรับความรู้สึกที่มีกระจายอยู่ทั่วร่างกายแมลง มีหน้าที่สำคัญใน	**ชื่อสามัญ :** flonicamid

การรับความรู้สึกต่างๆ เช่น การสัมผัสและประสานงานเกี่ยวกับการเคลื่อนไหวส่วนต่างๆ ของร่างกายให้เป็นไปตามปกติ ในแมลงพวกมวน (Hemiptera) การทำงานของ chordotonal organ จะช่วยให้แมลงเคลื่อนไหวส่วนต่างๆ ของปากในการดูดกินน้ำเลี้ยงพืชอย่างเป็นปกติ สารกำจัดแมลงกลุ่มนี้เมื่อเข้าสู่ร่างกายของแมลงจะไปรบกวนการทำงานของ chordotonal organ จึงทำให้แมลงไม่สามารถดูดกินน้ำเลี้ยงจากพืชได้	
กลุ่ม 30. สารที่ปรับการทำงานของ GABA-gated chloride channel ที่ตำแหน่งแตกต่างจากสารกลุ่ม 2	
กลไกการออกฤทธิ์: สารกลุ่มนี้ออกฤทธิ์ต่อระบบประสาทโดยไปปรับการทำงาน (modulate) การทำงานของช่องคลอไรด์ที่ทำงานโดยกรดแกมมาอะมิโนบิวไทริค (GABA-gated chloride channel) ทำให้การการส่งกระแสประสาทผิดปกติ	**ชื่อสามัญ :** broflanilide, fluxametamide
กลุ่ม 31. สารกลุ่ม Baculoviruses ที่มีความจำเพาะในการเกิดโรคต่อแมลง	
กลไกการออกฤทธิ์: สารกำจัดแมลงกลุ่มนี้เป็นไวรัสที่ออกฤทธิ์ที่ลำไส้ของแมลง ไวรัส baculovirus ชนิดต่าง ๆ จะทำลายแมลงต่าง order ต่าง ๆ ได้แตกต่างกัน เนื่องจาก baculovirus แต่ละชนิดจะมี baculovirus-unique Peros Infectivity Factor (PIF) protein Complex ซึ่งจะช่วยในการจับกับ PIF targets ที่เซลล์ลำไส้ส่วนกลางของแมลงได้ต่างกัน	สารกำจัดแมลงกลุ่มนี้ ได้แก่ Granuloviruses (GVs) ซึ่งได้แก่ *Cydia pomonella* GV, *Thaumatotibia leucotreta* GV และ Nucleopolyhedrosis Viruses (NPVs) ซึ่งได้แก่ *Anticarsia gemmatalis* MNPV, *Helicoverpa armigera* NPV
กลุ่ม 32. สารกลุ่มที่ปรับการทำงานของตัวรับสารอะเซทิลโคลินชนิดนิโคตินิกโดยการจับที่ตำแหน่งแอลโลสเตอริกที่ตำแหน่งที่ 2	
กลไกการออกฤทธิ์: สารกำจัดแมลงกลุ่มนี้ออกฤทธิ์ต่อระบบประสาท โดยจะไปจับที่ตัวรับสารอะเซทิลโคลินชนิดนิโคตินิก (nicotinic acetylcholine receptors, nAChRs) ที่ผิวของปลายเซลล์ประสาท ที่ตำแหน่งที่ 2 ซึ่งจะแตกต่างจากสารกลุ่ม 5	สารกำจัดแมลงกลุ่มนี้ ได้แก่ GS-omega/kappa HXTX-Hv1a ซึ่งเป็น peptide ที่ได้จากพิษของแมงมุม
กลุ่ม 33. สารกลุ่มที่ปรับการทำงานของช่องโปแตสเซียมที่ทำงานโดยแคลเซียม (KCa2)	
กลไกการออกฤทธิ์: สารกลุ่มนี้ออกฤทธิ์ต่อระบบประสาทและกล้ามเนื้อ โดยไปปรับการทำงาน (modulate) ของช่องโปแตสเซียมที่ทำงานโดยแคลเซียม (Calcium-activated potassium channel, KCa2) ทำให้การส่งกระแสประสาทผิดปกติ	**ชื่อสามัญ :** acynonapyr เป็นสารกำจัดไร ยังไม่มีการขึ้นทะเบียนวัตถุอันตรายทางการเกษตรในประเทศไทย

กลุ่ม 34. สารกลุ่มที่ยับยั้งการขนส่งอิเลกตรอนที่คอมเพล็กซ์ 3 ตำแหน่ง Qi ในไมโตคอนเดรีย	
กลไกการออกฤทธิ์: สารกำจัดแมลงกลุ่มนี้ออกฤทธิ์ต่อระบบการผลิตพลังงาน โดยการยับยั้งการขนส่งอิเลกตรอนที่โปรตีนคอมเพล็กซ์ 3 ตำแหน่ง Qi ในไมโตคอนเดรียของเซลล์ จึงยับยั้งขบวนการผลิตพลังงานในรูป ATP และแมลงจะตายเนื่องจากการขาดพลังงาน	**ชื่อสามัญ :** flometoquin ยังไม่มีการขึ้นทะเบียนวัตถุอันตรายทางการเกษตรในประเทศไทย
กลุ่ม UN (Unknown) ที่กลไกการออกฤทธิ์ยังไม่ทราบแน่ชัด	
สารกำจัดแมลงกลุ่มนี้ยังไม่ทราบกลไกการออกฤทธิ์ที่แน่นอน	ได้แก่ สาร azadirachtin (สารสกัดจากสะเดา) สาร benzoximate สาร bromopropylate สาร chinomethionat สาร dicofol สาร pyridalyl สาร sulfur สาร lime sulfur และสาร mancozeb
กลุ่ม UNB (Unknown B) เป็นแบคทีเรีย (ที่ไม่ใช่ Bt) ซึ่งกลไกการออกฤทธิ์ยังไม่ทราบแน่ชัด	
สารกำจัดแมลงกลุ่มนี้ยังไม่ทราบกลไกการออกฤทธิ์ที่แน่นอน	ได้แก่ เชื้อแบคทีเรีย *Burkholderia* spp. และ *Wolbachia pipientis* (Zap)
กลุ่ม UNE (Unknown E) เป็นสารจากพืช ได้แก่ สารสังเคราะห์ สารสกัด และสารพวกน้ำมัน ซึ่งกลไกการออกฤทธิ์ยังไม่ทราบแน่ชัด	
สารกำจัดแมลงกลุ่มนี้ยังไม่ทราบกลไกการออกฤทธิ์ที่แน่นอน	ได้แก่ สารสกัดจากพืช *Chenopodium ambrosioides near ambrosioides* extract, สาร Fatty acid monoesters with glycerol หรือ propanediol จากพืช และสารพวกน้ำมันจากสะเดา (neem oil)
กลุ่ม UNF (Unknown F) เป็นสารจากเชื้อรา ซึ่งกลไกการออกฤทธิ์ยังไม่ทราบแน่ชัด	
สารกำจัดแมลงกลุ่มนี้ยังไม่ทราบกลไกการออกฤทธิ์ที่แน่นอน	ได้แก่ เชื้อรา *Beauveria bassiana* strains, *Metarhizium anisopliae* strain F52 และ *Paecilomyces fumosoroseus* Apopka strain 97
กลุ่ม UNM (Unknown M) เป็นสารที่ไปขัดขวางการทำงานของโปรตีนทั่วไปที่ไม่จำเพาะเจาะจงโดยวิธีกลและวิธีทางกายภาพ ซึ่งกลไกการออกฤทธิ์ยังไม่ทราบแน่ชัด	
สารกำจัดแมลงกลุ่มนี้ยังไม่ทราบกลไกการออกฤทธิ์ที่แน่นอน	ได้แก่ Diatomaceous earth, mineral oil
กลุ่ม UNP (Unknown P) เป็นเป็ปไตล์ของโปรตีน ซึ่งกลไกการออกฤทธิ์ยังไม่ทราบแน่ชัด	
สารกำจัดแมลงกลุ่มนี้ยังไม่ทราบกลไกการออกฤทธิ์ที่แน่นอน	ได้แก่ สารพวกเป็ปไทล์ของโปรตีนซึ่งเป็นพิษต่อแมลง

กลุ่ม UNV (Unknown V) เป็นไวรัส (ที่ไม่ใช่ Baculovirus) ซึ่งกลไกการออกฤทธิ์ยังไม่ทราบแน่ชัด	
สารกำจัดแมลงกลุ่มนี้ยังไม่ทราบกลไกการออกฤทธิ์ที่แน่นอน	ได้แก่ ไวรัสที่ไม่ใช่ Baculovirus ซึ่งเป็นพิษต่อแมลง

บทสรุป

IRAC หรือคณะกรรมการความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงเป็นองค์กรที่บริษัทผู้ผลิตสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชรายใหญ่หลาย ๆ บริษัทร่วมกันจัดตั้งขึ้น IRAC มีหน้าที่เป็นที่ปรึกษาทางเทคนิคและให้ความรู้ต่อสาธารณะชนในการจัดการความต้านทานศัตรูพืชอย่างถูกต้อง เครื่องมือหลักของ IRAC ในการแนะนำการจัดการความต้านทานคือการจัดแบ่งกลุ่มสารกำจัดแมลงและไรเป็นกลุ่มต่าง ๆ ตามกลไกการออกฤทธิ์ การจัดแบ่งกลุ่มสารจะช่วยให้คนในหลาย ๆ ภาคส่วนเข้าใจตรงกันในการเลือกชนิดกลุ่มสารเพื่อใช้ในการจัดการความต้านทานโดยการใช้สารแบบหมุนเวียน ซึ่งการจัดแบ่งกลุ่มสารของ IRAC จะช่วยลดการใช้สารกลุ่มเดียวกันซ้ำกันบ่อยครั้ง ซึ่งจะลดการคัดเลือกแมลงที่ต้านทานต่อสารกำจัดแมลงกลุ่มใดกลุ่มหนึ่งโดยเฉพาะ ปัจจุบัน IRAC ได้จัดแบ่งกลุ่มสารกำจัดแมลงออกเป็น 32 กลุ่ม การทราบกลุ่มสารช่วยให้ผู้ที่เกี่ยวข้องในการใช้สารกำจัดแมลงและไรสามารถวางแผนในการใช้สารแบบหมุนเวียนตามกลุ่มกลไกการออกฤทธิ์ได้สะดวกขึ้น

เอกสารอ้างอิง

BASF. 2020. Insecticide Mode of Action. Technical Training Manual. [Online]. Available. https://www.researchgate.net/publication/275959530_BASF_Insecticide_Mode_of_Action_Technical_Training_Manual) (April 27, 2020).

IRAC (Insecticide Resistance Action Committee). 2021a. IRAC Mode of Action Classification Scheme. [Online]. Available. http://www.irac-online.org (April 8, 2021).

IRAC (Insecticide Resistance Action Committee). 2021b. IRAC eConnection Issue 44. August 2021. [Online]. http://www.irac-online.org (September 2, 2021).

Nauen, R., A. Elbert, A. McCaffery, R. Slater and T. C. Sparks. 2012. IRAC: insecticide resistance, and mode of action classification of insecticides. Modern Crop Protection Compounds. 1(3): 935-955.

Sparks, T. C. and R. Nauen. 2015. IRAC: Mode of action classification and insecticide resistance management. Pesticide biochemistry and physiology. 121: 1.

ความรู้พื้นฐานความต้านทานของแมลงและไรต่อสารกำจัดศัตรูพืช

บทนำ

ความรู้เกี่ยวกับความต้านทานของแมลงและไรศัตรูพืชต่อสารกำจัดแมลงและไรช่วยให้สามารถแก้ปัญหาความต้านทานได้อย่างถูกต้อง ความรู้ดังกล่าว เช่น สาเหตุที่ทำให้แมลงและไรศัตรูพืชเกิดความต้านทาน การถ่ายทอดความต้านทานในประชากรแมลงและไร ผลของความต้านทานที่มีต่อชีววิทยาของแมลงและไร ความต้านทานชนิดต่าง ๆ การลดลงของความต้านทาน และปัจจัยที่มีผลต่อการพัฒนาความต้านทาน ทำให้สามารถวางแผนการจัดการความต้านทานของแมลงและไรศัตรูพืชต่อสารกำจัดศัตรูพืชได้อย่างมีประสิทธิภาพ

นิยามความต้านทานของแมลงต่อสารกำจัดแมลง

คณะกรรมการความต้านทานต่อสารกำจัดแมลง (Insecticide Resistance Action Committee, IRAC) ได้ให้คำนิยามของความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงคือ “การเปลี่ยนแปลงที่ถ่ายทอดได้ทางพันธุกรรมในประชากรแมลงซึ่งก่อให้เกิดความล้มเหลวอย่างต่อเนื่องในการใช้สารกำจัดแมลงเพื่อควบคุมประชากรแมลงให้อยู่ในระดับที่คาดหวังเมื่อใช้สารกำจัดแมลงนั้นในอัตราที่แนะนำสำหรับศัตรูพืชชนิดนั้น ๆ” (IRAC, 2021) คำนิยามนี้เน้นที่การเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพของสารกำจัดแมลงต่อแมลงศัตรูพืชที่ระบาดทำลายพืชในแปลง

การวัดความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงและไรโดยทั่วไปมักวัดจากค่า Resistance factor (RF) หรือ Resistance Ratio (RR) ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบความเป็นพิษของสารกำจัดแมลงและไรระหว่างประชากรแมลงที่ต้านทานกับประชากรแมลงที่อ่อนแอหรือประชากรแมลงซึ่งไม่เคยได้รับสารชนิดนั้นมาก่อน โดยนำค่าความเข้มข้นของสารกำจัดแมลงหรือสารกำจัดไรที่ใช้ในการฆ่าประชากรแมลงหรือไรต้านทานได้ 50% (Lethal concentration 50, LC_{50}) เปรียบเทียบกับความเข้มข้นของสารกำจัดแมลงหรือสารกำจัดไรที่ใช้ในการฆ่าประชากรแมลงหรือไรอ่อนแอได้ 50% ว่าแตกต่างกันกี่เท่า ซึ่งประชากรแมลงหรือไรอ่อนแอจะเป็นตัวแทนของประชากรดั้งเดิมก่อนที่จะมีการใช้สารกำจัดแมลงหรือสารกำจัดไร

สาเหตุการเกิดความต้านทานในแมลงและไรศัตรูพืช

ความต้านทานต่อสารกำจัดศัตรูพืชในแมลงและไรศัตรูพืชเกิดจากการใช้สารอย่างไม่ถูกต้อง คือมีการใช้สารชนิดเดิมหรือใช้สารกลุ่มเดิมซ้ำกันบ่อยครั้ง เช่น ใช้สารชนิดเดิมพ่นติดต่อกันในช่วงหนึ่ง ๆ เกิน 3 ครั้ง โดยไม่มีการหยุดพักการใช้สารชนิดนั้นเลย หรือมีการใช้สารชนิดเดิมพ่นติดต่อกันโดยใช้สารในอัตราที่ต่ำกว่าอัตราที่แนะนำในฉลาก การใช้สารในอัตราต่ำกว่าอัตราที่แนะนำทำให้เกิดการคัดเลือกประชากรแมลงหรือไรที่ต้านทานต่อสาร (resistance population) เอาไว้ โดยที่แมลงหรือไรที่อ่อนแอต่อสารนั้นตายหมด โดยแมลงหรือไรที่ต้านทานจะมียีนต้านทาน (resistance genes) ดังนั้นการพ่นสารกำจัดแมลงหรือสารกำจัดไรแต่ละครั้งจึงเป็นการคัดเลือกแมลงหรือไรที่มียีนต้านทานเอาไว้ แมลงหรือไรที่มียีนต้านทานจะผสมพันธุ์กัน และออกลูกหลานที่มียีนต้านทานเพิ่มจำนวนมากขึ้นเรื่อย ๆ

วิวัฒนาการของความต้านทานต่อสารกำจัดแมลง

การใช้สารกำจัดแมลงไม่ได้ทำให้แมลงสร้างยีนที่แสดงลักษณะต้านทานต่อสารกำจัดแมลงโดยทันที แต่ยีนที่ต้านทานต่อสารมีอยู่แล้วในประชากรแมลง โดยมีมาตั้งแต่ในอดีตก่อนการผลิตหรือการใช้สารกำจัดแมลงชนิดนั้น ๆ ยีนต้านทานต่อสารเกิดจากการมิวเตชันหรือการเปลี่ยนแปลงใน DNA ของยีนตั้งแต่อดีตและคงอยู่ในประชากรแมลงในธรรมชาติ โดยอยู่ในรูปยีนที่ทำให้แมลงสามารถต้านทานต่อสารพิษจากพืชที่แมลงกินเข้าไป ยีนดังกล่าวนี้เองที่ทำให้แมลงต้านทานต่อสารกำจัดแมลงหรือสารกำจัดไรชนิดต่าง ๆ ที่ได้รับด้วย

ในช่วงแรก ๆ ที่ประชากรแมลงเกิดความต้านทานต่อสารจะพบว่ายีนต้านทานมีอยู่ในประชากรแมลงหรือไรในระดับต่ำ จึงทำให้ยีนต้านทานมักอยู่ในรูป heterozygous ทำให้ไม่แสดงลักษณะ phenotype ที่ต้านทานให้เห็นชัดเจนนัก การถูกคัดเลือกโดยการใช้สารป้องกันกำจัดซ้ำ ๆ กัน (selection pressure) ทำให้ประชากรแมลงที่มียีนต้านทานเพิ่มสูงขึ้น จนในที่สุดประชากรก็เริ่มปรากฏแมลงที่มียีนต้านทานในรูป homozygous ซึ่งจะแสดงลักษณะต้านทานอย่างชัดเจน

แมลงที่มียีนต้านทานจะผลิตลูกหลานที่มียีนต้านทาน ประกอบกับการถูกคัดเลือกโดยการใช้สารกำจัดแมลงซ้ำ ๆ กัน จึงทำให้สัดส่วนประชากรของแมลงที่มียีนที่แสดงลักษณะพันธุกรรมต้านทานเพิ่มมากขึ้น ในที่สุดแมลงที่มียีนต้านทานจะมีมากมายภายในประชากรแมลงดังกล่าว ระยะเวลาการพัฒนาความต้านทานของแมลงจะยาวนานหรือไม่ขึ้นกับว่ายีนที่ต้านทานหายาก หรือมีอยู่น้อยมากแค่ไหน ถ้ายีนต้านทานพบในประชากรได้ยากมาก ๆ หรือมีอยู่น้อยมาก ๆ ประชากรแมลงก็จะเกิดความต้านทานได้ช้า

พันธุศาสตร์ของความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงในแมลง

การพัฒนาความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงหรือสารกำจัดไรเป็นกระบวนการทางพันธุกรรม ลักษณะความต้านทานนี้จะอยู่ในยีนเพียงหนึ่งยีนหรือหลาย ๆ ยีนก็ได้ ยีนเป็นส่วนหนึ่งของโครโมโซม ซึ่งในกระบวนการขั้นตอนการสืบพันธุ์นั้นจะมีการรวมกันของยีนและก็ถ่ายทอดไปสู่ลูก ยีนแต่ละยีนจะมีลักษณะแตกต่างกันซึ่งเรียกว่าแอลลีล (allele) ในสิ่งมีชีวิตที่มีโครโมโซม 1 คู่หรือ diploid นั้นในแต่ละโครโมโซมจะมียีน 1 allele ดังนั้นในโครโมโซม 1 คู่จึงมียีน 2 alleles ถ้าในแมลงหรือไรที่มียีนต้านทานที่ทั้งสองแอลลีลเหมือนกันก็จะเรียกว่าเป็นโฮโมไซกัส (homozygous) แต่ถ้ามียีนต้านทานที่ทั้งสองแอลลีลต่างกันก็จะเรียกว่าเฮเทอโรไซกัส (heterozygous) แมลงหรือไรที่เป็นโฮโมไซกัสและเฮเทอโรไซกัสจะมีการแสดงออกของลักษณะความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงหรือสารกำจัดไรแตกต่างกัน

ยีนต้านทานต่อสารกำจัดแมลงหรือสารกำจัดไรจะมีการแสดงออกของลักษณะ (phenotypes) ต่าง ๆ ขึ้นกับคุณลักษณะของแต่ละยีน หรือขึ้นกับความเข้มข้นของสารกำจัดแมลงหรือสารกำจัดไรที่ได้รับ โดยยีนต้านทานต่อสารกำจัดแมลงหรือสารกำจัดไรมีการแสดงออกของลักษณะต่าง ๆ (Yu, 2008) คือ

1. ลักษณะเด่น (dominant)
2. ลักษณะกึ่งเด่น (semi-dominant, incomplete dominance)
3. ลักษณะด้อย (recessive)

ถ้ายีนที่ต้านทานเป็นยีนลักษณะเด่นหรือลักษณะกึ่งเด่น แมลงหรือไรพ่อหรือแม่เพียงตัวเดียวที่มียีนต้านทานจะสามารถทำให้เกิดลักษณะต้านทานได้ในรุ่นลูก แต่ถ้ายีนที่ต้านทานเป็นยีนลักษณะด้อย แมลงหรือไรทั้งพ่อและแม่จะต้องมียีนต้านทานจึงจะทำให้เกิดลักษณะต้านทานในรุ่นลูกหลานได้ ถ้ายีนต้านทานเป็นยีนเด่น (dominant gene) แมลงหรือไรเฮทเทอโรไซกัสก็จะแสดงความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงหรือสารกำจัดไร

ถ้ายีนต้านทานเป็นยีนด้อย (recessive gene) แมลงหรือไรเฮทเทอโรไซกัสก็จะไม่ต้านทานต่อสารป้องกันกำจัดได้

ความต้านทานที่เกิดจากยีนที่เป็นลักษณะเด่น (dominant gene) มักเกิดจากการเพิ่มการทำงาน เช่น มีน้ำย่อยสารพิษ (detoxification enzymes) ปริมาณสูงขึ้นจึงทำให้ย่อยสารพิษได้มากขึ้น หรือมีผนังลำตัวหนาขึ้นจึงลดการซึมเข้าของสารกำจัดแมลงได้มากขึ้น หรือแมลงมีการเพิ่มการกักเก็บและการขับถ่ายของสารกำจัดแมลงมากขึ้นจึงทำให้แมลงเกิดความต้านทานต่อสารกำจัดแมลง (Onstad and Gassmann, 2014)

ส่วนความต้านทานที่เกิดจากยีนที่เป็นลักษณะด้อย (recessive gene) มักเกิดจากการสูญเสียการทำงาน เช่น แมลงมีจุดจับ (receptor) ที่สารกำจัดแมลงไม่สามารถจับได้ ดังนั้นในแมลง homozygous ที่มียีนด้อยทั้งคู่จะเกิดความต้านทานต่อสารกำจัดแมลง แต่ในแมลงที่เป็นลูกผสม heterozygous ที่มียีนด้อยเพียงยีนเดียวอาจทำให้แมลงตายได้เนื่องจากจุดจับของสารกำจัดแมลงสามารถจับกับสาร กำจัดแมลงได้ถึงครึ่งหนึ่ง (Onstad and Gassmann, 2014)

ถ้าความต้านทานมีลักษณะทางพันธุกรรมเป็นลักษณะเด่นจะสามารถเกิดความต้านทานในประชากรแมลงได้อย่างรวดเร็วกว่าความต้านทานมีลักษณะทางพันธุกรรมเป็นลักษณะด้อย ดังนั้นความต้านทานสารกำจัดแมลงที่เกิดจากยีนที่เป็นลักษณะเด่นจะจัดการความต้านทานได้ยากกว่าเพราะเกิดความต้านทานได้เร็วมาก (Onstad and Gassmann, 2014)

ยีนต้านทานสารกำจัดแมลง

ความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงอาจเกิดจากยีนเดียว (monogenic) หรือยีนหลายยีน (polygenic) ก็ได้ แต่ส่วนมากความต้านทานต่อสาร กำจัดแมลงที่เกิดในแมลงมักเกิดจากยีนเดียวหรือสองยีน โดยจะมียีนหลักที่เป็นสาเหตุต้านทานส่วนยีนอื่นมักเป็นยีนเสริมความต้านทาน (Roush and McKenzie, 1987; Roush and Daly, 1990) ข้อมูลจากการทดลองชี้ว่าความต้านทานจะเกิดเร็วกว่าถ้ายีนต้านทานหลักเป็นยีนเดียว แต่ความต้านทานจะเกิดช้ากว่าถ้ายีนต้านทานเป็นยีนหลายยีน ดังนั้นในกรณีที่ทราบว่าความต้านทานสารกำจัดแมลงถูกควบคุมโดยยีนเดียวก็จะสามารถคาดการณ์ได้ว่าจะเกิดความต้านทานในระดับที่สูงมากในระยะเวลาที่รวดเร็ว

ฟิตเนสคอสท์ (Fitness costs) ในแมลงต้านทาน

โดยปกติประชากรแมลงในธรรมชาติที่ไม่เคยได้รับสารกำจัดแมลงมาก่อนเลยจะแสดงลักษณะที่อ่อนแอ (susceptible) ต่อสารกำจัดแมลง และยีนที่ต้านทานต่อสารกำจัดแมลงที่มีอยู่ภายในประชากรนั้นจะหายากมาก ๆ เนื่องจาก fitness costs ซึ่งหมายความว่าแมลงที่มียีนต้านทานต่อสารกำจัดแมลงมักจะมีลักษณะอื่น ๆ ที่ทำให้แมลงต้านทานนั้นเสียเปรียบแมลงที่อ่อนแอในสภาพที่ไม่มีการใช้สารกำจัดแมลง ลักษณะอื่น ๆ ดังกล่าว เช่น ความสามารถในการแพร่ขยายลูกหลาน การมีชีวิตยาวนาน หรือความแข็งแรงในการอยู่รอด (Onstad and Gassmann, 2014) โดยทั่วไปการวัด fitness costs จะวัดได้จากความสามารถในการออกลูก แพร่พันธุ์ และการอยู่รอด ในแมลงที่ต้านทานที่มี fitness costs มากหากมีการหยุดใช้สารกำจัดแมลงจะมีผลเสียต่อการแพร่พันธุ์และการอยู่รอดของแมลงที่ต้านทานมาก

ในทางตรงกันข้ามในสภาพที่มีการหยุดการใช้สารกำจัดแมลงหรือไม่มีการใช้สารกำจัดแมลงนั้นแมลงที่อ่อนแอจะได้เปรียบแมลงที่ต้านทานสารกำจัดแมลง โดยพบว่าการหยุดพ่นสารกำจัดแมลงอย่างเด็ดขาดมักจะทำให้เกิดขบวนการคัดเลือกแมลงที่อ่อนแอเอาไว้ในแปลง นอกจากนี้ยังพบว่าแมลงที่ต้านทานต่อสารกำจัด

แมลงในห้องปฏิบัติการบ่อยครั้งจะเปลี่ยนเป็นแมลงที่อ่อนแอถ้าไม่มีการคัดเลือกโดยสารกำจัดแมลงอย่างต่อเนื่อง (Fahmy and Miyata, 1990) และในสภาพแปลงบ่อยครั้งพบว่าประชากรแมลงที่ต้านทานต่อสารกำจัดแมลงชนิดหนึ่งเปลี่ยนกลับไปเป็นแมลงที่ไม่ต้านทานเมื่อมีการหยุดการพ่นสารกำจัดแมลงชนิดนั้น ๆ หรือเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงชนิดของสารกำจัดแมลงที่ใช้ในการพ่น (Wu et al., 2005; Yang et al., 2013) ที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะ fitness costs ของแมลงที่ต้านทานนั่นเองที่ทำให้แมลงต้านทานเสียเปรียบแมลงที่อ่อนแอในสภาพที่ไม่มีสารกำจัดแมลงชนิดที่ต้านทาน ถ้าแมลงที่ต้านทานยิ่งมี fitness costs มากเท่าใดการเกิดความต้านทานในประชากรก็จะเกิดช้าลงเท่านั้น และการที่แมลงต้านทานมี fitness costs มากจะทำให้การหยุดใช้สารที่แมลงมีความต้านทานจะมีผลทำให้ประชากรแมลงที่ต้านทานลดลง ดังนั้นจึงได้นำเหตุผลนี้มาใช้เป็นหลักการในการหมุนเวียนการใช้สารกำจัดแมลงเพื่อลดปัญหาความต้านทาน

ในกรณีที่แมลงต้านทานมี fitness costs น้อยมาก การหยุดใช้สารกำจัดแมลงก็ไม่ทำให้ความต้านทานลดลง จึงเกิดปรากฏการณ์ความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงคงตัว (stability of resistance) โดยความต้านทานไม่ลดลงหรือลดลงช้ามากเนื่องจากอิทธิพลของ fitness costs นั้นมีน้อย (Contreras et al., 2008; Ejaz et al., 2017)

ความต้านทานแบบ cross-resistance หรือความต้านทานข้าม

แมลงที่มีความต้านทานข้าม หรือความต้านทานแบบ cross-resistance คือ แมลงที่มีกลไกความต้านทานที่ทำให้สามารถต้านทานต่อสารกำจัดแมลงชนิดหนึ่ง ๆ และโดยกลไกนี้เองทำให้แมลงนั้นสามารถต้านทานต่อสารกำจัดแมลงชนิดอื่น ๆ ที่อยู่ในกลุ่มเดียวกันได้ด้วย และในบางกรณีอาจทำให้แมลงสามารถต้านทานต่อสารกำจัดแมลงชนิดอื่น ๆ ที่อยู่ต่างกลุ่มกันได้อีก (IRAC, 2010) การเกิดความต้านทานแบบ cross-resistance จะมีเพียงกลไกเดียวเท่านั้นที่ทำให้เกิดความต้านทานต่อสารต่างชนิดกันได้

แมลงที่มีความต้านทานแบบ cross-resistance สามารถต้านทานต่อสารกำจัดแมลงที่อยู่ในกลุ่มเดียวกันได้เนื่องจากสารที่อยู่ในกลุ่มเดียวกันจะมีโครงสร้างหลักเหมือนกัน และจะไปจับที่จุดรับ (receptor) ภายในตัวแมลงที่จุดเดียวกัน ถ้าจุดรับภายในตัวแมลงที่ต้านทานเปลี่ยนแปลงไปจนสารจับไม่ได้ สารกำจัดแมลงที่อยู่ในกลุ่มเดียวกันก็จะจับไม่ได้ด้วย

การที่แมลงมีความต้านทานแบบ cross-resistance สามารถต้านทานต่อสารกำจัดแมลงที่อยู่ต่างกลุ่มได้นั้น ขึ้นกับแต่ละกลไกความต้านทาน เช่น ความต้านทานของแมลงต่อสารกำจัดแมลง DDT ซึ่งอยู่ในกลุ่ม organochlorine เกิดจากการมิวเตชันของยีน *kdr* ที่ voltage gated sodium channel และการมิวเตชันของยีน *kdr* นี้เองก็ทำให้แมลงเกิดความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงกลุ่ม pyrethroid ด้วย ดังนั้นผลของการมิวเตชันของยีน *kdr* ทำให้ทั้งสารกำจัดแมลงกลุ่ม organochlorine และสารกำจัดแมลงกลุ่ม pyrethroid ไม่สามารถจับที่จุดรับที่ voltage gated sodium channel ได้ (Brengues et al., 2003)

หรือในกรณีความต้านทานของแมลงต่อสารกำจัดแมลงกลุ่ม organophosphate ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเอนไซม์ acetylcholine esterase นั้นทำให้แมลงเกิดความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงกลุ่ม carbamate ได้ด้วย เนื่องจากผลของการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเอนไซม์ acetylcholine esterase ทำให้สารกำจัดแมลง organophosphate และ carbamate ไม่สามารถจับกับเอนไซม์ acetylcholine esterase ได้ ทำให้สาร acetylcholine esterase สามารถย่อยสลายสาร acetylcholine ได้เป็นปกติ ดังนั้นการถ่ายทอดกระแสประสาทในแมลงที่ต้านทานต่อสารกลุ่ม organophosphate และกลุ่ม carbamate จึงเป็นปกติ (Tripathi, 1976)

ความต้านทานแบบ negative cross resistance

ความต้านทานแบบ negative cross resistance คือ การที่แมลงมีความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงชนิดใดชนิดหนึ่งแต่สาเหตุของความต้านทานนี้เองทำให้แมลงนั้น ๆ อ่อนแอต่อสารกำจัดแมลงอีกชนิดหนึ่ง การทราบการเกิดความต้านทานชนิดนี้จะมีประโยชน์ในการเลือกกลุ่มสารเพื่อใช้ในการกำจัดแมลงที่ต้านทาน (Pittendrigh et al., 2014) ตัวอย่างเช่น Miles and Lysandrou (2002) พบว่าประชากรหนอนกระทู้ชนิด *Spodoptera littoralis* ที่ระบาดในแปลงเกษตรกรในประเทศเลบานอนมีความต้านทานสูงต่อสาร cypermethrin (กลุ่ม 3A) เมื่อเทียบกับหนอนกระทู้สายพันธุ์อ่อนแอถึง 250-360 เท่า แต่ประชากรหนอนกระทู้ที่ระบาดในแปลงกลับอ่อนแอต่อสาร spinosad (กลุ่ม 6) เป็นอย่างมาก จากการทดลองทำให้สามารถสรุปได้ว่าประชากรหนอนกระทู้ที่ระบาดในแปลงมีความต้านทานแบบ negative cross resistance ระหว่างสาร cypermethrin และ spinosad จึงได้มีการแนะนำให้ใช้สาร spinosad ในการจัดการกับประชากรหนอน *S. littoralis* ที่มีความต้านทานสูงต่อสาร cypermethrin ในประเทศเลบานอน

ความต้านทานแบบ multiple resistance

ความต้านทานแบบ multiple resistance คือ การที่แมลงต้านทานมีกลไกความต้านทานหลาย ๆ อย่างอยู่ร่วมกันในตัวเดียวกัน กลไกเหล่านี้แต่ละกลไกทำให้แมลงเกิดความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงแต่ละกลุ่มที่แมลงได้รับ ดังนั้นแมลงจึงมีความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงได้มากมายหลายชนิด (Yu, 2008)

ความทนทานต่อสารกำจัดแมลง (tolerance)

ความทนทานต่อสารกำจัดแมลง (insecticide tolerance) เป็นความสามารถตามธรรมชาติของแมลงที่สามารถทนต่อผลความเป็นพิษของสารกำจัดแมลงได้ (Yu, 2008) ในธรรมชาติจะพบว่าหนอนชนิดเดียวกันตัวที่ใหญ่กว่าจะมีความสามารถทนทานต่อสารกำจัดแมลงมากกว่าหนอนที่ตัวเล็กกว่า ทั้งนี้เนื่องจากขนาดลำตัว ความหนาของเปลือกหุ้มลำตัว เป็นต้น ความทนทานต่อสารกำจัดแมลงอาจเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของแมลง เช่น มีการเหนี่ยวนำให้มีการผลิตน้ำย่อยสารพิษเพิ่มมากขึ้น ซึ่งในกรณีนี้ความทนทานจะหายไปเมื่อแมลงไม่ได้รับการเหนี่ยวนำโดยสารกำจัดแมลงอีกต่อไป (Yu, 2008) ความทนทานต่อสารกำจัดแมลงและความต้านทานต่อสารกำจัดแมลง แตกต่างกันที่ความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงจะยังคงอยู่ได้ทั้ง ๆ ที่แมลงไม่ได้รับสารกำจัดแมลงชนิดที่แมลงต้านทานอีกต่อไป แต่ความทนทานต่อสารกำจัดแมลงจะคงอยู่ได้ก็ต่อเมื่อแมลงต้องได้รับสารกำจัดแมลงอยู่เรื่อย ๆ

การเปลี่ยนแปลงกลับของความต้านทาน Reversion of resistance หรือ Loss of resistance

การเปลี่ยนแปลงกลับของความต้านทาน (reversion of resistance) บางทีเรียกว่าการหายไปของความต้านทาน (loss of resistance) หมายถึง ประชากรแมลงที่ต้านทานต่อสารกำจัดแมลงชนิดใดชนิดหนึ่งเปลี่ยนกลับไปเป็นประชากรแมลงที่ไม่ต้านทานหรืออ่อนแอต่อสารกำจัดแมลงชนิดนั้น ๆ เมื่อมีการหยุดการพ่นสารกำจัดแมลงชนิดนั้น ๆ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงกลับของความต้านทานเกิดจาก fitness costs นั่นเอง (Yu, 2008) สาเหตุการเปลี่ยนแปลงกลับของความต้านทานก็คือการที่ยีนต้านทานต่อสารกำจัดแมลงนอกจากจะทำให้แมลงสามารถต้านทานต่อสารกำจัดแมลงแล้วยีนต้านทานก็ยังมีผลในการรบกวนบางกระบวนการในการดำรงชีวิตและการสืบพันธุ์ของแมลง ทำให้แมลงที่มียีนต้านทานแพร่พันธุ์ได้น้อยกว่าแมลงที่อ่อนแอ ยีนอ่อนแอ

ต่อสารกำจัดแมลงไม่มีผลในการรบกวนขบวนการในการดำรงชีวิตและการสืบพันธุ์ของแมลง ทำให้แมลงที่มียีนอ่อนแอแพร่พันธุ์ได้มากกว่า ดังนั้นเมื่อมีการหยุดพ่นสารกำจัดแมลงชนิดที่แมลงมีความต้านทานจะทำให้แมลงที่มียีนอ่อนแอมีโอกาสแพร่พันธุ์ออกลูกหลานได้มากกว่าแมลงที่มียีนต้านทาน ดังนั้นเมื่อมองในภาพรวมจะเห็นได้ว่าประชากรแมลงที่ต้านทานเปลี่ยนกลับไปเป็นประชากรแมลงที่ไม่ต้านทานต่อสารกำจัดแมลงได้

อัตราการเปลี่ยนแปลงกลับของประชากรแมลงที่มีความต้านทานอาจจะเชื่องช้าเมื่อสารกำจัดแมลงนั้น ๆ ถูกใช้ซ้ำ ๆ กันมานาน ในบางกรณีจะพบว่ากลไกความต้านทานบางชนิดไม่มี fitness costs ทำให้ประชากรแมลงที่มีความต้านทานเปลี่ยนกลับไปเป็นประชากรแมลงที่ไม่ต้านทานนั้นยากมาก ๆ หรืออาจใช้เวลาหลายปี ดังนั้นความต้านทานที่ไม่มี fitness costs จะทำให้การจัดการความต้านทานยากขึ้นและทำให้ไม่สามารถใช้สารกำจัดแมลงชนิดที่แมลงมีความต้านทานได้อีกต่อไป

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการพัฒนาความต้านทานของแมลงและไรต่อสารป้องกันกำจัดศัตรูพืช

ความต้านทานของแมลงและไรต่อสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชมีปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องมากมาย ปัจจัยเหล่านี้ทำให้การพัฒนาความต้านทานต่อสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชในประชากรแมลงหรือไรเกิดขึ้นเร็วหรือช้า (Yu, 2008; FAO, 2012) ซึ่งได้แก่

1. ปัจจัยทางชีวภาพ และนิเวศวิทยา (biological and ecological factors) ได้แก่ อัตราการผลิตลูก จำนวนชั่วอายุขัยต่อปี การเคลื่อนย้ายการเคลื่อนที่ของแมลงหรือไร ปัจจัยของแปลง เช่น การใกล้ชิดกันของพื้นที่ที่พ่นสารกำจัดแมลงหรือสารกำจัดไรกับพื้นที่ที่ไม่พ่นสาร พืชในธรรมชาติที่ศัตรูพืชสามารถอาศัยเพื่อความอยู่รอด การเคลื่อนย้ายของแมลงหรือไรอ่อนแอและศัตรูธรรมชาติเข้ามาในพื้นที่ที่พ่นสาร

2. ปัจจัยทางพันธุกรรม (genetics factors) ได้แก่ จำนวนยีนที่ทำให้เกิดความต้านทาน ความถี่และระดับความต้านทานของยีนในประชากร ความสามารถของแมลงหรือไรที่ต้านทานในการเจริญเติบโตและผลิตลูกหลานเมื่อเทียบกับแมลงหรือไรอ่อนแอ

3. ปัจจัยทางการดำเนินงาน (operational factors) ได้แก่ คุณสมบัติของสารเคมี ระดับเศรษฐกิจที่จะพ่นสาร วิธีการใช้สาร และอุปกรณ์ที่ใช้ในการพ่นสาร วิธีที่ใช้สาร เช่น การใช้สารแบบหมุนเวียน การใช้สารแบบผสม ความถี่ในการใช้สารกำจัดแมลงหรือสารกำจัดไร การเลือกชนิดสารกำจัดแมลงหรือสารกำจัดไร และวิธีการพ่นสาร

การทำให้ประชากรแมลงหรือไรศัตรูพืชเกิดความต้านทานช้าจะเป็นประโยชน์อย่างมากในการจัดการความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงหรือสารกำจัดไร การเกิดความต้านทานในประชากรเร็วหรือช้าจะขึ้นกับปัจจัยหลาย ๆ อย่าง (FAO, 2012) ดังแสดงในตาราง ดังนี้

ปัจจัยที่ทำให้แมลงหรือไรเกิดความต้านทานได้เร็ว	ปัจจัยที่ทำให้แมลงหรือไรเกิดความต้านทานได้ช้า
ประชากรมีมาก จำนวนชั่วอายุขัย/ปี มาก หรืออัตราการออกลูกหลานมาก หรือมีวงจรชีวิตสั้น และอัตราการขยายพันธุ์สูง	ประชากรมีน้อย จำนวนชั่วอายุขัย/ปี น้อย หรืออัตราการออกลูกหลานน้อย หรือแมลงมีวงจรชีวิตยาว และมีอัตราการขยายพันธุ์ต่ำ
มีการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ เช่น เพลี้ยอ่อน	มีการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ
แมลงที่มีการเคลื่อนย้ายน้อย มีโอกาสน้อยที่แมลงอ่อนแอจากพื้นที่อื่นเข้ามาผสมกับแมลงต้านทานทำ	แมลงที่มีการเคลื่อนย้ายมาก มีโอกาสมากที่แมลงอ่อนแอจากพื้นที่อื่นเข้ามาผสมกับแมลงต้านทานทำให้เกิดความต้านทานได้ช้า

ให้เกิดความต้านทานได้เร็ว เช่น แมลงใน green house	
มีการคัดเลือกโดยการพ่นสารกำจัดแมลงหรือสารกำจัดไรบ่อยครั้งทำให้ประชากรที่มียีนอ่อนแอหายไปจากประชากรเร็ว	มีการคัดเลือกโดยการพ่นสารกำจัดแมลงหรือสารกำจัดไรน้อยครั้งทำให้ยังมีประชากรแมลงมียีนอ่อนแออยู่ในแปลง
ยีนต้านทานสารกำจัดแมลงหรือสารกำจัดไรเป็นยีนเด่น หรือยีนต้านทานมีเพียงยีนเดียว	ยีนต้านทานสารกำจัดแมลงหรือสารกำจัดไรเป็นยีนด้อย หรือยีนต้านทานมีหลายยีน
มีกลไกความต้านทานหลายกลไก	ไม่ค่อยมีกลไกความต้านทาน
มีกลไกที่สามารถย่อยสลายสารกำจัดแมลงหรือสารกำจัดไรได้ง่ายจะมีโอกาสพัฒนาความต้านทานได้เร็ว	ไม่มีกลไกที่สามารถย่อยสลายสารกำจัดแมลงหรือสารกำจัดไรได้ง่ายจะพัฒนาความต้านทานได้ช้า
มีความต้านทานที่มี fitness costs น้อย	มีความต้านทานที่มี fitness costs มาก
มีความต้านทานแบบ cross-resistance	ไม่มีความต้านทานแบบ cross-resistance
มีการพ่นสารกำจัดแมลงหรือสารกำจัดไรชนิดเดิมซ้ำกันบ่อยครั้ง ใช้สารเคมีในการป้องกันกำจัดเพียงวิธีเดียว และไม่มีการใช้สารแบบหมุนเวียน	มีการใช้สารแบบหมุนเวียน และพ่นสารน้อยครั้งโดยจะพ่นเมื่อจำนวนแมลงหรือไรถึงระดับเศรษฐกิจ มีการใช้หลาย ๆ วิธีในการป้องกันกำจัดแมลงหรือมีการบริหารศัตรูพืช (IPM)
มีการพ่นสารในอัตราที่ต่ำกว่าอัตราแนะนำจะทำให้แมลง heterozygous resistant อยู่รอดมากขึ้นและทำให้ยีนที่ต้านทานมีการแสดงออกเป็นยีนเด่น ในขณะที่การพ่นสารในอัตราที่สูงกว่าอัตราแนะนำจะทำให้แมลงหรือไรที่อยู่รอดมีแต่ homozygous resistant โดยทั้งสองกรณีทำให้เกิดความต้านทานได้อย่างรวดเร็ว	มีการพ่นสารในอัตราแนะนำ
การพ่นสารไม่ครอบคลุมทั่วทั้งแปลงทำให้เกิดผลคล้ายกับการพ่นสารในอัตราที่ต่ำกว่าอัตราแนะนำ	การพ่นสารครอบคลุมทั่วทั้งแปลงและทรงพุ่ม
ใช้สารกำจัดแมลงหรือสารกำจัดไรที่มีฤทธิ์ตกค้างยาวนาน หรือมีพิษสูงต่อศัตรูธรรมชาติ	ใช้สารกำจัดแมลงหรือสารกำจัดไรที่มีฤทธิ์ตกค้างสั้นหรือมีพิษน้อยต่อศัตรูธรรมชาติ
มีการปลูกพืชชนิดเดียวติดต่อกันยาวนานทำให้แมลงหรือไรศัตรูพืชชนิดเดิมระบาดอย่างต่อเนื่อง	มีการปลูกพืชแบบหมุนเวียนที่มีแมลงหรือไรศัตรูพืชแตกต่างกัน หรือมีการหยุดพักการปลูกพืชบางช่วงเพื่อทำลายวงจรการระบาด

บทสรุป

ในการจัดการปัญหาความต้านทานต่อสารกำจัดศัตรูพืชในแมลงหรือไรศัตรูพืชที่ระบาดในแปลงนั้น การทราบสาเหตุการเกิดความต้านทานทำให้สามารถลดสาเหตุการเกิดความต้านทานได้ ความต้านทานของแมลงหรือไรต่อสารกำจัดศัตรูพืชมีหลายประเภททำให้การวางแผนในการแก้ปัญหาแตกต่างกัน ความต้านทานสารกำจัดแมลงหรือสารกำจัดไรเป็นลักษณะที่ถูกควบคุมโดยยีนและสามารถถ่ายทอดสู่ลูกหลานได้ ยีนต้านทานที่มีในตัวแมลงหรือไรทำให้แมลงหรือไรรอดตายจากการได้รับสารกำจัดแมลงหรือสารกำจัดไร แต่ยีนต้านทานก็มีผลเสียทำให้ประสิทธิภาพการแพร่พันธุ์ของแมลงหรือไรลดลง ความต้านทานในประชากรสามารถเพิ่มขึ้นและลดลงได้โดยปัจจัยต่าง ๆ ความรวดเร็วของการพัฒนาความต้านทานต่อสารกำจัดแมลง หรือสารกำจัดไรแต่ละชนิดมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องหลายอย่าง การควบคุมปัจจัยที่มีผลต่อการพัฒนาความต้านทานของแมลงหรือไรได้จะทำให้สามารถแก้ปัญหาความต้านทานอย่างได้ผล

เอกสารอ้างอิง

Brengues, C., N. J. Hawkes, F. Chandre, L. McCarroll, S. Duchon, P. Guille and J. Hemingway. 2003. Pyrethroid and DDT cross-resistance in *Aedes aegypti* is correlated with novel mutations in the voltage-gated sodium channel gene. Medical and veterinary entomology. 17(1): 87-94.

Contreras, J., P. J. Espinosa, V. Quinto, C. Grávalos, E. Fernández and P. Bielza. 2008. Stability of insecticide resistance in *Frankliniella occidentalis* to acrinathrin, formetanate and methiocarb. Agricultural and Forest Entomology. 10(3): 273-278.

Ejaz, M., M. B. S. Afzal, G. Shabbir, J. E. Serrão, S. A. Shad and W. Muhammad. 2017. Laboratory selection of chlorpyrifos resistance in an Invasive Pest, *Phenacoccus solenopsis* (Homoptera: Pseudococcidae): Cross-resistance, stability and fitness cost. Pestic. biochem. and physiol. 137: 8-14.

Fahmy, R. A. and T. Miyata. 1990. Development and reversion of chlorfluazuron resistance in diamondback moth. pp. 10-14. *In*: Diamondback moth and other crucifer pests, Proceedings of the second international workshop, Tainan, Taiwan.

FAO (Food and Agriculture Organization). 2012. Guidelines on Prevention and Management of Pesticide Resistance. 55p.

IRAC. 2010. Prevention and Management of Insecticide Resistance in Vectors of Public Health Importance. 2nd Edition. (http://www.irac-online.org) (March 27, 2021).

IRAC. 2021. General principle of insecticide resistance management from IRAC. (Online). Available. http://www.irac-online.org. (March 27, 2021).

Miles, M. and M. Lysandrou. 2002. Evidence for negative cross resistance to insecticides in field collected *Spodoptera littoralis* (Boisd.) from Lebanon in laboratory bioassays. Mededelingen. 67(3): 665-669.

Onstad, D.W. and A.J. Gassmann. 2014. Concepts and Complexities of Population Genetics, pp. 149-183. *In*: Insect Resistance Management: Biology, Economics and Prediction. Onstad D.W. (ed.). Academic Press.

Pittendrigh, B. R., J. Huesing, K. R. Walters Jr, B. P. Olds, L. D. Steele, L. Sun, P. Gaffney and A. J. Gassmann. 2014. Negative cross-resistance: history, present status, and emerging opportunities. pp. 373-401. *In*: Insect Resistance Management: Biology, Economics and Prediction. Onstad D.W. (ed.). Academic Press.

Roush, R.T. and J.A. McKenzie. 1987. Ecological genetics of insecticide and acaricide resistance. Annu. Rev. Entomol. 32: 361-380.

Roush, R.T. and J. Daly 1990. The Role of Population Genetics in Resistance Research and Management. pp 97-152. *In*: Pesticide Resistance in Arthropods. Roush R.T. and Tabashnik B.E. (eds.), Chapman and Hall Inc.

Tripathi, R. K. 1976. Relation of acetylcholinesterase sensitivity to cross-resistance of a resistant house fly strain to organophosphates and carbamates. Pestic. Biochem. and Physiol. 6(1): 30-34.

Wu, K., W. Mu, G. Liang and Y. Guo. 2005. Regional reversion of insecticide resistance in *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) is associated with the use of Bt cotton in northern China. Pest Manag. Sci. 61(5): 491-498.

Yang, Y., Y. Li and Y. Wu. 2013. Current status of insecticide resistance in *Helicoverpa armigera* after 15 years of Bt cotton planting in China. J. Econ. Entomol. 106(1): 375-381.

Yu, S.J. 2008. The Toxicology and Biochemistry of Insecticides. CRC Press.

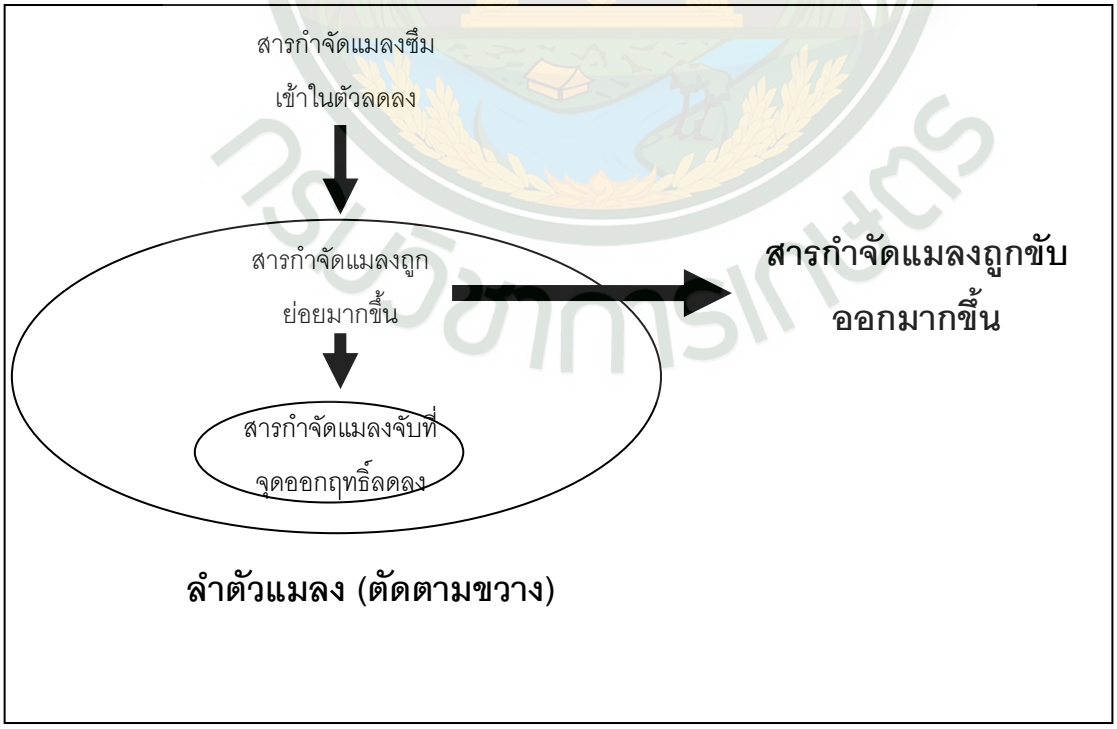
ความรู้พื้นฐานกลไกความต้านทานสารกำจัดแมลงและไรเพื่อการใช้สารแบบหมุนเวียน

บทนำ

การทราบกลไกความต้านทานของแมลงและไรศัตรูพืชต่อสารกำจัดแมลงและไรมีความสำคัญต่อการวางแผนการจัดการความต้านทานของศัตรูพืช ในปัจจุบันมีการจำแนกกลไกความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงและไรออกเป็นหลายประเภท แต่ละประเภทเกิดจากสาเหตุที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน การรู้รายละเอียดของกลไกความต้านทานจะช่วยในการปรับการจัดการความต้านทานของศัตรูพืชโดยการเลือกใช้สารแบบหมุนเวียนที่มีประสิทธิภาพและเหมาะสมในแต่ละช่วงเวลา โดยเลือกใช้ชนิดกลุ่มสารกำจัดแมลงและไรที่มีกลไกความต้านทานที่แตกต่างกันในแต่ละช่วงเวลา

กลไกความต้านทานของแมลงต่อสารกำจัดแมลง

กลไกความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงเป็นการตอบสนองของแมลงที่ทำให้สามารถหลีกเลี่ยงการได้รับพิษจากสารกำจัดแมลงได้ดีขึ้นโดยเมื่อแมลงได้รับสารกำจัดแมลงแล้วสารจะถูกดูดซึมเข้าลำตัวของแมลงลดลง สารกำจัดแมลงที่ถูกดูดซึมเข้าไปภายในลำตัวแมลงจะถูกน้ำย่อยสารพิษในแมลงย่อยทำลายมากขึ้นและถูกขับออกมานอกร่างกายมากขึ้น และสารกำจัดแมลงที่เข้าไปภายในร่างกายแมลงได้จะไปจับที่จุดออกฤทธิ์ได้ลดลง ซึ่งกระบวนการทั้งหมดจะทำให้แมลงได้รับพิษจากสารกำจัดแมลงลดลง (ภาพที่ 30)



ภาพที่ 30 ภาพรวมของกลไกการเกิดความต้านทานต่อสารกำจัดแมลง

ประเภทของกลไกความต้านทานต่อสารกำจัดแมลง

กลไกที่ทำให้แมลงสามารถต้านทานต่อฤทธิ์ของสารกำจัดแมลงได้ถูกจำแนกออกเป็นประเภทต่างๆ (IRAC, 2007; 2010; Yu, 2008) คือ

1. Metabolic resistance
2. Target-site resistance
3. Reduced penetration
4. Behavioral resistance

ส่วน Physiological resistance ใช้เรียก metabolic resistance, target-site resistance และ reduced penetration รวมกัน

กลไกความต้านทานโดยการย่อยสลายพิษ (Metabolic resistance)

กลไกความต้านทานแบบ metabolic resistance เกิดจากการที่แมลงใช้น้ำย่อยสารพิษหรือเอนไซม์ทำลายพิษที่มีอยู่แล้วในตัวแมลงเพื่อย่อยสลายสารพิษต่าง ๆ ที่แมลงได้รับจากสิ่งแวดล้อมมาย่อยสลายสารกำจัดแมลงซึ่งจัดเป็นสารพิษต่อแมลง น้ำย่อยสารพิษที่แมลงใช้ในการย่อยสลายสารพิษหรือสารกำจัดแมลงมักไม่ค่อยมีความจำเพาะเจาะจง จึงสามารถย่อยสลายสารที่มีโครงสร้างทางเคมีคล้าย ๆ กันหรือใกล้เคียงกันได้หลายชนิด (Yu, 2008) แมลงที่ต้านทานสามารถถูกเหนี่ยวนำให้มีการผลิตน้ำย่อยสารพิษในปริมาณที่มากขึ้นได้ ส่วนในแมลงที่อ่อนแอจะสามารถผลิตน้ำย่อยสารพิษในปริมาณที่น้อยกว่า

โดยทั่วไปแมลงที่ต้านทานโดยกลไกนี้จะมีลักษณะทางพันธุกรรมที่สามารถผลิตน้ำย่อยสารพิษที่มีประสิทธิภาพมากกว่า หรือมีปริมาณมากกว่า หรือมีความสามารถในการย่อยสลายสารกำจัดแมลงได้มากชนิดกว่าน้ำย่อยสารพิษที่ผลิตในแมลงอ่อนแอ น้ำย่อยสารพิษในแมลงต้านทานมักเกิดจากการที่ยีนน้ำย่อยสารพิษที่มีการเปลี่ยนแปลงไปหรือเกิดมิวเตชั่นจากยีนปกติที่มักพบในแมลงอ่อนแอ ทำให้ยีนน้ำย่อยสารพิษในแมลงต้านทานผลิตน้ำย่อยสารพิษที่สามารถย่อยสลายสารกำจัดแมลงได้ดีขึ้น (Oppernooth, 1965) ในแมลงที่ต้านทานต่อสารกำจัดแมลงส่วนมากมักพบว่ามีกลไกความต้านทานแบบ metabolic resistance

กลไกความต้านทานแบบ metabolic resistance อาจเกิดจากแมลงที่ต้านทานใช้น้ำย่อยสารพิษในการดูดซับกักเก็บ (sequestration) สารพิษที่แมลงได้รับ (Hemingway, 2000) ทำให้สารพิษส่วนใหญ่ที่เข้าไปในร่างกายแมลงต้านทานไม่สามารถแพร่กระจายไปทั่วตัวแมลงจนถึงจุดรับสารพิษ (receptor) ได้ แมลงต้านทานจึงไม่เกิดอาการเป็นพิษและแสดงความต้านทานได้ในที่สุด

เอนไซม์ที่แมลงใช้ในการย่อยสลายสารกำจัดแมลง

น้ำย่อยสารพิษหรือเอนไซม์ทำลายพิษที่แมลงใช้ในการย่อยสลายสารกำจัดแมลงที่เกี่ยวข้องกับความต้านทานของแมลงที่พบบ่อยมี 3 พวก (Yu, 2008; Pittendrigh et. al., 2014) คือ

1. monooxygenases หรืออาจเรียกว่า mixed-function oxidases (MFOs) หรือ cytochrome P450 หรือ P450 เอนไซม์ชนิดนี้สามารถสร้างความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงได้มากที่สุด
2. esterases หรือ hydrolases เอนไซม์ชนิดนี้สามารถสร้างความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงได้รองจากเอนไซม์ P450 นอกจากนี้เอนไซม์ esterases มักจะช่วยเสริมกับกลไกความต้านทานชนิดอื่น ๆ ทำให้แมลงต้านทานต่อสารกำจัดแมลงได้มากยิ่งขึ้น

3. glutathione S-transferases เอนไซม์ชนิดนี้สามารถสร้างความต้านทานในแมลงโดยมักเสริมกับกลไกความต้านทานอื่น ๆ (Gao et al., 2012) ทำให้แมลงต้านทานต่อสารกำจัดแมลงเพิ่มมากขึ้นเช่นกัน

คุณลักษณะและคุณสมบัติของเอนไซม์ทำลายพิษในแมลง

ในแมลงที่ต้านทานจะมีน้ำย่อยสารพิษหรือเอนไซม์ทำลายพิษที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น หรือมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น เมื่อเทียบกับน้ำย่อยสารพิษในแมลงอ่อนแอ ดังนั้นแมลงที่ต้านทานจึงสามารถย่อยสลายสารพิษได้รวดเร็วขึ้น และสามารถขับสารกำจัดแมลงออกนอกร่างกายได้เร็วกว่าแมลงอ่อนแอ หรือน้ำย่อยสารพิษในแมลงที่ต้านทานยังสามารถดูดซับกักเก็บสารกำจัดแมลงไม่ให้แพร่กระจายไปในร่างกายได้มากกว่าแมลงอ่อนแอ (Yu, 2008) น้ำย่อยสารพิษในแมลงมีคุณลักษณะและคุณสมบัติต่าง ๆ ดังนี้

1. cytochrome P450 monooxygenases

น้ำย่อยหรือเอนไซม์ P450s มีหน้าที่ย่อยสลายสารพิษและของเสียต่าง ๆ ภายในร่างกาย เช่น ฮอร์โมน ฟีโรโมน กรดไขมัน เอนไซม์ชนิดนี้จะเปลี่ยนโมเลกุลสารที่ไม่มีขั้วให้เป็นสารที่มีขั้ว ซึ่งจะทำให้สามารถขับออกภายนอกร่างกายได้ง่ายขึ้น (Feyereisen, 2015) เอนไซม์ชนิดนี้ยังสามารถย่อยสลายสารกำจัดแมลงทำให้สารกำจัดแมลงมีพิษน้อยลง เอนไซม์ P450s มีอยู่หลากหลายชนิดมาก และแต่ละชนิดสามารถย่อยสลายสารได้แตกต่างกันโดยเกิดปฏิกิริยาต่าง ๆ เช่น epoxidation, hydroxylation, N-dealkylation, O-dealkylation และ desulfuration จึงทำให้เอนไซม์ชนิดนี้มีความสำคัญในการย่อยสารกำจัดแมลงหลาย ๆ ชนิด เช่น สาร cabamates, organophosphate, pyrethroids และ neonicotinoids (Yu, 2008) โดยที่สารกำจัดแมลงที่ผ่านการย่อยโดยเอนไซม์ P450s จะมีโครงสร้างทางโมเลกุลเปลี่ยนไป มีความเสถียรน้อยลง และไม่สามารถจับที่จุดออกฤทธิ์ได้ เนื่องจากโครงสร้างโมเลกุลสารกำจัดแมลงหลังการถูกย่อยมีการเปลี่ยนแปลงความมีขั้ว (polarity)

เนื่องจากคุณลักษณะของเอนไซม์ P450s ที่ย่อยสลายสารพิษส่วนมากไม่ค่อยมีความจำเพาะเจาะจงคือสามารถย่อยสลายสารพิษที่มีโครงสร้างทางโมเลกุลใกล้เคียงกันได้ จึงทำให้เอนไซม์ P450s สามารถย่อยสารกำจัดแมลงที่มีโครงสร้างทางโมเลกุลใกล้เคียงกันได้ ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดความต้านทานแบบ cross-resistance ได้ (Yu, 2008)

ในแมลงหลายชนิดพบว่าเอนไซม์ P450 มีการเพิ่มกิจกรรม (activity) มากขึ้นทำให้ย่อยสารกำจัดแมลงได้มากขึ้นและรวดเร็วขึ้น การเพิ่มกิจกรรมของเอนไซม์ P450 มากขึ้นเป็นกลไกความต้านทานในแมลงต่อสารกำจัดแมลงหลาย ๆ กลุ่ม

ในปัจจุบันพบยีน P450s มากกว่า 600 ยีนส์ในแมลง ยีนแต่ละ family ของ cytochrome P450 monooxygenases (CYP) จะผลิตเอนไซม์ P450s ชนิดต่าง ๆ เพื่อย่อยสลายสารพิษในแมลงที่ต้านทาน เช่น ยีน *CYP 4* , *CYP 6* , *CYP 9* และ *CYP 12* ซึ่งเอนไซม์ P450s ที่ผลิตโดยยีนเหล่านี้จะพบมากใน fat body, Malpighian tubules และ midgut ของแมลง (Feyereisen, 2015)

2. Esterases

น้ำย่อยหรือเอนไซม์ esterases จัดเป็นเอนไซม์ hydrolases คือเอนไซม์ที่ใช้น้ำในการทำปฏิกริยาชนิดหนึ่ง น้ำย่อยชนิดที่พบมากคือ carboxylesterases ซึ่งเกี่ยวข้องกับความต้านทานในแมลงต่อสารกำจัดแมลงหลายชนิดที่มีกลุ่ม ester เป็นองค์ประกอบ เช่น ออร์แกโนฟอสเฟต, คาร์บาเมท และไพรีทรอยด์ การย่อยสารกำจัดแมลงโดยเอนไซม์ esterases จะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรลิซิส

(hydrolysis) ย่อยกลุ่มเอสเทอร์ออกไปจากโครงสร้างของสารกำจัดแมลงซึ่งจะทำให้ได้กรดและแอลกอฮอล์ (Yu, 2008) จึงทำให้สารที่ได้สูญเสียคุณสมบัติการเป็นสารกำจัดแมลง สารที่ได้มีความเป็นขั้วเพิ่มมากขึ้นจึงละลายน้ำได้ง่ายขึ้นและถูกขับออกนอกร่างกายได้ดีขึ้น (Devonshire and Moores, 1982; Oakeshott et al., 2005)

การเกิดความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงโดยเอนไซม์ esterases ในแมลงเกิดจากหลายสาเหตุ (Yu, 2008) ดังนี้

- เกิดจากยีน esterase มีการเพิ่มจำนวนชุดหรือ gene amplification ทำให้เพิ่มผลิตเอนไซม์ esterase มากขึ้น ทำให้การย่อยสลาย และการดูดซับสารกำจัดแมลงมากขึ้น
- เกิดจากยีน esterase มีการเปลี่ยนแปลงโดยการเกิด mutation ทำให้ยีน esterase ที่เปลี่ยนแปลงผลิตเอนไซม์ที่มี activity ในการย่อยสลายสารกำจัดแมลงเพิ่มมากขึ้น
- เกิดจากเอนไซม์ esterases ที่มีการผลิตจำนวนมากในแมลงที่ต้านทานสามารถดูดซับกักเก็บสารกำจัดแมลงไม่ให้แพร่กระจายไปในร่างกายแมลงได้มาก

3. Glutathione S–transferases (GSTs)

น้ำย่อยหรือเอนไซม์ GSTs ทำหน้าที่ในการย่อยทั้งสารพิษภายนอกร่างกายและย่อยสารในร่างกายที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ฮอร์โมน เอนไซม์นี้จะเปลี่ยนสารพิษให้อยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้ พร้อมขับถ่ายออกนอกร่างกายในรูปสารประกอบกรด mercapturic นอกจากนี้เอนไซม์ GST ยังสามารถย่อย DDT ได้ โดยเกิดปฏิกริยา dehydrochlorination (Habig et al., 1974) การเกิดความต้านทานโดยเอนไซม์ GSTs เกิดจาก gene amplification หรือ over expression (Yu, 2008) ดังนี้

- ความต้านทานที่เกิดจาก gene amplification คือในแมลงที่ต้านทานมีการเพิ่มจำนวนยีนน้ำย่อย GSTs เป็นหลาย ๆ ยีน ทำให้แมลงต้านทานสามารถผลิตน้ำย่อย GSTs ในปริมาณที่มากกว่าในแมลงอ่อนแอ จึงทำให้แมลงต้านทานย่อยสารกำจัดแมลงได้มากขึ้น
- ความต้านทานที่เกิดจาก over expression ของยีน คือยีนน้ำย่อย GSTs ในแมลงที่ต้านทานมีการเพิ่มการสังเคราะห์โปรตีนหรือเพิ่มการผลิตน้ำย่อย GSTs ในปริมาณที่มากกว่าในแมลงอ่อนแอ จึงทำให้แมลงต้านทานย่อยสารกำจัดแมลงได้มากขึ้น
- ความต้านทานที่เกิดจากการดูดซับโดยน้ำย่อย GSTs ทำให้สารกำจัดแมลงถูกดูดซับกักเก็บไว้ในส่วนต่าง ๆ ของร่างกายแมลงต้านทานโดยน้ำย่อย GSTs ในแมลงต้านทานมากกว่าในแมลงอ่อนแอ

กลไกความต้านทานที่จุดออกฤทธิ์ (Target-site resistance)

กลไกความต้านทานนี้เกิดจากการที่สารกำจัดแมลงไม่สามารถจับที่จุดออกฤทธิ์ (receptors) ภายในตัวแมลง เนื่องจากจุดออกฤทธิ์ของแมลงที่ต้านทานมีโครงสร้างทางโมเลกุลเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งเกิดจากยีนของจุดออกฤทธิ์ตรงบริเวณที่เป็นจุดจับ (binding site) ของสารกำจัดแมลงมีการเปลี่ยนแปลงไปโดยการเกิดมิวเตชั่น ทำให้โครงสร้างตรงบริเวณจุดจับของสารกำจัดแมลงในแมลงที่ต้านทานแตกต่างจากที่พบในแมลงอ่อนแอ สารกำจัดแมลงจึงไม่สามารถจับที่จุดออกฤทธิ์ของแมลงที่ต้านทานได้ดีเหมือนในแมลงอ่อนแอ (Pittendrigh et. al., 2014)

กลไกความต้านทานที่จุดออกฤทธิ์มักพบในแมลงที่ต้านทานต่อสารกำจัดแมลงรองจากกลไกความต้านทานโดยการย่อยสลายสารพิษ ตัวอย่างกลไกความต้านทานที่จุดออกฤทธิ์ หรือ target-site resistance เช่น การเกิด nerve insensitivity ต่าง ๆ ที่เกิดจากการเกิดมิวเตชั่นที่ยีน sodium channels (knockdown resistance, Kdr), การเกิดมิวเตชั่นที่ยีน GABA receptors (Rdl), การเกิดมิวเตชั่นที่ยีน nicotinic acetyl choline receptors และการเกิดมิวเตชั่นที่ยีน acetylcholine esterases (Yu, 2008)

กลไกหลักของความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงจากเชื้อ Bt คือการเกิดมิวเตชั่นที่ยีน Cry ซึ่งเป็นยีนของ membrane receptors ในลำไส้ส่วนกลางของแมลง ทำให้ toxin ของเชื้อ Bt ไม่สามารถจับที่ membrane receptors ได้ (Ferre and Van Rie, 2002) แมลงจึงต้านทานต่อ toxin ของเชื้อ Bt

กลไกความต้านทานโดยการลดการซึมเข้าตัว (Reduced penetration)

กลไกความต้านทานโดยการลดการซึมเข้าตัวแมลง หรือ reduced penetration หรือ penetration resistance กลไกนี้เกิดจากการที่แมลงต้านทานมี cuticle ที่ผนังลำตัวหนาขึ้น หรือที่ผนังทางเดินอาหารมีองค์ประกอบเปลี่ยนแปลงไปทำให้สารกำจัดแมลงซึมเข้าตัวแมลงต้านทานผ่าน cuticle ได้ช้าและยากกว่าในแมลงอ่อนแอ กล่าวคือแมลงที่ต้านทานด้วยกลไกนี้สารกำจัดแมลงจะซึมเข้าตัวน้อยกว่าในแมลงที่อ่อนแอ

กลไกความต้านทานโดยการลดการซึมเข้าตัวมักทำให้แมลงต้านทานต่อสารกำจัดแมลงได้หลาย ๆ ชนิดโดยไม่จำเพาะเจาะจง เช่น ในแมลงวันบ้านมียีน *pen* (ซึ่งมาจากคำ penetration) จะช่วยลดการซึมเข้าของสารกำจัดแมลงสู่ลำตัวได้ การลดการซึมของสารกำจัดแมลงเข้าลำตัวแมลงอาจเกิดจากโปรตีน หรือไขมันในผนัง cuticle ดูดซับสารกำจัดแมลงเอาไว้ในผนัง cuticle ในแมลงที่ต้านทานได้ดีกว่าในแมลงอ่อนแอ หรือน้ำย่อยสารพิษที่อยู่ภายในผนัง cuticle ในแมลงที่ต้านทานสามารถย่อยสลายสารพิษ (Terriere, 1982; Pittendrigh et. al., 2014) ได้ดีกว่าในแมลงอ่อนแอ ความต้านทานของแมลงที่เกิดจากกลไกนี้แบบเดี่ยว ๆ มักอยู่ในระดับที่ไม่สูงนัก กลไกความต้านทานแบบ penetration resistance นี้บ่อยครั้งพบว่าเป็นกลไกที่เสริมกับกลไกความต้านทานแบบอื่น ๆ ทำให้ความต้านทานรวมเพิ่มขึ้นในระดับที่สูงได้ (Plapp, 1986)

กลไกความต้านทานทางพฤติกรรม (Behavioral resistance)

กลไกความต้านทานทางพฤติกรรมเป็นการพัฒนาความสามารถของแมลงที่ทำให้แมลงสามารถหลีกเลี่ยงการได้รับสารกำจัดแมลงในอัตราที่ทำให้แมลงตาย (Yu, 2008) กลไกนี้เกิดจากการที่แมลงที่ต้านทานมีลักษณะทางพฤติกรรมที่เปลี่ยนแปลงไปจากแมลงอ่อนแอทั่วไป ซึ่งลักษณะทางพฤติกรรมที่เปลี่ยนแปลงไปนี้ช่วยให้แมลงที่ต้านทานสามารถหลีกเลี่ยงการได้รับสารกำจัดแมลงที่จะทำให้เกิดพิษต่อตัวแมลงได้ กลไกความต้านทานทางพฤติกรรมส่วนใหญ่เกิดจากการกระตุ้นที่มากกว่าปกติที่เรียกว่า hypersensitivity หรือ hyperirritability แมลงที่ต้านทานสามารถตรวจจับหรือตอบสนองต่อสารกำจัดแมลงที่มีปริมาณน้อย ๆ ได้ดีกว่าแมลงอ่อนแอ เนื่องจากแมลงที่ต้านทานมีตัวรับ (receptors) ที่สามารถตรวจจับสารกำจัดแมลงได้ดีกว่าแมลงอ่อนแอ (Yu, 2008) แมลงที่ต้านทานจะหยุดการกินเมื่อสัมผัสกับสารกำจัดแมลง เดินหนี หรือบินหนีจากพื้นที่ที่มีสารกำจัดแมลง (Sparks et al., 1989; Panini et al., 2016) ในไรสองจุดบางประชากรก็พบพฤติกรรมหลีกเลี่ยงการสัมผัสกับสาร bifenthrin และ fenvalerate (Suiter and Gould, 1994)

กลไกความต้านทานและการใช้สารแบบหมุนเวียน

การทราบกลไกความต้านทานของศัตรูพืชทำให้สามารถเลือกใช้กลุ่มสารกำจัดแมลงที่เหมาะสม เพื่อใช้แบบหมุนเวียนเพื่อจัดการปัญหาความต้านทานต่อสารกำจัดแมลง โดยที่กลุ่มสารที่เลือกใช้นั้นต้องไม่ใช่สารกลุ่มที่แมลงศัตรูพืชที่กำลังระบาดในแปลงมีกลไกความต้านทานที่สามารถทำลายสารกำจัดศัตรูพืชที่เลือกได้ เพื่อป้องกันการเกิดความต้านทานแบบ cross-resistance เช่น ถ้าพบว่าชนิดแมลงที่ระบาดในแปลงมีข้อมูลว่าสามารถมีกลไกความต้านทานที่สามารถผลิตน้ำย่อยสารพิษชนิด esterase ได้สูง ดังนั้นจะต้องหลีกเลี่ยงการใช้กลุ่มสารกำจัดแมลงที่มีโครงสร้างทางเคมีที่มีพันธะ ester ซึ่งน้ำย่อย esterase สามารถย่อยได้ โดยหลีกเลี่ยงการใช้สารกลุ่ม 1 บ่อยครั้ง เพราะจะทำให้แมลงเกิดความต้านทานได้

ในประชากรแมลงมีกลไกความต้านทานแบบใช้น้ำย่อยสารพิษหรือกลไกแบบ metabolic resistance นั้นการเลือกใช้สารแบบหมุนเวียนจะต้องเลือกสารกลุ่มที่กลไกความต้านทานแบบ metabolic resistance ที่มีในประชากรแมลงศัตรูพืชไม่มีผล หรือเลือกใช้กลุ่มสารกำจัดแมลงที่มีกลไกความต้านทานแตกต่างกัน เช่น การใช้สารกลุ่มที่มักเกิดความต้านทานโดยเอนไซม์ esterase นั้น สารกำจัดแมลงกลุ่มที่ใช้ร่วมกันก็ไม่ควรใช้สารกลุ่มที่แมลงมักเกิดความต้านทานโดยเอนไซม์ esterase เหมือนกัน ซึ่งจะเป็นการป้องกันการคัดเลือกความต้านทานโดยเอนไซม์ชนิดนี้

ในกรณีที่ประชากรแมลงมีกลไกความต้านทานแบบ target-site resistance การเลือกใช้สารแบบหมุนเวียนจะต้องไม่ใช้สารที่อยู่ในกลุ่มที่แมลงมีความต้านทาน โดยเลือกใช้สารกลุ่มอื่น ๆ ที่แมลงไม่มีความต้านทานแทน

บทสรุป

ในการจัดการความต้านทานของศัตรูพืชที่ระบาดในแปลงนั้นการทราบกลไกความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงหรือสารกำจัดไรในประชากรว่ามีกลไกความต้านทานโดยการย่อยสลายพิษแบบใด หรือกลไกความต้านทานที่จุดออกฤทธิ์แบบใด หรือกลไกความต้านทานโดยการลดการซึมเข้าตัว หรือกลไกความต้านทานทางพฤติกรรม จะช่วยในการตัดสินใจเลือกชนิดกลุ่มสารกำจัดแมลงหรือสารกำจัดไร เพื่อใช้ในการพ่นสารแบบหมุนเวียนได้อย่างเหมาะสม ทำให้สามารถหลีกเลี่ยงการพ่นสารกลุ่มที่มีกลไกความต้านทานแบบเดียวกันร่วมกัน ทำให้การจัดการความต้านทานโดยการใช้สารแบบหมุนเวียนมีประสิทธิภาพ สามารถชะลอหรือลดปัญหาความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงในศัตรูพืชที่ระบาดในแปลงได้สำเร็จ

เอกสารอ้างอิง

Devonshire, A. L. and G. D. Moores. 1982. A carboxylesterase with broad substrate specificity causes organophosphorus, carbamate and pyrethroid resistance in peach-potato aphids (*Myzus persicae*). Pesticide Biochemistry and Physiology. 18(2): 235-246.

Ferre, J. and J. van Rie. 2002. Biochemistry and genetics of insect resistance to *Bacillus thuringiensis*. Annu. Rev. Entomol. 47: 501.

Feyereisen, R. 2015. Insect P450 inhibitors and insecticides: challenges and opportunities. Pest Manag. Sci. 71(6): 793-800.

Gao, Y., Z. Lei and S.R. Reitz. 2012. Western flower thrips resistance to insecticides: detection, mechanisms and management strategies. Pest Manag. Sci. 68(8): 1111-1121.

Habig, W. H., M. J. Pubst and W.B. Jokoby. 1974. GST, the first enzyme step in mercapturic acid formation. J. Bio. Chem. 249: 7130-7139.

Hemingway, J. 2000. The molecular basis of two contrasting metabolic mechanisms of insecticide resistance. Insect biochem. and molec. biol. 30(11): 1009-1015.

IRAC. 2007. Insecticide Resistance Action Committee: Resistance Management for Sustainable Agriculture and Improved Public Health. CropLife International. (http://www.irac-online.org)

IRAC. 2010. Prevention and Management of Insecticide Resistance in Vectors of Public Health Importance. 2nd Edition. (http://www.irac-online.org)

Oakeshott, J. G., C. Claudianos, P. M. Campbell, R. D. Newcomb and R. J. Russell. 2005. Biochemical genetics and genomics of insect esterases, pp. 309-381. *In*: L.I. Gilbert, K. Iatrou, S.S. Gill, editors. Comprehensive Molecular Insect Science–Pharmacology. Vol 5, Elsevier, Oxford, UK.

Oppenoorth, F.J. 1965. Biochemical genetics of insecticide resistance. Ann. Rev. Entomol. 10: 185.

Panini, M., G. C. Manicardi, G. D. Moores and E. Mazzoni. 2016. An overview of the main pathways of metabolic resistance in insects. Invertebrate Survival Journal. 13(1): 326-335.

Pittendrigh, B. R., V. M. Margam, K. R. Walters Jr, L. D. Steele, B. P. Olds, L. Sun, J. Huesing, S.H. Lee and J. M. Clark. 2014. pp. 55-98. *In*: Insect Resistance Management. Onstad D.W. (ed.). Understanding resistance and induced responses of insects to xenobiotics and insecticides in the age of “omics” and systems biology. Academic Press.

Plapp, F.W. Jr. 1986. Genetics and biochemistry of insecticide resistance in arthropods: Prospects for the future, pp 74. *In*: Pesticide resistance: Strategies and tactics for management. National Academy Press.

Sparks, T. C., J. A. Lockwood, R. L. Byford, J. B. Graves and B. R. Leonard. 1989. The role of behavior in insecticide resistance. Pestic. Sci. 26(4): 383-399.

Suiter, K. A., and F. Gould. 1994. Physiological resistance and behavioral avoidance responses to residues of four pesticides by six spider mite populations. Entomologia Experimentalis et Applicata. 71(1): 1-14.

Terriere, L.C. 1982. The Biochemistry and Toxicology of Insecticides. Oregon State University. Corvallis.

Yu, S.J. 2008. The Toxicology and Biochemistry of Insecticides. CRC Press.

กรมวิชาการเกษตร

หลักการจัดการความต้านทานของแมลงและไร ต่อสารกำจัดศัตรูพืช

บทนำ

การจัดการความต้านทานต่อสารกำจัดแมลง (Insecticide Resistance Management, IRM) เป็นวิธีการที่นักวิทยาศาสตร์ทั่วโลกยอมรับว่าสามารถแก้หรือชะลอปัญหาความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงในศัตรูพืชได้ดีที่สุด โดยมีทฤษฎี หลักการ ข้อมูล และหลักฐานทางวิทยาศาสตร์หลายอย่างสนับสนุน โดยการจัดการความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงสามารถทำได้หลาย ๆ วิธี วิธีการที่ง่ายและได้ผลดีในการจัดการความต้านทานคือการใช้สารแบบหมุนเวียนตามกลุ่มกลไกการออกฤทธิ์ ซึ่งการใช้สารแบบหมุนเวียนนี้ยังสามารถนำไปใช้ในการจัดการความต้านทานต่อสารกำจัดไรในไรศัตรูพืชได้ด้วย การจัดการความต้านทานของศัตรูพืชที่มีความยั่งยืนและประสบผลสำเร็จนั้นจะต้องทำให้หลาย ๆ วิธีร่วมกันโดยทำร่วมกับการบริหารศัตรูพืช (Integrated Pest Management, IPM)

การจัดการความต้านทานต่อสารกำจัดแมลง

การจัดการความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงเป็นวิธีการปฏิบัติเพื่อลดการพัฒนาความต้านทานโดยสารกำจัดแมลงทำให้การพัฒนาความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงช้าลง (Head and Savinelli, 2008)

การปล่อยให้ประชากรแมลงมีความต้านทานสูงขึ้นมาก ๆ จะทำให้การจัดการความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงไม่ประสบผลสำเร็จได้ง่าย ๆ เนื่องจากประชากรแมลงที่มีความต้านทานมาก ๆ ความต้านทานนั้นมักจะมี fitness costs น้อยมาก (Gao et al., 2012) ซึ่งมีผลทำให้เมื่อหยุดการใช้สารกำจัดแมลงที่แมลงสร้างความต้านทานก็ไม่สามารถลดความต้านทานในประชากรนั้นได้ในเวลาอันสั้น ดังนั้นการจัดการความต้านทานเมื่อแมลงมีความต้านทานมาก ๆ จึงทำได้ยาก

เป้าหมายและวัตถุประสงค์ของการจัดการความต้านทานต่อสารกำจัดแมลง

เป้าหมายของการจัดการความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงหรือ IRM คือการป้องกันไม่ให้อัตราส่วนของยีนต้านทานเพิ่มขึ้นในประชากร (Yu, 2008) และรักษาอัตราส่วนของแมลงที่อ่อนแอต่อสารกำจัดแมลง (susceptible insects) ในประชากรแมลงให้มีมากที่สุดเท่าที่จะมากได้ (Stanley, 2008) เพราะว่าในประชากรแมลงที่มีอัตราส่วนของแมลงที่อ่อนแอต่อสารกำจัดแมลงมากจะเป็นประชากรที่ทำการป้องกันกำจัดได้ง่าย

ส่วนวัตถุประสงค์ในการจัดการความต้านทานของแมลงศัตรูพืชต่อสารกำจัดแมลงคือ

1. เพื่อป้องกันหรือชะลอการพัฒนาความต้านทานของศัตรูพืชโดยลดการใช้สารกำจัดแมลงให้ได้มากที่สุด (Hoy, 1998) เพราะจะเป็นการลดความถี่ของยีนที่ต้านทานภายในประชากรของแมลง ซึ่งจะทำให้สารกำจัดแมลงยังคงมีประสิทธิภาพอยู่ได้โดยแมลงไม่เกิดความต้านทานอย่างรวดเร็ว (Georghiou, 1994)
2. เพื่อทำให้ประชากรแมลงที่ต้านทานเปลี่ยนกลับมามีความอ่อนแอต่อสารกำจัดแมลงอีกครั้งหนึ่ง ทำให้การป้องกันกำจัดแมลงศัตรูพืชทำได้ง่าย

เหตุผลในการจัดการความต้านทานของแมลงศัตรูพืชต่อสารกำจัดแมลง

การจัดการความต้านทานของแมลงเป็นการทำให้แมลงไม่สร้างความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงได้อย่างรวดเร็ว ทำให้เกษตรกรสามารถใช้ผลิตภัณฑ์สารกำจัดแมลงชนิดต่าง ๆ เพื่อป้องกันกำจัดศัตรูพืชได้เป็นเวลานานขึ้นโดยที่ประสิทธิภาพของสารไม่ลดลง (Gao et al., 2012) การไม่มีการจัดการความต้านทานสารกำจัดแมลงจะทำให้เกิดผลเสียต่าง ๆ คือ

1. สารกำจัดแมลงแต่ละกลุ่มจะทยอยใช้ไม่ได้ผลและมีประสิทธิภาพลดลงเนื่องจากแมลงสร้างความต้านทาน ทำให้เกษตรกรต้องใช้สารในอัตราที่สูงขึ้นและใช้ในปริมาณที่มากขึ้น ทำให้เสียค่าใช้จ่ายเพิ่มมากขึ้นและเกิดพิษต่อสภาพแวดล้อมมากขึ้น

2. การผลิตสารกำจัดแมลงกลุ่มใหม่ ๆ ขึ้นมาทดแทนสารชนิดเก่าที่แมลงเกิดความต้านทานไม่สามารถทำได้ทัน เพราะการพัฒนาสารกำจัดแมลงชนิดใหม่หรือกลุ่มใหม่ ๆ ต้องใช้เวลานานมากในการทดสอบประสิทธิภาพและความเป็นพิษกว่าจะขึ้นทะเบียนได้

3. ผลผลิตทางการเกษตรจะมีปริมาณและคุณภาพลดลงเนื่องจากถูกศัตรูพืชที่มีความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงเข้าทำลายมากยิ่งขึ้น

มีหลายการทดลองที่ยืนยันว่าการใช้สารกำจัดแมลงแบบหมุนเวียนเป็นวิธีที่ง่ายที่สุดและมีประสิทธิภาพมากที่สุดในการจัดการความต้านทานของแมลงต่อสารกำจัดแมลง (Georghiou, 1983; Chen et al., 2021) การใช้สารกำจัดแมลงแบบหมุนเวียนจะต้องเลือกว่าควรจะใช้สารกำจัดแมลงกลุ่มใดที่มีประสิทธิภาพดี และจะต้องเรียงลำดับในการใช้สารแบบหมุนเวียนอย่างเหมาะสม โดยการใช้สารแบบหมุนเวียนนั้นควรทำพร้อมกับการบริหารจัดการศัตรูพืช (IPM) ด้วย (Gao et al., 2012)

การจัดการความต้านทานต่อสารกำจัดแมลง (IRM) แบบเชิงรุกและเชิงรับ

การดำเนินงานเพื่อจัดการกับปัญหาความต้านทานของแมลงต่อสารกำจัดแมลงที่พบทั่วไปมี 2 ลักษณะ คือ

1. การจัดการความต้านทานแบบเชิงรุก (proactive or preventive resistance management) เป็นการจัดการความต้านทานก่อนที่ประชากรแมลงศัตรูพืชจะเกิดความต้านทานต่อสารกำจัดแมลง เช่น การให้คำแนะนำเกษตรกรให้ใช้สารแบบหมุนเวียนก่อนที่จะเกิดปัญหาความต้านทาน โดยแนะนำให้เกษตรกรใช้สารแบบหมุนเวียนล่วงหน้าไว้เลย ไม่ต้องรอให้เกิดความต้านทานขึ้นก่อนจึงค่อยทำ การจัดการความต้านทานแบบเชิงรุกจะมีโอกาสประสบความสำเร็จสูงกว่าการจัดการความต้านทานเมื่อประชากรแมลงเกิดความต้านทานสูงแล้ว (Georghiou, 1983; Roush and Miller, 1986)

2. การจัดการความต้านทานแบบเชิงรับ (reactive or curative resistance management) เป็นการจัดการความต้านทานหลังจากที่ประชากรแมลงเกิดความต้านทานขึ้นแล้ว เช่น การแนะนำให้เกษตรกรหยุดใช้สารที่พบว่าแมลงมีความต้านทานทันที และให้เกษตรกรเริ่มดำเนินการใช้สารแบบหมุนเวียน (Georghiou, 1983; Roush and Miller, 1986)

การจัดการความต้านทานแบบเชิงรุกจะมีประสิทธิภาพมากกว่าเพราะเป็นการจัดการความต้านทานก่อนที่ความถี่ของยีนต้านทานจะเพิ่มสูงขึ้นในประชากร โดยจัดการความต้านทานตั้งแต่ช่วงแรก ๆ ของการใช้สารกำจัดแมลงชนิดนั้น ๆ หรือเมื่อสารกำจัดแมลงชนิดนั้น ๆ ออกสู่ท้องตลาด (Onstad, 2008a) ใหม่ ๆ โดยมีการแนะนำให้เกษตรกรใช้สารในรูปแบบหมุนเวียนทันที ในทางปฏิบัตินั้นการจัดการความต้านทานแบบเชิงรุกจะกระทำร่วมกับการบริหารศัตรูพืช (integrated pest management, IPM)

หลักทั่วไปในการจัดการความต้านทาน

หลักการจัดการความต้านทานของแมลงต่อสารกำจัดแมลงคือ การลดการคัดเลือกประชากรแมลงโดยสารกำจัดแมลงชนิดใดชนิดหนึ่งให้น้อยที่สุด (CropLife Australia, 2019; Gao et al., 2012; IRAC, 2021a) การคัดเลือกโดยสารกำจัดแมลงเป็นการคัดแมลงตัวที่ต้านทานให้มีจำนวนเพิ่มมากขึ้นในประชากร การลดการคัดเลือกความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงทำได้โดยการลดจำนวนครั้งในการพ่นสารกำจัดแมลงให้น้อยที่สุดโดยใช้สารเมื่อจำเป็นจริง ๆ และมีการหยุดพักการใช้สารหรือหยุดพักการปลูกพืชที่เป็นอาหารของศัตรูพืชในบางช่วงหรือบางฤดูก็จัดเป็นการจัดการความต้านทานที่ดีอย่างหนึ่ง เพราะจะเป็นการลดประชากรแมลงต้านทานและเป็นการเพิ่มโอกาสให้แมลงอ่อนแอต่อสารกำจัดแมลงผสมพันธุ์กับแมลงที่ต้านทาน ทำให้ได้แมลงลูกผสมที่มีความต้านทานลดลง

ในทางปฏิบัติการลดการคัดเลือกประชากรแมลงต่อสารกำจัดแมลงชนิดใดชนิดหนึ่งจะใช้วิธีการใช้สารแบบหมุนเวียนตามกลุ่มกลไกการออกฤทธิ์ต่าง ๆ วิธีการนี้มีประสิทธิภาพมากที่สุดในการลดการคัดเลือกความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงชนิดใดชนิดหนึ่ง ดังนั้นวิธีการนี้จึงเป็นหัวใจในการจัดการความต้านทานต่อสารกำจัดแมลง (IRAC, 2020)

การใช้สารแบบหมุนเวียนตามกลุ่มกลไกการออกฤทธิ์จะไม่ใช้สารกำจัดแมลงชนิดใดชนิดหนึ่งหรือกลุ่มใดกลุ่มหนึ่งมากเกินไป จึงทำให้สามารถรักษาความอ่อนแอของประชากรแมลงต่อสารกำจัดแมลงแต่ละชนิดเอาไว้ได้ การใช้สารแบบหมุนเวียนควรใช้สารหลากหลายกลุ่มให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ (BASF, 2020)

การดำเนินการในการจัดการความต้านทานต่อสารกำจัดแมลง

การดำเนินการในการจัดการความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงมี 3 องค์ประกอบ (Onstad, 2008b)

- การเพิ่มสัดส่วนปริมาณแมลงที่อ่อนแอในธรรมชาติ
- ฆ่าแมลงที่มียีนต้านทานที่อยู่ในรูป heterozygous
- การใช้วิธีผสมผสานตั้งแต่สองวิธีร่วมกันในการป้องกันกำจัดแมลง

การเพิ่มสัดส่วนปริมาณแมลงที่อ่อนแอ (susceptible insects) ในธรรมชาติ

การเพิ่มสัดส่วนปริมาณแมลงที่อ่อนแอในธรรมชาติสามารถทำได้โดยการลดการพ่นสารกำจัดแมลง แต่อย่างไรก็ตามอัลลีล (alleles) หรือรูปแบบต่าง ๆ ของยีนที่แสดงความต้านทานจะยังไม่ลดลงในประชากรแมลงในหลายชั่วอายุขัยตามกฎของ Hardy-Weinberg นั่นหมายถึงว่าถ้าไม่มีปัจจัยอื่นมาเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงในประชากรแมลงจะคงที่ตลอดไป ยกเว้นว่าแมลงที่ต้านทานจะมีการแพร่พันธุ์สืบลูกหลาน (fitness) ต่ำกว่าแมลงที่อ่อนแอในสภาพที่ไม่มีการใช้สารกำจัดแมลงชนิดที่มีปัญหาต้านทาน (หยุดหรือลดการพ่นสารกำจัดแมลงชนิดนั้น ๆ)

การใช้วิธีการลดการพ่นสารกำจัดแมลงจะมีประสิทธิภาพในการลดความต้านทานก็ต่อเมื่อแมลงที่อ่อนแออยู่รอดได้มากขึ้น และต้องมีการใช้วิธีป้องกันกำจัดนอกเหนือจากการใช้สารกำจัดแมลงมาเสริม และต้องทำให้เป็นส่วนหนึ่งในการบริหารศัตรูพืชหรือ IPM (McGaughey and Whalon, 1992) เพื่อทำให้แมลงที่อ่อนแออยู่รอดได้มากขึ้น

การเพิ่มสัดส่วนปริมาณแมลงที่อ่อนแอในธรรมชาติ หรือการทำให้แมลงที่อ่อนแออยู่รอดได้มากขึ้น อาจทำได้โดยการจัดพื้นที่ให้แมลงอ่อนแอสามารถอยู่รอดจากการพ่นสารกำจัดแมลง (refuge) แมลงที่อ่อนแอที่อยู่รอดจะไปผสม

กับแมลงที่ต้านทาน ซึ่งจะทำให้สัดส่วนของยีโนไทป์ที่เป็น homozygous ของยีนต้านทานในประชากรแมลงลดลงในที่สุด

การฆ่าแมลงที่มียีนต้านทานที่อยู่ในรูป heterozygous

การฆ่าแมลงที่มียีนต้านทานที่อยู่ในรูป heterozygous เป็นการจัดการความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงแบบหนึ่ง ในกรณีที่แมลงต้านทานต่อสารกำจัดแมลงในแปลงเกษตรกรมียีนต้านทานที่อยู่ในรูป homozygous เป็นจำนวนน้อยและมียีนต้านทานที่อยู่ในรูป heterozygous เป็นจำนวนมาก การเพิ่มความเข้มข้นของสารกำจัดแมลงเพื่อให้แมลงที่มียีนต้านทานอยู่ในรูป heterozygous ถูกฆ่าอาจใช้ได้ผล คำอธิบายก็คือ การเพิ่มความเข้มข้นของสารกำจัดแมลงเป็นการลดความเด่น (dominance) ของยีนต้านทานสารกำจัดแมลง กล่าวคือการเพิ่มความเข้มข้นของสารกำจัดแมลงเป็นการฆ่าแมลงที่มียีนต้านทานที่อยู่ในรูป heterozygous ให้หมดไปก่อนที่แมลงเหล่านี้จะมาผสมพันธุ์กันจนเกิดแมลงที่มียีนต้านทานในรูป homozygous ซึ่งจะฆ่าได้ยากทำให้ไม่สามารถลดปัญหาความต้านทานได้ (Onstad, 2008b)

การจัดการความต้านทานในพืชที่มีการตัดแต่งทางพันธุกรรม (GMO) เป็นตัวอย่างที่ดีของการฆ่าแมลงที่มียีนต้านทานที่อยู่ในรูป heterozygous คือแมลงที่ต้านทานต่อพืช GMO จะต้องมียีนต้านทานเป็น homozygous (rr) เท่านั้นที่จะอยู่รอดเมื่อกินพืช GMO ส่วนแมลงที่มียีนต้านทานเป็น heterozygous (Sr) จะตายเมื่อกินพืช GMO ดังนั้นการทำให้แมลงที่มียีนอ่อนแอเป็น homozygous (SS) อยู่รอดมากในพื้นที่สงวนที่ปลูกพืชปกติ (refugia) เพื่อไปผสมกับแมลงที่อยู่รอดจากพืช GMO ทำให้ลูกที่ได้มียีนต้านทานเป็น heterozygous (SS x rr → Sr) ซึ่งจะตายเมื่อกินพืช GMO (Jin et al., 2015; Tabashnik and Carrière, 2017)

ดังนั้นพื้นที่สงวน (refugia) จะช่วยป้องกันการพัฒนาความต้านทานในพืช GMO โดยการส่งเสริมการผสมกันระหว่างแมลงที่อ่อนแอที่เป็น homozygous (SS) กับแมลงที่ต้านทานที่เป็น homozygous (rr) ที่มีจำนวนน้อยมาก ๆ ทำให้ได้ลูกเป็น heterozygous (Sr) ซึ่งต่อมาจะตายจากการกินพืช GMO ที่มีความเข้มข้นของ Bt toxin สูง ซึ่งวิธีนี้เป็นการฆ่าแมลงที่มียีนที่ต้านทานที่อยู่ในรูป heterozygous ที่มีประสิทธิภาพ

การใช้วิธีผสมผสานตั้งแต่สองวิธีร่วมกันในการป้องกันกำจัดแมลง

การใช้วิธีผสมผสานตั้งแต่สองวิธีขึ้นไปในการป้องกันกำจัดแมลง เช่น การใช้สารกำจัดแมลงหลาย ๆ กลุ่มกลไกการออกฤทธิ์ (มากกว่าสองกลุ่ม) แบบหมุนเวียน (rotation) ในแต่ละชั่วอายุของแมลงเพื่อชะลอการพัฒนาความต้านทานต่อสารกำจัดแมลง วิธีการนี้มีข้อกำหนดว่าแมลงที่ต้านทานต่อสารกำจัดแมลงชนิดหนึ่งที่อยู่รอดในแต่ละชั่วอายุขัย จะถูกฆ่าในชั่วอายุขัยถัดไปโดยสารกำจัดแมลงอีกชนิดหนึ่ง ทั้งนี้แมลงที่ต้านทานต้องมี fitness costs จึงจะทำให้การใช้สารกำจัดแมลงแบบหมุนเวียนในแต่ละชั่วอายุมีประสิทธิภาพมาก (Curtis et al., 1993)

หลักการใช้สารกำจัดแมลงในการจัดการความต้านทาน

ในสภาพแปลงปลูกพืชที่มีการใช้สารกำจัดแมลงค่อนข้างมากจะต้องมีการจัดการความต้านทานของแมลงเป็นอย่างดีเพื่อลดปัญหาการเกิดความต้านทาน Georghiou (1994) ได้แนะนำวิธีการจัดการความต้านทานโดยการใช้สารกำจัดแมลง 3 วิธี ดังนี้

1. การจัดการโดยวิธีนุ่มนวล (management by moderation)

การจัดการโดยวิธีนี้เป็นการใช้หลักการจัดการความต้านทานที่ใช้ปฏิบัติกันโดยทั่วไป การจัดการวิธีนี้มีประสิทธิภาพและเหมาะสมมากที่สุดในการจัดการความต้านทาน โดยมีแนวคิดว่ายีนอ่อนแอ (susceptible gene) มีบทบาทมากในการลดความต้านทาน ดังนั้นจึงต้องหาวิธีการในการสงวนรักษาแมลงที่มียีนอ่อนแอเอาไว้ให้ได้มากที่สุดโดยการลดการใช้สารกำจัดแมลงให้มากที่สุด โดยปฏิบัติดังนี้

1.1 ใช้สารในอัตราที่แนะนำ

1.2 ในพืชที่ไม่ได้อยู่ในระยะวิกฤตใช้ระดับเศรษฐกิจที่สูงขึ้นเพื่อทำให้การพ่นสารกำจัดแมลงน้อยลง

1.3 ใช้สารที่มีฤทธิ์ตกค้างสั้น

1.4 ไม่พ่นสารบ่อยครั้ง และพ่นสารเฉพาะพื้นที่หรือเฉพาะจุดที่มีแมลงระบาดมาก ๆ (spot treatment)

1.5 มีพื้นที่ให้แมลงอ่อนแอได้อยู่อาศัยและแพร่ขยายพันธุ์ โดยไม่มีการพ่นสารกับแมลงอ่อนแอที่อาศัยอยู่ในพื้นที่นี้

1.6 พ่นสารกำจัดแมลงเฉพาะวัยหรือช่วงระยะที่แมลงเป็นอันตรายต่อพืช หรือช่วงที่แมลงทำลายพืช เพื่อรักษาแมลงศัตรูธรรมชาติให้ได้มากที่สุด

1.7 ใช้พันธุ์พืชต้านทาน หรือมีการกำหนดวันปลูกพืชที่เหมาะสม หลีกเลี่ยงการปลูกพืชในช่วงเวลาที่มีแมลงระบาดมาก

1.8 มีการใช้วิธีการทางชีวภาพในการป้องกันกำจัด เช่น การใช้ตัวห้ำ ตัวเบียน ที่เป็นศัตรูธรรมชาติซึ่งจะสามารถทำลายแมลงที่อ่อนแอและแมลงที่ต้านทานได้เหมือนกัน จะทำให้สามารถลดประชากรของแมลงที่ต้านทานได้

2. การจัดการโดยวิธีรุนแรง (management by saturation)

การจัดการความต้านทานโดยวิธีนี้เป็นการใช้สารในอัตราที่สูงเพื่อฆ่าแมลงที่ต้านทานให้ตาย ซึ่งการจัดการโดยวิธีนี้มีแนวคิดในการลดความต้านทานโดยวิธีการทำลายกลไกการป้องกันกำจัดสารกำจัดแมลงในตัวแมลง โดย

2.1 การใช้สารอัตราที่สูงขึ้นเพื่อเอาชนะกลไกความต้านทาน โดยทำให้ยีนต้านทานซึ่งเป็นยีนเด่นกลายเป็นยีนด้อยเพราะแมลงที่มียีนเด่นสามารถถูกฆ่าตายได้โดยการใช้สารในอัตราที่สูงมาก แต่วิธีการใช้สารอัตราสูงจะประสบความสำเร็จเฉพาะในระยะแรก ๆ เมื่อยีนต้านทานยังมีน้อยมาก ๆ และยีนต้านทานนั้นยังอยู่ในรูปลูกผสม heterozygous อยู่ อย่างไรก็ตามวิธีการใช้สารอัตราที่สูงขึ้นจะทำให้เกิดพิษตกค้างในสิ่งแวดล้อมมากขึ้น ศัตรูธรรมชาติตายมากขึ้น และเป็นพิษภัยต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อมมากขึ้น

2.2 การใช้สารเสริมประสิทธิภาพหรือสาร synergists เพื่อเอาชนะกลไกความต้านทานโดยทำลายน้ำย่อยสารพิษ (detoxification enzymes) ในแมลง ทำให้สารกำจัดแมลงที่เข้าสู่ร่างกายแมลงไม่ถูกย่อยด้วยน้ำย่อยสารพิษ จึงไปจับที่จุดจับ target sites เยอะขึ้น ทำให้แมลงตายมากขึ้น

3. การจัดการโดยใช้หลาย ๆ วิธีร่วมกัน (management by multiple attack)

การจัดการโดยวิธีนี้มีแนวคิดว่า การฆ่าแมลงที่ต้านทานสามารถทำได้โดยใช้หลายวิธีร่วมกัน การจัดการโดยใช้วิธีการหลาย ๆ วิธีร่วมกัน เช่น การใช้สารแบบผสม (mixture) หรือการใช้สารแบบหมุนเวียน (rotation)

การใช้สารแบบผสมมีหลักการว่า กลไกความต้านทานของแมลงต่อสารแต่ละชนิดจะแตกต่างกัน ถ้าแมลงไม่ตายโดยสารที่ใช้ผสมชนิดที่ 1 ก็จะต้องตายด้วยสารชนิดที่ 2 ที่อยู่ในสารผสมนั้น แต่การใช้สารผสมอย่างไม่ถูกต้องมักทำให้จำนวนแมลงที่ต้านทานสูงขึ้น

การใช้สารกำจัดแมลงแบบผสมเพื่อแก้ปัญหาความต้านทานจะประสบผลสำเร็จได้ต้องเป็นไปตามข้อกำหนดดังนี้

- กลไกในความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงแต่ละชนิดที่ใช้ผสมกันนั้นแตกต่างกัน
- กลไกความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงแต่ละชนิดที่ใช้มีความถี่น้อยมากในประชากรแมลง
- กลไกความต้านทานแต่ละชนิดจะมีโอกาสอยู่ในแมลงตัวเดียวกันน้อยมาก ๆ ดังนั้นแมลงที่อาจอยู่รอดจากสารกำจัดแมลงชนิดหนึ่งก็จะถูกฆ่าตายโดยสารกำจัดแมลงอีกชนิดหนึ่ง
- สารกำจัดแมลงแต่ละชนิดที่ใช้ผสมกันจะต้องมีการสลายตัวในอัตราที่ใกล้เคียงกัน และมีความคงทนไม่นาน
- การใช้สารผสมจะต้องใช้ตั้งแต่ก่อนที่แมลงจะถูกคัดเลือกโดยสารกำจัดแมลงแต่ละชนิดหรือก่อนที่แมลงจะเกิดความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงแต่ละชนิดที่ใช้ผสมกัน

ส่วนการใช้สารกำจัดแมลงแบบหมุนเวียนเพื่อแก้ปัญหาความต้านทานจะประสบผลสำเร็จได้ต้องเป็นไปตามข้อกำหนดดังนี้

- ในแมลงที่มีความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงชนิดหนึ่งจะมีความสามารถในการแพร่ลูกหลาน (biotic fitness) ต่ำกว่าแมลงที่อ่อนแอต่อสารกำจัดแมลง ดังนั้นประชากรของแมลงที่ต้านทานจะลดลงมากในช่วงระหว่างที่ไม่ได้มีการพ่นสารกำจัดแมลงชนิดนั้น ๆ แต่มีข้อที่ควรระมัดระวังอย่างมากคือ ความสามารถในการแพร่ลูกหลานของแมลงที่ต้านทานอาจไม่ต่ำกว่าแมลงที่อ่อนแอเสมอไป เนื่องจากความสามารถในการแพร่ลูกหลานของแมลงที่ต้านทานอาจจะถูกปรับปรุงให้ดีขึ้นได้โดยการคัดเลือกแบบ

co-adaptation ทำให้แมลงที่ต้านทานมียีนอื่นที่บรรเทาผลเสียในความสามารถในการแพร่ลูกหลาน

- ในการเรียงลำดับหมุนเวียนชนิดสารกำจัดแมลงนั้น ชนิดสารกำจัดแมลงที่ใช้จะต้องไม่เกิดความต้านทานข้ามหรือ cross-resistance ซึ่งกันและกัน

วิธีการต่าง ๆ ในการจัดการความต้านทานต่อสารกำจัดแมลง

การที่จะทำให้ประชากรแมลงศัตรูพืชง่ายต่อการป้องกันกำจัดโดยการใช้สารกำจัดแมลงก็คือจะต้องทำให้ประชากรแมลงนั้นไม่เกิดความต้านทาน ซึ่งสามารถทำได้โดยใช้วิธีการจัดการความต้านทานที่ถูกต้องและเหมาะสม Bennett (2012); CropLife Australia (2019) และ IRAC (2020, 2021b) ได้แนะนำให้เกษตรกรจัดการความต้านทานของศัตรูพืชหลาย ๆ วิธี ดังนี้

1. หลีกเลี่ยงการพ่นสารกำจัดแมลงโดยไม่จำเป็นและการพ่นสารกำจัดแมลงกลุ่มเดียวกันซ้ำกันบ่อย ๆ และมีการวางแผนการใช้สารกำจัดแมลงโดยใช้ข้อมูลจากพื้นที่นั้น ๆ ถ้าเป็นไปได้การวางแผนการใช้สารกำจัดแมลงควรทำร่วมกันระหว่างนักวิชาการและเกษตรกรในพื้นที่นั้น

2. ก่อนปลูกพืชให้เลือกใช้พันธุ์พืชที่ทนทานต่อการทำลายของแมลง หรือมีความต้านทานต่อการทำลายของแมลง ซึ่งจะทำให้สามารถลดการใช้สารกำจัดแมลงให้น้อยที่สุด

3. มีการป้องกันกำจัดแมลงหลาย ๆ วิธีร่วมกันแบบผสมผสานหรือ IPM และเน้นการใช้วิธีทางชีวภาพในการป้องกันกำจัดแมลง

4. มีการใช้สารแบบหมุนเวียนหลาย ๆ กลุ่มกลไกการออกฤทธิ์ และใช้สารกำจัดแมลงกลุ่มที่มีประสิทธิภาพตามคำแนะนำ และพ่นสารในช่วงระยะเวลาที่แนะนำ โดยห้ามเพิ่มหรือลดอัตราสารกำจัดแมลงจากคำแนะนำเพราะจะเป็นการเพิ่มการพัฒนาความต้านทาน หลีกเลี่ยงการใช้สารกำจัดแมลงที่ออกฤทธิ์กว้าง โดยเลือกใช้สารที่ออกฤทธิ์เฉพาะเจาะจงกับแมลงที่ต้องการกำจัด

5. สำรวจแมลงศัตรูพืชและศัตรูธรรมชาติอย่างสม่ำเสมอ และพ่นสารกำจัดแมลงเท่าที่จำเป็นโดยพ่นเมื่อปริมาณการระบาดของแมลงถึงระดับเศรษฐกิจ หรือ Economic Threshold (ET)

6. กำจัดเศษซากพืชอาศัยของแมลงหลังจากเก็บเกี่ยวแล้ว

7. ถ้าพบว่าประชากรแมลงเกิดความต้านทานต่อสารชนิดใดชนิดหนึ่ง ให้หยุดพ่นสารชนิดที่สงสัยว่าแมลงเกิดความต้านทานทันที และรอจนกระทั่งความต้านทานนั้นลดลงก่อนจึงจะสามารถกลับมาใช้สารนั้นได้อีก นอกจากนี้ควรตรวจสอบว่าสาเหตุที่การป้องกันกำจัดแมลงไม่ได้ผลเกิดจากการใช้เครื่องพ่นสารกำจัดแมลงอย่างไม่ถูกต้องหรือไม่

8. ใช้วิธีการพ่นสารที่เหมาะสมในแต่ละพืช ในพืชที่มีทรงพุ่มหนาแน่น เช่น ไม้ผล จะต้องมีการตัดแต่งกิ่งทรงพุ่มเพื่อให้สารกำจัดแมลงสามารถกระจายเข้าไปในทรงพุ่มได้อย่างทั่วถึง

9. การใช้สารแบบผสมเพื่อให้สามารถฆ่าแมลงได้มากชนิดขึ้นและมีฤทธิ์กว้างขึ้น นั้นจะต้องผสมสารกลุ่มที่มีกลไกการออกฤทธิ์แตกต่างกัน เพื่อควบคุมแมลงต่างชนิดกันและเพื่อลดการพัฒนาความต้านทาน โดยสารที่ใช้ผสมกันแต่ละชนิดจะต้องมีระยะเวลาที่ออกฤทธิ์ในการควบคุมแมลงศัตรูพืชใกล้เคียงกัน เพื่อให้แมลงได้รับสารทั้งสองชนิดในช่วงระยะเวลาเดียวกันเสมอ สารทุกชนิดที่ใช้ในการผสมกันต้องเป็นสารที่มีประสิทธิภาพสูงทั้งหมด ห้ามใช้สารที่แมลงมีความต้านทานมาผสมกัน สารผสมที่ใช้แต่ละชนิดจะต้องใช้ในอัตราที่แนะนำโดยห้ามลดอัตราต่ำกว่าอัตราแนะนำเด็ดขาด

10. การพ่นสารกำจัดแมลงจะต้องพ่นในช่วงที่แมลงมีความอ่อนแอมากที่สุด เช่น การพ่นสารกำจัดแมลงกำจัดหนอนต้องพ่นในช่วงหนอนเป็นวัยอ่อนซึ่งเป็นวัยที่อ่อนแอต่อสารกำจัดแมลงมากกว่าในช่วงหนอนวัยแก่

การใช้สารกำจัดแมลงแบบหมุนเวียนในการจัดการความต้านทาน

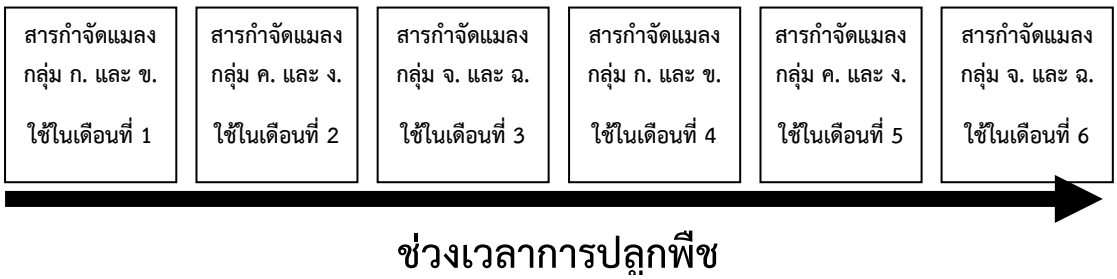
การใช้สารแบบหมุนเวียนในการจัดการความต้านทานมีแนวความคิดว่า ในการเกิดความต้านทานของแมลงจากการพ่นสารกลุ่มใดกลุ่มหนึ่ง ในระยะแรกนั้นแมลงที่ต้านทานที่ถูกคัดเลือกจากการพ่นสารจะมี fitness costs มากกว่าแมลงที่อ่อนแอ ซึ่ง fitness costs ในแมลงที่ต้านทานนี้เองจะเป็นอุปสรรคต่อการขยายพันธุ์แพร่ออกลูกหลานในแมลงต้านทานมากกว่าในแมลงอ่อนแอ ดังนั้นถ้ามีการหยุดใช้กลุ่มสารที่ทำให้แมลงต้านทานหรือมีการเปลี่ยนไปใช้สารกลุ่มอื่น จะมีผลทำให้จำนวนลูกหลานของแมลงที่ต้านทานมีจำนวนลดลงไปเรื่อย ๆ เมื่อเทียบกับจำนวนลูกหลานของแมลงอ่อนแอเนื่องจาก fitness costs (Georghiou, 1994) ดังนั้นจึงมีการนำแนวความคิดนี้มาใช้ในการจัดการความต้านทานของแมลงศัตรูพืชโดยการใช้สารแบบหมุนเวียน (Gao et al., 2012) เพราะการใช้สารแบบหมุนเวียนจะมีการหยุดใช้สารกลุ่มเดิมและมีการเปลี่ยนไปใช้สารกลุ่มอื่นอยู่เรื่อย ๆ ซึ่งจะทำให้แมลงที่ต้านทานมีจำนวนลดลง

ในการจัดการความต้านทานของแมลงศัตรูพืชหรือ IRM โดยการใช้สารแบบหมุนเวียนนั้นจะใช้วิธีการหมุนเวียนการใช้สารกำจัดแมลงชนิดต่าง ๆ ที่อยู่ต่างกลุ่มกันในแต่ละรุ่นของแมลง (Deuter, 1989; Roush, 1989; Roush and Daly, 1990) หรือบางทีที่เรียกว่าการจัดการความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงแบบวินโดว์ (window strategy) (Head and Savinelli, 2008)

การจัดการความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงโดยการใช้สารกำจัดแมลงแบบหมุนเวียน หรือการจัดการความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงแบบวินโดว์ จะมีการพ่นสารกำจัดแมลงกลุ่มที่ไม่มีปัญหาความต้านทานครั้งหนึ่งหรือหลายครั้งในเฉพาะหนึ่งชั่วอายุขัย (generation) ของแมลง หรือในเฉพาะหนึ่งช่วงเวลา (month or seasonal period) ที่เกษตรกรทำได้ แต่ช่วงเวลาถัดมาจะต้องไม่มีการใช้สารกำจัดแมลงกลุ่มนั้นอีก แต่จะใช้สารกำจัดแมลงกลุ่มอื่นที่ไม่เกิดความต้านทานแบบข้ามกับสารกำจัดแมลงกลุ่มที่ใช้ในช่วงเวลาก่อนหน้านี้ เพื่อกำจัดแมลงที่มียีนต้านทานต่อสารกำจัดแมลงกลุ่มที่ใช้ก่อนหน้านี้ที่เหลือรอดอยู่ ทำเช่นนี้หมุนเวียนกันไปเป็นวงจร (Roush, 1989; Onstad, 2008a) และทำเป็นแบบแผนเดียวกันในพื้นที่ขนาดใหญ่ในระดับท้องที่ที่ครอบคลุมความสามารถในการเคลื่อนที่ของแมลงที่มียีนต้านทานต่อสารกำจัดแมลงชนิดนั้น ๆ

การจัดการความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงโดยการใช้สารกำจัดแมลงแบบหมุนเวียนจะต้องมีการปรับปรุงอยู่เสมอให้ทันกับสถานการณ์ความต้านทานที่เกิดในแปลง ข้อมูลใหม่ ๆ ที่ได้จากการสำรวจ ความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงสามารถนำมาใช้ปรับปรุงแผนการจัดการความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงโดยการใช้สารแบบหมุนเวียนเพื่อป้องกันกำจัดแมลงศัตรูพืชในแต่ละท้องที่ได้ ทำให้สามารถเลือกชนิดกลุ่มสารกำจัดแมลงเพื่อนำมาใช้แบบหมุนเวียนที่หมาะสมในแต่ละท้องที่ได้ดียิ่งขึ้น

การใช้สารกำจัดแมลงแบบหมุนเวียนตามหลักการ IRM



ภาพที่ 31 การใช้สารกำจัดแมลงแบบหมุนเวียนตามหลัก IRM

Window 1 ช่วงเวลาที่ 1			Window 2 ช่วงเวลาที่ 2			Window 3 ช่วงเวลาที่ 3			Window 4 ช่วงเวลาที่ 4		
สาร A	สาร B	สาร C	สาร D	สาร E	สาร F	สาร A	สาร B	สาร C	สาร D	สาร E	สาร F
สาร C	สาร A	สาร B	สาร F	สารD	สาร E	สาร C	สาร A	สาร B	สาร F	สาร D	สาร E
สาร B	สาร C	สาร A	สาร E	สาร F	สารD	สาร B	สาร C	สาร A	สาร E	สาร F	สาร D

ภาพที่ 32 การใช้สารกำจัดแมลงแบบหมุนเวียน (rotation)

การใช้สารกำจัดแมลงแบบผสม (mixture) ในการจัดการความต้านทาน

การใช้สารผสม (mixture) สามารถช่วยในการจัดการความต้านทานได้ในทางทฤษฎี เนื่องจากมีความเป็นไปได้น้อยที่แมลงตัวเดียวกันจะมียีนที่ทำให้แมลงสามารถอยู่รอดได้จากสารพิษหลายชนิดในเวลาเดียวกัน โดยสารผสมแต่ละชนิดต้องมีกลไกการออกฤทธิ์ที่แตกต่างกัน และอัตราของสารผสมแต่ละชนิดต้องไม่ต่ำกว่าอัตราแนะนำของสารนั้น ๆ เมื่อใช้เป็นสารเดี่ยว

การใช้สารผสมในการจัดการความต้านทานที่ได้ผลนั้นควรพิจารณาข้อมูล เช่น ความต้านทานของประชากรแมลงต่อสารกำจัดแมลงแต่ละชนิดที่ใช้ในสารผสมจะต้องถูกควบคุมโดยยีนคู่เดียวที่เป็นยีนด้อย และไม่มีความต้านทานข้ามหรือ cross-resistance ซึ่งกันและกันระหว่างสารที่ใช้ในสารผสม จำนวนแมลงที่มีความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงที่ใช้ในสารผสมจะต้องพบได้ยากหรือมีจำนวนปริมาณแมลงต้านทานน้อยและหายาก ยีนต้านทานต่อสารกำจัดแมลงที่ใช้ในสารผสมต้องเป็นยีนเดียวที่เป็นยีนด้อย สารที่ใช้ผสมกันจะต้องมีฤทธิ์ในการควบคุมแมลงหรือมีพิษตกค้างในระยะเวลาที่เท่ากัน ในพื้นที่ที่มีการใช้สารผสมจะต้องมีพื้นที่ให้ประชากรแมลงที่ไม่ได้รับสารกำจัดแมลงหรือแมลงอ่อนแอ (susceptible) อยู่อาศัยเป็นพื้นที่ refugia เพื่อให้แมลงอ่อนแอสามารถอยู่รอดและผสมพันธุ์กับแมลงต้านทานที่ได้จากแปลงที่พ่นสารแบบผสม (Buss et al.,,

2007) เพื่อเจือจางความต้านทานที่อาจเกิดขึ้น ข้อมูลในการพิจารณาดังกล่าวทำให้การใช้สารผสมในการจัดการความต้านทานมีข้อจำกัดในการจัดการความต้านทานค่อนข้างมาก

มีความเข้าใจผิดอย่างมากในการใช้สารผสมในการจัดการความต้านทาน โดยทั่วไปเกษตรกรมักไม่ผสมสารสองชนิดเข้าด้วยกันเพื่อใช้ในการป้องกันกำจัดแมลงก่อนที่จะเกิดปัญหาการใช้สารเพียงชนิดเดียวไม่สามารถป้องกันกำจัดศัตรูพืชอย่างได้ผลหรือก่อนที่จะเกิดปัญหาความต้านทาน ในทางทฤษฎีแล้วการใช้สารแบบผสม ณ จุดที่ประชากรแมลงเริ่มมีความต้านทานขึ้นมาแล้วจะไม่ทันการณ์ เพราะการมีแมลงต้านทานในสัดส่วนจำนวนมากในประชากรแมลง ทำให้การใช้สารแบบผสมเป็นการเร่งการพัฒนาความต้านทานโดยจะไปช่วยในการคัดเลือกแมลงที่มีความต้านทานมากกว่าที่จะช่วยในการชะลอความต้านทาน หรือช่วยในการจัดการความต้านทาน

อย่างไรก็ตามการใช้สารผสมมีประโยชน์ในการป้องกันกำจัดแมลงศัตรูพืชที่ระบาดพร้อม ๆ กันหลายชนิดโดยที่การใช้สารเพียงชนิดเดียวไม่สามารถกำจัดแมลงที่ระบาดหลายชนิดได้ ดังนั้น IRAC (2012a) จึงได้ให้คำแนะนำในการจัดการความต้านทานของแมลงโดยจากการใช้สารแบบผสม ดังนี้

1. ไม่แนะนำให้ใช้สารผสมเพื่อป้องกันกำจัดแมลงชนิดเดียว ควรใช้สารผสมเพื่อกำจัดแมลงที่ต่างชนิดกันหรือใช้เพื่อเพิ่มความสามารถในการป้องกันกำจัดแมลงได้มากชนิดขึ้น
2. การใช้สารแบบผสมจะมีประโยชน์ต่อการจัดการศัตรูพืชเมื่อใช้แบบหมุนเวียน และทำในแบบรูปแบบการบริหารศัตรูพืช (IPM) เพื่อลดปัญหาความต้านทานที่อาจเกิดขึ้น เนื่องจากการใช้สารผสมเพียงอย่างเดียวไม่สามารถลดปัญหาความต้านทานได้
3. สารผสมจะต้องมีระยะเวลาการออกฤทธิ์ในการป้องกันกำจัดเท่ากัน
4. สารที่เลือกมาใช้ในการผสมกันจะต้องเป็นสารที่มีประสิทธิภาพสูงทั้งหมดทุกตัว
5. อัตราสารที่ใช้ในสารผสมจะต้องใช้ในอัตราความเข้มข้นเหมือนกันกับการใช้สารชนิดนั้นเดี่ยว ๆ ห้ามลดอัตราความเข้มข้นของสารลง
6. สารที่ใช้ในการผสมกันจะต้องไม่มีความต้านทานข้ามซึ่งกันและกัน
7. สารผสมจะไม่มีประสิทธิภาพและจะเกิดปัญหาความต้านทานขึ้นถ้าแมลงมีความต้านทานต่อสารชนิดใดชนิดหนึ่งที่ใช้ในการผสม
8. ไม่ใช้สารที่อยู่ในกลุ่มเดียวกันมาผสมกัน
9. ในการใช้สารแบบผสมไม่ควรใช้สารผสมแบบเดิม ๆ เช่น เริ่มใช้สารผสมกลุ่ม A + B ต่อไปจะต้องเปลี่ยนเป็นสารผสมกลุ่ม C + D ต่อไปก็จะต้องเปลี่ยนเป็นสารผสมกลุ่ม E + F หมุนเวียนกันไปเรื่อย ๆ โดยต้องไม่ใช้สารผสมชนิดเดิม ๆ ตลอดฤดูกาลปลูกพืช
10. สารผสมที่ผลิตขายเป็นการค้าส่วนมากไม่ได้ผลิตมาเพื่อลดปัญหาความต้านทาน แต่มีจุดประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการป้องกันกำจัดกรณีที่มีศัตรูพืชระบาดพร้อมกันมากกว่าหนึ่งชนิด โดยที่ศัตรูพืชแต่ละชนิดต้องใช้สารต่างชนิดกันในการป้องกันกำจัด

การจัดการความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงกลุ่ม 4

สารกำจัดแมลงกลุ่ม 4 เป็นสารที่มีการใช้อย่างแพร่หลายในหลายพื้นที่ สารกลุ่มนี้แบ่งออกเป็น 5 กลุ่มย่อย คือ 4A, 4B, 4C, 4D และ 4E โดยที่สารกลุ่มย่อย 4A หรือสารกลุ่ม neonicotinoids มีการใช้มากที่สุด ได้แก่ สาร acetamiprid, clothianidin, dinotefuran, imidacloprid, nitenpyram, thiacloprid และ thiamethoxam สารเหล่านี้เป็นสารที่เกษตรกรนิยมใช้เนื่องจากเป็นสารที่มีประสิทธิภาพสูง สามารถป้องกันกำจัดแมลงศัตรูพืชหลายชนิดโดยเฉพาะแมลงพวกปากดูด เนื่องจากมีการใช้สารกลุ่มนี้เป็นจำนวนมากและ

บ่อยครั้งและมีข้อมูลว่าแมลงศัตรูพืชสามารถสร้างความต้านทานต่อสารกลุ่ม 4 ในหลายพื้นที่ ดังนั้นการใช้สารกำจัดแมลงกลุ่ม 4 จึงต้องมีการจัดการความต้านทานวิธีต่าง ๆ เพื่อป้องกันไม่ให้แมลงศัตรูพืชเกิดความต้านทานจนทำให้ใช้สารกลุ่ม 4 ต่อไปไม่ได้ ซึ่ง IRAC (2012b; 2015) ได้ให้คำแนะนำ ดังนี้

1. ใช้สารกลุ่ม 4 ในอัตราที่แนะนำ ห้ามใช้สารในอัตราต่ำกว่าอัตราแนะนำเพราะจะเป็นการเร่งการเกิดความต้านทาน และห้ามใช้สารในอัตราสูงกว่าอัตราแนะนำเพราะจะเพิ่มอันตรายต่อแมลงศัตรูตามธรรมชาติ ควรใช้สารในช่วงเวลาที่เหมาะสมคือช่วงที่ศัตรูพืชอยู่ในระยะที่อ่อนแอที่สุด เช่น แมลงอยู่ในวัยอ่อน ควรใช้ความถี่ในการพ่นสารตามคำแนะนำ และใช้เครื่องพ่นสารที่เหมาะสม

2. ใช้สารกลุ่ม 4 แบบหมุนเวียนเพื่อป้องกันปัญหาการคัดเลือกความต้านทานต่อสารกำจัดแมลง การพ่นสารแบบหมุนเวียนจะต้องใช้สารหลาย ๆ กลุ่ม โดยไม่ใช้สารซ้ำกลุ่มกันในช่วงเวลาหรือ windows ที่ติดกัน จำกัดการพ่นสารแต่ละกลุ่มให้อยู่ในช่วงเวลา 1 อายุขัยของแมลง สารที่ใช้แบบหมุนเวียนได้ควรเป็นสารที่มีประสิทธิภาพ มีการจดทะเบียนให้ใช้กับศัตรูพืชชนิดนั้น ๆ และเป็นสารที่หาซื้อได้ในตลาดในพื้นที่นั้น ๆ ในพืชที่มีอายุสั้นการใช้สารกลุ่ม 4 ไม่ควรยาวนานเกิน 50% ของอายุพืช ในกรณีมีการใช้สารกลุ่ม 4 โรยลงดินแล้วในช่วงระยะแรก ๆ ของพืชจะต้องหลีกเลี่ยงการใช้สารกลุ่ม 4 ซ้ำในช่วงหลัง

3. ถ้ามีการใช้สารผสมกลุ่ม 4 แบบ premix หรือ tank mix จะต้องใช้สารในอัตราที่แนะนำเสมอ ห้ามลดอัตราการใช้สารในสารกลุ่ม 4 ที่นำมาผสมแบบ tank mix การใช้สารผสมแบบ tank mix โดยมีสารกลุ่ม 4 ควรมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มความสามารถในการป้องกันกำจัดให้ครอบคลุมแมลงศัตรูพืชได้หลายชนิด ไม่ใช่เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการป้องกันกำจัดแมลงศัตรูพืช ไม่ใช้สารผสมแบบ tank mix ที่มีสารกลุ่ม 4 ถ้าพบว่าแมลงศัตรูพืชมีความต้านทานต่อสารกลุ่ม 4 อยู่แล้ว เพราะจะเป็นการคัดเลือกประชากรแมลงที่เป็นความต้านทานต่อสารทุกชนิดในสารผสมนั้น การใช้สารแบบผสมที่มีสารกลุ่ม 4 จะต้องเปลี่ยนคู่สารในการผสมอยู่เรื่อย ๆ การใช้สารผสมจะต้องเปลี่ยนสารให้มีคู่ผสมแตกต่างกันเสมอ ๆ เพื่อไม่ให้มีการใช้สารคู่ผสมเดิมซ้ำ ๆ กัน ในช่วงปลูกเดียวกัน การใช้สารผสมซ้ำกันบ่อยครั้งจะทำให้เกิดประชากรแมลงที่ต้านทานต่อสารทั้งสองตัวที่อยู่ในสารผสมนั้น ๆ

4. ในการใช้สารกลุ่ม 4 แบบหมุนเวียนควรมีการหมุนเวียนการใช้สารกลุ่ม 4 ที่อยู่ในกลุ่มย่อยต่าง ๆ ระหว่างกลุ่มย่อย 4A, 4B, 4C, 4D และ 4E ด้วยถ้าเป็นไปได้ แต่ไม่ควรใช้สารกลุ่ม 4 พ่นซ้ำติดต่อกันเป็นระยะเวลายาวนาน แต่ถ้ามีความจำเป็นต้องใช้สารกลุ่ม 4 ในบางช่วงติดต่อกันในการหมุนเวียนอาจใช้สารต่างกลุ่มย่อยกันในกลุ่ม 4 ในการหมุนเวียนได้ในกรณีที่พบว่าสารต่างกลุ่มย่อยกันไม่มีความต้านทานข้ามซึ่งกันและกัน หรือมีความเสี่ยงในการเกิดความต้านทานข้ามต่ำ แต่โดยทั่วไปสารที่อยู่ในกลุ่ม 4 ทุกชนิดมีโอกาสที่จะเกิดความต้านทานข้ามภายในกลุ่มได้ และไม่ควรใช้สารที่อยู่ในกลุ่ม 4 เดียวกัน (กลุ่มย่อยทุกกลุ่ม) มาผสมกันในการจัดการความต้านทาน

5. ห้ามใช้สารกลุ่ม 4 เพียงกลุ่มเดียวอย่างต่อเนื่องยาวนานในการควบคุมประชากรแมลงศัตรูพืชที่มีหลายชั่วอายุขัยในแปลง เพราะจะเป็นการเร่งให้เกิดความต้านทานต่อสารทุกชนิดในกลุ่ม 4 ได้ คือทำให้เกิดความต้านทานสารในกลุ่มย่อยที่อยู่ในกลุ่ม 4 ด้วย การใช้สารกลุ่ม 4 เพื่อป้องกันกำจัดแมลงต่างชนิดกันที่ระบาดพร้อม ๆ กันให้ใช้สารกลุ่ม 4 ในอัตราแนะนำสำหรับศัตรูพืชที่กำจัดยากกว่าเป็นหลัก

6. ไม่ใช้สารกลุ่ม 4 ในแปลงที่พบว่าแมลงมีความต้านทานเพราะสารจะมีประสิทธิภาพน้อยและเร่งการเกิดความต้านทานในระดับที่สูงขึ้น

7. ใช้วิธีอื่นที่ไม่ก่อให้เกิดความต้านทานกับแมลงมาใช้ในการหมุนเวียนสารร่วมด้วยในการป้องกันกำจัดเพื่อป้องกันการเกิดความต้านทาน เช่น การใช้น้ำมัน การใช้น้ำสบู่ ซึ่งสามารถฆ่าแมลงโดยไม่จำเพาะเจาะจง สารพวกนี้จะฆ่าได้ทั้งแมลงต้านทานและแมลงอ่อนแอ และถ้าใช้สารกลุ่ม 4 ในอัตราที่แนะนำไม่ได้ผล

ก็ไม่ควรใช้สารกลุ่ม 4 ในอัตราที่สูงกว่าอัตราแนะนำไม่ว่าจะใช้เป็นสารแบบเดี่ยวหรือใช้แบบผสมเพราะจะทำให้แมลงมีความต้านทานเพิ่มขึ้น

8. ใช้สารกลุ่ม 4 ร่วมกับเกษตรดีที่เหมาะสม (Good Agricultural Practice, GAP) มีการป้องกันกำจัดหลาย ๆ วิธี โดยทำในรูปการบริหารจัดการศัตรูพืชหรือ Integrated Pest Management (IPM) หรือ Integrated Crop Management, (ICM) เช่น สำรวจแมลงศัตรูพืชและทำตามคำแนะนำในการป้องกันกำจัดเมื่อศัตรูถึงระดับเศรษฐกิจ ใช้ศัตรูธรรมชาติ ทำความสะอาดแปลง ใช้พันธุ์ต้านทาน และปลูกพืชสลับกับพืชอื่น ๆ ในการใช้สารกลุ่ม 4 ทางดิน (soil treatment) หรือใช้โดยการคลุกเมล็ด (seed treatment) นั้นจะปลอดภัยต่อแมลงศัตรูตามธรรมชาติมากกว่าการพ่นสารกลุ่ม 4 ไปบนต้นพืชโดยตรง

9. มีแปลงข้างเคียงที่ไม่ได้พ่นสารเพื่อเป็นที่อยู่อาศัยของแมลงอ่อนแอ (refugia) โดยแมลงอ่อนแอจากแปลงนี้จะมาผสมกันกับแมลงที่มียีนต้านทานจากแปลงที่พ่นสารกลุ่ม 4 ซึ่งจะเป็นการเจือจางยีนต้านทานและเป็นการจัดการความต้านทานอย่างมีประสิทธิภาพ

10. สำรวจความต้านทานในประชากรแมลงเป็นประจำ เพื่อดูว่าประชากรแมลงมีการเปลี่ยนแปลงความต้านทานต่อสารกลุ่ม 4 อย่างไรและเมื่อไหร่ จะได้ปรับแผนการใช้สารแบบหมุนเวียนได้ถูกต้องว่าจะต้องเลือกกลุ่มสารกำจัดแมลงชนิดใดที่เหมาะสมในการพ่นสาร

การจัดการความต้านทานกับการบริหารศัตรูพืช

การจัดการความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงในแมลงศัตรูพืชอย่างยั่งยืนและประสบผลสำเร็จนั้นจะต้องทำให้เป็นส่วนหนึ่งของการบริหารศัตรูพืชหรือ Integrated Pest Management (IPM) (Brattsten et al.,, 1986; Phillips et al.,, 1989) การจัดการความต้านทานจะต้องมีการป้องกันกำจัดศัตรูพืชหลาย ๆ วิธีร่วมกัน และไม่ใช้สารกำจัดศัตรูพืชเพียงอย่างเดียวในการป้องกันกำจัด Buss et al.,, (2007) และ Onstad (2008a) ได้แนะนำการจัดการความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงให้เป็นส่วนหนึ่งของการบริหารศัตรูพืช ดังนี้

1. ต้องมีการสำรวจจำนวนแมลงศัตรูพืชอย่างสม่ำเสมอก่อนพ่นสารว่าสมควรทำการป้องกันกำจัดหรือยัง และสำรวจจำนวนแมลงศัตรูพืชหลังพ่นสารว่าจำนวนลดลงไหม และแมลงศัตรูพืชจะเพิ่มปริมาณมากขึ้นจนต้องพ่นสารอีกครั้งเมื่อใด

2. การพ่นสารกำจัดศัตรูพืชจะต้องคำนึงถึงระดับเศรษฐกิจ (Economics Threshold, ET) ซึ่งถ้าทำการป้องกันกำจัดเมื่อจำนวนแมลงถึงระดับเศรษฐกิจจะให้ผลคุ้มค่ามากกว่าการไม่ทำการป้องกันกำจัด ยกเว้นการใช้สารทางดินในขณะปลูกเพื่อป้องกันกำจัดแมลงศัตรูจะไม่คำนึงถึงค่าระดับเศรษฐกิจ ดังนั้นถ้าสำรวจจำนวนแมลงศัตรูพืชในแปลงพบว่าจำนวนแมลงศัตรูพืชถึงระดับเศรษฐกิจก็สมควรพ่นสารกำจัดแมลงได้

3. มีการใช้วิธีในการป้องกันกำจัดแมลงศัตรูพืชหลายวิธีร่วมกัน เช่น ใช้วิธีการเขตกรรมโดยมีการทำความสะอาดแปลง กำจัดเศษซากพืชเก่า เพื่อไม่ให้เป็นแหล่งสะสมของศัตรูพืช ใช้วิธีการทางชีวภาพโดยใช้แมลงตัวห้ำตัวเบียน ใช้โรคของแมลง ใช้วิธีการปลูกพืชแบบหมุนเวียนโดยปลูกพืชที่มีศัตรูต่างชนิดกัน ใช้พันธุ์พืชต้านทาน ใช้วิธีกลโดยการใช้กับดัก ใช้วิธีการทางพฤติกรรมโดยการใช้กับดักสารล่อเพื่อฆ่าแมลงหรือเพื่อทำให้แมลงสับสนในการผสมพันธุ์

4. พ่นสารในช่วงที่ศัตรูพืชอ่อนแอที่สุด เช่น ในระยะตัวอ่อน และใช้สารที่มีประสิทธิภาพสูงในการกำจัดศัตรูพืชโดยปฏิบัติตามคำแนะนำ ใช้อัตราการพ่นสารและช่วงการพ่นสารตามคำแนะนำ และพ่นสารโดยใช้เทคนิคการพ่นสารที่ถูกต้อง การพ่นจะต้องครอบคลุมทั่วต้น ระดับ pH น้ำที่เหมาะสม (pH 5-7) หัวฉีดสามารถฉีดได้กระจายทั่วและไม่อุดตัน ในพืชที่มีขนาดใหญ่ต้องมีการตัดแต่งทรงพุ่มให้โปร่งเพื่อสารกำจัดแมลงจะได้กระจายเข้าได้ทั่วทั้งต้น และใช้อัตราน้ำตามคำแนะนำ

5. ใช้สารแบบหมุนเวียนตามกลุ่มกลไกการออกฤทธิ์ที่แตกต่างกันเพื่อชะลอความต้านทาน ในการใช้สารแต่ละกลุ่มไม่ควรพ่นติดต่อกันเกิน 2-3 ครั้ง หรือเกินระยะเวลาหนึ่งชั่วอายุขัยของแมลง หลีกเลี่ยงการพ่นสารกลุ่มเดียวกันติดต่อกันยาวนาน

6. พ่นสารแบบเป็นจุดหรือ spot treatment โดยงดเว้นบางส่วนของแปลงให้เป็นพื้นที่ที่ไม่มีการพ่นสารกำจัดแมลง เพื่อให้แมลงอ่อนแอได้อยู่อาศัยและเป็นแหล่งผลิตแมลงอ่อนแอเพื่อจะได้มาผสมพันธุ์กับแมลงที่ต้านทานที่อาจเกิดจากแปลงที่พ่นสาร ซึ่งจะเป็นการเจือจางความต้านทานที่เกิดขึ้นในประชากรของแมลง ทำให้ความต้านทานลดลง

7. ถ้าพบว่าแมลงศัตรูพืชมีความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงชนิดใดชนิดหนึ่ง จะต้องหยุดการพ่นสารกำจัดแมลงชนิดนั้น และสารที่อยู่ในกลุ่มเดียวกันทั้งหมดทันทีเพื่อไม่ให้ความต้านทานสูงขึ้น ไม่ควรใช้สารที่มีพิษตกค้างยาวนาน และสารที่มีพิษสูงต่อแมลงศัตรูธรรมชาติ

8. ในพืชล้มลุกควรมีช่วงหยุดพักการใช้สาร โดยการพักแปลงหรืองดปลูกพืชในบางฤดู หรือปลูกพืชแบบหมุนเวียนที่มีศัตรูพืชชนิดอื่น เพื่อให้แมลงที่ต้านทานเปลี่ยนกลับมาเป็นแมลงที่อ่อนแออีกครั้ง

9. เลือกใช้สารกำจัดแมลงที่มีผลน้อยต่อแมลงศัตรูธรรมชาติ เช่น การให้สารกำจัดแมลงทางดินหรือโรยข้างต้นหรือโคนต้น ซึ่งจะช่วยไม่ให้แมลงศัตรูธรรมชาติโดนสารกำจัดแมลง หรือใช้สารแบบเลือกทำลายเฉพาะชนิดศัตรูพืชโดยไม่มีผลต่อศัตรูธรรมชาติ หลีกเลี่ยงสารกำจัดแมลงที่มีพิษตกค้างนานซึ่งจะมีผลต่อแมลงศัตรูธรรมชาติ

การจัดการความต้านทานสามารถทำได้เลยทันทีแม้มีข้อมูลเพียงเล็กน้อยก็สามารถทำไปก่อนได้ ซึ่งเมื่อมีข้อมูลมากขึ้นจึงค่อยปรับวิธีการจัดการความต้านทานใหม่ได้ในภายหลัง การรอข้อมูลต่าง ๆ ให้เพียงพอเพื่อจัดการความต้านทาน เช่น ทราบวิธีการหมุนเวียนสารที่ดีที่สุด ทราบประสิทธิภาพสารที่เหมาะสมในการพ่น ทราบกลไกความต้านทานของแมลงนั้นอาจช้าเกินไป ควรรีบดำเนินการไปก่อนแล้วจึงค่อยปรับวิธีการจัดการความต้านทานให้เหมาะสมในภายหลัง (Roush, 1989) เช่น แนะนำให้เกษตรกรใช้สารแบบหมุนเวียนตามกลุ่มกลไกการออกฤทธิ์ทันทีตั้งแต่เริ่มปลูกพืชเพื่อจัดการความต้านทานตั้งแต่เนิ่น ๆ โดยมีการใช้วิธีกำจัดศัตรูพืชหลาย ๆ วิธีร่วมกัน การจัดการความต้านทานของศัตรูพืชที่มีค่าใช้จ่ายน้อยจะเหมาะสมและเป็นที่ต้องการของเกษตรกร (Gao et al., 2012)

บทสรุป

ในปัจจุบันแมลงและไรศัตรูพืชสามารถพัฒนาความต้านทานต่อสารกำจัดศัตรูพืชได้หลาย ๆ ชนิด ดังนั้นการใช้สารกำจัดศัตรูพืชในการป้องกันกำจัดในอนาคตอาจประสบปัญหา การหวังที่จะใช้สารกำจัดศัตรูพืชชนิดใหม่ ๆ หรือกลุ่มใหม่ ๆ เพื่อแก้ปัญหาความต้านทานนั้นเป็นไปได้ยาก เนื่องจากการพัฒนากลุ่มสารกำจัดศัตรูพืชใหม่ ๆ ใช้ระยะเวลาในการพัฒนายาวนาน ดังนั้นการไม่ทำให้แมลงหรือไรศัตรูพืชเกิดความต้านทานจึงมีความสำคัญ เพราะจะทำให้สามารถป้องกันกำจัดได้ง่าย การจัดการความต้านทานควรทำทันทีที่มีการใช้สารกำจัดแมลงหรือสารกำจัดไร การจัดการความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงและสารกำจัดไรมีรายละเอียดและวิธีการต่าง ๆ หลายวิธี วิธีที่ง่ายที่สุดและใช้ได้ผลดีคือการใช้สารแบบหมุนเวียนตามกลุ่มกลไกการออกฤทธิ์ซึ่งควรทำร่วมกับการบริหารศัตรูพืช การใช้สารผสมและสารกลุ่ม 4 ต้องมีการจัดการความต้านทานเสมอ ในการจัดการความต้านทานจะต้องสามารถลดค่าใช้จ่ายและลดแรงงานได้ การจัดการความต้านทานที่ดีและประสบผลสำเร็จจะช่วยให้การผลิตผลผลิตทางการเกษตรมีคุณภาพสูงขึ้น และเพียงพอต่อความต้องการของประเทศในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

BASF. 2020. Insecticide Mode of Action. Technical Training Manual. [Online]. Available. https://agriculture.basf.com (April 27, 2020).

Bennett, A. 2012. IRAC Resistance and resistance management. [Online]. Available. http://www.irac-online.org. (April 12, 2021).

Brattsten, L. B., C. W. Holyoke, J. R. Leeper and K. F. Raffa. 1986. Insecticide resistance: challenge to pest management and basic research. Science. 231(4743): 1255-1260.

Buss, E. A., J. F. Price, E. McCord and C. Nagle. 2007. Managing Insecticide and Miticide Resistance in Florida Landscapes. EDIS, 2007: 19.

Chen, X. D., S. Neupane, H. Gossett, K. S. Pelz-Stelinski and L. L. Stelinski. 2021. Insecticide rotation scheme restores insecticide susceptibility in thiamethoxam-resistant field populations of Asian citrus psyllid, *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Liviidae), in Florida. Pest manag. Sci. 77(1): 464-473.

CropLife Australia, 2019. Insecticide resistance management strategies. [Online]. Available. http://www.croplife.org.au. (June 27, 2019).

Curtis, C.F., N. Hill and S.H. Kasim. 1993. Are their effective resistance management strategies for vectors of human disease? Biol. J. Linnean Soc. 48: 3-18.

Deuter, P.L. 1989. The development of an insecticide resistance strategy for the Lockyer Valley. Acta Horticulturae. 247: 55-62.

Gao, Y., Z. Lei and S. R. Reitz. 2012. Western flower thrips resistance to insecticides: detection, mechanisms and management strategies. Pest manag. Sci. 68(8): 1111-1121.

Georghiou, G.P. 1983. Management of resistance in arthropods, pp. 769–792. *In*: Pest Resistance to Pesticides. G.P. Georghiou and T. Saito (eds.), Plenum Press, New York.

Georghiou, G. P. 1994. Principles of insecticide resistance management. Phytoprotection. 75(4): 51-59.

Head, G.H. and C. Savinelli. 2008. Adapting insecticide Resistance management Programs to Local Needs, pp 89-106. In: Insecticide Resistance Management: Biology, Economics and Prediction. Onstad D.W. (ed.), Academic Press.

Hoy, M. A. 1998. Myths, models and mitigation of resistance to pesticides. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences. 353(1376): 1787-1795.

IRAC. 2012a. IRAC International Insecticide Mixture Statement. [Online]. Available. http://www.irac-online.org. (April 16, 2021).

IRAC. 2012b. IRAC Guidelines for Resistance Management of Neonicotinoids. [Online]. Available. http://www.irac-online.org. (April 16, 2021).

IRAC. 2015. IRAC Guidelines for Management of Resistance to Group 4 insecticides. [Online]. Available. http://www.irac-online.org. (April 16, 2021).

IRAC. 2020. IRAC mode of action classification scheme. [Online]. Available. http://www.irac-online.org. (March 27, 2020).

IRAC. 2021a. Overview of an insecticide resistance management (IRM) plan for plant protection insecticides. (Online). Available. http://www.irac-online.org. (March 13, 2021).

IRAC. 2021b. General principle of insecticide resistance management from IRAC. [Online]. Available. http://www.irac-online.org. (March 27, 2021).

Jin, L., H. Zhang, Y. Lu, Y. Yang, K. Wu, B. E. Tabashnik and Y. Wu. 2015. Large-scale test of the natural refuge strategy for delaying insect resistance to transgenic Bt crops. Nature biotechnology. 33(2): 169-174.

McGaughey, W.H. and M.E. Whalon. 1992. Managing insecticide resistance to *Bacillus thuringiensis* toxins. Science. 28: 1451-1455.

Onstad, D.W. 2008a. Major Issues in Insect Resistance Management, pp 1-16. *In*: Insecticide Resistance Management: Biology, Economics and Prediction. Onstad D.W. (ed.), Academic Press.

Onstad, D.W. 2008b. The Future of Insect Resistance Management, pp 289-300. *In*: Insecticide Resistance Management: Biology, Economics and Prediction. Onstad D.W. (ed.), Academic Press.

Phillips, J.R., J.B. Graves and R. G. Luttrell. 1989. Insecticide resistance management: relationship to integrated pest management. Pesticide Science. 27(4): 459-464.

Roush, R.T. 1989. Designing resistance management programs: how can you choose? Pestic. Sci. 26: 423–441.

Roush, R.T. and G.L. Miller. 1986. Considerations for design of insecticide resistance monitoring programs. J. Econ. Entomol. 79: 293–298.

Roush, R.T. and J. Daly. 1990. The Role of Population Genetics in Resistance Research and Management. pp 97-152. *In*: Pesticide Resistance in Arthropods. R.T. Roush and B.E. Tabashnik (eds.), Chapman and Hall Inc.

Stanley, B.H. 2008. Monitoring Resistance, pp 269-287. *In*: Insecticide Resistance Management: Biology, Economics and Prediction. Onstad D.W. (ed.), Academic Press.

Suiter, K. A., and F. Gould. 1994. Physiological resistance and behavioral avoidance responses to residues of four pesticides by six spider mite populations. Entomologia Experimentalis et Applicata. 71(1): 1-14.

Tabashnik, B. E. and Y. Carrière. 2017. Surge in insect resistance to transgenic crops and prospects for sustainability. Nature Biotechnology. 35(10): 926.

Yu, S.J. 2008. The Toxicology and Biochemistry of Insecticides. CRC Press.

หลักการใช้สารแบบหมุนเวียนเพื่อแก้ปัญหาความต้านทานต่อสารกำจัดศัตรูพืชในแมลงและไร

บทนำ

ศัตรูพืชเป็นปัญหาสำคัญที่ทำให้ผลผลิตทางการเกษตรลดลงทั้งด้านปริมาณและคุณภาพ การแก้ปัญหาศัตรูพืชหลายวิธีใช้แรงงานและต้นทุนค่อนข้างมากแต่ไม่สามารถกำจัดศัตรูพืชที่กำลังระบาดได้ทันท่วงที การใช้สารกำจัดศัตรูพืชเป็นปัจจัยการผลิตทางการเกษตรปัจจัยหนึ่งใช้ต้นทุนถูกกว่าวิธีอื่น ๆ ใช้แรงงานน้อย และสามารถป้องกันกำจัดแมลงและไรศัตรูพืชได้อย่างทันท่วงที แต่การที่เกษตรกรบางส่วนใช้สารกำจัดแมลงหรือสารกำจัดไรอย่างไม่ถูกต้องทำให้เกิดปัญหาศัตรูพืชสร้างความต้านทานต่อสารกำจัดศัตรูพืชเพิ่มมากขึ้นในปัจจุบัน การป้องกันและแก้ไขปัญหาความต้านทานต่อสารกำจัดศัตรูพืชจำเป็นที่จะต้องแนะนำให้เกษตรกรทำการป้องกันกำจัดตามหลักการจัดการความต้านทานต่อสารกำจัดแมลง (Insecticide Resistance Management, IRM) ซึ่งการใช้สารกำจัดแมลงใน IRM จะต้องเป็นไปในรูปแบบการใช้สารแบบหมุนเวียน (insecticide rotation) ตามกลุ่มกลไกการออกฤทธิ์ที่จำแนกโดย IRAC (Insecticide Resistance Action Committee) ที่ถูกต้องจึงจะสามารถแก้ปัญหาความต้านทานในศัตรูพืชได้

หลักการใช้สารกำจัดแมลงหรือสารกำจัดไรแบบหมุนเวียนตามกลุ่มกลไกการออกฤทธิ์

การใช้สารแบบหมุนเวียนจะทำให้เกิดการคัดเลือกแมลงหรือไรที่มีความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงหรือสารกำจัดไรกลุ่มใดกลุ่มหนึ่งน้อยที่สุด (IRAC, 2020) การใช้สารแบบหมุนเวียนโดยใช้สารต่างกลุ่มกลไกการออกฤทธิ์เป็นการทำให้ภายในแต่ละระยะเวลา 1 ชั่วอายุขัยแมลงหรือไร ให้ได้รับสารต่างกลุ่มกัน ดังนั้นถ้ามีแมลงหรือไรที่ต้านทานต่อสารกลุ่มที่พ่นในชั่วอายุขัยแรกแมลงหรือไรก็จะตายเมื่อพ่นสารกลุ่มที่แตกต่างกันไปในชั่วอายุขัยถัดมา การพ่นสารต่างกลุ่มกันจึงเป็นการลดการคัดเลือกสารกลุ่มเดียวกัน และลดการเกิดความต้านทาน (Buss et al., 2007) การหมุนเวียนสารกำจัดแมลงและสารกำจัดไรตามกลุ่มกลไกการออกฤทธิ์ที่แตกต่างกันจะได้ผลเมื่อความต้านทานที่อาจเกิดขึ้นนั้นเป็นความต้านทานแบบ target-site ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงที่บริเวณจุดจับของสารกำจัดแมลง

สำหรับหลักในการใช้สารแบบหมุนเวียนตามกลุ่มกลไกการออกฤทธิ์ของสารกำจัดแมลงหรือสารกำจัดไรก็คือ การใช้สารกลุ่มใดกลุ่มหนึ่งในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง เช่น ช่วงเวลา 1 ชั่วอายุขัย (generation) ของแมลงหรือไรชนิดหนึ่ง แล้วการใช้สารในช่วงเวลาถัดมาจะต้องหลีกเลี่ยงการใช้สารกลุ่มเดิมกับสารที่ใช้ในช่วงอายุขัยแรก (ภาพที่ 33)

เริ่มปลูก Window 1 (1 ชั่วอายุขัยของแมลง)	ต้นอ่อน Window 2 (1 ชั่วอายุขัยของแมลง)	เจริญเติบโต Window 3 (1 ชั่วอายุขัยของแมลง)	เจริญเติบโต Window 4 (1 ชั่วอายุขัยของแมลง)	ให้ผลผลิต Window 5 (1 ชั่วอายุขัยของแมลง)	ให้ผลผลิต Window 6 (1 ชั่วอายุขัยของแมลง)	ก่อนเก็บเกี่ยว Window 7 (1 ชั่วอายุขัยของแมลง)
พ่นสารกลุ่ม A มากที่สุดไม่เกิน 3 ครั้ง	**พ่นสารกลุ่ม B มากที่สุดไม่เกิน 3 ครั้ง**	**พ่นสารกลุ่ม C มากที่สุดไม่เกิน 3 ครั้ง**	**พ่นสารกลุ่ม D มากที่สุดไม่เกิน 3 ครั้ง**	**พ่นสารกลุ่ม A มากที่สุดไม่เกิน 3 ครั้ง**	**พ่นสารกลุ่ม B มากที่สุดไม่เกิน 3 ครั้ง**	**พ่นสารกลุ่ม C มากที่สุดไม่เกิน 3 ครั้ง**

ภาพที่ 33 แผนการพ่นสารแบบหมุนเวียนตามกลุ่มสารเป็นวงจรต่อเนื่องกันเพื่อแก้ปัญหาความต้านทานของศัตรูพืชต่อสารกำจัดแมลง

ในการหมุนเวียนสารจะแบ่งช่วงเวลาออกเป็นแต่ละช่วงที่เรียกว่า “หน้าต่าง” หรือ “window” ซึ่งมักมีช่วงระยะเวลายาวประมาณ 1 ชั่วอายุขัยของแมลงหรือไรศัตรูพืชชนิดนั้น ๆ ตัวอย่างการใช้สารกำจัดแมลงแบบหมุนเวียนในหนอน เช่น ในหนอนกระทู้หลาย ๆ ชนิดมีระยะเวลา 1 ชั่วอายุขัย (ระยะเวลาตั้งแต่การเป็นไข่+ระยะการเป็นตัวอ่อน+ระยะการเป็นตัวเต็มวัย) ประมาณ 20-30 วัน จึงมีการแบ่งช่วงในการพ่นสารในหนอนกระทู้ หรือ window ที่มีความยาวช่วงละ 30 วัน (เพื่อให้จำได้ง่าย) แล้วมีการวางแผนการพ่นสารแต่ละกลุ่มใน window ไม่เกิน 3 ครั้ง ซึ่งในแต่ละ window อาจมีการพ่นสารกำจัดแมลงได้หลายกลุ่มขึ้นกับสถานการณ์การระบาดของศัตรูพืชแต่ละชนิด แต่ใน window ถัดไปจะต้องไม่ใช้สารกลุ่มที่เคยใช้ในช่วง window แรก เช่น

1. ในช่วง window 1 ใช้สารกลุ่ม **A** → window 2 ใช้สารกลุ่ม **B** → window 3 ใช้สารกลุ่ม **C** → window 4 ใช้สารกลุ่ม **A** → window 5 ใช้สารกลุ่ม **B** → window 6 ใช้สารกลุ่ม **C** → window 7 ใช้สารกลุ่ม **A** → หมุนเวียนเป็นวงจรต่อไปเรื่อย ๆ
2. ในช่วง window 1 ใช้สารกลุ่ม **A** และ **B** → window 2 ใช้สารกลุ่ม **C** และ **D** → window 3 ใช้สารกลุ่ม **A** และ **B** → หมุนเวียนเป็นวงจรต่อไปเรื่อย ๆ จะเห็นว่าจะต้องงดเว้นหรือหยุดพักการพ่นสารกลุ่มเดิม (A / B) อย่างน้อย 1 ชั่วอายุขัยของหนอนกระทู้หรือประมาณ 30 วันจึงจะกลับมาใช้ สารกลุ่มเดิม (A / B) ได้ (ภาพที่ 34) ซึ่งการงดการพ่นสารกลุ่มเดิม (A / B) ยิ่งนานเกิน 30 วันก็ยิ่งดีในกรณีที่มีสารกลุ่มอื่น ๆ ให้เลือกใช้แทนสารกลุ่ม A / B เช่น ใน window 3 อาจมีการใช้สารกลุ่ม E / F แทน แล้ว window 4 จึงจะกลับมาใช้สารกลุ่มเดิม (A / B) (ภาพที่ 34)

Window 1 **ช่วง 30 วัน (1 ชั่วอายุขัย)**	Window 2 **ช่วง 30 วัน (1 ชั่วอายุขัย)**	Window 3 **ช่วง 30 วัน (1 ชั่วอายุขัย)**
พ่นสารกลุ่ม A / B มากที่สุดได้ 3 / 3 ครั้ง	**(งดการพ่นสารกลุ่ม A / B)** พ่นสารกลุ่ม C / D มากที่สุดได้ 3 / 3 ครั้ง	**พ่นสารกลุ่ม A / B** มากที่สุดได้ 3 / 3 ครั้ง

ภาพที่ 34 แผนการพ่นสารแบบหมุนเวียนตามกลุ่มสารเป็นวงจรต่อเนื่องกันเพื่อแก้ปัญหาความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงในหนอนกระทู้

ส่วนในเพลี้ยไฟมีระยะเวลา 1 ชั่วอายุขัยประมาณ 15-20 วัน จึงมีการแบ่งช่วงในการพ่นสารในเพลี้ยไฟหรือ window ที่มีความยาวช่วงละ 15 วัน (เพื่อให้จำได้ง่าย) แล้วมีการวางแผนการพ่นสารแต่ละกลุ่มในแต่ละช่วง หรือ window ไม่เกิน 3 ครั้ง ซึ่งในแต่ละช่วงหรือแต่ละ window อาจมีการพ่นสารกำจัดแมลงได้หลายกลุ่มขึ้นกับสถานการณ์การระบาดของศัตรูพืชแต่ละชนิด แต่ในช่วงถัดไปหรือ window ถัดไปจะต้องไม่ใช้สารกลุ่มที่เคยใช้ในช่วง window แรก เช่น ในช่วง window 1 ใช้สารกลุ่ม A → ในช่วง window 2 ใช้สารกลุ่ม B → ในช่วง window 3 ใช้สารกลุ่ม C → หมุนเวียนเป็นวงจรต่อไปเรื่อย ๆ (ภาพที่ 35) โดยในช่วง window 4 จึงใช้สารกลุ่ม A ซ้ำกับ window 1 ได้ จะเห็นว่าจะต้องงดเว้นหรือหยุดพักการพ่นสารกลุ่มเดิมอย่างน้อย 2 ชั่วอายุขัยของเพลี้ยไฟหรือประมาณ 30 วันจึงจะกลับมาใช้สารกลุ่มเดิมได้ เนื่องจากระยะการเจริญในหนึ่งช่วงอายุขัยของเพลี้ยไฟมักแปรปรวนแตกต่างกันมากในเพลี้ยไฟแต่ละชนิดและในแต่ละสภาพภูมิอากาศในฤดูกาลต่าง ๆ ดังนั้นควรงดการพ่นสารของเพลี้ยไฟถึง 30 วันจึงแน่นอนกว่า

Window 1 ช่วง 15 วัน (1 ชั่วอายุขัย)	Window 2 ช่วง 15 วัน (1 ชั่วอายุขัย)	Window 3 ช่วง 15 วัน (1 ชั่วอายุขัย)	Window 4 ช่วง 15 วัน (1 ชั่วอายุขัย)	Window 5 ช่วง 15 วัน (1 ชั่วอายุขัย)	Window 6 ช่วง 15 วัน (1 ชั่วอายุขัย)	Window 7 ช่วง 15 วัน (1 ชั่วอายุขัย)
พ่นสารกลุ่ม A มากที่สุดได้ 3 ครั้ง	(งดการพ่นสารกลุ่ม A) **พ่นสารกลุ่ม B มากที่สุดได้ 3 ครั้ง**	(งดการพ่นสารกลุ่ม A, B) **พ่นสารกลุ่ม C มากที่สุดได้ 3 ครั้ง**	**พ่นสารกลุ่ม A มากที่สุดได้ 3 ครั้ง**	(งดการพ่นสารกลุ่ม A) **พ่นสารกลุ่ม B มากที่สุดได้ 3 ครั้ง**	(งดการพ่นสารกลุ่ม A, B) **พ่นสารกลุ่ม C มากที่สุดได้ 3 ครั้ง**	**พ่นสารกลุ่ม A มากที่สุดได้ 3 ครั้ง**

ภาพที่ 35 แผนการพ่นสารแบบหมุนเวียนตามกลุ่มสารเป็นวงจรต่อเนื่องกันเพื่อแก้ปัญหาความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงในเพลี้ยไฟ

การกำหนดช่วงเวลาการพ่นสารกำจัดแมลงแบบหมุนเวียน

การกำหนดช่วงเวลาการพ่นสารแบบหมุนเวียนแตกต่างกันในพืชหรือศัตรูพืชชนิดต่าง ๆ โดยช่วงการพ่นสารแบบหมุนเวียนจะถูกจัดเป็นช่วง ๆ หรือ window ซึ่งมีความยาวประมาณระยะเวลาการเจริญเติบโตของแมลงหรือไรจนครบ 1 ชั่วอายุขัย (IRAC, 2020) หรือมีความยาวประมาณระยะเวลาการเจริญเติบโตของพืชในช่วงหนึ่ง ๆ เช่น 30 วัน เป็นต้น การใช้สารแบบหมุนเวียนกับหนอนกระทู้มักใช้ช่วงการหมุนเวียนทุก ๆ 30 วัน การใช้สารแบบหมุนเวียนกับเพลี้ยไฟมักใช้ช่วงการหมุนเวียนทุก ๆ 15 วัน

ในกรณีที่พืชมีอายุสั้นกว่า 50 วันการหมุนเวียนมักจะใช้ช่วงระยะเวลาการเจริญเติบโตจนถึงเก็บเกี่ยวของพืชนั้น ๆ เป็น 1 window โดยการปลูกพืชนั้นในช่วงต่อไปจะจัดให้เป็น window ถัดไปและจะต้องใช้สารกำจัดแมลงต่างกลุ่มกันกับที่ใช้ในช่วง window แรก ดังนั้นในพืชอายุสั้นกว่า 50 วันจึงมีเพียง 1 window ในการปลูกแต่ละครั้ง แต่ถ้ามีการปลูกพืชที่มีอายุสั้นกว่า 50 วันชนิดนั้นติดต่อกันในหลายช่วงหรือในแต่ละฤดู เช่น ช่วงแล้ง ช่วงต้นฝน ช่วงปลายฝน ในแต่ละช่วงก็จะเป็น 1 window (ภาพที่ 36)

ในพืชที่มีอายุมากกว่า 50 วัน เช่น อายุ 60 วันอาจจะแบ่งได้เป็น 2 ช่วง (window) ช่วงละ 50% ของอายุพืชคือ 30 วัน หรือในพืชอายุ 70 วันอาจจะแบ่งได้เป็น 2 ช่วง ๆ ละ 35 วัน หรืออาจกล่าวว่าในพืชเหล่านี้สามารถใช้สารกลุ่มเดียวกันกับที่ใช้ในช่วง (window) แรกได้ในระยะเวลาไม่เกิน 50 % ของอายุพืชชนิดนั้น ๆ ในพืชที่มีอายุยาว เช่น ไม้ผล กล้วยไม้ มักใช้ช่วงการหมุนเวียนทุก ๆ 1 ชั่วอายุขัยของแมลงศัตรูพืชชนิดนั้น ๆ เช่น ในหนอนมักใช้ช่วงการหมุนเวียนทุก ๆ 30 วัน และในเพลี้ยไฟมักใช้ช่วงการหมุนเวียนทุก ๆ 15 วัน โดยมีช่วงหยุดพักการพ่นสารกลุ่มแต่ละกลุ่มประมาณ 1 เดือน (ภาพที่ 37)

อย่างไรก็ตามนักวิชาการเกษตรที่ทำงานในท้องที่นั้น ๆ ควรเป็นผู้ให้คำแนะนำว่าช่วงระยะเวลา window ที่พ่นสารนั้นควรกำหนดอย่างไรจึงจะเหมาะสม และในแต่ละ window ควรใช้สารกลุ่มอะไรได้บ้าง (IRAC, 2020)

Window 1 (ช่วง 50 วัน) **ระยะเวลาการปลูกพืชครั้ง 1**	**Window 2 (ช่วง 50 วัน)** **ระยะเวลาการปลูกพืชครั้ง 2**	**Window 3 (ช่วง 50 วัน)** **ระยะเวลาการปลูกพืชครั้ง 3**
พ่นสารกลุ่ม A / B / C มากที่สุดได้ 3 / 3 / 3 ครั้ง	(งดการพ่นสารกลุ่ม A / B / C) **พ่นสารกลุ่ม D / E / F** มากที่สุดได้ 3 / 3 / 3 ครั้ง	**พ่นสารกลุ่ม A / B / C** มากที่สุดได้ 3 / 3 / 3 ครั้ง

ภาพที่ 36 แผนการพ่นสารแบบหมุนเวียนตามกลุ่มสารเป็นวงจรต่อเนื่องกันเพื่อแก้ปัญหาความต้านทานของศัตรูพืชต่อสารกำจัดแมลงในพืชมีอายุสั้นกว่า 50 วัน

Window 1 **ระยะการเจริญเติบโต** **ระยะเวลาไม่เกิน 50 เปอร์เซ็นต์ของอายุพืช**	Window 2 **ระยะให้ผลผลิต** **ระยะเวลาไม่เกิน 50 เปอร์เซ็นต์ของอายุพืช**
พ่นสารกลุ่ม A / B / C มากที่สุดได้ 3 / 3 / 3 ครั้ง	(งดการพ่นสารกลุ่ม A / B / C) **พ่นสารกลุ่ม D / E / F** มากที่สุดได้ 3 / 3 / 3 ครั้ง

ภาพที่ 37 แผนการพ่นสารแบบหมุนเวียนตามกลุ่มสารเพื่อแก้ปัญหาความต้านทานของศัตรูพืชต่อสารกำจัดแมลงในพืชมีอายุประมาณ 50-70 วัน

กลุ่มสารกำจัดแมลงหรือสารกำจัดไรที่ใช้ในการพ่นสารแบบหมุนเวียน

กลุ่มสารกำจัดแมลงหรือสารกำจัดไรที่สามารถใช้ในการพ่นสารแบบหมุนเวียนควรเป็นสารที่เหมาะสมในหลาย ๆ ด้าน เช่น เป็นสารที่ใช้ขึ้นทะเบียนให้ใช้กับแมลงหรือไรศัตรูพืชชนิดนั้น ๆ และเป็นสารที่มีคำแนะนำว่ามีประสิทธิภาพในการป้องกันกำจัดศัตรูพืชชนิดนั้น ๆ เกษตรกรสามารถหาซื้อสารดังกล่าวได้ตามท้องตลาดทั่วไป (IRAC, 2008)

ในการพ่นสารแบบหมุนเวียนจะต้องใช้สารในอัตรามีประสิทธิภาพตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตร (ฉบับปัจจุบัน) ห้ามลดอัตราความเข้มข้นของสารต่ำกว่าอัตราแนะนำ เพราะการลดอัตราความเข้มข้นของสารลงต่ำกว่าอัตราแนะนำจะทำให้แมลงหรือไรต้านทานมีจำนวนอยู่รอดได้มากขึ้น จึงไม่เหมาะสมสำหรับการบริหารจัดการความต้านทาน และสารกำจัดแมลงหรือสารกำจัดไรที่ใช้จะต้องไม่มีปัญหาแมลงหรือไรมีความต้านทานต่อสารหรือมีความต้านทานในระดับต่ำ ไม่ควรใช้สารที่มีความต้านทานแบบ cross-resistance กันในแต่ละ window หรือใน window ที่ติดกัน นอกจากนี้ควรเป็นสารที่ไม่แพงเกินไป ใช้แล้วมีประสิทธิภาพสามารถป้องกันกำจัดแมลงหรือไรได้อย่างคุ้มค่า

การใช้สารกำจัดแมลงหรือไรใน window ที่ติดกันควรใช้สารกำจัดแมลงหรือสารกำจัดไรที่อยู่คนละกลุ่มกันและต้องไม่มีความต้านทานแบบ cross-resistance ซึ่งกันและกัน ไม่ควรใช้สารที่อยู่ในกลุ่มย่อยที่อยู่ในกลุ่มเดียวกันใน window ที่ติดกันเพราะว่าสารในกลุ่มย่อยที่อยู่ในกลุ่มสารเดียวกันจะมีโอกาสเกิดความต้านทานแบบ cross-resistance ระหว่างกันได้มากกว่าสารที่อยู่ต่างกลุ่มกัน (IRAC, 2020) เช่น การใช้สาร organophosphate ที่อยู่ในกลุ่ม 1 กลุ่มย่อย 1b ใน window 1 และใช้สารคาร์บาเมทที่อยู่ในกลุ่ม 1 กลุ่มย่อย 1 a ใน window 2 ไม่ถูกต้องเพราะว่าโอกาสที่สารกลุ่มย่อย 1a และ 1b ในสารกลุ่ม 1 จะเกิดความต้านทานข้ามซึ่งกันและกันมีมาก

การใช้สารกำจัดแมลงแบบหมุนเวียนตามกลุ่มกลไกความต้านทาน

ได้กล่าวแล้วว่าการหมุนเวียนสารกำจัดแมลงหรือสารกำจัดไรตามกลุ่มกลไกการออกฤทธิ์ที่แตกต่างกันจะได้ผลเมื่อความต้านทานที่อาจเกิดขึ้นนั้นเป็นความต้านทานแบบ target-site resistance ซึ่งเกิดจากการ

เปลี่ยนแปลงที่บริเวณจุดจับของสารกำจัดแมลงหรือสารกำจัดไร แต่ถ้าความต้านทานที่อาจเกิดขึ้นในประชากรเป็นแบบ metabolic resistance ที่ใช้น้ำย่อยทำลายสารพิษ เช่น P450 หรือ esterase บางชนิดที่สามารถทำให้เกิดความต้านทานข้าม cross-resistance ได้กับสารหลายกลุ่ม หรือความต้านทานที่อาจเกิดขึ้นในประชากรเป็นแบบ multiple resistance แล้วจะทำให้การหมุนเวียนกลุ่มสารตามกลุ่มกลไกการออกฤทธิ์อาจไม่ได้ผลดีเท่าที่ควร ดังนั้นการพิจารณาในการเลือกกลุ่มสารกำจัดแมลงหรือสารกำจัดไรเพื่อใช้ในการหมุนเวียนจะยากขึ้นอีกคือ ในช่วงการพ่นสารแต่ละช่วงนอกจากจะต้องเลือกสารแตกต่างกลุ่มกลไกการออกฤทธิ์แล้ว กลุ่มสารที่เลือกมานั้นยังต้องระมัดระวังไม่เลือกสารกลุ่มที่ประชากรแมลงหรือไรมีประวัติว่าสามารถสร้างความต้านทานข้าม หรือมีความต้านทานแบบ multiple กับกลุ่มสารที่ใช้ในช่วงการพ่นสารก่อนหน้า

การใช้สารกำจัดแมลงแบบสารผสม (mixture) ในการหมุนเวียนสาร

ในปัจจุบันนี้มีการใช้สารผสมหลายแบบ เช่น สารผสมสำเร็จรูป (premix) และสารผสมที่เกษตรกรผสมเอง (tank mix) สารผสมมักมีคุณสมบัติในการป้องกันกำจัดแมลงศัตรูพืชได้หลายชนิดเพิ่มมากขึ้น และป้องกันการเกิดความต้านทานในกรณีที่ยังไม่พบว่าแมลงศัตรูพืชเกิดความต้านทาน แต่ไม่แนะนำให้ใช้สารผสมถ้าพบว่าแมลงมีความต้านทานต่อสารชนิดใดชนิดหนึ่งที่อยู่ในสารผสมนั้น เพราะจะเป็นการเร่งให้เกิดความต้านทานขึ้น ดังนั้นการใช้สารผสมจึงมีความเสี่ยงสูงถ้าไม่มีข้อมูลว่าแมลงมีความต้านทานต่อ สารชนิดใดชนิดหนึ่งที่อยู่ในสารผสมนั้นหรือไม่

การใช้สารผสมในการหมุนเวียนสารนั้นจะต้องใช้สารผสมในอัตราที่แนะนำ (IRAC, 2008) และพิจารณาการใช้กลุ่มสารแต่ละกลุ่มในสารผสมให้เป็นไปตามหลักกการใช้สารแบบหมุนเวียน นอกจากนี้การใช้สารแบบผสมใด ๆ ในการใช้สารแบบหมุนเวียนจะต้องเปลี่ยนชนิดสารที่เป็นคู่ผสมกันอยู่เสมอ ๆ ไม่ควรใช้สารคู่ผสมเดิมซ้ำ ๆ กัน ห้ามใช้สารผสมที่มีคู่ผสมเป็นสารกลุ่มเดียวกันกับสารที่ใช้ใน window ติดกัน การใช้สารผสมซ้ำกันบ่อยครั้งอาจทำให้เกิดประชากรแมลงที่ต้านทานต่อสารทั้ง 2 กลุ่มที่มีอยู่ในสารผสมนั้นได้ โดยจะทำให้เกิดความต้านทานแบบ multiple resistance ขึ้นได้ในที่สุด ซึ่งการแก้ปัญหาความต้านทานดังกล่าวจะทำได้ยากยิ่งขึ้น (IRAC, 2008)

การใช้สารกำจัดศัตรูพืชแบบหมุนเวียนในสภาพพื้นที่ที่แมลงหรือไรมีความต้านทานแตกต่างกัน

การใช้สารกำจัดศัตรูพืชแบบหมุนเวียนในแหล่งที่แมลงหรือไรศัตรูพืชมีความต้านทานน้อย ๆ ต่อสารกำจัดศัตรูพืชชนิดต่าง ๆ จะสามารถแก้ปัญหาความต้านทานได้ง่าย แต่การใช้สารกำจัดศัตรูพืชแบบหมุนเวียนในแหล่งที่แมลงหรือไรศัตรูพืชมีความต้านทานต่อสารกำจัดศัตรูพืชหลาย ๆ ชนิดในระดับสูง จะแก้ปัญหาความต้านทานได้ยากกว่า ในกรณีที่พื้นที่นั้นมีประชากรแมลงหรือไรที่มีความต้านทานสูง ๆ ต่อสารกำจัดศัตรูพืชหลาย ๆ กลุ่มจะต้องใช้วิธีการอื่นมาร่วมด้วยในการป้องกันกำจัดศัตรูพืช เช่น การหยุดพักการปลูก การใช้ชีววิธี และวิธีอื่นอีกหลาย ๆ วิธีร่วมกันในรูปแบบของการบริหารจัดการศัตรูพืชแบบบูรณาการ (integrated pest management, IPM) (Bielza, 2008)

การปลูกพืชในสภาพโรงเรือนจะพบว่าแมลงหรือไรศัตรูพืชเกิดความต้านทานต่อสารกำจัดศัตรูพืชเร็วมาก ทั้งนี้เนื่องจากในสภาพโรงเรือนเป็นพื้นที่ปิด จึงไม่มีแมลงหรือไรอ่อนแอ (susceptible population) สามารถเข้ามาผสมพันธุ์กับแมลงหรือไรต้านทานที่เกิดขึ้นในโรงเรือน ทำให้ไม่มีการเจือจางยีนต้านทาน

(dilution of resistance) ในประชากรที่อยู่ในโรงเรือน แมลงหรือไรต้านทานจึงผสมระหว่างกันในประชากร ดังนั้นความต้านทานของแมลงหรือไรในโรงเรือนจึงเกิดขึ้นเร็วมาก

บทสรุป

การใช้สารแบบหมุนเวียนเพื่อแก้ปัญหาความต้านทานสารกำจัดแมลงหรือสารกำจัดไรในศัตรูพืช จะต้องดำเนินการตามหลักการจัดการความต้านทานของแมลงศัตรูพืชหรือที่เรียกว่า IRM โดยต้องแนะนำให้เกษตรกรใช้สารกำจัดแบบหมุนเวียนตามกลุ่มกลไกการออกฤทธิ์ที่จำแนกโดย IRAC อย่างถูกต้อง วิธีการใช้สารแบบหมุนเวียนเป็นวิธีที่ง่ายที่สุดในการแก้ปัญหาความต้านทานต่อสารกำจัดศัตรูพืชในแมลงหรือไรศัตรูพืช ในการใช้สารแบบหมุนเวียนจะแบ่งช่วงเวลาการพ่นสารกลุ่มต่าง ๆ เป็น window ซึ่งมักมีระยะเวลาประมาณ 1 ชั่วอายุขัยของแมลงหรือไรศัตรูพืช การพ่นสารแต่ละกลุ่มไม่ควรเกินระยะเวลา 1 ชั่วอายุขัย แล้วในช่วงระยะเวลา 1 ชั่วอายุขัยถัดมาจะต้องหลีกเลี่ยงการใช้สารกลุ่มเดิมซ้ำกันอีก สารกำจัดแมลงหรือสารกำจัดไรที่ใช้ในการพ่นแบบหมุนเวียนควรเป็นสารที่ขึ้นทะเบียนให้ใช้กับแมลงหรือไรศัตรูพืชชนิดนั้น ๆ และเป็นสารที่มีคำแนะนำว่ามีประสิทธิภาพในการป้องกันกำจัดศัตรูพืชชนิดนั้น ๆ เกษตรกรสามารถหาซื้อสารดังกล่าวได้ง่าย สารที่ใช้จะต้องไม่มีปัญหาแมลงหรือไรชนิดนั้นมีความต้านทาน ไม่ควรใช้สารกลุ่มที่มีความต้านทานแบบ cross-resistance กันในแต่ละ window หรือใน window ที่ติดกัน และไม่ควรใช้สารที่อยู่ในกลุ่มเดียวกันใน window ที่ติดกัน การใช้สารแบบหมุนเวียนจะต้องมีการใช้วิธีการอื่นร่วมด้วยในรูปแบบของการบริหารศัตรูพืชหรือ IPM จึงจะสามารถแก้ปัญหาความต้านทานได้

เอกสารอ้างอิง

Bielza P. 2008. Insecticide resistance management strategies against the western flower thrips, *Frankliniella occidentalis*. Pest Manag. Sci. 64: 1131–1138.

Buss, E. A., J. F. Price, E. McCord and C. Nagle. 2007. Managing Insecticide and Miticide Resistance in Florida Landscapes. EDIS, 2007(19).

IRAC (Insecticide Resistance Action Committee). 2008. IRAC guidelines for resistance management of neonicotinoids. [Online]. Available. http://www.irac-online.org (April 27, 2020).

IRAC (Insecticide Resistance Action Committee). 2020. IRAC Mode of Action Classification Scheme. [Online]. Available. http://www.irac-online.org (April 27, 2020).

คำแนะนำการใช้สารแบบหมุนเวียนเพื่อแก้ปัญหาความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงและไรในพืชเศรษฐกิจบางชนิด

บทนำ

การใช้สารแบบหมุนเวียนตามกลุ่มกลไกการออกฤทธิ์ของสารกำจัดแมลงและไรเป็นวิธีที่ง่ายที่สุดในการแก้ปัญหาความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงและไร หลักในการใช้สารแบบหมุนเวียนก็คือการใช้สารกลุ่มใดกลุ่มหนึ่งในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง เช่น ช่วงเวลา 1 ชั่วอายุขัยของแมลงหรือไร แล้วการใช้สารในช่วงเวลาถัดมาจะต้องหลีกเลี่ยงการใช้สารกลุ่มเดิมซ้ำกันกับสารที่ใช้ในช่วงอายุขัยแรก ในขณะนี้มีข้อมูลจากงานวิจัยหลาย ๆ งานที่ทำให้สามารถวางแผนการใช้สารแบบหมุนเวียนเบื้องต้นเพื่อป้องกันและแก้ปัญหาความต้านทานในศัตรูพืชหลายชนิด ได้แก่ หนอนใยผักในพืชตระกูลกะหล่ำ เพลี้ยไฟพริกในพริก กุหลาบพวง มะม่วง มะนาว เพลี้ยไฟฝ้ายในกล้วยไม้สกุลหวาย และไรสองจุดในสตรอว์เบอร์รี

การออกแบบการใช้สารกำจัดแมลงและไรแบบหมุนเวียนกลุ่มกลไกการออกฤทธิ์

การออกแบบการใช้สารกำจัดแมลงหรือไรแบบหมุนเวียนกลุ่มกลไกการออกฤทธิ์ ต้องเข้าใจหลักการใช้สารแบบหมุนเวียนอย่างแม่นยำ กล่าวคือการใช้สารกลุ่มใดกลุ่มหนึ่งในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง เช่น ช่วงเวลา 1 ชั่วอายุขัยของแมลง ใช้สารกลุ่มใดกลุ่มหนึ่งไม่เกิน 3 ครั้ง แล้วในช่วงเวลาถัดมาจะต้องหลีกเลี่ยงการใช้สารกลุ่มเดิมซ้ำกันกับสารที่ใช้ในช่วงอายุขัยแรก นอกจากนั้นต้องมีความรู้และความเข้าใจในหลายศาสตร์ ได้แก่ ความรู้เกี่ยวกับชีววิทยาของแมลง นิเวศวิทยาของแมลง การเจริญเติบโตของพืชชนิดต่างๆ ความรู้เกี่ยวกับกลุ่มกลการออกฤทธิ์ และศิลปะในการออกแบบการใช้สารกำจัดแมลงและไรให้ลงระยะเวลาตามรอบอายุขัยของแมลงและไรศัตรูพืช เพื่อให้มีประสิทธิภาพในการรักษาระดับประชากรให้มีระดับต่ำที่ไม่ก่อให้เกิดความเสียหายทางเศรษฐกิจ โดยมีรายละเอียดต่อไปนี้

1. ต้องทราบสถานการณ์ความต้านทานของแมลงและไรศัตรูพืชต่อสารกำจัดแมลงและไรในแต่ละพื้นที่ เพื่อหลีกเลี่ยงการใช้สารเคมีในกลุ่มหรือชนิดสารกำจัดแมลงและไรที่เกิดความต้านทาน และไม่นำมาใช้ในการออกแบบการใช้สารกำจัดแมลงและไรแบบหมุนเวียนกลุ่มกลไกการออกฤทธิ์กลุ่มกลไกการออกฤทธิ์
2. ต้องทราบวงจรชีวิตของศัตรูพืชเป้าหมายเพื่อใช้กำหนดรอบการพ่นสาร เช่น เพลี้ยไฟมีวงจรชีวิตประมาณ 12-20 วัน ซึ่งวงจรชีวิตของแมลงและไรขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของสภาพแวดล้อม และเพื่อสะดวกต่อการนำไปใช้ในการพ่นสารกำจัดแมลงและไร ดังนั้นจึงกำหนดระยะวงจรชีวิตของเพลี้ยไฟโดยเฉลี่ยที่ 14 วัน หนอนผีเสื้อขนาดกลาง เช่น หนอนกระทู้ หนอนเจาะสมอฝ้าย มีวงจรชีวิตประมาณ 25-40 วัน ระยะเวลาวงจรชีวิตโดยเฉลี่ยคือ 30 วัน เป็นต้น
3. ทราบระยะการเจริญเติบโตของพืชที่ศัตรูพืชเป้าหมายลงทำลาย และช่วงระยะเวลาการเจริญเติบโตเพื่อกำหนดช่วงในการจัดการการใช้สารแบบหมุนเวียนกลุ่มกลไกการออกฤทธิ์ให้มีประสิทธิภาพสามารถรักษาระดับประชากรให้อยู่ในระดับต่ำที่ไม่ก่อให้เกิดความเสียหายทางเศรษฐกิจ เช่น เพลี้ยไฟฝ้ายในกล้วยไม้จะลงทำลายช่อดอก ซึ่งในการปลูกกล้วยไม้สกุลหวายเป็นการค้าจะมีช่อดอกอยู่ในแปลงทั้งปี หรือในกรณีมะม่วงช่วงการระบาดของเพลี้ยไฟพริกจะลงทำลายตั้งแต่ระยะแตกใบอ่อน ระยะดอก จนถึงระยะผลอ่อน

4. ต้องทราบประสิทธิภาพและความยาวนานของประสิทธิภาพสารกำจัดแมลงและไรศัตรูพืช ซึ่งสารแต่ละชนิดในพืชปลูกแต่ละชนิดมีประสิทธิภาพในการควบคุมแมลงและไรศัตรูพืชไม่เท่ากัน เช่น
   - ในกุหลาบพวง สารกลุ่ม 5 spinetoram 12% SC อัตรา 10 และ 20 มล./น้ำ 20 ลิตร มีประสิทธิภาพในการป้องกันกำจัดเพลี้ยไฟได้ 70-85% นาน 10-12 วัน ในขณะที่เพลี้ยไฟพริกในมะม่วง สาร spinetoram 12% SC อัตรา 20 มล./น้ำ 20 ลิตร มีประสิทธิภาพในการป้องกันกำจัด 70-80% นาน 3-10 วัน แต่ที่อัตรา 10 มล./น้ำ 20 ลิตร ประสิทธิภาพในการป้องกันกำจัดเพียง 50-70 % นาน 3-5 วัน
   - ในกล้วยไม้สกุลหวาย สารกลุ่ม 5 spinetoram 12% SC อัตรา 10 และ 15 มล./น้ำ 20 ลิตร มีประสิทธิภาพในการป้องกันกำจัดเพลี้ยไฟฝ้าย 80-92% นาน 7-14 วัน กลุ่ม 13 chlorfenapyr 10% SC อัตรา 30 มล./น้ำ 20 ลิตร มีประสิทธิภาพในการป้องกันกำจัดเพลี้ยไฟฝ้าย 70-95% นาน 10-12 วัน กลุ่ม 28 cyantraniliprole 10% OD อัตรา 40 มล./น้ำ 20 ลิตร มีประสิทธิภาพในการป้องกันกำจัดเพลี้ยไฟฝ้าย 70-80% นาน 7-10 วัน และ กลุ่ม 2 fipronil 5%SC อัตรา 30 และ 50 มล./น้ำ 20 ลิตร มีประสิทธิภาพในการป้องกันกำจัดเพลี้ยไฟฝ้าย 70-80% นาน 7-10 วัน สารกำจัดแมลงที่มีประสิทธิภาพปานกลาง คือ กลุ่ม 6 emamectin benzoate 1.92% EC อัตรา 20 และ 30 กรัม/น้ำ 20 ลิตร มีประสิทธิภาพในการป้องกันกำจัด 70-80% นาน 5 วัน

   นอกจากการคำนึงถึงประสิทธิภาพและความยาวนานของประสิทธิภาพสารกำจัดแมลงและไรแล้ว ต้นทุนการพ่นสารเป็นอีกปัจจัยที่ต้องคำนึงถึง จากการทำงานวิจัยพบว่าสารที่มีประสิทธิภาพดีมักมีต้นทุนการพ่นสารค่อนข้างสูง ดังนั้นต้องคำนึงถึงต้นทุนการพ่นสารให้สอดคล้องกับราคาผลผลิตของพืชปลูกด้วย เพราะหากสารเคมีที่นำมาให้มีราคาสูงเกินไป อาจเป็นการเพิ่มต้นทุนให้แก่เกษตรกร และอาจทำให้เกษตรกรไม่เลือกสารเคมีชนิดนั้นมาใช้ในการหมุนเวียนกลุ่มสารเคมี

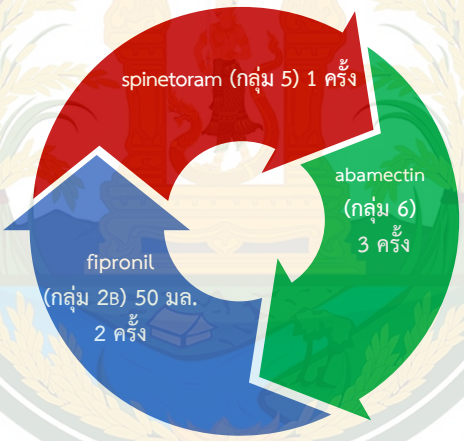
5. การออกแบบการใช้สารกำจัดแมลงและไรแบบหมุนเวียนกลุ่มกลไกการออกฤทธิ์ ผู้ออกแบบต้องเข้าใจหลักการใช้สารแบบหมุนเวียนอย่างแม่นยำ กล่าวคือการใช้สารกลุ่มใดกลุ่มหนึ่งในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง เช่น ช่วงเวลา 1 ชั่วอายุขัยของแมลง ใช้สารกลุ่มใดกลุ่มหนึ่งไม่เกิน 3 ครั้ง โดยพิจารณาสารที่มีประสิทธิภาพระดับต่างๆ ซึ่งสามารถดูจากเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพ มากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป โดยพิจารณาข้อมูลความยาวนานในการป้องกันกำจัด และต้นทุนการพ่นสาร นอกจากการเลือกใช้สารกลุ่มต่างๆ ที่มีประสิทธิภาพสูงในการหมุนเวียนฯ แล้วสารที่มีประสิทธิภาพปานกลาง-ต่ำก็สามารถนำมาใช้ในระบบการหมุนเวียนได้ โดยที่จะต้องใช้สารที่มีประสิทธิภาพปานกลาง-ต่ำตามหลังกลุ่มสารที่มีประสิทธิภาพสูงในช่วงเวลาที่เหมาะสม (ศรีจำนรรจ์ และคณะ 2562)

6. ควรออกแบบการหมุนเวียนกลุ่มสารตามกลไกการออกฤทธิ์หลาย ๆ แบบ แล้วลองนำมาทดสอบผลในการป้องกันกำจัดในสภาพแปลง เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้สารแบบหมุนเวียนแบบต่าง ๆ ในการรักษาระดับประชากรศัตรูพืชให้อยู่ในระดับต่ำที่ไม่ก่อให้เกิดความเสียหายทางเศรษฐกิจ และเปรียบเทียบต้นทุนการพ่นสารรูปแบบต่าง ๆ

<u>ตัวอย่างการออกแบบการใช้สารกำจัดแมลงแบบหมุนเวียนกลุ่มกลไกการออกฤทธิ์เพื่อป้องกันกำจัดเพลี้ยไฟฝ้ายในกล้วยไม้สกุลหวาย</u> : รอบอายุขัยของเพลี้ยไฟฝ้ายประมาณ 14 วัน

- สารกลุ่ม 5 spinetoram 12% SC อัตรา 10 และ 15 มล./น้ำ 20 ลิตร มีประสิทธิภาพดีสุดในการป้องกันกำจัด 80-92% นาน 7-14 วัน แต่เมื่อดูรายละเอียดประสิทธิภาพในสภาพแปลงในแต่ละพื้นที่ พบว่าที่ อ.เมืองนครปฐม จ.นครปฐม สาร spinetoram 12% SC อัตรา 10 และ 15 มล./น้ำ 20 ลิตร มีประสิทธิภาพ 82-84% นาน 14 วัน ในขณะที่แปลง อ.ลาดหลุมแก้ว จ.ปทุมธานี มีประสิทธิภาพ 85-93% นานเพียง 7 วัน หากต้องการออกแบบให้พ่น 1 ครั้งต่อรอบอายุขัยของเพลี้ยไฟฝ้ายอาจต้องพ่นในอัตราที่ 20 มล./น้ำ 20 ลิตร เพื่อลดจำนวนครั้งในการพ่น
- สารกลุ่ม 2A fipronil 5% SC อัตรา 50 มล./น้ำ 20 ลิตร มีประสิทธิภาพดีในการป้องกันกำจัด 70-80% นาน 7-12 วัน ในการออกแบบการใช้สารกำจัดแมลงควรเลือกพ่นทุก 7 วัน
- สารกลุ่ม 6 abamectin 1.8% EC อัตรา 50 มล./น้ำ 20 ลิตร ซึ่งมีประสิทธิภาพปานกลาง-ต่ำ 50-70% นาน 5 วันในสองแปลงทดสอบ ในการออกแบบการใช้สารกำจัดแมลงควรเลือกที่ 5 วัน นอกจากนั้นสารชนิดนี้มีต้นทุนการพ่นสารที่ต่ำอีกด้วย

จากข้อมูลที่กล่าวมาสามารถนำมาออกแบบได้ดังนี้



<u>การออกแบบการใช้สารกำจัดแมลงแบบหมุนเวียนกลุ่มกลไกการออกฤทธิ์เพื่อป้องกันกำจัดหนอนผีเสื้อศัตรูพืช</u>:

กรณีหนอนผีเสื้อศัตรูพืช เนื่องจากหนอนผีเสื้อขนาดกลางบางชนิด เช่น หนอนกระทู้ หรือหนอนเจาะสมอฝ้าย มีชั่วอายุขัยประมาณ 30 วัน ในการออกแบบการหมุนเวียนกลุ่มกลไกการออกฤทธิ์ ใน 1 รอบอายุขัยอาจต้องใช้สาร 2-3 กลุ่มกลไกการออกฤทธิ์ ฉะนั้นการใช้กลุ่มสารในช่วงเวลาถัดมาจะต้องหลีกเลี่ยงการใช้สารกลุ่มเดิมซ้ำกันกับสารที่ใช้ในช่วงอายุขัยแรก (ดูรายละเอียดคำแนะนำการหมุนเวียนกลุ่มกลไกการออกฤทธิ์เพื่อป้องกันกำจัดในหนอนใยผักในกะหล่ำปลีได้ที่หน้า 106)

<u>การออกแบบการใช้สารกำจัดแมลงแบบหมุนเวียนกลุ่มกลไกการออกฤทธิ์เพื่อป้องกันกำจัดไรศัตรูพืช</u>:

ไรศัตรูพืชมีชั่วอายุขัยค่อนข้างสั้น โดยไรแดงและไรขาวประมาณ 14 วัน ไรสี่ขาประมาณ 12 วัน และสารกำจัดไรชนิดที่มีระยะเวลาของประสิทธิภาพสารนานกว่าชั่วอายุขัยของไรศัตรูพืชเป้าหมายในการออกแบบการใช้สารแบบหมุนเวียนกลุ่มกลไกการออกฤทธิ์นั้นสามารถใช้ชนิดของสารกำจัดไรนั้นเพียง 1 ครั้งในแต่ละรอบการหมุนเวียนสารได้เลย ยกเว้นสารกำจัดไรที่มีระยะเวลาของประสิทธิภาพสารสั้นกว่าชั่วอายุขัย

ของไรศัตรูพืชเป้าหมาย ควรกำหนดช่วงพ่นให้เหมาะสมในแต่ละรอบอายุขัยของไรชนิดนั้น (ดูรายละเอียดคำแนะนำการหมุนเวียนกลุ่มกลไกการออกฤทธิ์เพื่อป้องกันกำจัดไรสองจุดในสตรอว์เบอร์รีได้ที่หน้า 112)

การออกแบบการใช้สารกำจัดแมลงแบบหมุนเวียนกลุ่มกลไกการออกฤทธิ์เพื่อป้องกันกำจัดแมลงและไรศัตรูพืชให้มีประสิทธิภาพนั้น ควรออกแบบหลายรูปแบบจากนั้นนำมาทดสอบประสิทธิภาพในการป้องกันกำจัดในสภาพแปลงปลูก โดยดูการรักษาระดับประชากรศัตรูพืชให้อยู่ในระดับต่ำที่ไม่ก่อให้เกิดความเสียหายทางเศรษฐกิจ และต้นทุนการพ่นสาร

คำแนะนำการใช้สารกำจัดแมลงและไรแบบหมุนเวียนกลุ่มกลไกการออกฤทธิ์ในเอกสารฉบับนี้ได้มาจากผลงานวิจัย เกษตรกรหรือนักวิชาการที่สนใจ สามารถนำคำแนะนำในเอกสารนี้ไปประยุกต์ใช้ในสภาพแปลงปลูกของตนเอง โดยอาจนำสารกำจัดแมลงที่มีประสิทธิภาพในแปลงมาแทนสารกำจัดแมลงที่แนะนำได้ โดยยึดหลักสารกำจัดแมลงและไรชนิดแรกในการหมุนเวียนควรมีประสิทธิภาพดีที่สุด เพื่อลดประชากรศัตรูพืชให้ได้มากที่สุด ตามด้วยสารกำจัดแมลงและไรที่มีประสิทธิภาพการป้องกันกำจัดมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ เพื่อรักษาระดับประชากรให้ต่ำตลอดช่วงการระบาด ในช่วงพ่นที่มีประสิทธิภาพ (ความยาวนานของประสิทธิภาพสารกำจัดแมลงและไร) ซึ่งก็จะได้รูปแบบการใช้สารกำจัดแมลงหรือไรแบบหมุนเวียนกลุ่มกลไกการออกฤทธิ์ที่เหมาะสมกับสภาพแปลงปลูกของตนเอง

คำแนะนำการใช้สารกำจัดแมลงแบบหมุนเวียนกลุ่มกลไกการออกฤทธิ์เพื่อป้องกันกำจัดหนอนใยผักในกะหล่ำปลี

ระยะกล้า	อายุ 10 วัน หลังย้ายกล้า	อายุ 15 วัน หลังย้ายกล้า	อายุ 20 วัน หลังย้ายกล้า	อายุ 25 วัน หลังย้ายกล้า	อายุ 30 วัน หลังย้ายกล้า	อายุ 35 วัน หลังย้ายกล้า	อายุ 40 วัน หลังย้ายกล้า	อายุ 45 วัน หลังย้ายกล้า	อายุ 50 วัน หลังย้ายกล้า	อายุ 55 วัน หลังย้ายกล้า	ระยะเก็บเกี่ยว 65-70 วัน
รูปแบบที่ 1 พ่น spinetoram12% SC (กลุ่ม 5) หรือ tolfenpyrad 16% EC (กลุ่ม 21A) อัตรา 40 มล./น้ำ 20 ลิตร 1 ครั้ง	พ่น fipronil 5%SC (กลุ่ม 2B) อัตรา 80 มล./น้ำ 20 ลิตร	พ่น fipronil 5%SC (กลุ่ม 2B) อัตรา 80 มล./น้ำ 20 ลิตร	พ่น indoxacarb 15%EC (กลุ่ม 22A) อัตรา 40-60 มล./น้ำ 20 ลิตร	พ่น indoxacarb 15%EC (กลุ่ม 22A) อัตรา 40-60 มล./น้ำ 20 ลิตร	พ่น spinetoram 12% SC (กลุ่ม 5) อัตรา 40 -60 มล./น้ำ 20 ลิตร	พ่น spinetoram 12% SC (กลุ่ม 5) อัตรา 40 -60 มล./น้ำ 20 ลิตร	พ่น chlorfenapyr 10% SC (กลุ่ม 13) อัตรา 40 -60 มล./น้ำ 20 ลิตร	พ่น chlorfenapyr 10% SC (กลุ่ม 13) อัตรา 40 -60 มล./น้ำ 20 ลิตร	พ่น Bt (กลุ่ม 11A) อัตรา 40 -60 มล./น้ำ 20 ลิตร	พ่น Bt (กลุ่ม 11A) อัตรา 40 -60 มล./น้ำ 20 ลิตร	
รูปแบบที่ 2 พ่น spinetoram12% SC (กลุ่ม 5) หรือ tolfenpyrad 16% EC (กลุ่ม 21A) อัตรา 40 มล./น้ำ 20 ลิตร 1 ครั้ง	พ่น fipronil 5%SC (กลุ่ม 2B) อัตรา 80 มล./น้ำ 20 ลิตร	พ่น fipronil 5%SC (กลุ่ม 2B) อัตรา 80 มล./น้ำ 20 ลิตร	พ่น indoxacarb 15%EC (กลุ่ม 22A) อัตรา 40-60 มล./น้ำ 20 ลิตร	พ่น indoxacarb 15%EC (กลุ่ม 22A) อัตรา 40-60 มล./น้ำ 20 ลิตร	พ่น tolfenpyrad 16% EC (กลุ่ม 21A) อัตรา 40 -60 มล./น้ำ 20 ลิตร	พ่น tolfenpyrad 16% EC (กลุ่ม 21A) อัตรา 40 -60 มล./น้ำ 20 ลิตร	พ่น chlorfenapyr 10% SC (กลุ่ม 13) อัตรา 40 -60 มล./น้ำ 20 ลิตร	พ่น chlorfenapyr 10% SC (กลุ่ม 13) อัตรา 40 -60 มล./น้ำ 20 ลิตร	พ่น Bt (กลุ่ม 11A) อัตรา 40 -60 มล./น้ำ 20 ลิตร	พ่น Bt (กลุ่ม 11A) อัตรา 40 -60 มล./น้ำ 20 ลิตร	
					ระยะวิกฤต						
	ระยะก่อนเข้าปลี ET หนอนใยผัก 3 ตัว/ต้น					ระยะเข้าปลี ET หนอนใยผัก 5 ตัว/ต้น					

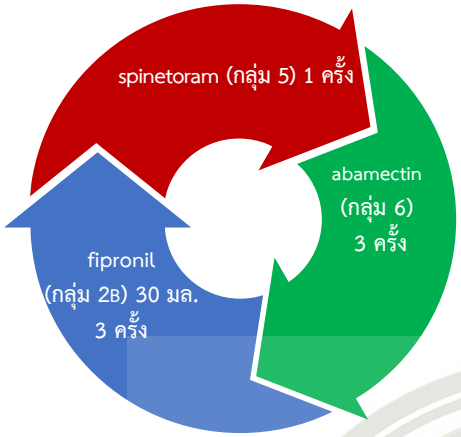
(ที่มา : สมศักดิ์และสุภราดา, 2563)

คำแนะนำการใช้สารกำจัดแมลงแบบหมุนเวียนกลุ่มกลไกการออกฤทธิ์เพื่อป้องกันกำจัดเพลี้ยไฟพริกในพริก

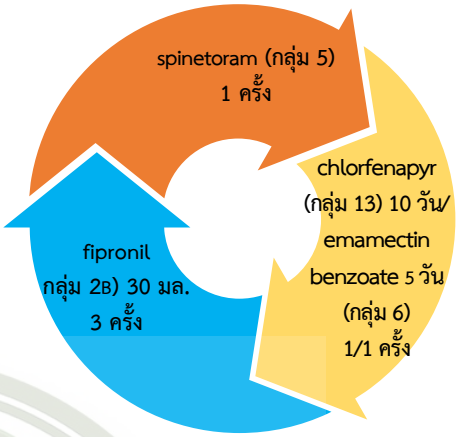
ระยะกล้า	อายุ 14 วัน หลังย้ายกล้า	อายุ 21 วัน หลังย้ายกล้า	อายุ 28 วัน หลังย้ายกล้า	อายุ 35 วัน หลังย้ายกล้า	อายุ 42 วัน หลังย้ายกล้า	อายุ 49 วัน หลังย้ายกล้า	อายุ 56 วัน หลังย้ายกล้า	อายุ 63 วัน หลังย้ายกล้า	อายุ 70 วัน หลังย้ายกล้า	ระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต
พ่น spinetoram 12% SC (กลุ่ม 5) อัตรา 30 มล./น้ำ 20 ลิตร 1 ครั้ง	พ่น emamectin benzoate 1.92%EC (กลุ่ม 6) อัตรา 30 มล./น้ำ 20 ลิตร	พ่น fipronil 5%SC (กลุ่ม 2B) อัตรา 40 มล./น้ำ 20 ลิตร	พ่น fipronil 5%SC (กลุ่ม 2B) อัตรา 40 มล./น้ำ 20 ลิตร	พ่น spinetoram 12% SC (กลุ่ม 5) อัตรา 30 มล./น้ำ 20 ลิตร	พ่น spinetoram 12% SC (กลุ่ม 5) อัตรา 30 มล./น้ำ 20 ลิตร	พ่น chlorfenapyr 10% SC (กลุ่ม 13) อัตรา 40 มล./น้ำ 20 ลิตร	พ่น chlorfenapyr 10% SC (กลุ่ม 13) อัตรา 40 มล./น้ำ 20 ลิตร	พ่น cyantraniliprole 10%OD (กลุ่ม 28) อัตรา 40 มล./น้ำ 20 ลิตร	พ่น cyantraniliprole 10%OD (กลุ่ม 28) อัตรา 40 มล./น้ำ 20 ลิตร	
	ช่วงระยะเจริญเติบโตทางลำต้น			ช่วงออกดอก ติดผล (หลังออกดอก 30-40 วัน)						
เพลี้ยไฟ ET 5 ตัว/ยอด										

(ที่มา : สมศักดิ์และสุภราดา, 2564)

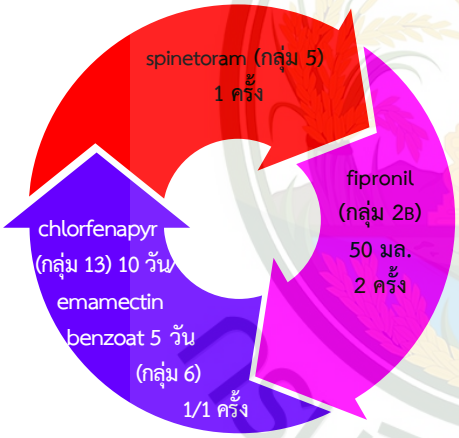
คำแนะนำการใช้สารกำจัดแมลงแบบหมุนเวียนกลุ่มกลไกการออกฤทธิ์เพื่อป้องกันกำจัดเพลี้ยไฟฝ้ายในกล้วยไม้สกุลหวาย



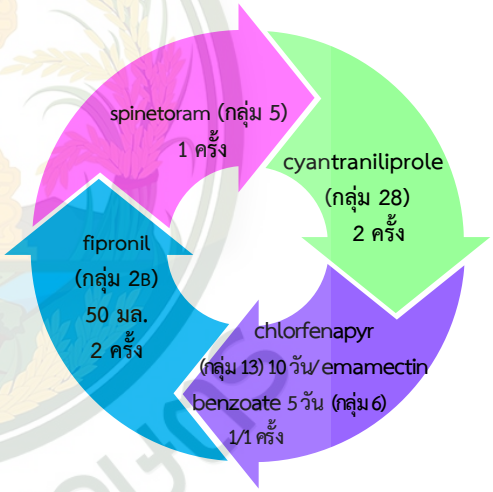
ต้นทุนการพ่นสาร 466 บาท/ไร่/วงจรชีวิต



ต้นทุนการพ่นสาร 624 บาท/ไร่/วงจรชีวิต



ต้นทุนการพ่นสาร 636 บาท/ไร่/วงจรชีวิต



ต้นทุนการพ่นสาร 933 บาท/ไร่/วงจรชีวิต

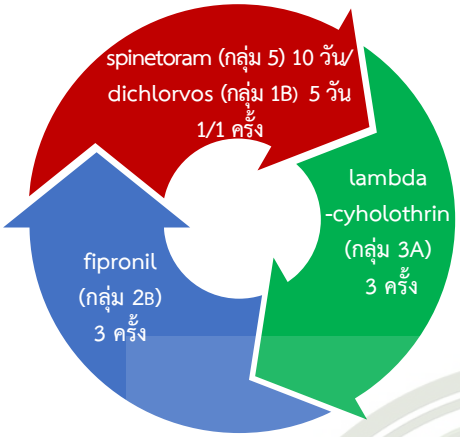
หมายเหตุ : 1 ลูกศร = 1 รอบวงจรชีวิต (14 วัน)

spinetoram 12% SC	20 มล./น้ำ 20 ลิตร	cyantraniliprole 10%OD	40 มล./น้ำ 20 ลิตร
chlorfenapyr 10% SC	30 มล./น้ำ 20 ลิตร	emamectin benzoate 1.92% EC	20 มล./น้ำ 20 ลิตร
fipronil 5% SC	30, 50 มล./น้ำ 20 ลิตร		

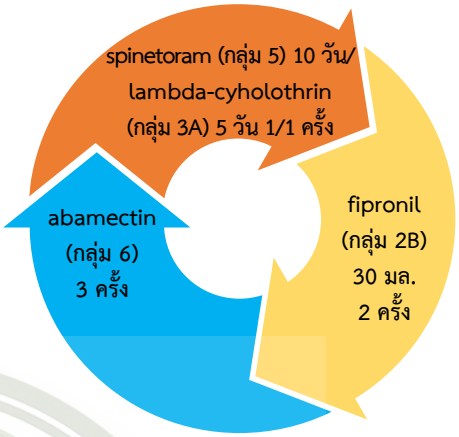
อัตราน้ำ 120 ลิตร/ไร่

(ที่มา : ศรีจำนรรจ์และคณะ, 2562)

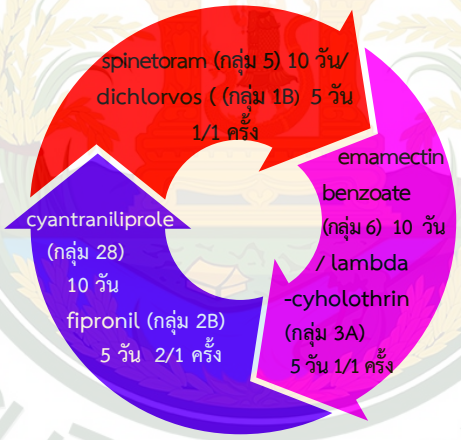
คำแนะนำการใช้สารกำจัดแมลงแบบหมุนเวียนกลุ่มกลไกการออกฤทธิ์เพื่อป้องกันกำจัดเพลี้ยไฟพริกในกุหลาบพวง



ต้นทุนการพ่นสาร 391บาท/ไร่/วงจรชีวิต



ต้นทุนการพ่นสาร 450 บาท/ไร่/วงจรชีวิต



ต้นทุนการพ่นสาร 636 บาท/ไร่/วงจรชีวิต

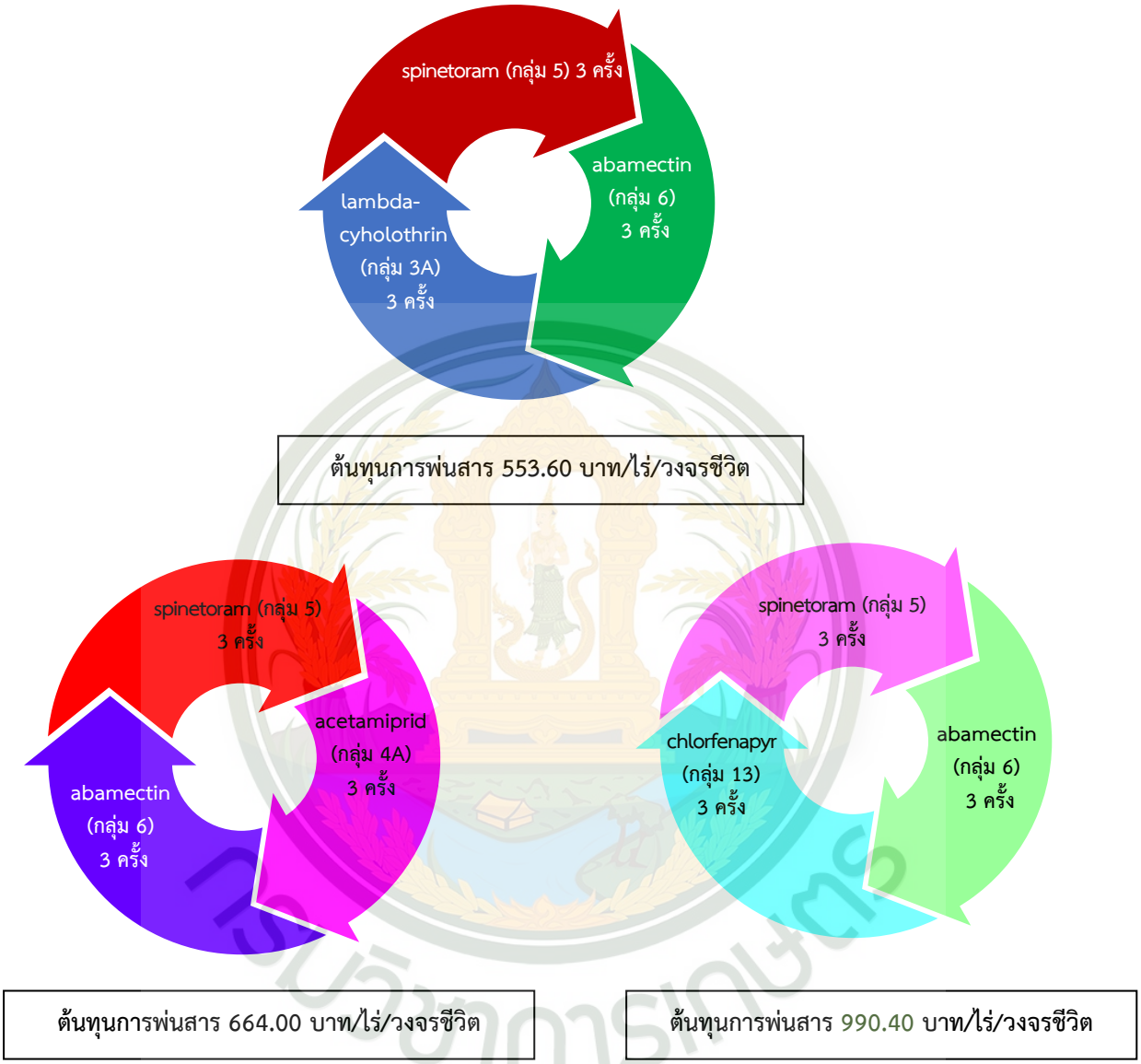
หมายเหตุ : 1 ลูกศร = 1 รอบวงจรชีวิต (14 วัน)

spinetoram 12% SC	20 มล./น้ำ 20 ลิตร	cyantraniliprole 10%OD	40 มล./น้ำ 20 ลิตร
emamectin benzoate 1.92% EC	20 มล./น้ำ 20 ลิตร	fipronil 5% SC	30 มล./น้ำ 20 ลิตร
dichlorvos 50%EC	30 มล./น้ำ 20 ลิตร	abamectin 1.8%EC	50 มล./น้ำ 20 ลิตร
lambda-cyhalothrin 2.5% CS	40 มล./น้ำ 20 ลิตร		

อัตราน้ำ 120 ลิตร/ไร่

(ที่มา : ศรีจำนรรจ์และคณะ, 2564)

คำแนะนำการใช้สารกำจัดแมลงแบบหมุนเวียนกลุ่มกลไกการออกฤทธิ์เพื่อป้องกันกำจัดเพลี้ยไฟพริกในมะม่วง



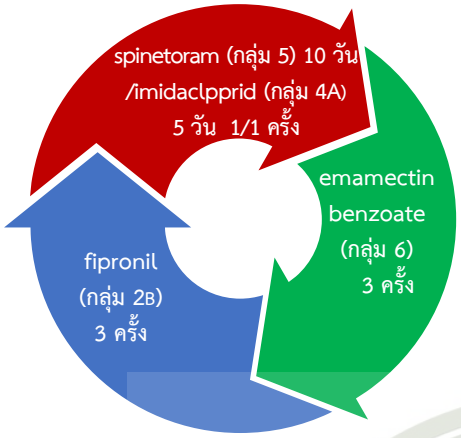
หมายเหตุ : 1 ลูกศร = 1 รอบวงจรชีวิต (14 วัน)

spinetoram 12% SC	20 มล./น้ำ 20 ลิตร	chlorfenapyr 10% SC	30 มล./น้ำ 20 ลิตร
abamectin 1.8% EC	50 มล./น้ำ 20 ลิตร	acetamiprid 5% SC	20 ก./น้ำ 20 ลิตร
cyantraniliprole 10%OD	40 มล./น้ำ 20 ลิตร	lambda-cyhalothrin 2.5% CS	20 มล./น้ำ 20 ลิตร

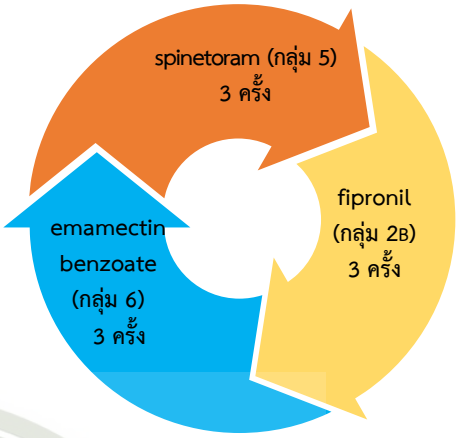
อัตราน้ำ 80 ลิตร/ไร่ (ปลูกแถวคู่ มีร่องน้ำ จำนวน 80 ต้น/ไร่)

(ที่มา : ศรีจำนรรจ์และคณะ, 2565)

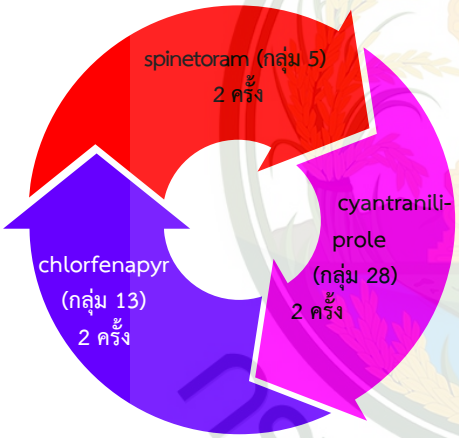
คำแนะนำการใช้สารกำจัดแมลงแบบหมุนเวียนกลุ่มกลไกการออกฤทธิ์เพื่อป้องกันกำจัดเพลี้ยไฟพริกในมะนาว



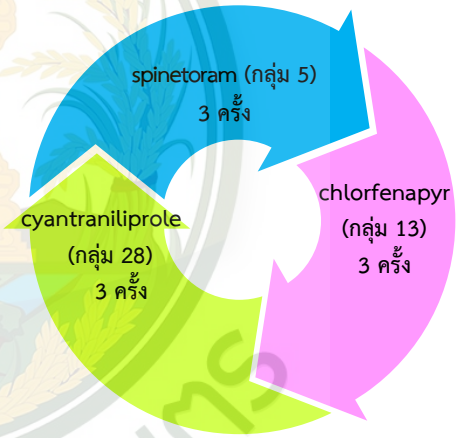
ต้นทุนการพ่นสาร 1,340 บาท/ไร่/วงจรชีวิต



ต้นทุนการพ่นสาร 1,920 บาท/ไร่/วงจรชีวิต



ต้นทุนการพ่นสาร 2,730 บาท/ไร่/วงจรชีวิต



ต้นทุนการพ่นสาร 4,090 บาท/ไร่/วงจรชีวิต

หมายเหตุ : 1 ลูกศร = 1 รอบวงจรชีวิต (14 วัน)

spinetoram 12% SC	20 มล./น้ำ 20 ลิตร	cyantraniliprole 10%OD	40 มล./น้ำ 20 ลิตร
chlorfenapyr 10% SC	30 มล./น้ำ 20 ลิตร	imidacloprid 70% WG	15 ก./น้ำ 20 ลิตร
emamectin benzoate 1.92% EC	20 มล./น้ำ 20 ลิตร	fipronil 5% SC	40 มล./น้ำ 20 ลิตร

อัตราน้ำ 150 ลิตร/ไร่ (จำนวน 100 ต้น/ไร่)

(ที่มา : สุภราดาและคณะ, 2564)

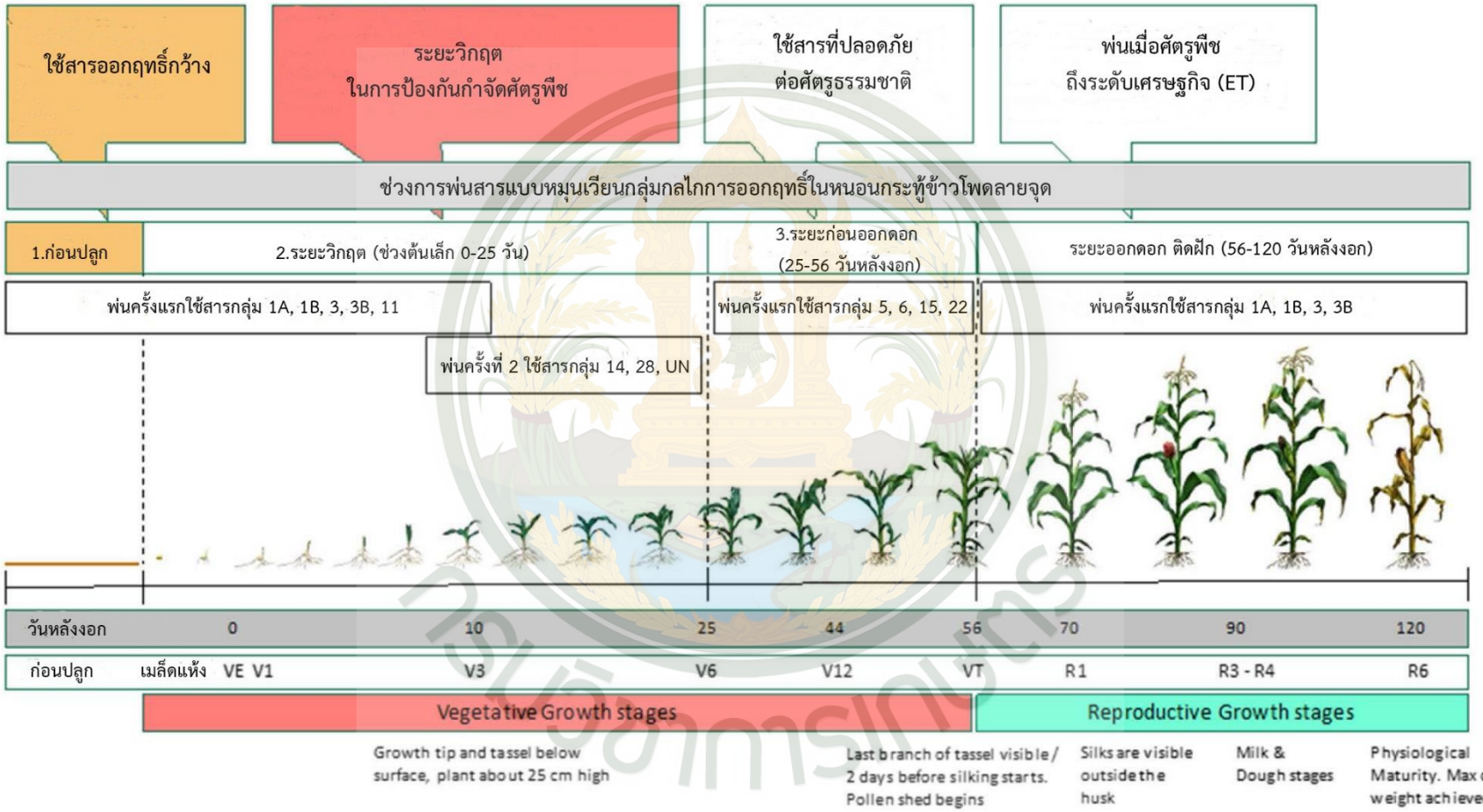
คำแนะนำการใช้สารกำจัดไรแบบหมุนเวียนกลุ่มกลไกการออกฤทธิ์เพื่อป้องกันกำจัดไรสองจุดในสตรอว์เบอร์รี

การพ่นสารแบบหมุนเวียน	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 4	สัปดาห์ที่ 5	สัปดาห์ที่ 6	สัปดาห์ที่ 7	สัปดาห์ที่ 8	ต้นทุนการพ่นสาร/ไร่ (บาท)
รูปแบบที่ 1	bifenazate 48%SD (กลุ่ม 20D) อัตรา 5 มล./น้ำ 20 ลิตร			cyflumetofen 20%SC (กลุ่ม 25A) อัตรา 8 มล./น้ำ 20 ลิตร			tebufenpyrad 30%EC (กลุ่ม 21A) อัตรา 3 มล./น้ำ 20 ลิตร		1,344
รูปแบบที่ 2	cyflumetofen 20%SC (กลุ่ม 25A) อัตรา 8 มล./น้ำ 20 ลิตร			spiromesifen 24% SC (กลุ่ม 23) อัตรา 8 มล./น้ำ 20 ลิตร			hexythiazox 1.8 % EC (กลุ่ม 10A) อัตรา 40 มล./น้ำ 20 ลิตร	hexythiazox 1.8 % EC (กลุ่ม 10A) อัตรา 40 มล./น้ำ 20 ลิตร	660
รูปแบบที่ 3	cyflumetofen 20%SC (กลุ่ม 25A) อัตรา 8 มล./น้ำ 20 ลิตร			spiromesifen 24% SC (กลุ่ม 23) อัตรา 8 มล./น้ำ 20 ลิตร			fenpyroximate 5% SC (กลุ่ม 21A) อัตรา 20 มล./น้ำ 20 ลิตร		660
รูปแบบที่ 4	cyflumetofen 20%SC (กลุ่ม 25A) อัตรา 8 มล./น้ำ 20 ลิตร			fenpyroximate 5% SC (กลุ่ม 21A) อัตรา 20 มล./น้ำ 20 ลิตร		hexythiazox 1.8 % EC (กลุ่ม 10A) อัตรา 40 มล./น้ำ 20 ลิตร	hexythiazox 1.8 % EC (กลุ่ม 10A) อัตรา 40 มล./น้ำ 20 ลิตร	cyflumetofen 20%SC (กลุ่ม 25A) อัตรา 8 มล./น้ำ 20 ลิตร	420

อัตราน้ำ 120 ลิตร/ไร่

(ที่มา : ณพชรกรและคณะ, 2564)

ตัวอย่างการใช้สารกำจัดแมลงแบบหมุนเวียนในหนอนกระทู้ข้าวโพดลายจุดในข้าวโพดในต่างประเทศ



ที่มา : www.IRAC-online.org ปรับปรุง : สุภราดา สุคนธาภิรมย์ ณ พัทลุง

บทสรุป

แผนการใช้สารกำจัดแมลงและสารกำจัดไรแบบหมุนเวียนในศัตรูพืช เช่น หนอนใยผักในพืชตระกูลกะหล่ำ เพลี้ยไฟพริกในพริก กุหลาบ มะม่วง มะนาว เพลี้ยไฟฝ้ายในกล้วยไม้สกุลหวาย และไรสองจุดในสตรอว์เบอร์รี ที่แสดงนี้เป็นตัวอย่างที่ได้ทำการทดสอบแล้วว่ามีประสิทธิภาพดีในการป้องกันกำจัดศัตรูพืชดังกล่าว อย่างไรก็ตามศัตรูพืชในแต่ละพื้นที่หรือในแต่ละฤดู อาจมีความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงหรือสารกำจัดไรชนิดต่าง ๆ แตกต่างกัน ดังนั้นการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงแผนการใช้สารกำจัดแมลงหรือสารกำจัดไรให้มีความเหมาะสมมากที่สุดในพื้นที่นั้น ๆ เช่น ใช้สารกำจัดแมลงชนิดหรือกลุ่มสารที่มีประสิทธิภาพในพื้นที่นั้น ๆ มากที่สุดจะทำให้การจัดการความต้านทานต่อแมลงศัตรูพืชโดยการใช้สารกำจัดแมลงแบบหมุนเวียนเพื่อแก้ปัญหาความต้านทานประสบผลสำเร็จ

เอกสารอ้างอิง

ณพชรกร ธไภษัชย์ อัจฉราภรณ์ ประเสริฐผล พลอยชมพู กรวิภาสเรือง อทิติยา แก้วประดิษฐ์ วิมลวรรณ โชติวงศ์. 2564. ความต้านทานและการจัดการสารกำจัดไร ในไรสองจุด *Tetranychus urticae Koch* ในสตรอว์เบอร์รี . *ใน* ผลงานวิจัย ประจำปี 2563. สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (อยู่ระหว่างการตีพิมพ์)

ศรีจำนรรจ์ ศรีจันทรา สุภราดา สุคนธาภิรมย์ ณ พัทลุง และสมศักดิ์ ศิริพลตั้งมั่น. 2562. รูปแบบการใช้สารกำจัดแมลงแบบหมุนเวียนกลุ่มกลไกการออกฤทธิ์เพื่อป้องกันกำจัดเพลี้ยไฟเมล่อน (*Thrips palmi* Karny) ในกล้วยไม้สกุลหวาย. หน้า 94-107. *ใน* ผลงานวิจัยเรื่องเต็ม : Full paper. การประชุมวิชาการอารักขาพืชแห่งชาติ ครั้งที่ 14, 12-14 พฤศจิกายน 2562 โรงแรมดุสิตธานี หัวหิน อำเภอชะอำ จ.เพชรบุรี.

ศรีจำนรรจ์ ศรีจันทรา สุภราดา สุคนธาภิรมย์ ณ พัทลุง และสมศักดิ์ ศิริพลตั้งมั่น. 2564. การจัดการสารฆ่าแมลงในการป้องกันกำจัดเพลี้ยไฟพริก (*Scirtothrips dorsalis* Hood) ในกุหลาบพวง. *ใน* ผลงานวิจัยประจำปี 2563. สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (อยู่ระหว่างการตีพิมพ์)

ศรีจำนรรจ์ ศรีจันทรา สราญจิต ไกรฤกษ์ สุภราดา สุคนธาภิรมย์ ณ พัทลุง และสมศักดิ์ ศิริพลตั้งมั่น. 2565. การจัดการสารกำจัดแมลงแบบหมุนเวียนตามกลุ่มกลไกการออกฤทธิ์เพื่อป้องกันกำจัดเพลี้ยไฟในมะม่วง. *ใน* ผลงานวิจัย ประจำปี 2564. สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (รอการตีพิมพ์)

สมศักดิ์ ศิริพลตั้งมั่น และสุภราดา สุคนธาภิรมย์ ณ พัทลุง. 2564. การจัดการสลับใช้สารกำจัดแมลงกลุ่มต่างๆ *ใน* การป้องกันกำจัดเพลี้ยไฟพริก *Scirtothrips dorsalis* Hood ในพริก. ใน ผลงานวิจัยประจำปี 2563. สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (อยู่ระหว่างการตีพิมพ์)

สมศักดิ์ ศิริพลตั้งมั่น และสุภราดา สุคนธาภิรมย์ ณ พัทลุง. 2563. รูปแบบการใช้สารกำจัดแมลงโดยการหมุนเวียนกลุ่มสารตามกลไกออกฤทธิ์เพื่อป้องกันกำจัดหนอนใยผักในกะหล่ำปลี. หน้า 10-24. *ใน* ผลงานวิจัยประจำปี 2562. สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

สุภราดา สุคนธาภิรมย์ ณ พัทลุง ศรีจำนรรจ์ ศรีจันทรา และสมศักดิ์ ศิริพลตั้งมั่น. 2564. การจัดการสารฆ่าแมลงในการป้องกันกำจัดเพลี้ยไฟพริก *Scirtothrips dorsalis* Hood ในมะนาว. *ใน* ผลงานวิจัยประจำปี 2563. สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (อยู่ระหว่างการตีพิมพ์)

IRAC. 2019. Integrated Pest Management (IPM) & Insect Resistance Management (IRM) for Fall Armyworm in South African Maize.. [Online]. Available. http://www.irac-online.org (April 8, 2021).

ภาคผนวก

ตารางภาคผนวกที่ 1 ความต้านทานต่อสารกำจัดแมลง spinosad (กลุ่ม 5) ในหนอนใยผักจากพื้นที่ต่างๆ ของประเทศไทยในช่วงปี พ.ศ. 2555-2557

Population	Date	G [1/]	N [2/]	Slope ± SE	LC_{50} (ppm)	95% CI [3/] (ppm)	RF [4/]	Resistance Level [5/]
Chom Thong-1	Apr. 2013	F2	210	1.57 ± 0.33	0.34	0.23 – 0.53	0.8	N
Chom Thong-2	Mar. 2014	F3	350	1.34 ± 0.23	0.43	0.24 – 1.56	1.0	N
Mae Rim	Apr. 2012	F2	360	1.85 ± 0.19	1.64	0.39 – 3.79	3.8	VL
Sarapee	May 2014	F1	240	1.50 ± 0.23	11.58	5.45 – 23.41	26.9	M
Tub Berk	Apr. 2012	F2	120	2.18 ± 0.42	0.83	0.50 – 1.17	1.9	VL
Mae Sod	Mar. 2014	F2	300	1.54 ± 0.19	3.01	2.17 – 4.08	7.0	VL
Pak Chong	Jan. 2013	F1	320	0.90 ± 0.23	13.13	5.00 – 21.44	30.5	M
Muang Pathum Thani	Jan. 2014	F1	180	2.28 ± 0.44	13.66	10.34 – 18.59	31.8	M
Sai Noi-1	May 2012	F1	500	2.00 ± 0.22	15.37	12.50 – 18.39	35.7	M
Sai Noi-1	Mar. 2014	F1	210	2.30 ± 0.35	4.99	3.74 – 6.40	11.6	L
Sai Noi-2	Mar. 2013	F2	300	1.59 ± 0.29	11.52	8.15 – 16.79	26.8	M
Cha-am	Sep. 2012	F1	280	1.83 ± 0.25	17.82	13.93 – 23.13	41.4	M
Cha-am	Oct. 2013	F2	210	1.62 ± 0.32	14.19	8.04 – 20.46	33.0	M
Cha-am	Dec. 2013	F1	210	2.06 ± 0.32	19.96	10.56 - 47.18	46.4	M
Si Prachan	Oct. 2012	F2	280	1.11 ± 0.22	97.66	62.45 – 143.58	227.1	VH
Tha Muang-1	Jan. 2012	F1	360	1.37 ± 0.18	9.34	6.30 – 12.96	21.7	M
Tha Muang-2	Mar. 2013	F1	210	1.37 ± 0.30	19.71	12.56 – 31.83	45.8	M

[1/] Generation tested.

[2/] Number of insects tested including control.

[3/] 95% confidence interval.

[4/] Resistance factor comparing with Chom Thong-2, practically susceptible population.

[5/] Resistance level was classified as N (none, RF≤1), VL (very low, RF=>1-10), L (low, RF=>10-20), M (moderate, RF=>20-50), H (high, RF=>50-100) and VH (very high, RF>100).

ตารางภาคผนวกที่ 2 ความต้านทานต่อสารกำจัดแมลง spinetoram (กลุ่ม 5) ในหนอนใยผักจากพื้นที่ต่างๆ ของประเทศไทยในช่วงปี พ.ศ. 2555-2557

Population	Date	G [1/]	N [2/]	Slope ± SE	LC_{50} (ppm)	95% CI [3/] (ppm)	RF [4/]	Resistance Level [5/]
Chom Thong-1	Apr. 2013	F2	210	1.06 ± 0.34	0.13	0.07 – 1.14	1.2	VL
Chom Thong-2	Mar. 2014	F3	230	1.82 ± 0.34	0.11	0.08 – 0.16	1.0	N
Mae Rim	Apr. 2012	F2	360	2.55 ± 0.27	0.098	0.053 - 0.16	0.9	N
Sarapee	May 2014	F1	210	1.53 ± 0.30	1.64	1.04 – 2.38	14.9	L
Mae Sod	Mar. 2014	F2	270	1.41 ± 0.20	1.20	0.84 – 1.67	10.9	L
Pak Chong	Jan. 2013	F1	380	1.38 ± 0.22	4.90	3.65 – 6.61	44.5	M
Muang Pathum Thani	Jan. 2014	F1	180	1.15 ± 0.36	4.04	1.78 – 6.64	36.7	M
Sai Noi-1	May 2012	F1	400	1.57 ± 0.15	9.79	7.70 – 12.26	89.0	H
Sai Noi-1	Mar. 2014	F1	210	2.38 ± 0.35	1.43	1.09 – 1.82	13.0	L
Sai Noi-2	Mar. 2013	F2	300	1.46 ± 0.28	2.38	1.61 – 3.49	21.6	M
Cha-am	Sep. 2012	F1	280	1.21 ± 0.23	11.23	7.91 – 17.76	102.1	VH
Cha-am	Dec. 2013	F1	210	1.74 ± 0.29	9.79	6.80 – 13.16	89.0	H
Si Prachan	Oct. 2012	F2	240	1.29 ± 0.24	13.21	7.57 – 18.85	120.1	VH
Tha Muang-2	Mar. 2013	F1	320	1.77 ± 0.25	5.01	3.73 – 6.46	45.5	M

[1/] Generation tested.

[2/] Number of insects tested including control.

[3/] 95% confidence interval.

[4/] Resistance factor comparing with Chom Thong-2, practically susceptible population.

[5/] Resistance level was classified as N (none, RF≤1), VL (very low, RF=>1-10), L (low, RF=>10-20), M (moderate, RF=>20-50), H (high, RF=>50-100) and VH (very high, RF>100).

ตารางภาคผนวกที่ 3 ความต้านทานต่อสารกำจัดแมลง indoxacarb (กลุ่ม 22A) ในหนอนใยผักจากพื้นที่ต่างๆ ของประเทศไทยในช่วงปี พ.ศ. 2555-2557

Population	Date	G [1/]	N [2/]	Slope ± SE	LC_{50} (ppm)	95% CI [3/] (ppm)	RF [4/]	Resistance Level [5/]
Chom Thong-1	Apr. 2013	F2	240	0.72 ± 0.20	10.80	3.69 – 20.20	9.4	VL
Chom Thong-2	Mar. 2014	F1	180	0.92 ± 0.22	1.15	0.34 – 2.34	1.0	N
Mae Rim	Apr. 2012	F2	540	0.78 ± 0.08	0.56	0.35 – 0.86	0.5	N
Tub Berk	Apr. 2012	F2	420	0.93 ± 0.11	8.99	3.11 – 29.03	7.8	VL
Mae Sod	Mar. 2014	F1	210	1.14 ± 0.19	22.22	13.11 – 40.57	19.3	L
Pak Chong	Jan. 2013	F1	320	1.17 ± 0.24	180.74	122.96 – 301.50	157.2	VH
Muang Pathum Thani	Jan. 2014	F1	210	1.46 ± 0.32	600.58	401.50 -1,180.50	522.2	VH
Sai Noi-1	May 2012	F1	300	0.41 ± 0.11	479.01	139.70 – 1,906	416.5	VH
Sai Noi-2	Mar. 2013	F2	420	0.90 ± 0.20	1,011	639.99 – 2,132	879.1	VH
Cha-am	Sep. 2012	F1	480	0.99 ± 0.14	221.68	94.70 – 1,082	192.8	VH
Cha-am	Oct. 2013	F2	210	0.95 ± 0.27	102.34	46.95 – 191.80	89.0	H
Cha-am	Dec. 2013	F1	240	1.47 ± 0.23	289.72	209.87 – 430.99	251.9	VH
Si Prachan	Oct. 2012	F2	240	0.84 ± 0.22	1,081	644.88 – 2,029	940.0	VH
Tha Muang-1	Jan. 2012	F1	420	1.26 ± 0.14	149.36	76.45 – 269.87	129.9	VH
Tha Muang-2	Mar. 2013	F1	350	0.73 ± 0.20	324.69	185.78 – 726.92	282.3	VH

[1/] Generation tested.

[2/] Number of insects tested including control.

[3/] 95% confidence interval.

[4/] Resistance factor comparing with Chom Thong-2, practically susceptible population.

[5/] Resistance level was classified as N (none, RF≤1), VL (very low, RF=>1-10), L (low, RF=>10-20), M (moderate, RF=>20-50), H (high, RF=>50-100) and VH (very high, RF>100).

ตารางภาคผนวกที่ 4 ความต้านทานต่อสารกำจัดแมลง emamectin benzoate (กลุ่ม 6) ในหนอนใยผักจากพื้นที่ต่างๆ ของประเทศไทยในช่วงปี พ.ศ. 2555-2557

Population	Date	G [1/]	N [2/]	Slope ± SE	LC_{50} (ppm)	95% CI [3/] (ppm)	RF [4/]	Resistance Level [5/]
Chom Thong-1	Apr. 2013	F2	180	2.25 ± 0.46	0.23	0.15 – 0.31	0.8	N
Chom Thong-2	Mar. 2014	F1	210	0.84 ± 0.17	0.30	0.09 – 0.61	1.0	N
Mae Rim	Apr. 2012	F2	220	1.87 ± 0.32	3.84	2.47 – 5.28	12.8	L
Sarapee	May 2014	F1	210	1.65 ± 0.31	1.08	0.62 – 1.54	3.6	VL
Tub Berk	Apr. 2012	F2	210	1.16 ± 0.20	0.99	0.59 – 1.59	3.3	VL
Mae Sod	Mar. 2014	F3	450	1.35 ± 0.13	1.24	0.74 – 2.01	4.1	VL
Pak Chong	Jan. 2013	F1	380	0.97 ± 0.21	4.32	2.60 – 6.40	14.4	L
Muang Pathum Thani	Jan. 2014	F1	240	1.07 ± 0.22	11.12	6.79 – 25.66	37.1	M
Sai Noi-1	May 2012	F1	400	1.30 ± 0.14	7.29	5.62 – 9.67	24.3	M
Sai Noi-1	Mar. 2014	F1	260	1.66 ± 0.22	4.74	3.38 – 6.28	15.8	L
Sai Noi-2	Mar. 2013	F2	400	1.36 ± 0.22	20.05	13.99 – 27.64	66.8	H
Cha-am	Sep. 2012	F1	280	1.24 ± 0.23	3.06	1.64 – 7.05	10.2	L
Cha-am	Oct. 2013	F2	210	1.33 ± 0.32	1.03	0.28 – 1.79	3.4	VL
Cha-am	Dec. 2013	F1	180	1.49 ± 0.39	3.08	1.32 – 4.59	10.3	L
Si Prachan	Oct. 2012	F2	380	0.93 ± 0.12	16.22	10.70 – 23.42	54.1	H
Tha Muang-1	Jan. 2012	F1	480	1.60 ± 0.14	1.75	1.13 – 2.60	5.8	VL
Tha Muang-2	Mar. 2013	F1	210	1.53 ± 0.30	2.83	1.69 – 4.07	9.4	VL

[1/] Generation tested.

[2/] Number of insects tested including control.

[3/] 95% confidence interval.

[4/] Resistance factor comparing with Chom Thong-2, practically susceptible population.

[5/] Resistance level was classified as N (none, RF≤1), VL (very low, RF=>1-10), L (low, RF=>10-20), M (moderate, RF=>20-50), H (high, RF=>50-100) and VH (very high, RF>100).

ตารางภาคผนวกที่ 5 ความต้านทานต่อสารกำจัดแมลง fipronil (กลุ่ม 2B) ในหนอนใยผักจากพื้นที่ต่างๆ ของประเทศไทยในช่วงปี พ.ศ. 2555-2557

Population	Date	G [1/]	N [2/]	Slope ± SE	LC_{50} (ppm)	95% CI [3/] (ppm)	RF [4/]	Resistance Level [5/]
Chom Thong-1	Apr. 2013	F2	240	1.19 ± 0.23	1.95	0.72 – 3.60	0.4	N
Chom Thong-2	Mar. 2014	F1	180	0.61 ± 0.20	5.16	1.23 – 19.14	1.0	N
Mae Rim	Apr. 2012	F2	240	1.89 ± 0.25	24.86	11.88 – 45.52	4.8	VL
Sarapee	May 2014	F1	210	1.32 ± 0.28	8.28	5.11 – 12.55	1.6	VL
Tub Berk	Apr. 2012	F2	420	1.36 ± 0.15	9.57	5.72 – 16.39	1.9	VL
Mae Sod	Mar. 2014	F1	210	1.39 ± 0.23	7.09	0.92 – 21.49	1.4	VL
Pak Chong	Jan. 2013	F1	400	1.71 ± 0.25	69.24	54.26 – 91.83	13.4	L
Sai Noi-1	May 2012	F1	350	2.20 ± 0.21	35.38	26.34 – 48.67	6.9	VL
Sai Noi-1	Mar. 2014	F1	180	1.35 ± 0.40	89.56	44.90 – 144.67	17.4	L
Sai Noi-2	Mar. 2013	F2	460	1.70 ± 0.24	105.81	53.69 – 223.25	20.5	M
Cha-am	Sep. 2012	F1	240	1.93 ± 0.35	35.68	25.68 – 45.95	6.9	VL
Cha-am	Oct. 2013	F2	260	2.91 ± 0.43	51.15	40.35 – 63.05	9.9	VL
Si Prachan	Oct. 2012	F2	260	1.43 ± 0.25	60.74	36.40 – 84.74	11.8	L
Tha Muang-1	Jan. 2012	F1	360	1.85 ± 0.21	66.23	34.41 – 261.44	12.8	L
Tha Muang-2	Mar. 2013	F1	310	2.39 ± 0.36	65.28	33.97 – 100.30	12.7	L

[1/] Generation tested.

[2/] Number of insects tested including control.

[3/] 95% confidence interval.

[4/] Resistance factor comparing with Chom Thong-2, practically susceptible population.

[5/] Resistance level was classified as N (none, RF≤1), VL (very low, RF=>1-10), L (low, RF=>10-20), M (moderate, RF=>20-50), H (high, RF=>50-100) and VH (very high, RF>100).

ตารางภาคผนวกที่ 6 ความต้านทานต่อสารกำจัดแมลง chlorfenapyr (กลุ่ม 13) ในหนอนใยผักจากพื้นที่ต่างๆ ของประเทศไทยในช่วงปี พ.ศ. 2555-2557

Population	Date	G [1/]	N [2/]	Slope ± SE	LC_{50} (ppm)	95% CI [3/] (ppm)	RF [4/]	Resistance Level [5/]
Chom Thong-1	Apr. 2013	F2	210	1.65 ± 0.26	2.20	1.42 – 3.07	1.0	N
Chom Thong-2	Mar. 2014	F3	350	1.65 ± 0.23	2.18	1.33 – 3.49	1.0	N
Mae Rim	Apr. 2012	F2	240	-	>50.0	-	>22.9	M
Sarapee	May 2014	F2	210	1.25 ± 0.22	10.23	5.71 – 15.88	4.7	VL
Tub Berk	Apr. 2012	F2	360	1.25 ± 0.24	27.76	18.20 – 48.04	12.7	L
Mae Sod	Mar. 2014	F1	180	2.18 ± 0.79	33.95	20.27 – 63.62	15.6	L
Pak Chong	Jan. 2013	F1	320	1.69 ± 0.23	53.20	40.52 – 67.96	24.4	M
Muang Pathum Thani	Jan. 2014	F1	210	2.60 ± 0.59	244.22	186.17 – 340.44	112.0	VH
Sai Noi-1	May 2012	F1	350	1.71 ± 0.18	131.94	105.39 – 164.41	60.5	H
Sai Noi-1	Mar. 2014	F1	260	1.99 ± 0.27	311.12	247.10 – 406.18	142.7	VH
Sai Noi-2	Mar. 2013	F2	300	2.19 ± 0.39	141.70	103.65 – 185.89	65.0	H
Cha-am	Sep. 2012	F1	280	1.63 ± 0.26	82.83	62.08 – 117.19	38.0	M
Cha-am	Oct. 2013	F2	260	1.98 ± 0.49	119.11	82.98 – 175.71	54.6	H
Cha-am	Dec. 2013	F3	180	1.61 ± 0.40	137.03	65.74 – 199.25	62.9	H
Si Prachan	Oct. 2012	F2	260	1.74 ± 0.26	189.35	99.45 – 832.15	86.9	H
Tha Muang-1	Jan. 2012	F1	360	1.53 ± 0.23	59.02	44.82 – 84.91	27.1	M
Tha Muang-2	Mar. 2013	F1	310	2.41 ± 0.36	93.77	45.95 – 150.73	43.0	M

[1/] Generation tested.

[2/] Number of insects tested including control.

[3/] 95% confidence interval.

[4/] Resistance factor comparing with Chom Thong-2, practically susceptible population.

[5/] Resistance level was classified as N (none, RF≤1), VL (very low, RF=>1-10), L (low, RF=>10-20), M (moderate, RF=>20-50), H (high, RF=>50-100) and VH (very high, RF>100).

ตารางภาคผนวกที่ 7 ความต้านทานต่อสารกำจัดแมลง tolfenpyrad (กลุ่ม 21) ในหนอนใยผักจากพื้นที่ต่างๆ ของประเทศไทยในช่วงปี พ.ศ. 2555-2557

Population	Date	G [1/]	N [2/]	Slope ± SE	LC_{50} (ppm)	95% CI [3/] (ppm)	RF [4/]	Resistance Level [5/]
Chom Thong-1	Apr. 2013	F2	210	1.71 ± 0.30	18.75	6.96 – 33.64	2.0	VL
Chom Thong-2	Mar. 2014	F1	210	1.00 ± 0.17	9.43	1.49 – 30.93	1.0	N
Mae Rim	Apr. 2012	F2	300	0.59 ± 0.10	32.92	15.29 – 73.01	3.5	VL
Sarapee	May 2014	F1	210	1.35 ± 0.30	9.51	3.88 – 14.96	1.0	N
Tub Berk	Apr. 2012	F2	240	0.84 ± 0.12	8.19	4.23 – 14.96	0.9	N
Pak Chong	Jan. 2013	F1	380	1.12 ± 0.21	637.92	442.46 – 933.40	67.6	H
Muang Pathum Thani	Jan. 2014	F3	180	2.68 ± 0.50	172.58	120.62 – 220.63	18.3	L
Sai Noi-1	May 2012	F1	300	0.79 ± 0.14	1,251	532.13 – 5,091	132.7	VH
Sai Noi-1	Mar. 2014	F1	260	1.31 ± 0.24	408.65	277.15 – 575.07	43.3	M
Sai Noi-2	Mar. 2013	F2	460	1.24 ± 0.21	3,681	2,666 – 5,623	390.3	VH
Cha-am	Sep. 2012	F1	280	1.24 ± 0.23	133.60	93.86 – 195.05	14.2	L
Cha-am	Oct. 2013	F2	260	0.93 ± 0.24	92.18	44.11 – 155.88	9.8	VL
Cha-am	Dec. 2013	F1	240	1.35 ± 0.22	171.72	93.78 – 470.87	18.2	L
Si Prachan	Oct. 2012	F2	240	0.73 ± 0.22	1,496	652.96 – 2,719	158.6	VH
Tha Muang-1	Jan. 2012	F1	480	1.27 ± 0.11	82.01	60.96 – 106.67	8.7	VL
Tha Muang-2	Mar. 2013	F1	210	1.99 ± 0.42	230.92	164.27 – 336.93	24.5	M

[1/] Generation tested.

[2/] Number of insects tested including control.

[3/] 95% confidence interval.

[4/] Resistance factor comparing with Chom Thong-2, practically susceptible population.

[5/] Resistance level was classified as N (none, RF≤1), VL (very low, RF=>1-10), L (low, RF=>10-20), M (moderate, RF=>20-50), H (high, RF=>50-100) and VH (very high, RF>100).

ตารางภาคผนวกที่ 8 ความต้านทานต่อสารกำจัดแมลง flubendiamide (กลุ่ม 28) ในหนอนใยผักจากพื้นที่ต่างๆ ของประเทศไทยในช่วงปี พ.ศ. 2555-2557

Population	Date	G [1/]	N [2/]	Slope ± SE	LC_{50} (ppm)	95% CI [3/] (ppm)	RF [4/]	Resistance Level [5/]
Chom Thong-1	Apr. 2013	F2	270	1.02 ± 0.19	0.014	0.006 – 0.02	0.5	N
Chom Thong-2	Mar. 2014	F3	210	1.30 ± 0.20	0.030	0.005 – 0.08	1.0	N
Mae Rim	Apr. 2012	F2	200	0.46 ± 0.10	0.062	0.007 – 0.23	2.1	VL
Sarapee	May 2014	F2	180	1.42 ± 0.31	96.47	40.82 – 154.41	3,215	VH
Tub Berk	Apr. 2012	F2	350	0.84 ± 0.13	0.13	0.08 – 0.21	4.3	VL
Pak Chong	Jan. 2013	F1	320	-	>7,680	-	>256,000	VH
Muang Pathum Thani	Jan. 2014	F1	210	-	>7,680	-	>256,000	VH
Sai Noi-1	May 2012	F1	400	2.16 ± 0.41	11,010	8,276 – 13,900	367,000	VH
Sai Noi-1	Mar. 2014	F1	240	-	>7,680	-	>256,000	VH
Sai Noi-2	Mar. 2013	F2	400	-	>7,680	-	>256,000	VH
Cha-am	Sep. 2012	F1	280	-	>7,680	-	>256,000	VH
Cha-am	Oct. 2013	F2	260	1.30 ± 0.44	10,213	5,780 -67,636	340,433	VH
Cha-am	Dec. 2013	F1	210	-	>7,680	-	>256,000	VH
Si Prachan	Oct. 2012	F2	240	-	>7,680	-	>256,000	VH
Tha Muang-1	Jan. 2012	F1	360	1.04 ± 0.23	10,442	6,077 – 32,097	348,067	VH
Tha Muang-2	Mar. 2013	F1	260	-	>7,680	-	>256,000	VH

[1/] Generation tested.

[2/] Number of insects tested including control.

[3/] 95% confidence interval.

[4/] Resistance factor comparing with Chom Thong-2, practically susceptible population.

[5/] Resistance level was classified as N (none, RF≤1), VL (very low, RF=>1-10), L (low, RF=>10-20), M (moderate, RF=>20-50), H (high, RF=>50-100) and VH (very high, RF>100).

ตารางภาคผนวกที่ 9 ความต้านทานต่อสารกำจัดแมลง chlorantraniliprole (กลุ่ม 28) ในหนอนใยผักจากพื้นที่ต่างๆ ของประเทศไทยในช่วงปี พ.ศ. 2555-2557

Population	Date	G [1/]	N [2/]	Slope ± SE	LC_{50} (ppm)	95% CI [3/] (ppm)	RF [4/]	Resistance Level [5/]
Chom Thong-1	Apr. 2013	F2	300	1.15 ± 0.17	0.06	0.03 – 0.09	0.3	N
Chom Thong-2	Mar. 2014	F3	350	1.49 ± 0.22	0.22	0.14 - 0.32	1.0	N
Mae Rim	Apr. 2012	F2	300	1.68 ± 0.23	0.04	0.029 – 0.054	0.2	N
Sarapee	May 2014	F2	180	1.13 ± 0.40	17.62	9.93 – 141.30	80.1	H
Tub Berk	Apr. 2012	F2	200	0.95 ± 0.21	0.22	0.11 – 0.37	1.0	N
Mae Sod	Jan. 2013	F1	320	1.88 ± 0.32	63.43	34.12 – 142.54	288.3	VH
Muang Pathum Thani	Jan. 2014	F1	210	2.26 ± 0.35	221.66	170.93 – 293.31	1,007.5	VH
Sai Noi-1	May 2012	F1	550	2.63 ± 0.24	91.92	76.12 – 107.83	417.8	VH
Sai Noi-1	Mar. 2014	F1	240	1.96 ± 0.30	124.95	91.08 – 166.94	568.0	VH
Sai Noi-2	Mar. 2013	F2	400	2.03 ± 0.34	228.52	170.30 – 292.99	1,038.7	VH
Cha-am	Sep. 2012	F1	250	2.15 ± 0.39	181.67	71.69 – 301.94	825.8	VH
Cha-am	Oct. 2013	F2	260	2.95 ± 0.53	84.30	32.18 – 128.52	383.2	VH
Cha-am	Dec. 2013	F1	210	2.59 ± 0.35	143.55	114.46 – 179.44	652.5	VH
Si Prachan	Oct. 2012	F2	240	1.69 ± 0.25	346.04	248.02 – 451.48	1,572.9	VH
Tha Muang-1	Jan. 2012	F1	420	2.16 ± 0.19	147.92	101.98 – 225.01	672.4	VH
Tha Muang-2	Mar. 2013	F1	260	3.10 ± 0.83	90.01	66.35 – 114.62	409.1	VH

[1/] Generation tested.

[2/] Number of insects tested including control.

[3/] 95% confidence interval.

[4/] Resistance factor comparing with Chom Thong-2, practically susceptible population.

[5/] Resistance level was classified as N (none, RF≤1), VL (very low, RF=>1-10), L (low, RF=>10-20), M (moderate, RF=>20-50), H (high, RF=>50-100) and VH (very high, RF>100).

ตารางภาคผนวกที่ 10 ความต้านทานต่อแบคทีเรีย *Bacillus thuringiensis* subsp. *aizawai* (กลุ่ม 11) ในหนอนใยผักจากพื้นที่ต่างๆ ของประเทศไทยในช่วงปี พ.ศ. 2555-2557

Population	Date	G [1/]	N [2/]	Slope ± SE	LC_{50} (ppm)	95% CI [3/] (ppm)	RF [4/]	Resistance Level [5/]
Chom Thong-1	Apr. 2013	F2	180	2.13 ± 0.40	4.44	3.33 – 5.89	1.9	VL
Chom Thong-2	Mar. 2014	F3	210	1.48 ± 0.30	2.39	1.23 – 3.52	1.0	N
Mae Rim	Apr. 2012	F2	280	1.50 ± 0.23	1.99	1.28 – 2.85	0.8	N
Sarapee	May 2014	F2	180	1.41 ± 0.42	2.55	0.50 – 4.37	1.1	VL
Tub Berk	Apr. 2012	F2	300	1.02 ± 0.16	8.82	5.52 – 14.87	3.7	VL
Pak Chong	Jan. 2013	F1	280	1.93 ± 0.27	17.80	7.42 – 32.02	7.4	VL
Sai Noi-1	May 2012	F1	250	1.99 ± 0.28	65.78	47.68 – 92.08	27.5	M
Sai Noi-1	Mar. 2014	F1	180	1.44 ± 0.38	24.91	13.34 – 36.73	10.4	L
Sai Noi-2	Mar. 2013	F2	400	1.89 ± 0.37	55.71	41.45 – 75.27	23.3	M
Cha-am	Sep. 2012	F1	250	1.69 ± 0.32	24.74	17.66 – 36.23	10.4	L
Cha-am	Oct. 2013	F2	260	1.38 ± 0.28	17.62	11.60 – 26.89	7.4	VL
Si Prachan	Oct. 2012	F2	240	1.41 ± 0.24	48.80	35.64 – 75.44	20.4	M
Tha Muang-1	Jan. 2012	F1	360	2.04 ± 0.27	17.29	9.52 – 28.71	7.2	VL
Tha Muang-2	Mar. 2013	F1	300	1.47 ± 0.25	17.56	5.93 – 32.72	7.3	VL

[1/] Generation tested.

[2/] Number of insects tested including control.

[3/] 95% confidence interval.

[4/] Resistance factor comparing with Chom Thong-2, practically susceptible population.

[5/] Resistance level was classified as N (none, RF≤1), VL (very low, RF=>1-10), L (low, RF=>10-20), M (moderate, RF=>20-50), H (high, RF=>50-100) and VH (very high, RF>100).

ตารางภาคผนวกที่ 11 ความต้านทานต่อแบคทีเรีย *Bacillus thuringiensis* subsp. *kurstaki* (กลุ่ม 11) ในหนอนใยผักจากพื้นที่ต่างๆ ของประเทศไทยในช่วงปี พ.ศ. 2555-2557

Population	Date	G [1/]	N [2/]	Slope ± SE	LC_{50} (ppm)	95% CI [3/] (ppm)	RF [4/]	Resistance Level [5/]
Chom Thong-1	Apr. 2013	F2	210	1.60 ± 0.30	0.44	0.27 – 0.62	2.8	VL
Chom Thong-2	Mar. 2014	F3	210	1.34 ± 0.30	0.16	0.07 – 0.25	1.0	N
Mae Rim	Apr. 2012	F2	240	0.65 ± 0.16	0.18	0.033 – 0.41	1.1	VL
Tub Berk	Apr. 2012	F2	350	1.27 ± 0.15	0.59	0.42 - 0.82	3.7	VL
Mae Sod	Mar. 2014	F1	180	1.45 ± 0.28	1.97	1.07 – 3.39	12.3	L
Pak Chong	Jan. 2013	F1	380	2.09 ± 0.29	5.34	3.42 – 7.84	33.4	M
Muang Pathum Thani	Jan. 2014	F3	210	1.91 ± 0.30	2.75	1.17 – 4.83	17.2	L
Sai Noi-1	May 2012	F1	250	1.86 ± 0.27	7.54	5.29 – 9.99	47.1	M
Sai Noi-1	Mar. 2014	F1	210	0.99 ± 0.27	8.44	5.01 – 22.88	52.8	H
Sai Noi-2	Mar. 2013	F2	400	2.57 ± 0.33	4.48	1.65 – 7.89	28.0	M
Cha-am	Sep. 2012	F1	250	1.62 ± 0.26	2.32	1.69 – 3.20	14.5	L
Cha-am	Oct. 2013	F2	260	1.42 ± 0.27	0.70	0.36 – 1.04	4.4	VL
Cha-am	Dec. 2013	F3	180	1.51 ± 0.37	5.82	3.91 – 8.83	36.4	M
Si Prachan	Oct. 2012	F2	240	1.83 ± 0.25	3.90	3.02 – 5.01	24.4	M
Tha Muang-1	Jan. 2012	F1	360	1.77 ± 0.25	2.06	1.52 – 2.68	12.9	L
Tha Muang-2	Mar. 2013	F1	300	1.76 ± 0.31	1.25	0.72 – 1.74	7.8	VL

[1/] Generation tested.

[2/] Number of insects tested including control.

[3/] 95% confidence interval.

[4/] Resistance factor calculated as; LC_{50} of each population divided by LC_{50} of Chom Thong-2 population, practically susceptible population.

[5/] Resistance level was classified as N (none, RF≤1), VL (very low, RF=>1-10), L (low, RF=>10-20), M (moderate, RF=>20-50), H (high, RF=>50-100) and VH (very high, RF>100).

ตารางภาคผนวกที่ 12 ผลของสารกำจัดแมลงชนิดต่าง ๆ ต่อการตายในเพลี้ยไฟพริกที่ทำลายพริกที่ปลูกในจังหวัดราชบุรี และกาญจนบุรี ในปี พ.ศ.2560-2561

สารกำจัดแมลง	กลุ่มสาร	อัตราแนะนำ	ผลต่อการตายในเพลี้ยไฟพริกที่ทำลายพริกในจังหวัดราชบุรี และกาญจนบุรี[1/]		
			อ. วัดเพลง จ.ราชบุรี (ปี พ.ศ. 2560)	ต. พระแท่น อ. ท่ามะกา จ.กาญจนบุรี (ปี พ.ศ. 2561)	ต. ดอนชะเอม อ. ท่ามะกา จ.กาญจนบุรี (ปี พ.ศ. 2561)
fipronil	2B	40ml/20L	กลาง	กลาง	กลาง
lambda-cyhalothrin	3A	40ml/20L	ต่ำ	กลาง	กลาง
imidacloprid	4A	8g/20L	สูง	กลาง	กลาง
spinetoram	5	10ml/20L	สูง	สูง	สูง
emamectin benzoate	6	30ml/20L	สูง	สูง	กลาง
abamectin	6	40ml/20L	สูง	กลาง	กลาง
chlorfenapyr	13	30ml/20L	-	สูง	สูง
tolfenpyrad	21A	40ml/20L	กลาง	กลาง	กลาง
cyantraniliprole	28	40ml/20L	กลาง	กลาง	กลาง

[1/] ผลต่อการตาย :
สูง = ที่อัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 60-100% และที่สองเท่าของอัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 80-100%
กลาง = ที่อัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 21-59% หรือที่สองเท่าของอัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 41-79%
ต่ำ = ที่อัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 0-20% หรือที่สองเท่าของอัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 0-40%

ตารางภาคผนวกที่ 13 ผลของสารกำจัดแมลงชนิดต่าง ๆ ต่อการตายในเพลี้ยไฟฝ้ายที่ทำลายกล้วยไม้สกุลหวายที่ปลูกในจังหวัดนครปฐม ในปี พ.ศ.2560-2561

สารกำจัดแมลง	กลุ่มสาร	อัตราแนะนำ	ผลต่อการตายในเพลี้ยไฟฝ้ายที่ทำลายกล้วยไม้ Dendrobium ในจังหวัดนครปฐม[1/]			
			อ. นครชัยศรี (ปี พ.ศ. 2561)	อ. พุทธมณฑล (ปี พ.ศ. 2561)	อ. สามพราน (ปี พ.ศ. 2561)	อ. เมืองนครปฐม (ปี พ.ศ. 2561)
fipronil	2B	30ml/20L	กลาง	กลาง	กลาง	กลาง
imidacloprid	4A	15g/20L	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ
acetamiprid	4A	20g/20L	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	กลาง
spinetoram	5	10ml/20L	สูง	กลาง	กลาง	สูง
emamectin benzoate	6	30ml/20L	สูง	กลาง	สูง	กลาง
abamectin	6	50ml/20L	ต่ำ	กลาง	กลาง	ต่ำ
chlorfenapyr	13	30ml/20L	กลาง	กลาง	กลาง	กลาง
tolfenpyrad	21A	40ml/20L	ต่ำ	กลาง	กลาง	กลาง
cyantraniliprole	28	40ml/20L	ต่ำ	ต่ำ	กลาง	กลาง

[1/] ผลต่อการตาย :
สูง = ที่อัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 60-100% และที่สองเท่าของอัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 80-100%
กลาง = ที่อัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 21-59% หรือที่สองเท่าของอัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 41-79%
ต่ำ = ที่อัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 0-20% หรือที่สองเท่าของอัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 0-40%

ตารางภาคผนวกที่ 14 ผลของสารกำจัดแมลงชนิดต่าง ๆ ต่อการตายในเพลี้ยไฟฝ้ายที่ทำลายกล้วยไม้สกุลหวายที่ปลูกในจังหวัดปทุมธานี และนนทบุรี ในปี พ.ศ.2560-2561

สารกำจัดแมลง	กลุ่มสาร	อัตราแนะนำ	ผลต่อการตายในเพลี้ยไฟฝ้ายที่ทำลายกล้วยไม้ Dendrobium ในจังหวัดปทุมธานี แล ะนนทบุรี[1/]	
			อ. ลาดหลุมแก้ว จ. ปทุมธานี (ปี พ.ศ. 2561)	อ. บางใหญ่ จ. นนทบุรี (ปี พ.ศ. 2561)
fipronil	2B	30ml/20L	กลาง	สูง
imidacloprid	4A	15g/20L	ต่ำ	ต่ำ
acetamiprid	4A	20g/20L	กลาง	ต่ำ
spinetoram	5	10ml/20L	สูง	สูง
emamectin benzoate	6	30ml/20L	สูง	สูง
abamectin	6	50ml/20L	ต่ำ	กลาง
chlorfenapyr	13	30ml/20L	สูง	สูง
tolfenpyrad	21A	40ml/20L	กลาง	กลาง
cyantraniliprole	28	40ml/20L	กลาง	กลาง

[1/] ผลต่อการตาย :

สูง = ที่อัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 60-100% และที่สองเท่าของอัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 80-100%

กลาง = ที่อัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 21-59% หรือที่สองเท่าของอัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 41-79%

ต่ำ = ที่อัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 0-20% หรือที่สองเท่าของอัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 0-40%

ตารางภาคผนวกที่ 15 ผลของสารกำจัดแมลงชนิดต่าง ๆ ต่อการตายในเพลี้ยไฟพริกที่ทำลายกุหลาบพวงที่ปลูกในจังหวัดนครปฐม ในปี พ.ศ.2560-2561

สารกำจัดแมลง	กลุ่มสาร	อัตราแนะนำ	ผลต่อการตายในเพลี้ยไฟพริกที่ทำลายกุหลาบพวง ในจังหวัดนครปฐม[1/]	
			อ. เมืองนครปฐม (ปี พ.ศ. 2560)	อ. กำแพงแสน (ปี พ.ศ. 2561)
fipronil	2B	40ml/20L	สูง	กลาง
lambda-cyhalothrin	3A	40ml/20L	ต่ำ	ต่ำ
imidacloprid	4A	8g/20L	ต่ำ	ต่ำ
spinetoram	5	10ml/20L	สูง	สูง
emamectin benzoate	6	30ml/20L	สูง	สูง
abamectin	6	40ml/20L	กลาง	กลาง
chlorfenapyr	13	30ml/20L	-	สูง
tolfenpyrad	21A	40ml/20L	กลาง	กลาง
cyantraniliprole	28	40ml/20L	สูง	กลาง

[1/] ผลต่อการตาย :

สูง = ที่อัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 60-100% และที่สองเท่าของอัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 80-100%

กลาง = ที่อัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 21-59% หรือที่สองเท่าของอัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 41-79%

ต่ำ = ที่อัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 0-20% หรือที่สองเท่าของอัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 0-40%

ตารางภาคผนวกที่ 16 ผลของสารกำจัดแมลงชนิดต่าง ๆ ต่อการตายในเพลี้ยไฟพริกที่ทำลายมะม่วงที่ปลูกในจังหวัดสุพรรณบุรี ในปี พ.ศ.2562

สารกำจัดแมลง	กลุ่มสาร	อัตราแนะนำ	ผลต่อการตายในเพลี้ยไฟพริกที่ทำลายมะม่วงในจังหวัดสุพรรณบุรี[1/]		
			อ. เมืองสุพรรณบุรี (ปี พ.ศ. 2562)	อ. สามชุก (ปี พ.ศ. 2562)	อ. เดิมบางนางบวช (ปี พ.ศ. 2562)
fipronil	2B	30ml/20L	สูง	สูง	สูง
lambda-cyhalothrin	3A	20ml/20L	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ
imidacloprid	4A	15g/20L	กลาง	ต่ำ	กลาง
acetamiprid	4A	20g/20L	กลาง	ต่ำ	ต่ำ
spinetoram	5	10ml/20L	สูง	สูง	สูง
emamectin benzoate	6	30ml/20L	สูง	สูง	สูง
abamectin	6	50ml/20L	กลาง	ต่ำ	กลาง
chlorfenapyr	13	30ml/20L	สูง	กลาง	สูง
cyantraniliprole	28	40ml/20L	ต่ำ	ต่ำ	กลาง

[1/] ผลต่อการตาย :

สูง = ที่อัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 60-100% และที่สองเท่าของอัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 80-100%

กลาง = ที่อัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 21-59% หรือที่สองเท่าของอัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 41-79%

ต่ำ = ที่อัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 0-20% หรือที่สองเท่าของอัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 0-40%

ตารางภาคผนวกที่ 17 ผลของสารกำจัดแมลงชนิดต่าง ๆ ต่อการตายในเพลี้ยไฟพริกที่ทำลายมะม่วงที่ปลูกในจังหวัดสุโขทัย พิษณุโลก และพิจิตร ในปี พ.ศ.2562-2563

สารกำจัดแมลง	กลุ่มสาร	อัตราแนะนำ	ผลต่อการตายในเพลี้ยไฟพริกที่ทำลายมะม่วง[1/]		
			อ. ศรีนคร จ. สุโขทัย (ปี พ.ศ. 2563)	อ. วังทอง จ. พิษณุโลก (ปี พ.ศ. 2562)	อ. สากเหล็ก จ. พิจิตร (ปี พ.ศ. 2563)
fipronil	2B	30ml/20L	สูง	กลาง	สูง
lambda-cyhalothrin	3A	20ml/20L	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ
imidacloprid	4A	15g/20L	กลาง	กลาง	กลาง
acetamiprid	4A	20g/20L	ต่ำ	ต่ำ	กลาง
spinetoram	5	10ml/20L	สูง	กลาง	สูง
emamectin benzoate	6	30ml/20L	สูง	สูง	สูง
abamectin	6	50ml/20L	สูง	ต่ำ	กลาง
chlorfenapyr	13	30ml/20L	สูง	สูง	สูง
cyantraniliprole	28	40ml/20L	สูง	ต่ำ	กลาง

[1/] ผลต่อการตาย :

สูง = ที่อัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 60-100% และที่สองเท่าของอัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 80-100%

กลาง = ที่อัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 21-59% หรือที่สองเท่าของอัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 41-79%

ต่ำ = ที่อัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 0-20% หรือที่สองเท่าของอัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 0-40%

ตารางภาคผนวกที่ 18 ผลของสารกำจัดแมลงชนิดต่าง ๆ ต่อการตายในเพลี้ยไฟพริกที่ทำลายมะม่วงที่ปลูกในจังหวัดฉะเชิงเทรา และนครราชสีมา ในปี พ.ศ.2562

สารกำจัดแมลง	กลุ่มสาร	อัตราแนะนำ	ผลต่อการตายในเพลี้ยไฟพริกที่ทำลายมะม่วงในจังหวัดฉะเชิงเทรา และนครราชสีมา[1/]	
			อ. บางคล้า จ. ฉะเชิงเทรา (ปี พ.ศ. 2562)	อ. ปากช่อง จ. นครราชสีมา (ปี พ.ศ. 2562)
fipronil	2B	30ml/20L	สูง	กลาง
lambda-cyhalothrin	3A	20ml/20L	ต่ำ	ต่ำ
imidacloprid	4A	15g/20L	กลาง	กลาง
acetamiprid	4A	20g/20L	กลาง	ต่ำ
spinetoram	5	10ml/20L	กลาง	สูง
emamectin benzoate	6	30ml/20L	สูง	สูง
abamectin	6	50ml/20L	ต่ำ	กลาง
chlorfenapyr	13	30ml/20L	สูง	สูง
cyantraniliprole	28	40ml/20L	กลาง	กลาง

[1/] ผลต่อการตาย :

สูง = ที่อัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 60-100% และที่สองเท่าของอัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 80-100%

กลาง = ที่อัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 21-59% หรือที่สองเท่าของอัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 41-79%

ต่ำ = ที่อัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 0-20% หรือที่สองเท่าของอัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 0-40%

ตารางภาคผนวกที่ 19 ผลของสารกำจัดแมลงชนิดต่าง ๆ ต่อการตายในเพลี้ยไฟพริกที่ทำลายมะนาวที่ปลูกในจังหวัดกำแพงเพชร และพิจิตร ในปี พ.ศ.2561-2562

สารกำจัดแมลง	กลุ่มสาร	อัตราแนะนำ	ผลต่อการตายในเพลี้ยไฟพริกที่ทำลายมะนาวในจังหวัดกำแพงเพชร และพิจิตร[1/]	
			อ. เมืองกำแพงเพชร จ. กำแพงเพชร (ปี พ.ศ. 2561)	อ. โพทะเล จ. พิจิตร (ปี พ.ศ. 2562)
fipronil	2B	40ml/20L	สูง	กลาง
lambda-cyhalothrin	3A	40ml/20L	ต่ำ	ต่ำ
imidacloprid	4A	15g/20L	กลาง	กลาง
acetamiprid	4A	20g/20L	-	ต่ำ
spinetoram	5	10ml/20L	สูง	สูง
emamectin benzoate	6	20ml/20L	สูง	สูง
abamectin	6	50ml/20L	ต่ำ	กลาง
chlorfenapyr	13	30ml/20L	สูง	สูง
cyantraniliprole	28	40ml/20L	กลาง	กลาง

[1/] ผลต่อการตาย :

สูง = ที่อัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 60-100% และที่สองเท่าของอัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 80-100%

กลาง = ที่อัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 21-59% หรือที่สองเท่าของอัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 41-79%

ต่ำ = ที่อัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 0-20% หรือที่สองเท่าของอัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 0-40%

ตารางภาคผนวกที่ 20 ผลของสารกำจัดแมลงชนิดต่าง ๆ ต่อการตายในเพลี้ยไฟพริกที่ทำลายมะนาวที่ปลูกในจังหวัดสุพรรณบุรี และชัยนาท ในปี พ.ศ.2561

สารกำจัดแมลง	กลุ่มสาร	อัตราแนะนำ	ผลต่อการตายในเพลี้ยไฟพริกที่ทำลายมะนาวในจังหวัดสุพรรณบุรี และชัยนาท[1/]		
			อ. ศรีประจันต์ จ. สุพรรณบุรี (ปี พ.ศ. 2561)	อ. เดิมบางนางบวช จ. สุพรรณบุรี (ปี พ.ศ. 2561)	อ. เมืองชัยนาท จ. ชัยนาท (ปี พ.ศ. 2561)
fipronil	2B	40ml/20L	กลาง	สูง	สูง
lambda-cyhalothrin	3A	40ml/20L	กลาง	ต่ำ	ต่ำ
imidacloprid	4A	15g/20L	กลาง	กลาง	สูง
spinetoram	5	10ml/20L	สูง	สูง	สูง
emamectin benzoate	6	20ml/20L	สูง	สูง	สูง
abamectin	6	50ml/20L	ต่ำ	กลาง	กลาง
chlorfenapyr	13	30ml/20L	สูง	สูง	สูง
cyantraniliprole	28	40ml/20L	กลาง	กลาง	กลาง

[1/] ผลต่อการตาย :

สูง = ที่อัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 60-100% และที่สองเท่าของอัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 80-100%

กลาง = ที่อัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 21-59% หรือที่สองเท่าของอัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 41-79%

ต่ำ = ที่อัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 0-20% หรือที่สองเท่าของอัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 0-40%

ตารางภาคผนวกที่ 21 ผลของสารกำจัดแมลงชนิดต่าง ๆ ต่อการตายในเพลี้ยไฟฝ้ายที่ทำลายเมล่อนที่ปลูกในจังหวัดสุพรรณบุรี กาญจนบุรี และพระนครศรีอยุธยา ในปี พ.ศ. 2562

สารกำจัดแมลง	กลุ่มสาร	อัตราแนะนำ	ผลต่อการตายในเพลี้ยไฟฝ้ายที่ทำลายเมล่อนในจังหวัดสุพรรณบุรี กาญจนบุรี และพระนครศรีอยุธยา[1/]		
			อ. หนองหญ้าไซ จ.สุพรรณบุรี (ปี พ.ศ. 2562)	อ. พนมทวน จ.กาญจนบุรี (ปี พ.ศ. 2562)	อ. ลาดบัวหลวง จ.พระนครศรีอยุธยา (ปี พ.ศ. 2562)
fipronil	2B	30ml/20L	กลาง	สูง	กลาง
lambda-cyhalothrin	3A	20ml/20L	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ
imidacloprid	4A	15g/20L	กลาง	กลาง	ต่ำ
acetamiprid	4A	20g/20L	กลาง	กลาง	ต่ำ
spinetoram	5	10ml/20L	สูง	สูง	สูง
emamectin benzoate	6	30ml/20L	สูง	สูง	สูง
abamectin	6	50ml/20L	กลาง	ต่ำ	กลาง
chlorfenapyr	13	30ml/20L	สูง	สูง	สูง
cyantraniliprole	28	40ml/20L	สูง	กลาง	กลาง

[1/] ผลต่อการตาย :

สูง = ที่อัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 60-100% และที่สองเท่าของอัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 80-100%

กลาง = ที่อัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 21-59% หรือที่สองเท่าของอัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 41-79%

ต่ำ = ที่อัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 0-20% หรือที่สองเท่าของอัตราแนะนำเพลี้ยไฟตาย 0-40%

ตารางภาคผนวกที่ 22 ความเป็นพิษของสาร pyridaben 20% WP (กลุ่ม 21A) ต่อไรสองจุด *Tetranychus urticae* Koch จากแหล่งปลูกสตรอว์เบอร์รีในประเทศไทยในปี พ.ศ. 2562

พื้นที่	จังหวัด	LC50 (ppm) (95%CI)	RF[1/]	ระดับความต้านทาน[2/]
อ่ายนาไลย อำเภอเวียงสา	น่าน	39.12	1.00	LR
แม่แรม อำเภอแม่ริม	เชียงใหม่	2,913.56	74.48	VHR
สะเมิงใต้ อำเภอสะเมิง	เชียงใหม่	206.18	5.27	LR
สะเมิงใต้ อำเภอสะเมิง	เชียงใหม่	280.02	7.16	LR
บ้านหลวง อำเภอจอมทอง	เชียงใหม่	445.85	11.40	MR
บ้านหลวง อำเภอจอมทอง	เชียงใหม่	288.64	7.38	LR
ข่วงเปา อำเภอจอมทอง	เชียงใหม่	857.79	21.93	MR
ทุ่งสมอ อำเภอเขาค้อ	เพชรบูรณ์	325.56	8.32	LR
นาซ่าว อำเภอเชียงคาน	เลย	79.21	2.02	LR
โป่งผา อำเภอแม่สาย	เชียงราย	270.74	6.92	LR

[1/]RF= Resistance Factor = LC_{50} value of each population/ LC_{50} value of population with the lowest value

[2/]Resistance categories; VHR = Very High Resistance, HR = High Resistance, MR = Moderate Resistance, LR = Low Resistance

ตารางภาคผนวกที่ 23 ความเป็นพิษของสาร propargite 30% WP (กลุ่ม 12C) ต่อไรสองจุด *Tetranychus urticae* Koch จากแหล่งปลูกสตรอว์เบอร์รีในประเทศไทย ในปี พ.ศ. 2562

พื้นที่	จังหวัด	LC50 (ppm) (95%CI)	RF[1/]	ระดับความต้านทาน[2/]
อ่ายนาไลย อำเภอเวียงสา	น่าน	255.31	10.31	MR
แม่แรม อำเภอแม่ริม	เชียงใหม่	2,023.91	81.71	VHR
สะเมิงใต้ อำเภอสะเมิง	เชียงใหม่	405.49	16.37	MR
สะเมิงใต้ อำเภอสะเมิง	เชียงใหม่	228.77	9.24	LR
บ้านหลวง อำเภอจอมทอง	เชียงใหม่	490.63	19.81	MR
บ้านหลวง อำเภอจอมทอง	เชียงใหม่	371.36	14.99	MR
ข่วงเปา อำเภอจอมทอง	เชียงใหม่	24.77	1.00	LR
ทุ่งสมอ อำเภอเขาค้อ	เพชรบูรณ์	338.08	13.65	MR
นาซ่าว อำเภอเชียงคาน	เลย	938.36	37.88	MR
โป่งผา อำเภอแม่สาย	เชียงราย	356.58	14.40	MR

[1/]RF= Resistance Factor = LC_{50} value of each population/ LC_{50} value of population with the lowest value

[2/]Resistance categories; VHR = Very High Resistance, HR = High Resistance, MR = Moderate Resistance, LR = Low Resistance

ตารางภาคผนวกที่ 24 ความเป็นพิษของสาร fenpyroximate 5% SC (กลุ่ม 21A) ต่อไรสองจุด *Tetranychus urticae* Koch จากแหล่งปลูกสตรอว์เบอร์รีในประเทศไทยในปี พ.ศ. 2562

พื้นที่	จังหวัด	LC50 (ppm) (95%CI)	RF[1/]	ระดับความต้านทาน[2/]
อ่ายนาไลย อำเภอเวียงสา	น่าน	33.97	1.00	LR
แม่แรม อำเภอแม่ริม	เชียงใหม่	39.58	1.17	LR
สะเมิงใต้ อำเภอสะเมิง	เชียงใหม่	261.76	7.71	LR
สะเมิงใต้ อำเภอสะเมิง	เชียงใหม่	706.19	20.79	MR
บ้านหลวง อำเภอจอมทอง	เชียงใหม่	497.86	14.66	MR
บ้านหลวง อำเภอจอมทอง	เชียงใหม่	263.83	7.77	LR
ข่วงเปา อำเภอจอมทอง	เชียงใหม่	95.64	2.82	LR
ทุ่งสมอ อำเภอเขาค้อ	เพชรบูรณ์	38.19	1.12	LR
นาซ่าว อำเภอเชียงคาน	เลย	209.44	6.17	LR
โป่งผา อำเภอแม่สาย	เชียงราย	110.02	3.24	LR

[1/]RF= Resistance Factor = LC_{50} value of each population/ LC_{50} value of population with the lowest value

[2/]Resistance categories; VHR = Very High Resistance, HR = High Resistance, MR = Moderate Resistance, LR = Low Resistance

ตารางภาคผนวกที่ 25 ความเป็นพิษของสาร tebufenpyrad 36% EC (กลุ่ม 21A) ต่อไรสองจุด *Tetranychus urticae* Koch จากแหล่งปลูกสตรอว์เบอร์รีในประเทศไทยในปี พ.ศ. 2562

พื้นที่	จังหวัด	LC50 (ppm) (95%CI)	RF[1/]	ระดับความต้านทาน[2/]
อ่ายนาไลย อำเภอเวียงสา	น่าน	50.36	18.18	MR
แม่แรม อำเภอแม่ริม	เชียงใหม่	9.41	3.40	LR
สะเมิงใต้ อำเภอสะเมิง	เชียงใหม่	20.32	7.34	LR
สะเมิงใต้ อำเภอสะเมิง	เชียงใหม่	18.03	6.51	LR
บ้านหลวง อำเภอจอมทอง	เชียงใหม่	71.25	25.72	MR
บ้านหลวง อำเภอจอมทอง	เชียงใหม่	48.28	17.43	MR
ข่วงเปา อำเภอจอมทอง	เชียงใหม่	9.03	3.26	LR
ทุ่งสมอ อำเภอเขาค้อ	เพชรบูรณ์	2.77	1.00	LR
นาซ่าว อำเภอเชียงคาน	เลย	4.66	1.68	LR
โป่งผา อำเภอแม่สาย	เชียงราย	14.4	5.20	LR

[1/]RF= Resistance Factor = LC_{50} value of each population/ LC_{50} value of population with the lowest value

[2/]Resistance categories; VHR = Very High Resistance, HR = High Resistance, MR = Moderate Resistance, LR = Low Resistance

ตารางภาคผนวกที่ 26 ความเป็นพิษของสาร spiromesifen 24% SC (กลุ่ม 23) ต่อไรสองจุด *Tetranychus urticae* Koch จากแหล่งปลูกสตรอว์เบอร์รีในประเทศไทยในปี พ.ศ. 2562

พื้นที่	จังหวัด	LC50 (ppm) (95%CI)	RF[1/]	ระดับความต้านทาน[2/]
อ่ายนาไลย อำเภอเวียงสา	น่าน	1,214.02	35.35	MR
แม่แรม อำเภอแม่ริม	เชียงใหม่	412.25	12.00	MR
สะเมิงใต้ อำเภอสะเมิง	เชียงใหม่	1,935.36	56.36	HR
สะเมิงใต้ อำเภอสะเมิง	เชียงใหม่	178.36	5.19	LR
บ้านหลวง อำเภอจอมทอง	เชียงใหม่	323.63	9.42	LR
บ้านหลวง อำเภอจอมทอง	เชียงใหม่	34.34	1.00	LR
ข่วงเปา อำเภอจอมทอง	เชียงใหม่	140.11	4.08	LR
ทุ่งสมอ อำเภอเขาค้อ	เพชรบูรณ์	202.50	5.90	LR
นาซ่าว อำเภอเชียงคาน	เลย	315.78	9.20	LR
โป่งผา อำเภอแม่สาย	เชียงราย	241.71	7.04	LR

[1/]RF= Resistance Factor = LC_{50} value of each population/ LC_{50} value of population with the lowest value

[2/]Resistance categories; VHR = Very High Resistance, HR = High Resistance, MR = Moderate Resistance, LR = Low Resistance

ตารางภาคผนวกที่ 27 ความเป็นพิษของสาร abamectin 1.8% EC (กลุ่ม 6) ต่อไรสองจุด *Tetranychus urticae* Koch จากแหล่งปลูกสตรอว์เบอร์รีในประเทศไทยในปี พ.ศ. 2562

พื้นที่	จังหวัด	LC50 (ppm) (95%CI)	RF[1/]	ระดับความต้านทาน[2/]
อ่ายนาไลย อำเภอเวียงสา	น่าน	23.59	2.01	LR
แม่แรม อำเภอแม่ริม	เชียงใหม่	11.76	1.00	LR
สะเมิงใต้ อำเภอสะเมิง	เชียงใหม่	188.36	16.02	MR
สะเมิงใต้ อำเภอสะเมิง	เชียงใหม่	44.34	3.77	LR
บ้านหลวง อำเภอจอมทอง	เชียงใหม่	12.38	1.05	LR
บ้านหลวง อำเภอจอมทอง	เชียงใหม่	71.36	6.07	LR
ข่วงเปา อำเภอจอมทอง	เชียงใหม่	146.91	12.49	MR
ทุ่งสมอ อำเภอเขาค้อ	เพชรบูรณ์	35.98	3.06	LR
นาซ่าว อำเภอเชียงคาน	เลย	42.46	3.61	LR
โป่งผา อำเภอแม่สาย	เชียงราย	12.06	1.03	LR

[1/]RF= Resistance Factor = LC_{50} value of each population/ LC_{50} value of population with the lowest value

[2/]Resistance categories; VHR = Very High Resistance, HR = High Resistance, MR = Moderate Resistance, LR = Low Resistance

ตารางภาคผนวกที่ 28 ประสิทธิภาพสารกำจัดแมลงชนิดต่างๆ ต่อหนอนกระทู้ข้าวโพดลายจุดสายพันธุ์ท่าม่วง ในสภาพห้องปฏิบัติการ (กรกฎาคม 2562)

	Insecticide	Dose (g,ml/20L)	% Mortality (72 Hr)
1.	spinetoram 12% SC (Exalt)	20 ml	100*
2.	chlorfenapyr 10% SC (Rampage)	30 ml	100*
3.	emamectin benzoate 5% WG (The next)	10 g	100*
4.	methoxyfenozide+spinetoram 30%+6% SC (Riddit)	30 ml	100*
5.	spinetoram 25% WG (Ampara)	10 g	100*
6.	emamectin benzoate 1.92% EC (Proclaim)	20 ml	100*
7.	indoxacarb 15% SC (Ammate)	30 ml	100
8.	lufenuron 5% EC (Match)	20 ml	90
9.	abamectin+chlorantraniliprole 1.8% + 4.5% SC (Voliam targo)	20 ml	90
10.	flubendiamide+thiacloprid 24%+24% SC (Belt Expert)	20 ml	76.7
11.	chlorantraniliprole 5.17% SC (Prevathon)	30 ml	73
12.	flubendiamide 20% WDG (Takumi)	10 g	50

* ตาย 100% ภายใน 24 ชั่วโมง

ตารางภาคผนวกที่ 29 ผลการทดสอบความต้านทานสาร emamectin benzoate (กลุ่ม 6) ในประชากรหนอนกระทู้ข้าวโพดลายจุดจาก อ.บึงสามพัน จ.เพชรบูรณ์ และ อ.ท่าม่วง จ.กาญจนบุรี ในช่วงปี พ.ศ.2563-2564

Population	Collection date	G [1/]	N [2/]	Slope ± SE	LC_{50} (ppm) (95% CL) [3/]	RF [4/]	Resistance Level [5/]
Tha Muang 1	5/2019	F15	480	5.169 ± 0.899	0.011 (0.009 - 0.013)	1.00	-
Tha Muang 1	5/2019	F22	480	3.791 ± 0.717	0.009 (0.006 - 0.011)	1.00	-
Bueng Sam Phan	8/2020	F2	400	5.455 ± 0.789	0.014 (0.013 - 0.016)	1.27	very low
Tha Muang 2	2/2021	F1	440	1.907 ± 0.177	0.024 (0.017 - 0.034)	2.67	very low

ปี 2563-2564

[1/] Generation tested.
[2/] Number of insects tested including control.
[3/] 95% confidence interval.
[4/] Resistance factor values.
[5/] Resistance level.

ทำเนียบผู้ทรงความรู้และผู้เชี่ยวชาญ ด้านการใช้สารกำจัดแมลงและไร เพื่อแก้ปัญหาความต้านทานศัตรูพืช

1. **ชื่อ-สกุล** ดร.เกรียงไกร จำเริญมา
   ตำแหน่ง อดีตผู้อำนวยการสำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช/ที่ปรึกษากรมวิชาการเกษตร
   ที่อยู่ เลขที่ 25 หมู่ 2 ตำบลบางไผ่ อำเภอเมืองนนทบุรี จังหวัดนนทบุรี 11000
   ความเชี่ยวชาญ การบริหารศัตรูพืช/การป้องกันกำจัดศัตรูพืช

2. **ชื่อ-สกุล** ดร.มานิตา คงชื่นสิน
   ตำแหน่ง อดีตผู้เชี่ยวชาญด้านศัตรูพืช/ที่ปรึกษากรมวิชาการเกษตร
   ที่อยู่ 168 ถนนฉิมพลี แขวงฉิมพลี เขตตลิ่งชัน กรุงเทพฯ 10170
   ความเชี่ยวชาญ การบริหารศัตรูพืช/การป้องกันกำจัดศัตรูพืช

3. **ชื่อ-สกุล** นายศรัณย์ วัธนธาดา
   ตำแหน่ง ผู้เชี่ยวชาญด้านควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร
   ที่อยู่ สำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร กรมวิชาการเกษตร เลขที่ 50 แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900
   ความเชี่ยวชาญ พระราชบัญญัติวัตถุอันตราย พ.ศ. 2535

4. **ชื่อ-สกุล** นายพิเชฐ เชาวน์วัฒนวงศ์
   ตำแหน่ง อดีตผู้เชี่ยวชาญด้านศัตรูพืช
   ที่อยู่ 50/833 ถนนแจ้งวัฒนะ ตำบลบ้านใหม่ อำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี 11120
   ความเชี่ยวชาญ การใช้สารกำจัดศัตรูพืชเพื่อป้องกันกำจัดไรศัตรูพืช

5. **ชื่อ-สกุล** นายสุเทพ สหายา
   ตำแหน่ง อดีตผู้อำนวยการกลุ่มกีฏและสัตววิทยา
   ที่อยู่ เลขที่ 8/202 ซอยพหลโยธิน 54/1 แยก 1 (หมู่บ้านศิรินคร) แขวงสายไหม เขตสายไหม กรุงเทพมหานคร 10220
   ความเชี่ยวชาญ การใช้สารกำจัดศัตรูพืชเพื่อป้องกันกำจัดศัตรูพืช/การบริหารศัตรูพืช/การจัดการความต้านทานต่อสารกำจัดศัตรูพืช

6. **ชื่อ-สกุล** ดร.เทวินทร์ กุลปิยะวัตน์
   ตำแหน่ง ข้าราชการบำนาญ
   ที่อยู่ เลขที่ 2/3 ซอยประชาอุทิศ 69 แยก 22 เขตทุ่งครุ กรุงเทพมหานคร 10140
   ความเชี่ยวชาญ การใช้สารกำจัดศัตรูพืชเพื่อป้องกันกำจัดไรศัตรูพืช/ความเป็นพิษของสารกำจัดแมลง/การจัดการความต้านทานต่อสารกำจัดไรศัตรูพืช

7. **ชื่อ-สกุล** ดร.สุภราดา สุคนธาภิรมย์ ณ พัทลุง
ตำแหน่ง นักกีฏวิทยาชำนาญการพิเศษ
ที่อยู่ เลขที่ 176/1 ซอยวิภาวดีรังสิต 22 แขวงจอมพล เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900
ความเชี่ยวชาญ พิษวิทยาของสารกำจัดแมลงและการจัดการความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงศัตรูพืช

8. **ชื่อ-สกุล** นายสมศักดิ์ ศิริพลตั้งมั่น
ตำแหน่ง นักกีฏวิทยาชำนาญการพิเศษ
ที่อยู่ เลขที่ 46/591ซอยพหลโยธิน 52 แยก 43 (หมู่บ้านธนวรรณ) แขวงคลองถนน เขตสายไหม กรุงเทพมหานคร 10220
ความเชี่ยวชาญ การใช้สารกำจัดแมลงเพื่อป้องกันกำจัดศัตรูพืช/การบริหารศัตรูพืช (พืชผัก)/ การจัดการความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงในพืชผัก

9. **ชื่อ-สกุล** นางศรีจำนรรจ์ ศรีจันทรา
ตำแหน่ง นักกีฏวิทยาชำนาญการพิเศษ
ที่อยู่ เลขที่ 8 ซอยรามอินทรา 8 แยก 5 ถนนรามอินทรา กม.4 แขวงอนุสาวรีย์ เขตบางเขน กรุงเทพมหานคร 10220
ความเชี่ยวชาญ การใช้สารกำจัดแมลงเพื่อป้องกันกำจัดศัตรูพืช/การบริหารศัตรูพืช (ไม้ดอก)/ การจัดการความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงในไม้ผล/ไม้ดอก

ชื่อสารกำจัดแมลงและไร

ชื่อสามัญภาษาอังกฤษ	ชื่อสามัญภาษาไทย
abamectin	อะบาเมกติน
abamectin+chlorantraniliprole	อะบาเมกติน+คลอร์แรนทรานิลิโพรล
acetamiprid	อะซีทามิพริด
Bacillus thuringiensis	บาซิลลัส ทูริงเยนซิส
bifenazate	ไบฟีนาเซต
chlorantraniliprole	คลอร์แรนทรานิลิโพรล
chlorfenapyr	คลอร์ฟีนาเพอร์
clothianidin	โคลไทอะนิดิน
cyantraniliprole	ไซแอนทรานิลิโพรล
cyflumetofen	ไซฟลูมีโทเฟน
dichlorvos	ไดคลอร์วอส
dinotefuran	ไดโนทีฟูแรน
emamectin benzoate	อีมาเมกตินเบนโซเอต
fenpyroximate	เฟนไพรอกซิเมต
fipronil	ฟิโพรนิล
flubendiamide	ฟลูเบนไดอะไมด์
flubendiamide+thiacloprid	ฟลูเบนไดอะไมด์+ไทอะโคลพริด
hexythiazox	เฮกซีไทอะซอกซ์
imidacloprid	อิมิดาโคลพริด
indoxacarb	อินดอกซาคาร์บ
lambda-cyhalothrin	แลมบ์ดา-ไซฮาโลทริน
lufenuron	ลูเฟนนูรอน
methoxyfenozide+spinetoram	เมทอกซีฟีโนไซด์
nitenpyram	ไนเทนไพแรม
propargite	โพรพาร์ไกต์
pyridaben	ไพริดาเบน
spinetoram	สไปนีโทแรม
spinosad	สปินโนแซด
spiromesifen	สไปโรมีซิเฟน
tebufenpyrad	ทีบูเฟนไพแรด
thiacloprid	ไทอะโคลพริด
thiamethoxam	ไทอะมีทอกแซม
tolfenpyrad	โทลเฟนไพแรด

คำสั่งสำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช
ที่ ๕๑๙ / ๒๕๖๓
เรื่อง แต่งตั้งคณะทำงานการจัดการองค์ความรู้เพื่อผลสัมฤทธิ์ของตัวชี้วัด

.....

อนุสนธิคำสั่งสำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช ที่ ๑๗๖ /๒๕๖๓ ลงวันที่ ๓๑ มีนาคม ๒๕๖๓ แต่งตั้งคณะทำงานการจัดการองค์ความรู้เพื่อผลสัมฤทธิ์ของตัวชี้วัดไว้แล้ว นั้น

เนื่องจากองค์ความรู้ปีงบประมาณ ๒๕๖๔ เกี่ยวข้องกับการใช้สารเคมีป้องกันกำจัดแมลง สัตว์ศัตรูพืชอย่างเหมาะสมเพื่อการแก้ปัญหาความต้านทานศัตรูพืช ดังนั้น เพื่อให้การดำเนินการจัดทำองค์ความรู้เป็นไปด้วยความเรียบร้อยและมีประสิทธิภาพ สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช จึงขอยกเลิกคำสั่งดังกล่าว และเห็นสมควรแต่งตั้งคณะทำงาน ดังรายนามต่อไปนี้

๑. ผู้อำนวยการสำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช		ที่ปรึกษาคณะทำงาน
๒. นายสุภราดา สุคนธาภิรมย์ ณ พัทลุง	นักกีฏวิทยาชำนาญการพิเศษ	ประธานคณะทำงาน
๓. นายพฤทธิชาติ ปุญวัฒโท	นักกีฏวิทยาชำนาญการพิเศษ	รองประธานคณะทำงาน
๔. นายสมศักดิ์ ศิริพลตั้งมั่น	นักกีฏวิทยาชำนาญการพิเศษ	คณะทำงาน
๕. นายสมรวย รวมชัยอภิกุล	นักกีฏวิทยาชำนาญการพิเศษ	คณะทำงาน
๖. นางสาวสัญญาณี ศรีคชา	นักกีฏวิทยาชำนาญการพิเศษ	คณะทำงาน
๗. นางอุราพร หนูนารถ	นักกีฏวิทยาชำนาญการพิเศษ	คณะทำงาน
๘. นางเสาวนิตย์ โพธิ์พูนศักดิ์	นักกีฏวิทยาชำนาญการพิเศษ	คณะทำงาน
๙. นายอิศเรส เทียนทัด	นักกีฏวิทยาชำนาญการ	คณะทำงาน
๑๐. นายวิชาญ วรรธนะไกวัล	นักสัตววิทยาชำนาญการ	คณะทำงาน
๑๑. นางสาวบุษบง มนัสมั่นคง	นักกีฏวิทยาชำนาญการ	คณะทำงาน
๑๒. นางสาววิภาดา ปลอดครบุรี	นักกีฏวิทยาชำนาญการ	คณะทำงาน
๑๓. นางสาวพวงผกา อ่างมณี	นักกีฏวิทยาชำนาญการ	คณะทำงาน
๑๔. นางสาววนาพร วงษ์นิคง	นักกีฏวิทยาชำนาญการ	คณะทำงาน
๑๕. นางนลินา ไชยสิงห์	นักกีฏวิทยาชำนาญการ	คณะทำงาน
๑๖. นางสาวสุชาดา สุพรศิลป์	นักกีฏวิทยาชำนาญการ	คณะทำงาน
๑๗. นางสาวกรกต ดำรักษ์	นักกีฏวิทยาปฏิบัติการ	คณะทำงาน
๑๘. นางสาวสุภางคนา ถิรวุธ	นักกีฏวิทยาปฏิบัติการ	คณะทำงาน
๑๙. นายวรวิช สุดจริตธรรมจริยางกูล	นักกีฏวิทยาปฏิบัติการ	คณะทำงาน
๒๐. นางศรีจำนรรจ์ ศรีจันทรา	นักกีฏวิทยาชำนาญการพิเศษ	คณะทำงานและเลขานุการ

๒๑. นางสาวนันทนัช...

๒๑. นางสาวนันทนัช พินศรี	นักวิชาการเกษตรชำนาญการ	คณะทำงานและผู้ช่วยเลขานุการ
๒๒. นางสาวสิริกัญญา ขุนวิเศษ	นักกีฏวิทยาชำนาญการ	คณะทำงานและผู้ช่วยเลขานุการ

โดยคณะทำงานมีหน้าที่ดังนี้

๑. กำหนดองค์ความรู้ที่จำเป็นและสอดคล้องกับประเด็นยุทธศาสตร์ของกรมวิชาการเกษตร

๒. วิเคราะห์กระบวนงานหลักของสำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช ระบุขั้นตอนการปฏิบัติงาน (Work Flow) ที่เป็นงานประจำที่ใช้ความรู้ทั่วไป (Work Center : WC) และที่เป็นงานใช้ความรู้ ทักษะ หรือประสบการณ์ตัดสินใจ (Knowledge Center : KC) และระบุรายการองค์ความรู้

๓. ประสานงานกับผู้ทรงความรู้ ปรับปรุงข้อมูลองค์ความรู้เดิมและเพิ่มเติมองค์ความรู้ที่ยังขาดในส่วนที่เป็นองค์ความรู้ที่ยังอยู่ในคน (Tacit Knowledge)

๔. นำความรู้ที่ได้มารวบรวมประมวลผล กลั่นกรองความรู้ จัดเก็บในระบบ E-learning ของกรมวิชาการเกษตร และจัดทำตำราวิชาการหรือคู่มือปฏิบัติงาน

๕. ดำเนินการแลกเปลี่ยนเรียนรู้องค์ความรู้ภายในสำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช

ทั้งนี้ ตั้งแต่บัดนี้เป็นต้นไป

สั่ง ณ วันที่ ๒๕ ธันวาคม พ.ศ. ๒๕๖๓

(นายศรุต สุทธิอารมณ์)
ผู้อำนวยการสำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช

กรมวิชาการเกษตร

คำสั่งสำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช
ที่ ๖๓ /๒๕๖๔
เรื่อง แต่งตั้งคณะทำงานการจัดการองค์ความรู้เพื่อผลสัมฤทธิ์ของตัวชี้วัด (เพิ่มเติม)

.....

อนุสนธิคำสั่งสำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช ที่ ๕๑๙ /๒๕๖๓ ลงวันที่ ๒๔ ธันวาคม ๒๕๖๓ แต่งตั้งคณะทำงานการจัดการองค์ความรู้เพื่อผลสัมฤทธิ์ของตัวชี้วัดไว้แล้ว นั้น

เพื่อให้การดำเนินงานจัดทำองค์ความรู้ เป็นไปด้วยความเรียบร้อยและมีประสิทธิภาพ สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช จึงขอแต่งตั้งคณะทำงานเพิ่มเติม ดังมีรายนามต่อไปนี้

๑. นางบุญทิวา วาทิรอยรัมย์	นักวิชาการเกษตรชำนาญการพิเศษ	คณะทำงาน
๒. นายจารุวัตถ์ แต้กุล	นักกีฏวิทยาชำนาญการพิเศษ	คณะทำงาน
๓. นางสาวสุนัดดา เชาวลิต	นักกีฏวิทยาชำนาญการพิเศษ	คณะทำงาน
๔. นางสาวณฐวรรณ ชนะโชติ	นักวิชาการเกษตรปฏิบัติการ	คณะทำงานและผู้ช่วยเลขานุการ

โดยคณะทำงานมีหน้าที่ดังนี้

๑. กำหนดองค์ความรู้ที่จำเป็นและสอดคล้องกับประเด็นยุทธศาสตร์ของกรมวิชาการเกษตร

๒. วิเคราะห์กระบวนงานหลักของสำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช ระบุขั้นตอนการปฏิบัติงาน (Work Flow) ที่เป็นงานประจำที่ใช้ความรู้ทั่วไป (Work Center : WC) และที่เป็นงานใช้ความรู้ ทักษะ หรือประสบการณ์ตัดสินใจ (Knowledge Center : KC) และระบุรายการองค์ความรู้

๓. ประสานงานกับผู้ทรงความรู้ ปรับปรุงข้อมูลองค์ความรู้เดิมและเพิ่มเติมองค์ความรู้ที่ยังขาดในส่วนที่เป็นองค์ความรู้ที่ยังอยู่ในคน (Tacit Knowledge)

๔. นำความรู้ที่ได้มารวบรวมประมวลผล กลั่นกรองความรู้ จัดเก็บในระบบ E-learning ของกรมวิชาการเกษตร และจัดทำตำราวิชาการหรือคู่มือปฏิบัติงาน

๕. ดำเนินการแลกเปลี่ยนเรียนรู้องค์ความรู้ภายในสำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช

ทั้งนี้ ตั้งแต่บัดนี้เป็นต้นไป

สั่ง ณ วันที่ ๒๐ มกราคม พ.ศ. ๒๕๖๔

(นายศรุต สุทธิอารมณ์)
ผู้อำนวยการสำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช