

ประเมินความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงในด้วงหมัดผักแถบลาย, *Phyllotreta sinuata* Stephens

ที่ทำลายพืชผักตระกูลกะหล่ำ

Evaluation of Insecticide Resistance in Striped Flea Beetle, *Phyllotreta sinuata*

Stephens damaging Cruciferous Vegetables

ฐิตินิชา ไชยชนะ^{1/} กรกฏ รัตน์มหาณีกร^{1/} จิราพัชร ทะสี^{1/} ศรีจันนรรจ์ ศรีจันทร^{1/}

Thitinicha Chaichana^{1/} Korakot Ratanamahamaneekorn^{1/} Jiraphat tasee^{1/} Srijumnun Srijuntra^{1/}

Abstract

Insecticide resistance data of striped flea beetle (*Phyllotreta sinuata* Stephens) damaging cruciferous vegetable provides selection of proper insecticides to be used in insecticide rotation for retarding resistance problem. This experiment examined the effect of various insecticides on mortality of flea beetle damaging cruciferous vegetable in farmers' farms at Kanchanaburi Province, Phetchabun Province, Nakhon Pathom Province, Chiang Mai Province, Chiang Rai Province, Nong Bua Lam Phu Province and Khon Kaen Province. The experiments were conducted in laboratory using young Chinese kale leaves dipped with various insecticides; profenofos (pro group 1B), carbaryl (car group 1A), fipronil (fip group 2B), dinotefuran (din group 4A), acetamiprid (ace group 4A) and tolfenpyred (tol group 21A); at their recommended dose and at 2 - fold of their recommended dose and then fed to the fleas beetle collected from cruciferous vegetable in farmers' farms. The mortality percentage was recorded after feeding for 48 hr. The results found that the low resistance insecticides that caused > 60% mortality at their recommended dose in flea beetle from Ban Kao Subdistrict, Mueang Kanchanaburi District were pro, fip; Wat Wang Khanai Subdistrict were pro, fip, din, ace; Thung Thong Subdistrict, Tha Muang District was fip; Ban Khok Subdistrict, Mueang Phetchabun District were fip, din, pro; Wang Ban Subdistrict, Lom Kao District were fip, din, pro; Ban Kad Subdistrict, Mae Wang District were fip, pro, din, tol, Pong Yaeng Subdistrict, Mae Rim District were fip, pro, din, tol; Mae Chedi Mai Subdistrict, Wiang Pa Pao District were fip, pro, din, ace; Pha Sam Yot Subdistrict, Na Wang District were fip, pro, dino; Hin Tang Subdistrict, Ban Phai District were fip, pro, dino. And Nong Ngu Lueam Subdistrict, Mueang Nakhon Pathom District has moderate resistance was pro.

These insecticides can be used in insecticide rotation without using high resistance insecticides in order to retard resistance problem in flea beetle damaging cruciferous vegetable in each planting area.

Keywords: insecticide resistance, insect pest in cruciferous plants, insecticide rotation

^{1/} กลุ่มบริหารศัตรูพืช สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช กรมวิชาการเกษตร ถ.พหลโยธิน ลาดยาว จตุจักร กรุงเทพฯ 10900

^{1/} Plant Pest Management Research Group, Plant Protection Research and Development Office, Department of Agriculture, Phahonyothin Rd., Lat Yao, Chatuchak, Bangkok 19000, Thailand

* Corresponding author : c.thitinicha@gmail.com

บทคัดย่อ

การทราบข้อมูลความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงในด้วงหมัดผักแถบลาย *Phyllotreta sinuata* Stephens ที่ทำลายพืชผักตระกูลกะหล่ำจะช่วยในการเลือกชนิดสารกำจัดแมลงที่เหมาะสมเพื่อใช้แบบหมุนเวียนเพื่อลดปัญหาความต้านทาน จึงทำการทดลองเพื่อทราบผลของสารกำจัดแมลงชนิดต่าง ๆ ต่อการตายของด้วงหมัดผักแถบลายที่ทำลายพืชผักตระกูลกะหล่ำในแปลงเกษตรกรจากแหล่งปลูกที่สำคัญ จังหวัดกาญจนบุรี เพชรบูรณ์ จังหวัดนครปฐม เชียงใหม่ เชียงราย นอนงบัวลำภู และขอนแก่น โดยนำด้วงหมัดผักมาประเมินความต้านทานในห้องปฏิบัติการ โดยใช้ใบคะน้าชุบด้วยสารกำจัดแมลงกลุ่มต่าง ๆ ได้แก่ profenofos (pro กลุ่ม 1B), carbaryl (car กลุ่ม 1A), fipronil (fip กลุ่ม 2B), dinotefuran (din กลุ่ม 4A), acetamiprid (ace กลุ่ม 4A), และ tolfepryrid (tol กลุ่ม 21A) แล้วให้ด้วงหมัดผักกัดกินที่ความเข้มข้นที่อัตราแนะนำและที่ความเข้มข้นที่อัตราสองเท่าของอัตราแนะนำของสารแต่ละชนิด ผลการทดลองพบว่า สารที่ด้วงหมัดผักมีความต้านทานต่ำ โดยพบว่ามีเปอร์เซ็นต์การตายมากกว่า 60% ที่ความเข้มข้นตามอัตราแนะนำในพื้นที่ตำบลบ้านเก่า อำเภอเมืองกาญจนบุรี ได้แก่ pro, fip ตำบลวัดวังขนาย อำเภอท่าม่วง ได้แก่ pro, fip, din, ace ตำบลทุ่งทอง อำเภอท่าม่วง ได้แก่ fip ตำบลบ้านโคก อำเภอเมืองเพชรบูรณ์ ได้แก่ fip, din, pro ตำบลวังบาล อำเภอหล่มเก่า ได้แก่ fip, din, pro ตำบลบ้านกาด อำเภอแม่วาง ได้แก่ fip, pro, din, tol ตำบลโป่งแยง อำเภอแม่ริม ได้แก่ fip, pro, din, tol, ace ตำบลแม่เจดีย์ใหม่ อำเภอเวียงป่าเป้า ได้แก่ fip, pro, din, ace ตำบลผาสายยอด อำเภอนาวัง ได้แก่ fip, pro, din และ ตำบลหินตั้ง อำเภอบ้านไผ่ ได้แก่ fip, pro, din สำหรับพื้นที่ ตำบลหนองงูเหลือม อำเภอเมืองนครปฐม พบว่าด้วงหมัดผักมีความต้านทานปานกลาง ต่อสาร pro ดังนั้นจึงสามารถเลือกใช้ชนิดสารที่ ด้วงหมัดผักมีความต้านทานต่ำ - ปานกลางในแต่ละพื้นที่ มาใช้หมุนเวียน

ในพื้นที่นั้น ๆ เพื่อลดปัญหาความต้านทานในด้วงหมัดผักที่เข้าทำลายพืชตระกูลกะหล่ำ

คำสำคัญ: ความต้านทานสารกำจัดแมลง
แมลงศัตรูพืชผักตระกูลกะหล่ำ
การหมุนเวียนสารกำจัดแมลง

คำนำ

ด้วงหมัดผัก (flea beetle) เป็นแมลงศัตรูผักที่สำคัญ โดยเฉพาะพืชตระกูลกะหล่ำ ในประเทศไทยมี 2 ชนิด คือ ชนิดแถบลาย *Phyllotreta sinuata* Stephens และชนิดสีน้ำเงินเข้ม *Phyllotreta chontanica* Duvivier แต่มากกว่า 80% เป็นชนิดแถบลาย (สิริวัฒน์, 2526) ก่อให้เกิดความเสียหายในแหล่งปลูกพืชผักตระกูลกะหล่ำเพื่อเป็นการค้าตัวอ่อนกัดกินหรือซ่อนไข่เข้าไปกินอยู่บริเวณโคนต้นหรือรากของผัก ทำให้พืชผักเหี่ยวเฉาและไม่เจริญเติบโต ตัวเต็มวัยชอบกัดกินผิวด้านล่างของใบทำให้เป็นรูพรุน ทำให้ไม่ได้ผลผลิตที่มีคุณภาพตามที่ตลาดต้องการ และเนื่องจากพืชผักเป็นกลุ่มพืชที่มีอายุสั้นเกษตรกรจึงใช้สารเคมีกำจัดแมลงในกาป้องกันกำจัดอย่างต่อเนื่องเพื่อให้ได้ผลในการป้องกันกำจัดที่รวดเร็ว ส่งผลให้เกิดปัญหาพิษตกค้างในผลผลิต ศรีจันทร์และพฤษชาติ (2566) แนะนำสารกำจัดแมลงและชีวภัณฑ์ที่ใช้ในการป้องกันกำจัดด้วงหมัดผักแถบลาย ได้แก่ fipronil dinotefuran tolfepryrid profenofos prothiofos acetamiprid carbaryl และไส้เดือนฝอย *Steinernema carpocapsae* การใช้สารกำจัดแมลงอย่างต่อเนื่องและบ่อยครั้งส่งผลให้เกิดการพัฒนาความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงในแมลงศัตรูพืชจำนวนมาก รวมถึงด้วงหมัดผัก (*Phyllotreta* spp.) ซึ่งเป็นปัญหาที่ส่งผลกระทบโดยตรงต่อประสิทธิภาพในการควบคุมศัตรูพืชและความมั่นคงด้านอาหาร (Sparks and Nauen, 2015; Bass et al., 2014) ในประเทศไทย จอมสุรางค์และคณะ (2550) รายงานว่าด้วงหมัดผักในแหล่งปลูกพืชตระกูลกะหล่ำจังหวัดพิษณุโลก เพชรบูรณ์ นครสวรรค์ อุตรดิตถ์ ตาก เชียงใหม่ และนนทบุรี พบว่าต้านทาน

ต่อสาร carbaryl มากที่สุด และสารที่แมลงต้านทานน้อยที่สุดคือ fipronil

เป็นที่ทราบกันดีว่าการแก้ปัญหาเพลี้ยไฟต้านทานต่อสารฆ่าแมลงที่ได้ผลจะต้องมีการใช้สารแบบหมุนเวียน (Immaraju et al., 1990; Gao et al., 2012) ในการวางแผนการใช้สารแบบหมุนเวียนนั้นจำเป็นต้องทราบความต้านทานของสารกำจัดแมลงหรือผลของสารฆ่าแมลงชนิดต่าง ๆ ต่อการตายของด้วงหมัดผักที่ทำลายพืชผักตระกูลกะหล่ำในแปลงเกษตรกรในแหล่งปลูกต่าง ๆ เพื่อสามารถเลือกชนิดสารกำจัดแมลงหรือกลุ่มสารที่มีผลต่อการตายมากที่สุด หรืออาจกล่าวได้ว่าไม่มีปัญหาความต้านทานหรือมีปัญหาเล็กน้อยเพื่อนำมาใช้ในการหมุนเวียน การใช้สารกำจัดแมลงแบบหมุนเวียนที่มีประสิทธิภาพในการลดหรือชะลอปัญหาความต้านทานจำเป็นต้องมีการใช้สารกำจัดแมลงหลายชนิดกลุ่มสารที่มีประสิทธิภาพเพื่อใช้หมุนเวียนกันในแต่ละช่วง (Denholm et al., 1977) อย่างไรก็ตามในขณะนี้ประเทศไทยขาดข้อมูลผลหรือประสิทธิภาพของสารกำจัดแมลงชนิดต่าง ๆ ต่อการตายของด้วงหมัดผักที่ทำลายพืชผักตระกูลกะหล่ำในหลาย ๆ พื้นที่ที่เป็นปัจจุบัน ทำให้ไม่สามารถเลือกชนิดสารกำจัดแมลงหรือกลุ่มสารที่เหมาะสมเพื่อสร้างแผนการใช้สารแบบหมุนเวียนเพื่อลดปัญหาความต้านทานในด้วงหมัดผักที่ทำลายพืชผักตระกูลกะหล่ำในพื้นที่ต่าง ๆ

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทราบความต้านทานและการตายของด้วงหมัดผักที่ลงทำลายพืชผักตระกูลกะหล่ำในแปลงเกษตรกรในพื้นที่ปลูกทางภาคเหนือ ภาคกลาง ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เพื่อนำข้อมูลมานำเสนอเกษตรกรผู้ปลูกพืชผักตระกูลกะหล่ำเกษตรกรในการสร้างแผนการใช้สารกำจัดแมลงแบบหมุนเวียน ซึ่งสามารถลดหรือชะลอปัญหาความต้านทานในด้วงหมัดผักได้

วิธีดำเนินการ

การเตรียมแมลงทดลอง

ทำการทดลองโดยสุ่มเก็บด้วงหมัดผักแบบสุ่มกระจายทั่วแปลงของเกษตรกรที่มีการปลูกพืชตระกูลกะหล่ำโดยเก็บตัวอย่างด้วงหมัดผักจากพื้นที่เพาะปลูกพืชตระกูลกะหล่ำของเกษตรกรในพื้นที่ตำบลบ้านเก่า อำเภอมืองกาญจนบุรี ตำบลวัดวังขนาย ตำบลทุ่งทอง อำเภอนาทม จังหวัดกาญจนบุรี ตำบลบ้านโคก อำเภอมืองเพชรบูรณ์ ตำบลวังบาล อำเภอลำทะเมนชัย จังหวัดเพชรบูรณ์ ตำบลหนองสูงเหลื่อม อำเภอมืองนครปฐม จังหวัดนครปฐม ตำบลบ้านกาด อำเภอแม่วาง ตำบลโป่งแยง อำเภอแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่ ตำบลแม่เจดีย์ใหม่ อำเภอเวียงป่าเป้า จังหวัดเชียงราย ตำบลผาสามยอด อำเภอนาวัง จังหวัดหนองบัวลำภู และ ตำบลหินตั้ง อำเภอบ้านไผ่ จังหวัดขอนแก่น ในปี พ.ศ. 2568 (Figure 1) ก่อนทดลองทำการตรวจสอบชนิดด้วงหมัดผัก แล้วทำการแยกเอาด้วงหมัดผักชนิดเดียวกันที่มีความแข็งแรงโดยสังเกตจากการตอบสนองที่ว่องไวมาเพื่อใช้ในการทดลอง

การเตรียมสารกำจัดแมลงเพื่อใช้ในการทดลอง

เนื่องจากไม่มีข้อมูลค่าความเข้มข้นของสารกำจัดแมลงชนิดต่าง ๆ ที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการแยกด้วงหมัดผักสายพันธุ์ต้านทานและสายพันธุ์อ่อนแอ (discriminating dose หรือ diagnostic dose) ในด้วงหมัดผักที่ทำลายพืชตระกูลกะหล่ำในประเทศไทย ดังนั้นในการทดลองนี้จึงใช้ค่าความเข้มข้นที่อัตราแนะนำ และที่อัตราสองเท่าของอัตราแนะนำของสารกำจัดแมลงแต่ละชนิด ในการศึกษาผลของสารกำจัดแมลงแต่ละชนิดต่อการตายของด้วงหมัดผักเพื่อประเมินความต้านทาน จึงทำการเตรียมสารกำจัดแมลงชนิดต่าง ๆ ที่อัตราแนะนำ และที่อัตราสองเท่าของอัตราแนะนำ โดยใช้ น้ำที่ผสมน้ำยาจับใบ (Triton X - 100) อัตรา 0.05 มล./ล. ดังนี้

1. สาร fipronil 5% SC (กลุ่ม 2B)
ที่อัตรา 50 และ 100 มล./น้ำ 20 ล.
2. สาร dinotefuran 10% WP (กลุ่ม 4A)
ที่อัตรา 40 และ 80 ก./น้ำ 20 ล.
3. สาร tolfepryd 16% EC (กลุ่ม 21A)
ที่อัตรา 30 และ 60 มล./น้ำ 20 ล.
4. สาร profenofos 50% EC (กลุ่ม 1B)
ที่อัตรา 50 และ 100 มล./น้ำ 20 ล.
5. สาร acetamiprid 20% SP (กลุ่ม 4A)
ที่อัตรา 30 และ 60 ก./น้ำ 20 ล.
6. สาร carbaryl 85% WP (กลุ่ม 1A)
ที่อัตรา 60 และ 120 ก./น้ำ 20 ล.
7. สารจับใบ (Triton X - 100) (control)
ที่อัตรา 0.05 มล./ล.

การทดสอบผลของสารกำจัดแมลงต่อการตายของ ด้วงหมัดผักในพืชตระกูลกะหล่ำเพื่อประเมินความ ต้านทาน

ทำการทดลองโดยใช้วิธีการจุ่มใบพืช (leaf dipping method) ดัดแปลงจากวิธีของ Tabashnik et al. (1987) ทำการเตรียมใบคะน้าที่ไม่มีการพ่นสารกำจัดแมลง ล้างให้สะอาด ผึ่งให้แห้ง แล้วนำใบคะน้ามาตัดเป็นรูปวงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5.5 ซม. ทำการจุ่มใบคะน้าที่ถูกตัดเป็นชิ้น ๆ ลงไปในสารกำจัดแมลงชนิดต่าง ๆ ที่อัตราแนะนำและที่อัตราความเข้มข้นสองเท่าของอัตราการแนะนำ นาน 10 วินาที ส่วนชุดควบคุม (control) จุ่มใบคะน้าในน้ำที่ผสมสารจับใบ นำใบคะน้าที่ชุบสารกำจัดแมลงและผึ่งลมให้แห้งแล้ว ใส่ในกระปุกพลาสติกที่มีฝาปิดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 ซม. สูง 6 ซม. กระปุกละ 1 ชิ้น จากนั้นใส่ด้วงหมัดผักในแต่ละกระปุก ๆ ละ 10 ตัว ปิดฝากระปุกให้สนิทปล่อยด้วงหมัดผักกัดกินใบคะน้าชุบสารในห้องปฏิบัติการเป็นเวลา 48 ชม. แล้วทำการบันทึกเปอร์เซ็นต์การตายของด้วงหมัดผักโดยใช้กล้องจุลทรรศน์ ด้วงหมัดผักที่ไม่ตอบสนองต่อการเชื้อของปลายพู่กันจะถูกพิจารณาว่าตาย

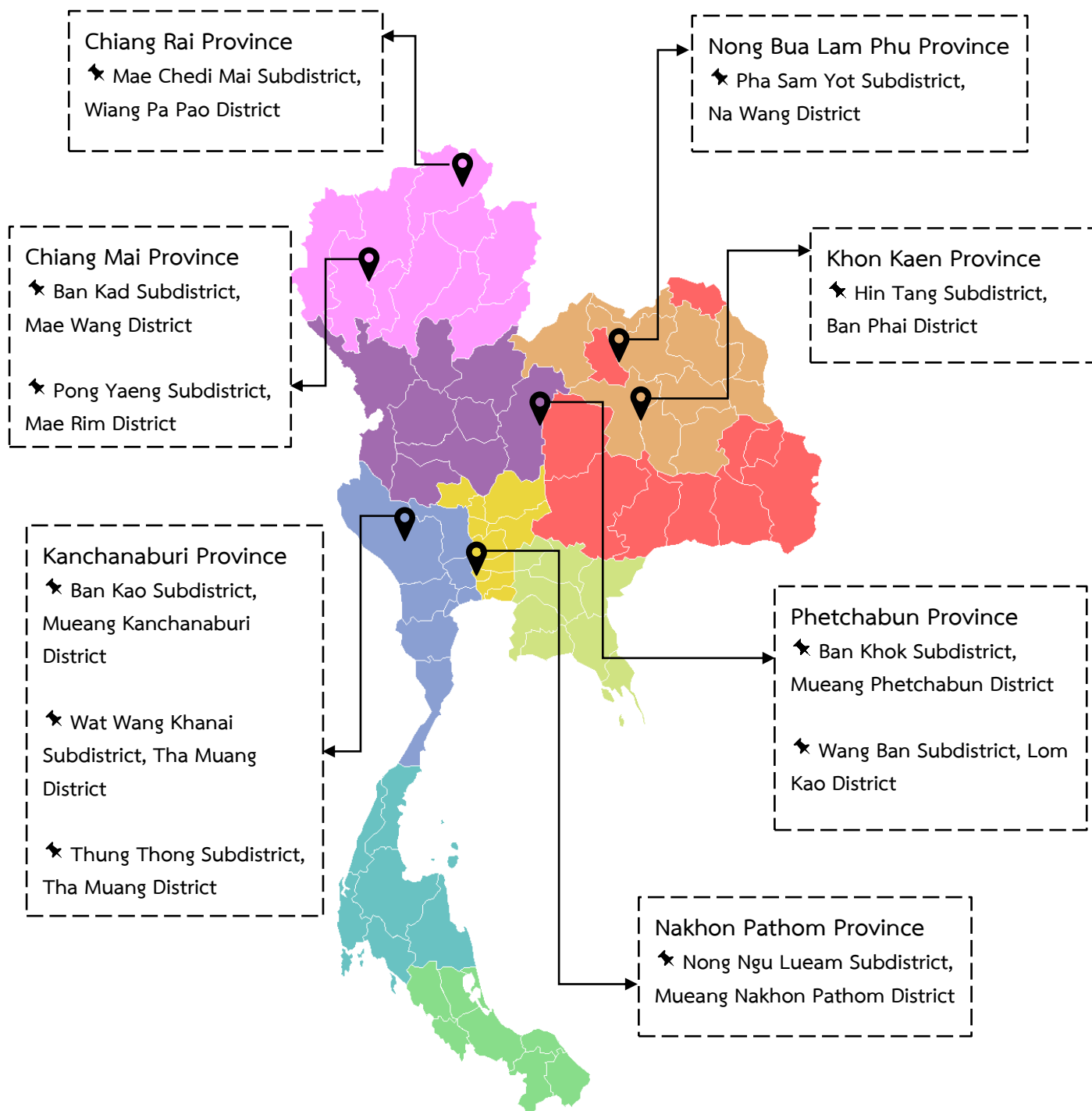


Figure 1 Cruciferous plantation collected striped flea beetle, *Phyllotreta sinuata* Stephens in Thailand in year 2025.

การบันทึกผลและวิเคราะห์

บันทึกเปอร์เซ็นต์การตายของด้วงหมัดผัก และเมื่อพบว่าแมลงในชุดควบคุม (control) ตายต่ำกว่า 5% ไม่ทำการปรับค่า หากตาย 5 - 20% ทำการปรับค่าเปอร์เซ็นต์การตายโดยใช้ Abbott's formula (Abbott, 1925) แต่หากตายมากกว่า 20% ทำการทดลองใหม่

สูตร Abbott's formula :

$$\% \text{ Corrected Mortality} = \% \text{ test mortality} - \frac{\% \text{ control mortality} \times 100}{100 - \% \text{ control mortality}}$$

นำข้อมูลเปอร์เซ็นต์การตายของด้วงหมัดผักในแต่ละพื้นที่มาหาค่าเฉลี่ย และค่า standard deviation (SD)

การทดลองนี้ประเมินความต้านทานของด้วงหมัดผักในพืชตระกูลกะหล่ำโดยแบ่งเป็น 3 ระดับ ดังนี้

- เปอร์เซ็นต์การตายช่วง 60 - 100% จัดเป็นสารที่มีผลต่อการตายค่อนข้างสูง - สูงมาก หรือมีความต้านทานต่ำ (low resistance)

- เปอร์เซ็นต์การตายคาบเกี่ยวกันในช่วง 0 - 40%, 40 - 60% หรือ 60 - 100% จัดเป็นสารที่มีผลต่อการตายปานกลาง - ค่อนข้างต่ำหรือมีความต้านทานปานกลาง (moderate resistance)

- เปอร์เซ็นต์การตายช่วง 0 - 40% จัดเป็นสารที่มีผลต่อการตายต่ำ - ต่ำมาก หรือมีความต้านทานสูง (high resistance)

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

ปัญหาความต้านทานสารกำจัดแมลงของด้วงหมัดผักที่ทำลายพืชตระกูลกะหล่ำทำให้เกษตรกรต้องใช้สารกำจัดแมลงในอัตราที่สูงขึ้น และบ่อยครั้ง ส่งผลให้ต้นทุนเพิ่มมากขึ้น อีกทั้งส่งผลเสียต่อสุขภาพของเกษตรกรและสิ่งแวดล้อม ปัญหาความต้านทานสารกำจัดแมลงสามารถแก้ไขได้ด้วยการนำสารที่แมลงไม่มีความต้านทานสูงมาใช้แบบหมุนเวียน การทราบข้อมูลความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงชนิดต่าง ๆ จากการประเมินความต้านทานในปี พ.ศ. 2568 ทำให้ทราบว่าด้วงหมัดผักที่ทำลายพืชตระกูลกะหล่ำในแต่ละพื้นที่มีความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงแต่ละชนิดแตกต่างกัน

ในพื้นที่ ตำบลบ้านเก่า อำเภอเมืองกาญจนบุรี จังหวัดกาญจนบุรี พบว่า สารที่ด้วงหมัดผักมีเปอร์เซ็นต์การตายปานกลาง - ต่ำ หรือ ความต้านทานปานกลาง ได้แก่ สาร fipronil (57.50 - 95.42%) สาร profenofos (58.72 - 68.24%) สาร dinotefuran (45.55 - 52.50%) และสาร tolfeprad (44.36 - 54.17%) สำหรับสารที่ ด้วงหมัดผักมีเปอร์เซ็นต์การตายต่ำมาก หรือ ความต้านทานสูงมาก ได้แก่ สาร acetamiprid (5.24 - 8.02%) และสาร carbaryl (0 - 16.61%) (Figure 2)

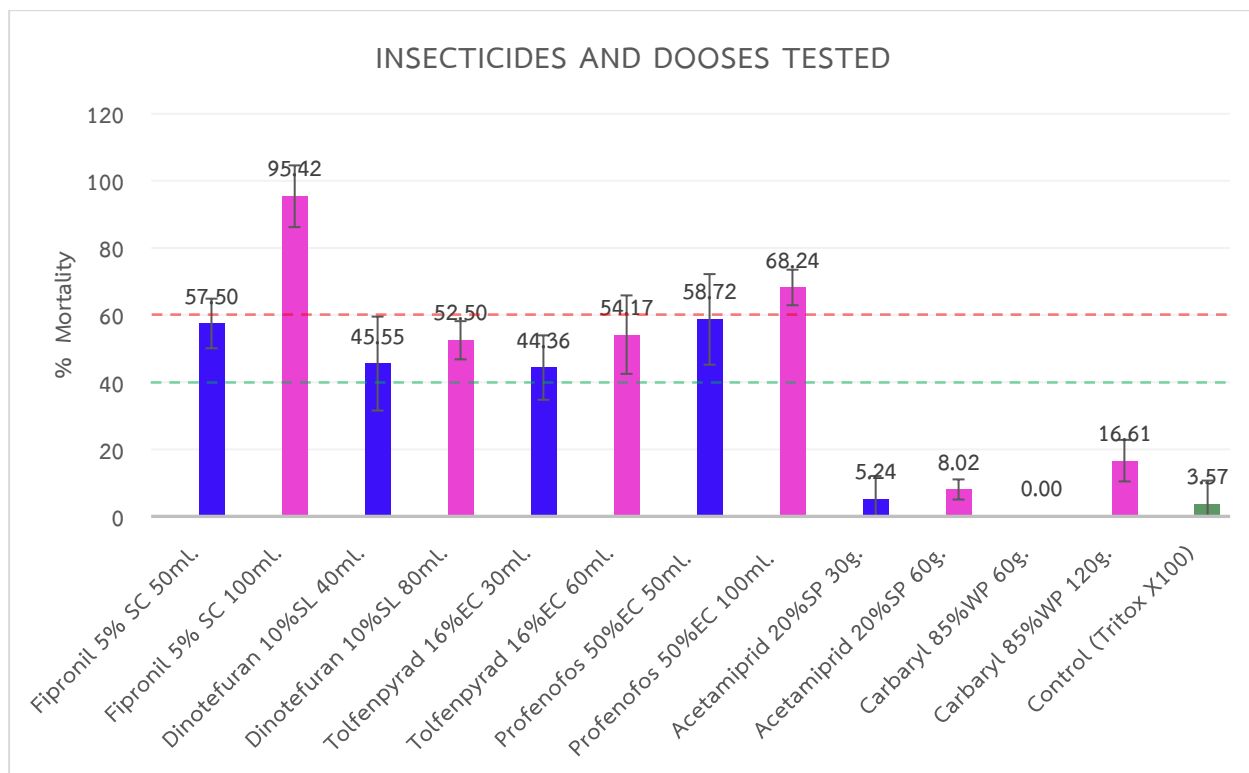


Figure 2 Mortality percentage of *Phyllotreta sinuata* in Brassica crops in Ban Kao Subdistrict, Mueang Kanchanaburi District, Kanchanaburi Province, after feeding with Chinese kale leaves dipped with insecticides in year 2025.

ในพื้นที่ ตำบลวัดวังขนาย อำเภอท่าม่วง จังหวัดกาญจนบุรี พบว่าสารที่ด้วงหมัดผักมีเปอร์เซ็นต์การตายสูง - สูงมาก หรือ ความต้านทานต่ำ - ต่ำมาก ได้แก่ สาร fipronil (100%) สาร profenofos (96.67 - 100%) สาร dinotefuran (89.15 - 89.64%) และ สาร acetamiprid (72.65 - 83.36%) สารที่ด้วงหมัดผักมีเปอร์เซ็นต์การตายปานกลาง หรือ ความต้านทานปานกลาง ได้แก่ สาร tolfenpyrad (43.64 - 46.15%) และสาร carbaryl (56.07 - 68.47%) (Figure 3)

ในพื้นที่ ตำบลทุ่งทอง อำเภอท่าม่วง จังหวัดกาญจนบุรี พบว่าสารที่ด้วงหมัดผักมีเปอร์เซ็นต์การตายสูง หรือ ความต้านทานต่ำ ได้แก่ สาร fipronil (69.17 - 81.51%) สารที่มีเปอร์เซ็นต์การตายปานกลาง หรือ ความต้านทานปานกลาง ได้แก่ สาร profenofos (49.33 - 60.36%) สำหรับสารที่ ด้วงหมัดผักมีเปอร์เซ็นต์การตายต่ำ - ต่ำมาก หรือความต้านทานสูง - สูงมาก ได้แก่ สาร dinotefuran (27.38 - 42.09%) สาร tolfenpyrad (15.34 - 21.46%) สาร acetamiprid (0 - 6.67%) และ สาร carbaryl (1.39 - 11.90%) (Figure 4)

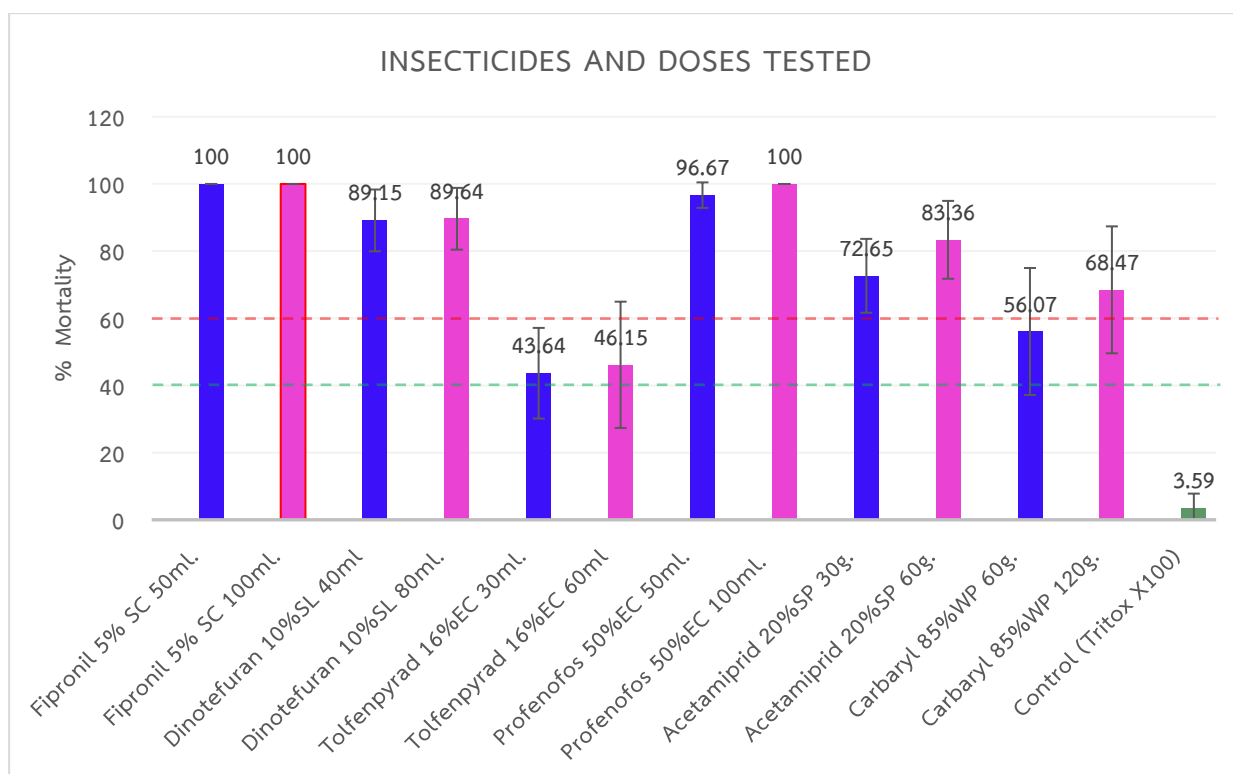


Figure 3 Mortality percentage of *Phyllotreta sinuata* in Brassica crops in Wat Wang Khanai Subdistrict, Tha Muang District, Kanchanaburi Province, after feeding with Chinese kale leaves dipped with insecticides in year 2025.

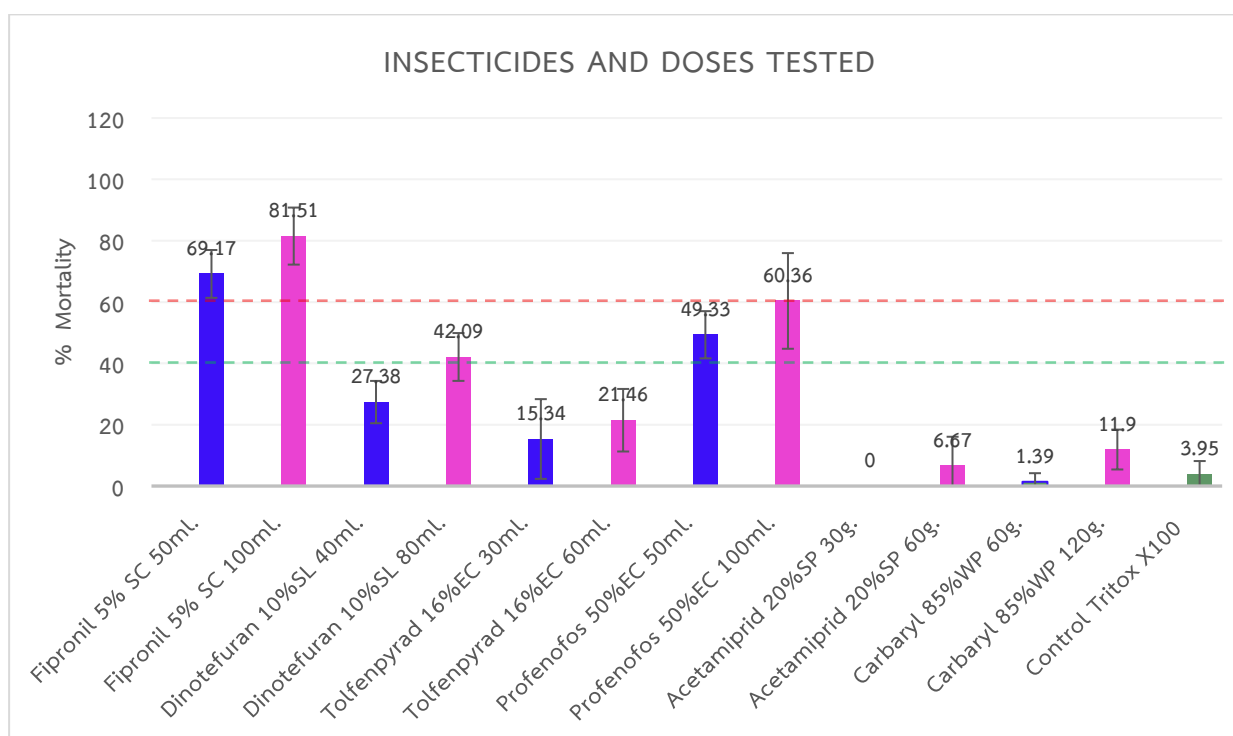


Figure 4 Mortality percentage of *Phyllotreta sinuata* in Brassica crops in Thung Thong Subdistrict, Tha Muang District, Kanchanaburi Province, after feeding with Chinese kale leaves dipped with insecticides in year 2025.

ในพื้นที่ ตำบลบ้านโคก อำเภอเมืองเพชรบูรณ์ จังหวัด เพชรบูรณ์ พบว่าสารที่ด้วงหมัดผักมีเปอร์เซ็นต์การตายสูง - สูงมาก หรือ ความต้านทานต่ำ ได้แก่ สาร fipronil (97.73 - 100%) สาร dinotefuran (85.68 - 86.22%) และ สาร profenofos (97.73 - 97.50%) ส่วนสารที่มีเปอร์เซ็นต์การตายปานกลาง หรือ มีความต้านทานปานกลาง ได้แก่ สาร tolfeprad (57.69 - 75.68%) และ สาร acetamiprid (61.59- 65.91%) สารที่อัตราการตายต่ำ หรือ ความต้านทานสูง ได้แก่ สาร carbaryl (19.32 - 30.69%) (Figure 5)

ในพื้นที่ ตำบลวังบาล อำเภอหล่มเก่า จังหวัด เพชรบูรณ์ พบว่าสารที่ด้วงหมัดผักมีเปอร์เซ็นต์การตายสูง - สูงมาก หรือ มีความต้านทานต่ำ ได้แก่ สาร fipronil (91.89 - 95.80%) สาร profenofos (96.41 - 97.92%) และ สาร dinotefuran (63.38 - 67.35%) ส่วนสารที่มีเปอร์เซ็นต์การตายปานกลาง หรือมีความต้านทานปานกลาง ได้แก่ สาร tolfeprad (43.08 - 43.49%) และ สารที่มี เปอร์เซ็นต์การตายต่ำ หรือมีความต้านทานสูง ได้แก่ สาร acetamiprid (21.49 - 32.08%) และ สาร carbaryl (1.67 - 21.66%) (Figure 6)

ในพื้นที่ ตำบลหนองงูเหลือม อำเภอเมือง นครปฐม จังหวัดนครปฐม พบว่าสารที่ด้วงหมัดผักมี เปอร์เซ็นต์การตายปานกลาง - ค่อนข้างต่ำ หรือมีความต้านทานปานกลาง ได้แก่ สาร profenofos (42.69 - 56.44%) สาร fipronil (30.34 - 56.40%) สำหรับสารที่ด้วงหมัดผักมีเปอร์เซ็นต์การตายต่ำ - ต่ำมาก หรือ มีความต้านทานสูง ได้แก่ สาร dinotefuran (15.85 - 38.33%) และ สาร tolfeprad (24.20 - 36.24%) สาร acetamiprid (5.83 - 7.27%) และสาร carbaryl (0 - 2.27%) (Figure 7)

ในพื้นที่ ตำบลบ้านกาด อำเภอแม่วาง จังหวัด เชียงใหม่ พบว่าสารที่ด้วงหมัดผักมีเปอร์เซ็นต์การตายสูง - สูงมาก หรือมีความต้านทานต่ำ ได้แก่ สาร fipronil (100%) สาร profenofos (100%) สาร dinotefuran (74.14 - 77.44%) และ สาร tolfeprad (74.04 - 88.14%) สำหรับสารที่มี เปอร์เซ็นต์การตายต่ำถึงปานกลาง หรือมีความต้านทานปานกลาง ได้แก่ สาร acetamiprid (28.98 - 85.68%) และ สาร carbaryl (48.90 - 79.30%) (Figure 8)

ในพื้นที่ ตำบลโป่งแยง อำเภอแม่ริม จังหวัด เชียงใหม่ พบว่าสารที่ด้วงหมัดผักมีเปอร์เซ็นต์การตายสูง - สูงมาก หรือมีความต้านทานต่ำ ได้แก่ สาร fipronil (100%) สาร profenofos (100%) สาร dinotefuran (91.03 - 95.42%) สาร tolfeprad (97.50 - 100%) และสาร acetamiprid (92.95 - 97.50%) สำหรับสารที่มีเปอร์เซ็นต์การตายต่ำ หรือมีความต้านทานสูง ได้แก่ สาร carbaryl (22.50 - 51.82%) (Figure 9)

ในพื้นที่ ตำบลแม่เจดีย์ใหม่ อำเภอเวียงป่าเป้า จังหวัดเชียงราย พบว่าสารที่ด้วงหมัดผักมีเปอร์เซ็นต์การตายสูง - สูงมากหรือมีความต้านทานต่ำมาก ได้แก่ สาร tolfeprad (100%) สาร fipronil (97.92 - 100%) dinotefuran (95.42 - 100%) สาร profenofos (91.75 - 97.73%) และ สาร acetamiprid (87.08 - 95.45%) สารที่มีเปอร์เซ็นต์การตายปานกลาง หรือมีความต้านทานปานกลาง ได้แก่ สาร carbaryl (62.27 - 85.00%) (Figure 10)

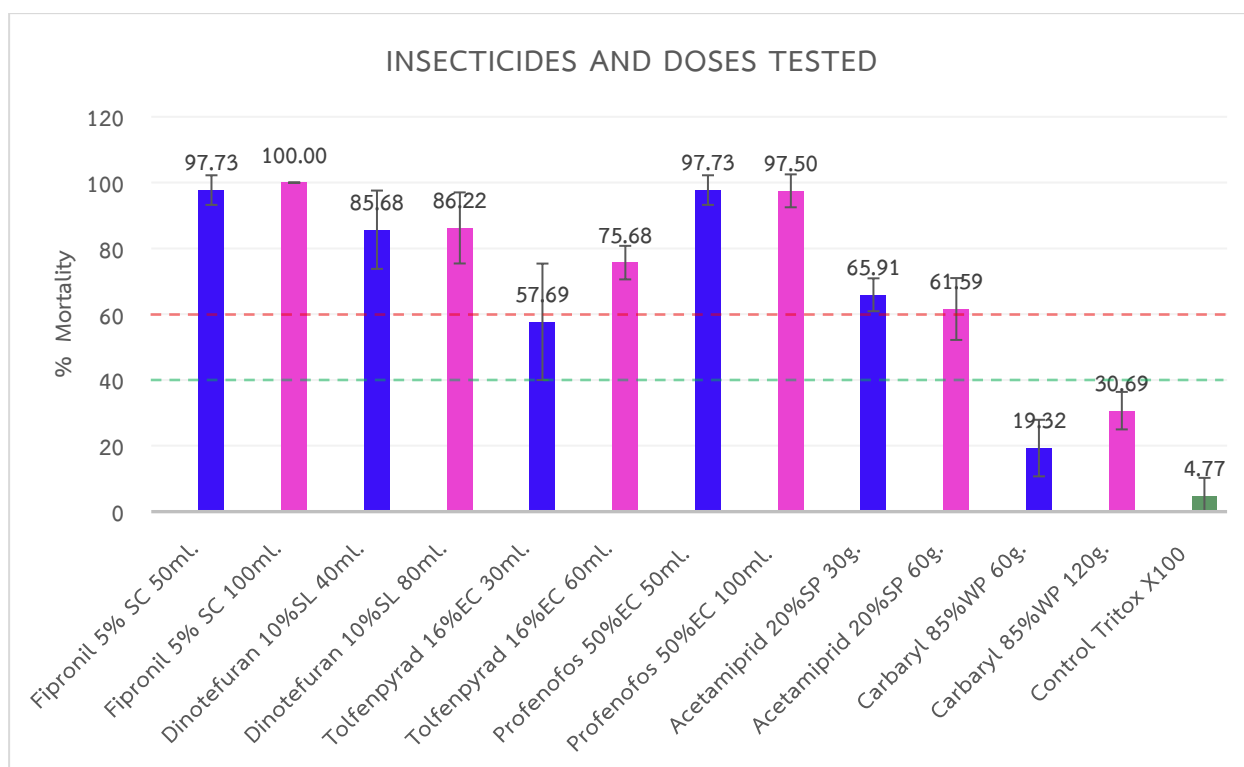


Figure 5 Mortality percentage of *Phyllotreta sinuata* in Brassica crops in Ban Khok Subdistrict, Mueang Phetchabun District, Phetchabun Province, after feeding with Chinese kale leaves dipped with insecticides in year 2025.

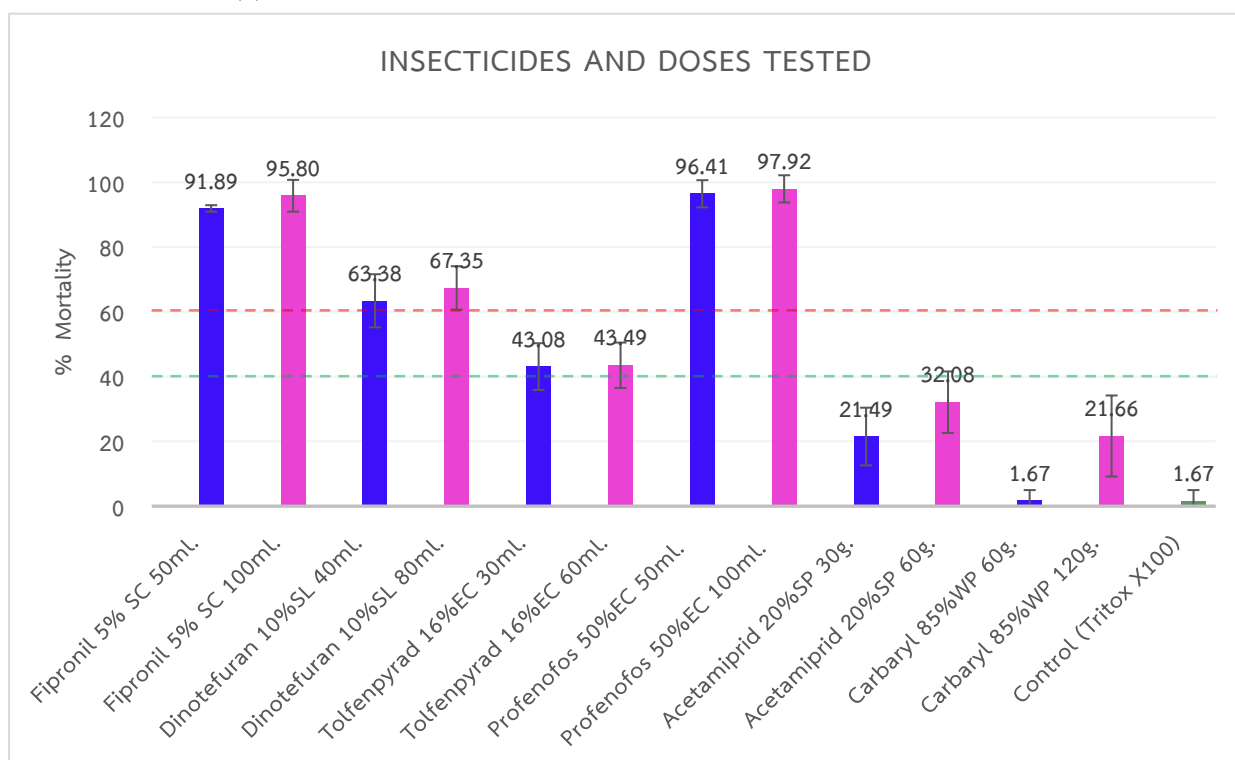


Figure 6 Mortality percentage of *Phyllotreta sinuata* in Brassica crops in Wang Ban Subdistrict, Lom Kao District, Phetchabun Province, after feeding with Chinese kale leaves dipped with insecticides in year 2025.

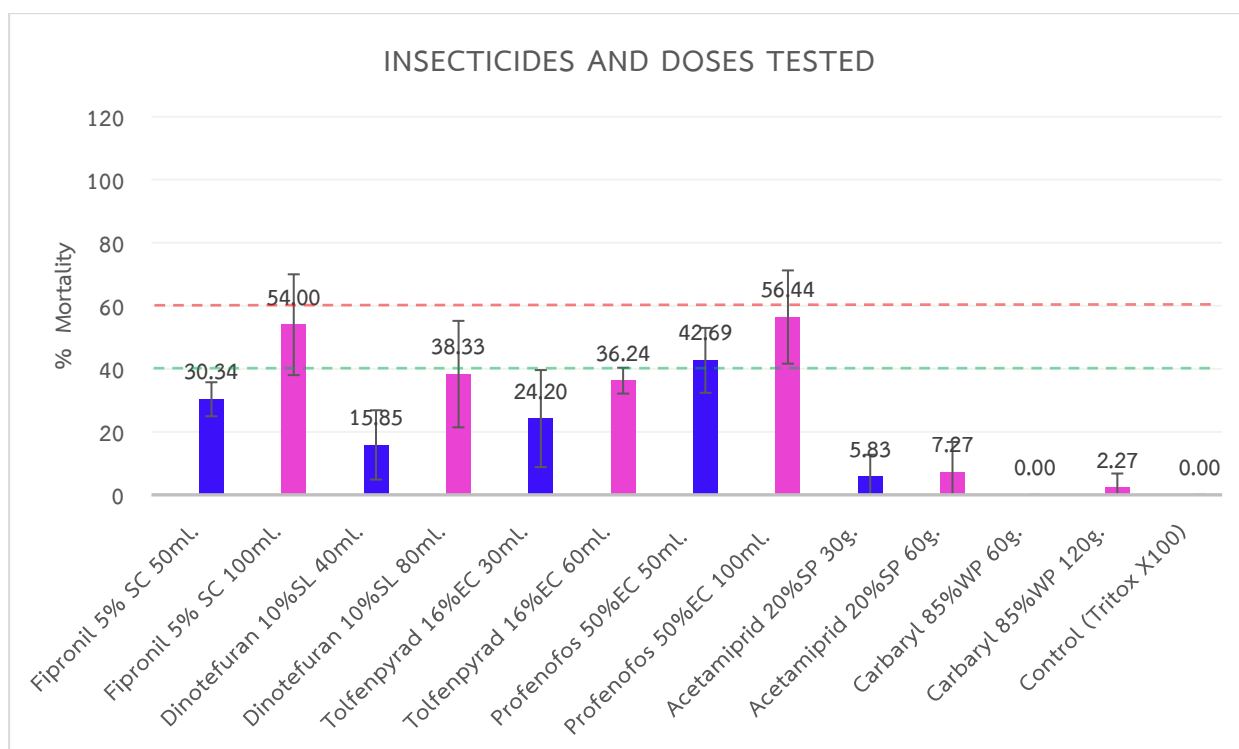


Figure 7 Mortality percentage of *Phyllotreta sinuata* in Brassica crops in Nong Ngu Lueam Subdistrict, Mueang Nakhon Pathom District, Nakhon Pathom Province, after feeding with Chinese kale leaves dipped with insecticides in year 2025.

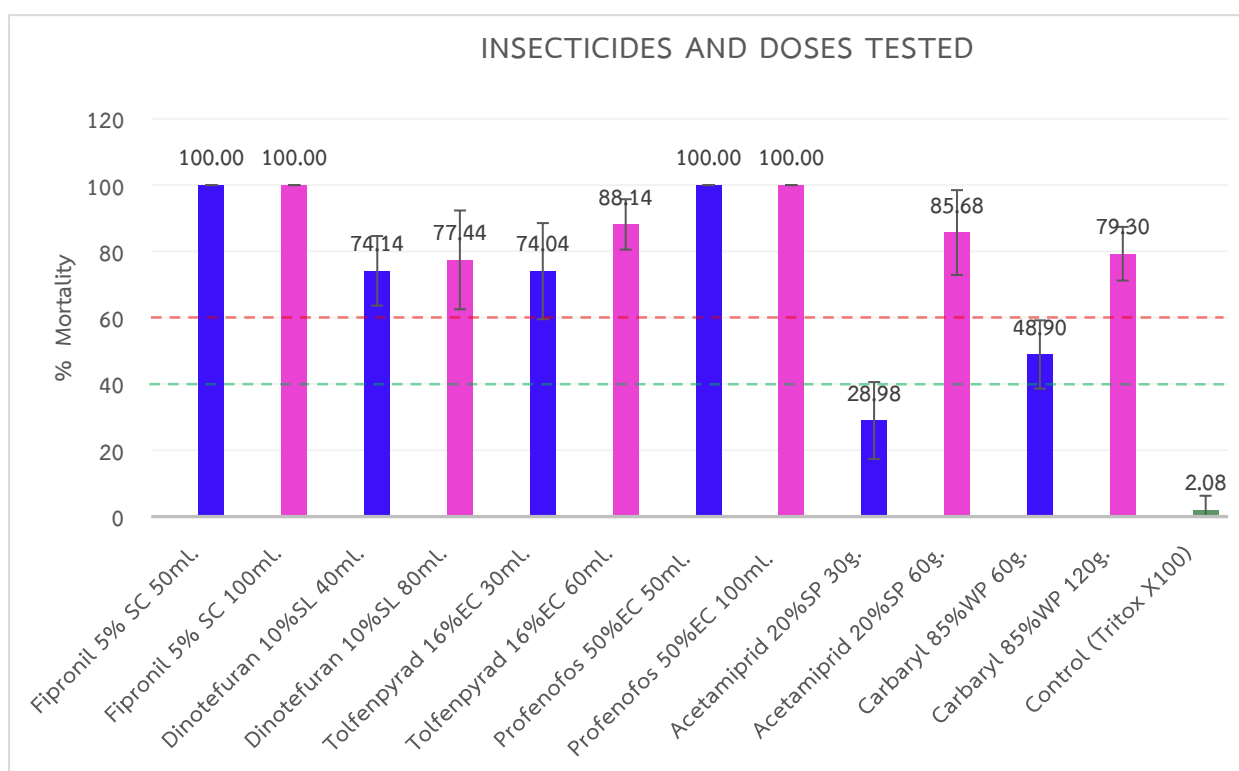


Figure 8 Mortality percentage of *Phyllotreta sinuata* in Brassica crops in Ban Kad Subdistrict, Mae Wang District, Chiang Mai Province, after feeding with Chinese kale leaves dipped with insecticides in year 2025.

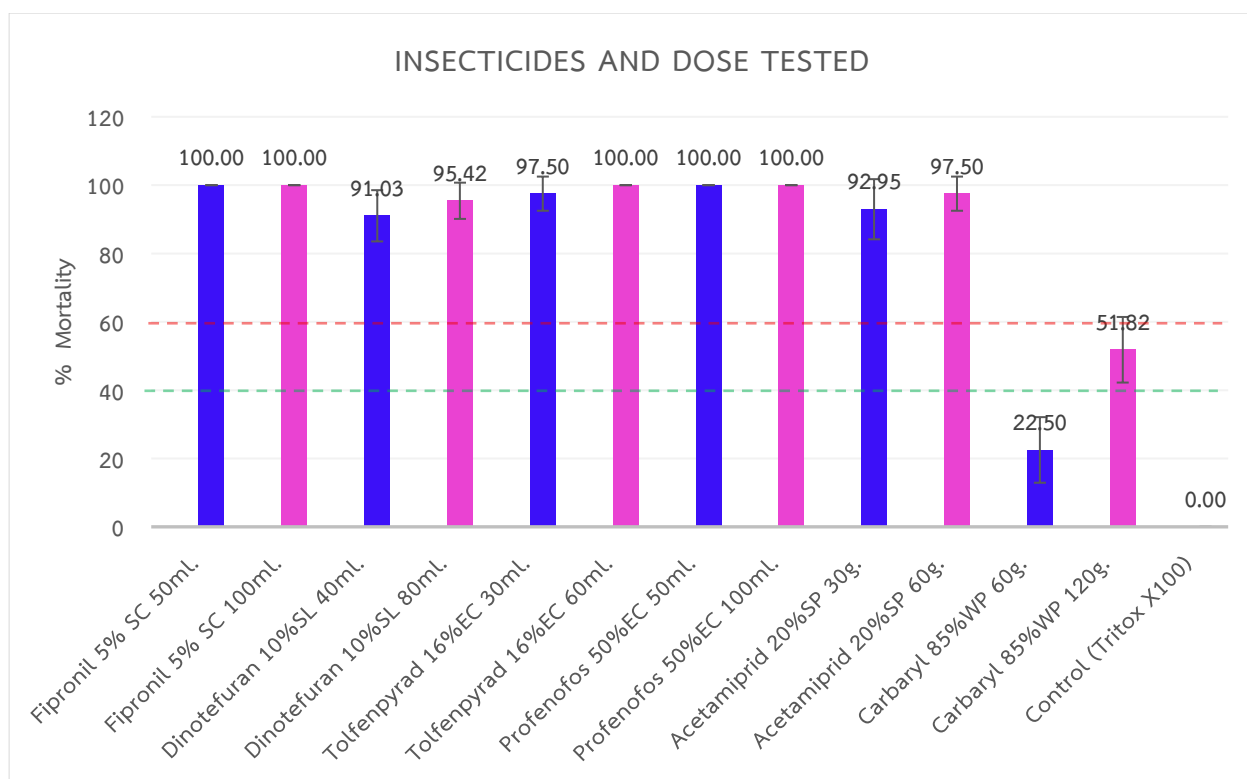


Figure 9 Mortality percentage of *Phyllotreta sinuata* in Brassica crops in Pong Yaeng Subdistrict, Mae Rim District, Chiang Mai Province, after feeding with Chinese kale leaves dipped with insecticides in year 2025.

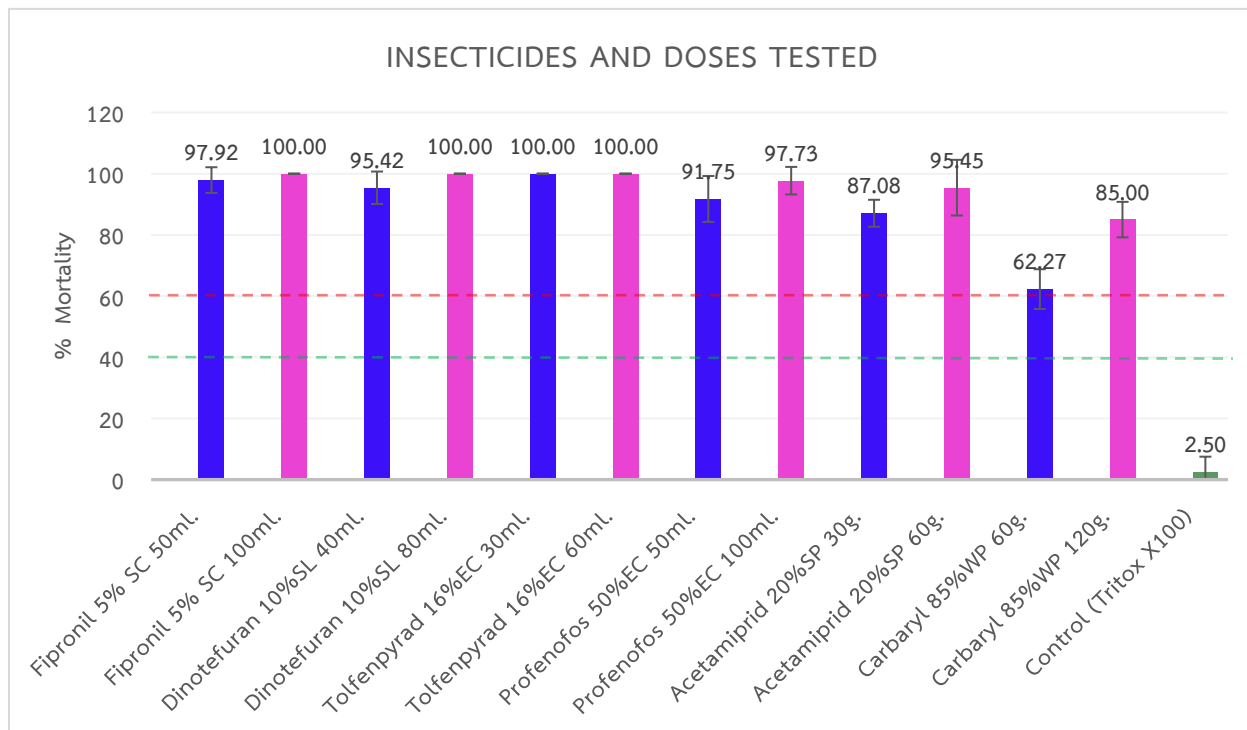


Figure 10 Mortality percentage of *Phyllotreta sinuata* in Brassica crops in Mae Chedi Mai Subdistrict, Wiang Pa Pao District, Chiang Rai Province, after feeding with Chinese kale leaves dipped with insecticides in year 2025.

ในพื้นที่ ตำบลผาสายยอด อำเภอนาวัง จังหวัด
หนองบัวลำภู พบว่าสารที่ด้วงหมัดผักมีเปอร์เซ็นต์
การตายสูง หรือมีความต้านทานต่ำ ได้แก่
สาร fipronil (80.00 - 95.00%) สาร dinotefuran
(65.91 - 80.68%) และสาร profenofos (80.55 -
95.23%) สารที่มีเปอร์เซ็นต์การตายปานกลาง หรือ

มีความต้านทานปานกลาง ได้แก่ สาร tolfeprad
(59.85 - 61.12%) และสาร acetamiprid (61.14 -
70.00%) สำหรับสารที่มีเปอร์เซ็นต์การตายต่ำ หรือ
มีความต้านทานสูง ได้แก่ สาร carbaryl (17.05 -
25.83%) (Figure 11)

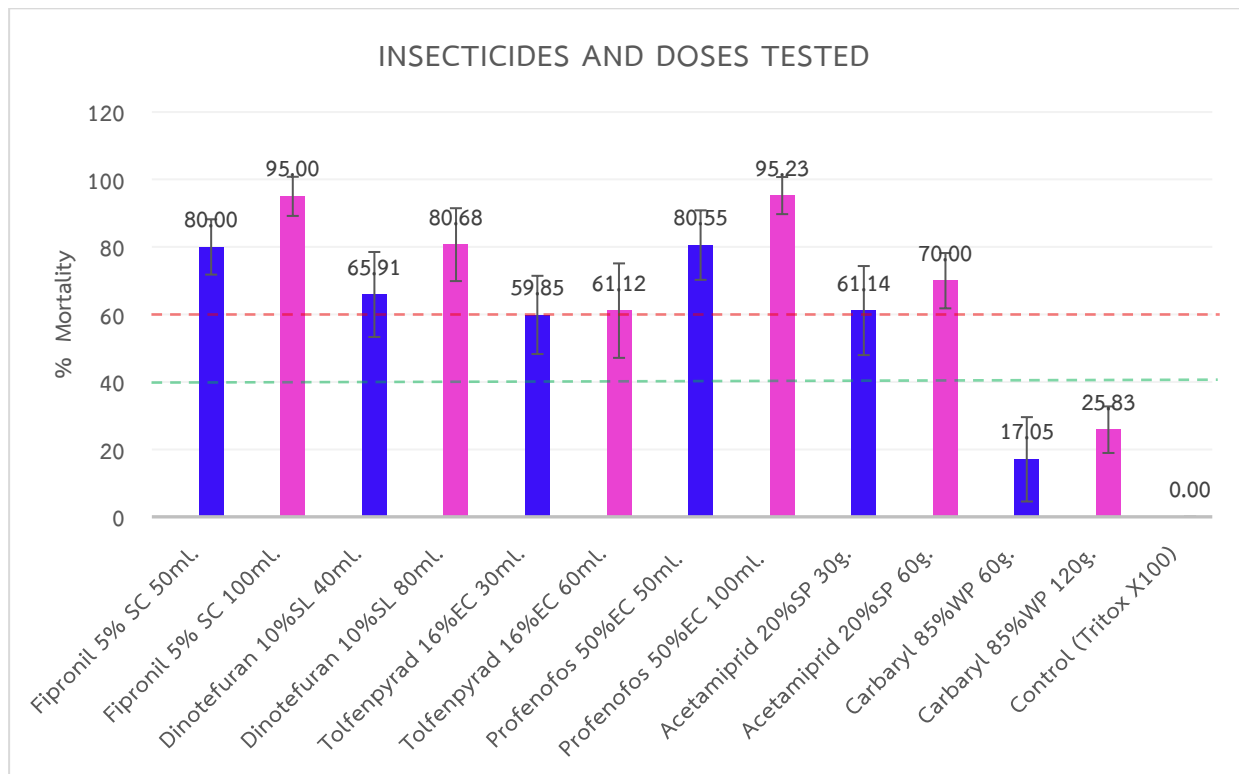


Figure 11 Mortality percentage of *Phyllotreta sinuata* in Brassica crops in Pha Sam Yot Subdistrict, Na Wang District, Nong Bua Lam Phu Province, after feeding with Chinese kale leaves dipped with insecticides in year 2025.

ในพื้นที่ ตำบลหินตั้ง อำเภอบ้านไผ่ จังหวัดขอนแก่น
พบว่าสารที่ด้วงหมัดผักมีเปอร์เซ็นต์การตายสูง - สูง
มากหรือมีความต้านทานต่ำ ได้แก่ สาร fipronil
(98.44 - 100%) สาร dinotefuran (67.61 -
79.02%) และ สาร profenofos (98.21 - 100%)
สารที่มีเปอร์เซ็นต์การตายปานกลาง หรือมีความ
ต้านทานปานกลาง ได้แก่ สาร tolfeprad (62.24 -
64.43%) ส่วนสารที่มีเปอร์เซ็นต์การตายต่ำ หรือมี
ความต้านทานสูง ได้แก่ สาร acetamiprid (37.47 -
52.88%) และสาร carbaryl (15.83 - 21.86%)
(Figure 12)

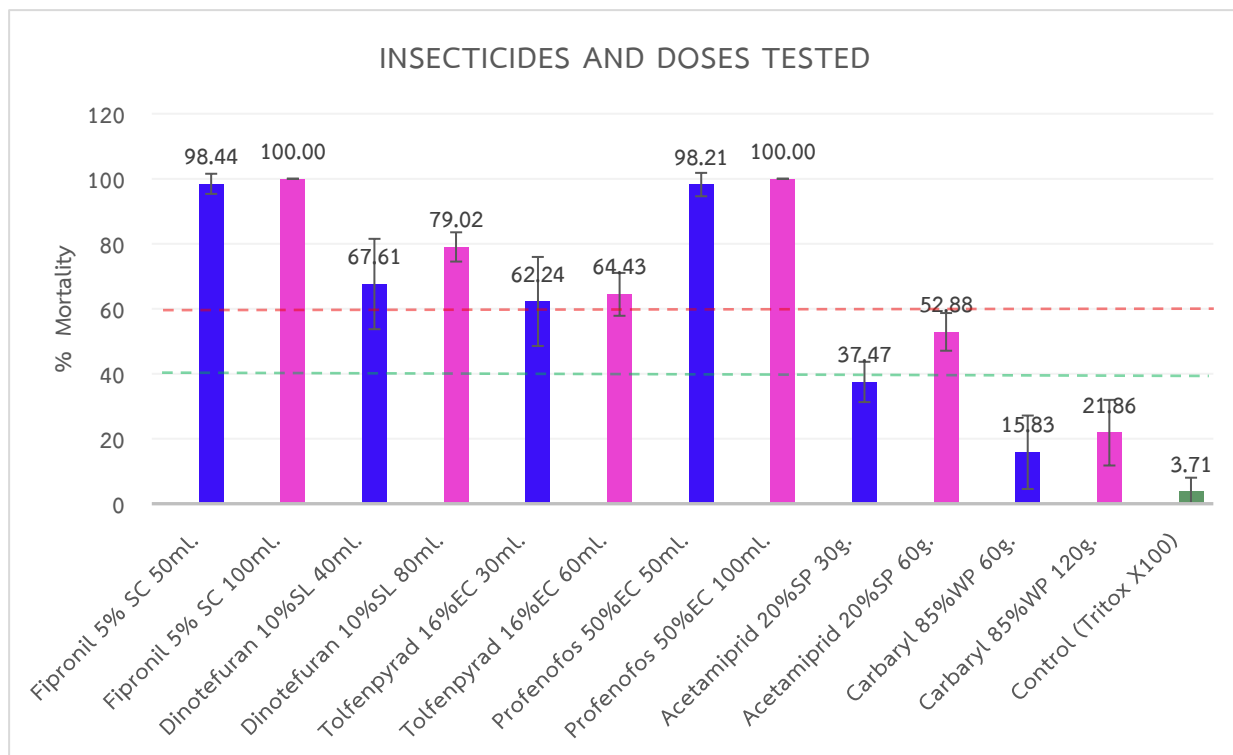


Figure 12 Mortality percentage of *Phyllotreta sinuata* in Brassica crops in Hin Tang Subdistrict, Ban Phai District, Khon Kaen Province, after feeding with Chinese kale leaves dipped with insecticides in year 2025.

จากภาพรวมทั้ง 11 พื้นที่ พบว่าสารกำจัดแมลงที่ด้วงหมัดผักทำลายพืชตระกูลกะหล่ำมีความต้านทานต่ำ อันดับแรก ๆ คือ สาร profenofos, fipronil และ dinotefuran โดยแสดงความต้านทานต่ำใน 9 พื้นที่ จาก 11 พื้นที่ (Figure 2 - 12) สอดคล้องกับรายงานของจอมสุรางค์และคณะ (2550) ที่พบว่าสาร profenofos ยังเป็นสารให้เปอร์เซ็นต์การตายสูงในหลายพื้นที่ในเขตภาคเหนือตอนล่างเช่นกัน แสดงให้เห็นว่าเกษตรกรยังไม่มีการใช้สารดังกล่าวมากนัก ทำให้ยังไม่เกิดปัญหาดังหมัดผักต้านทานต่อสารกำจัดแมลงในแต่ละพื้นที่ จึงสามารถใช้สารดังกล่าวมาใช้แบบหมุนเวียนสารเพื่อป้องกันปัญหาความต้านทานได้

ข้อมูลผลการทดลอง (Figure 2 - 12) ชี้ให้เห็นว่าสารกำจัดแมลงที่ด้วงหมัดผักมีความต้านทานต่ำ - ปานกลาง และสามารถนำมาสร้างรูปแบบการใช้สารแบบหมุนเวียนได้

แหล่งปลูกจังหวัดกาญจนบุรี ในพื้นที่ตำบลบ้านเก่า อำเภอมะนังกาญจนบุรี ได้แก่ profenofos, fipronil, dinotefuran, tolfe nopyrad ตำบลวังขนาย อำเภอดำรงวิทยะ ได้แก่ profenofos, fipronil, dinotefuran หรือ acetamiprid, tolfe nopyrad และ carbaryl ตำบลทุ่งทอง อำเภอดำรงวิทยะ ได้แก่ fipronil และ profenofos

แหล่งปลูกจังหวัดเพชรบูรณ์ ในพื้นที่ตำบลบ้านโคก อำเภอมะนังเพชรบูรณ์ ได้แก่ fipronil, dinotefuran หรือ acetamiprid, profenofos และ tolfe nopyrad ตำบลวังบาล อำเภอดำรงวิทยะ ได้แก่ fipronil, profenofos และ tolfe nopyrad

แหล่งปลูกจังหวัดเชียงใหม่ ในพื้นที่ตำบลบ้านกาด อำเภอแม่วาง ได้แก่ fipronil, profenofos, dinotefuran และ tolfe nopyrad ตำบลโป่งแยง อำเภอแมริม ได้แก่ fipronil, profenofos, dinotefuran หรือ acetamiprid, tolfe nopyrad และ carbaryl

แหล่งปลูกจังหวัดเชียงราย ในพื้นที่ตำบลแม่เจดีย์ใหม่ อำเภอเวียงป่าเป้า ได้แก่ fipronil, profenofos, dinotefuran หรือ acetamiprid

แหล่งปลูกจังหวัดหนองบัวลำภู ในพื้นที่ตำบลผาสายยอด อำเภอนาวัง ได้แก่ toltenpyrad, fipronil, profenofos, dinotefuran หรือ acetamiprid

แหล่งปลูกจังหวัดขอนแก่น ในพื้นที่ตำบลหินตั้ง อำเภอบ้านไผ่ ได้แก่ fipronil, profenofos และ toltenpyrad

ส่วนแหล่งปลูกจังหวัดนครปฐม ในพื้นที่ตำบลหนองงูเหลือม อำเภอเมืองนครปฐม พบว่าด้วงหมัดผักมีความต้านทานปานกลาง ได้แก่ profenofos เพียงชนิดเดียว ฉะนั้นต้องวิจัยหรือหาสารในกลุ่มกลไกการออกฤทธิ์อื่นนอกจากกลุ่ม 1B เพิ่มเติม เพื่อใช้ในการหมุนเวียนกลุ่มกลไกการออกฤทธิ์

อย่างไรก็ดี สารที่ ด้วงหมัดผักมีความต้านทานปานกลางสามารถนำมาใช้ได้หมุนเวียนเป็นครั้งคราว เพราะสารที่ ด้วงหมัดผักมีความต้านทานปานกลางหากถูกนำมาใช้บ่อยครั้ง อาจทำให้ด้วงหมัดผักสร้างความต้านทานสูงขึ้นได้อย่างรวดเร็ว

สารกำจัดแมลงที่ ด้วงหมัดผักทำลายพืชตระกูลกะหล่ำมีเปอร์เซ็นต์การตายต่ำหรือมีความต้านทานสูงคือ สาร carbaryl (กลุ่ม 1A) แสดงความต้านทานสูงต่อด้วงหมัดผักใน 8 พื้นที่ จาก 11 พื้นที่ (Figure 1 - 12) สอดคล้องกับรายงานของจอมสุรางค์และคณะ (2550) ที่พบว่าด้วงหมัดผักในแหล่งปลูกพืชตระกูลกะหล่ำจังหวัดพิษณุโลก เพชรบูรณ์ นครสวรรค์ อุตรดิตถ์ ตาก เชียงใหม่ และนันทบุรี พบว่า ต้านทานต่อสาร carbaryl มากที่สุด จึงควรแนะนำเกษตรกรในพื้นที่ที่มีปัญหาด้วงหมัดผักต้านทานต่อสารดังกล่าวให้งดใช้หรือลดการใช้สาร carbaryl เพื่อไม่ให้เกิดความต้านทานเพิ่มมากขึ้น อย่างไรก็ตาม ความแตกต่างในระดับความตายของแมลงที่พบในแต่ละพื้นที่อาจสะท้อนถึงความหลากหลายด้านพันธุกรรมของแมลง หรือผลจากพฤติกรรมการใช้สารของเกษตรกรในพื้นที่นั้น ๆ ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดของ Sparks and Nauen (2015) กล่าวว่า การใช้สารเคมีอย่างไม่เหมาะสมและ

ขาดการหมุนเวียนกลุ่มสารเป็นปัจจัยหลักที่กระตุ้นให้เกิดการพัฒนาความต้านทานในประชากรแมลง

การใช้กลยุทธ์หมุนเวียนสาร (rotation) และหลีกเลี่ยงการใช้สารจากกลุ่มเดียวกันต่อเนื่องเป็นวิธีสำคัญในการชะลอการเกิดความต้านทานในแมลงศัตรูพืช ซึ่งสามารถนำมาเป็นแนวทางในการแนะนำการหมุนเวียนสาร profenofos fipronil dinotefuran toltenpyrad ร่วมกับแนวทางการจัดการศัตรูพืชแบบผสมผสาน (Integrated Pest Management : IPM) เพื่อลดการพึ่งพาสารเคมีเพียงอย่างเดียวและส่งเสริมความยั่งยืนในการผลิตทางการเกษตรในระยะยาวอย่างยิ่งยืน (Zhou et al., 2024) แก่เกษตรกรผู้ปลูกพืชตระกูลกะหล่ำในประเทศไทย

นอกจากนี้ผลการทดลองยังชี้ให้เห็นว่าด้วงหมัดผักทำลายพืชตระกูลกะหล่ำในแต่ละพื้นที่มีความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงแตกต่างกัน การใช้สารแบบหมุนเวียนในแต่ละพื้นที่ควรมีรูปแบบที่ใช้สารแตกต่างกันตามระดับความต้านทานของด้วงหมัดผักในแต่ละพื้นที่ การให้คำแนะนำการใช้สารกำจัดแมลงแบบหมุนเวียนแก่เกษตรกรในพื้นที่ต่าง ๆ จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการปรับคำแนะนำโดยให้เกษตรกรร่วมพิจารณาคำแนะนำนั้น ๆ ด้วยว่ามีข้อเสียด้านใดบ้าง เพื่อจะได้ปรับปรุงคำแนะนำใหม่ให้เหมาะสมเพื่อให้เกษตรกรในแต่ละพื้นที่สามารถปฏิบัติได้อย่างแท้จริง เช่น อาจจะต้องมีการใช้สารฆ่าแมลงที่อยู่ในกลุ่มอื่น ๆ เพิ่มเติมหรือทดแทนโดยไม่ก่อให้เกิดปัญหาความต้านทานเพิ่มมากขึ้น หรือมีการใช้สารฆ่าแมลงที่มีราคาสูงกว่าแต่มีประสิทธิภาพปานกลางในบางครั้งเพื่อให้เกษตรกรสามารถปฏิบัติได้โดยไม่เสียค่าใช้จ่ายสูงมากนัก ซึ่งอาจเป็นการจูงใจให้เกษตรกรหันมาใช้สารฆ่าแมลงแบบหมุนเวียนเพิ่มมากขึ้น

สรุปผลการทดลองและคำแนะนำ

สารกำจัดแมลงชนิดต่าง ๆ มีผลแตกต่างกันต่อการตายของด้วงหมัดผักแถบลายที่ลงทำลายพืชผักตระกูลกะหล่ำในแต่ละแหล่งปลูก จากการประเมินความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงในด้วงหมัดผักที่ทำลายพืชตระกูลกะหล่ำ ในช่วงปี 2567 - 2568 ทำให้ทราบชนิดกลุ่มสารกำจัดแมลงที่ด้วงหมัดผักแถบลายมีความต้านทานน้อยหรือมีพิษสูงจาก

- 1) อำเภอเมืองกาญจนบุรี จังหวัดกาญจนบุรี คือ สาร profenofos (กลุ่ม 1B) fipronil (กลุ่ม 2B)
- 2) อำเภอดำม่วง จังหวัดกาญจนบุรี คือ สาร fipronil (กลุ่ม 2B) profenofos (กลุ่ม 1B)
- 3) อำเภอเมืองเพชรบูรณ์ และอำเภอหล่มเก่า จังหวัดเพชรบูรณ์ คือ สาร fipronil (กลุ่ม 2B) dinotefuran (กลุ่ม 4A) profenofos (กลุ่ม 1B)
- 4) อำเภอแม่วาง จังหวัดเชียงใหม่ คือ สาร fipronil (กลุ่ม 2B) profenofos (กลุ่ม 1B) dinotefuran (กลุ่ม 4A) tolfeprad (กลุ่ม 21A)
- 5) อำเภอแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่ คือ สาร fipronil (กลุ่ม 2B) profenofos (กลุ่ม 1B) dinotefuran และ acetamiprid (กลุ่ม 4A) tolfeprad (กลุ่ม 21A)
- 6) อำเภอเวียงป่าเป้า จังหวัดเชียงราย คือ สาร tolfeprad (กลุ่ม 21A) fipronil (กลุ่ม 2B) profenofos (กลุ่ม 1B) dinotefuran และ acetamiprid (กลุ่ม 4A)
- 7) อำเภอนาวัง จังหวัดหนองบัวลำภู คือ สาร fipronil (กลุ่ม 2B) profenofos (กลุ่ม 1B) dinotefuran (กลุ่ม 4A)
- 8) อำเภอบ้านไผ่ จังหวัดขอนแก่น คือ สาร fipronil (กลุ่ม 2B) profenofos (กลุ่ม 1B) dinotefuran (กลุ่ม 4A)

สารกำจัดแมลงต่าง ๆ เหล่านี้สามารถนำมาใช้แนะนำเกษตรกรในการพ่นสารแบบหมุนเวียนเพื่อแก้ปัญหาความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงในด้วงหมัดผักที่ลงทำลายพืชผักตระกูลกะหล่ำในแต่ละพื้นที่ดังกล่าวได้ ส่วนพื้นที่ อำเภอเมืองนครปฐม จังหวัดนครปฐม พบว่าด้วงหมัดผักมีความต้านทานปานกลาง ได้แก่ profenofos ไม่พบกำจัดแมลงที่ด้วงหมัดผักแถบลายมีความต้านทานน้อยหรือมีพิษสูงเลย จึงควรศึกษาวิจัยสารกำจัดแมลงที่อยู่ในกลุ่มอื่น ๆ เพิ่มเติมเพื่อแก้ปัญหาความต้านทานในพื้นที่นี้ นอกจากนี้ควรแจ้งเตือนเกษตรกรให้งดการใช้สารที่ด้วงหมัดผักมีความต้านทานสูง เช่น สาร carbaryl เพื่อลดปัญหาความต้านทานเพิ่มมากขึ้นในอนาคต

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณ ดร.สุภรดา สุคนธาภิรมย์ ณ พัทลุง ที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับการจัดการความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงและการทดสอบความต้านทานต่อสารกำจัดแมลงในด้วงหมัดผัก และขอขอบคุณเกษตรกรผู้ปลูกพืชตระกูลกะหล่ำในแหล่งพื้นที่จังหวัดกาญจนบุรี นครปฐม เพชรบูรณ์ เชียงใหม่ เชียงราย หนองบัวลำภู และขอนแก่น ที่อำนวยความสะดวกในการเข้าพื้นที่เพื่อเก็บแมลงมาทำงานทดสอบในห้องปฏิบัติการ ขอขอบคุณ นักวิชาการเกษตรกลุ่มบริหารศัตรูพืชที่เตรียมพืชสำหรับการทดลอง จนทำให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

จอมสุรางค์ ดวงธิดา วรเทพ พงษ์ประเสริฐ ไสว
บุรณพานิชพันธุ์ และจิราพร ตยติวุฒิกุล. 2550.
ชีววิทยาและนิเวศวิทยาของด้วงหมัดผักแถบ
ลายในเขตภาคเหนือตอนล่างของประเทศไทย.
วิทยาสารกำแพงแสน 5(1): 20-29.
สิริวัฒน์ วงษ์ศิริ. 2526. แมลงศัตรูพืชทางการเกษตร
ของประเทศไทย. โอเดียนสโตร์. กรุงเทพฯ.
424 หน้า

- ศรีจันทร์ ศรีจันทร์ และพฤษชาติ ปุณวัฒน์. 2566. เอกสารวิชาการ คำแนะนำการป้องกันกำจัดแมลง - สัตว์ศัตรูพืชอย่างปลอดภัย...จากงานวิจัย ปี 2566. กลุ่มบริหารศัตรูพืช กลุ่มกีฏและสัตววิทยา สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช. กรมวิชาการเกษตร. 268 หน้า.
- Abbott, W.S. 1925. A method of computing the effectiveness of an insecticide. *Journal of Economic Entomology*. 18: 265-267.
- Bass, C., Denholm, I., Williamson, M. S. and R. Nauen. 2014. The global status of insect resistance to neonicotinoid insecticides. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 121, 78-87.
- Denholm, I, A.R. Horowitz, M. Cahill and I. Ishaaya. 1977. Management of Resistance to Novel Insecticides *In*: I. Ishaaya and D. Degheele (eds.) *Insecticides with Novel Modes of Action: Mechanisms and Application*. Springer.
- Gao, Y., Z. Lei and S.R. Reitz. 2012. Western flower thrips resistance to insecticides: detection, mechanisms and management strategies. *Pest Management Science*. 68: 1111-1121.
- Immaraju, J.A., J.G. Morse and R.F. Hobza. 1990. Field evaluation of insecticide rotation and mixtures as strategies for citrus thrips (Thysanoptera: Thripidae) resistance management in California. *Journal of Economic Entomology*. 83(2): 306-314.
- Sparks, T.C., and Nauen, R. 2015. IRAC: Mode of action classification and insecticide resistance management. *Pesticide Biochemistry and Physiology*. 121: 122-128.
- Tabashnik, B. E. and N. L. Cushing. 1987. Leaf residue vs. topical bioassays for assessing insecticide resistance in the diamond - back moth, *Plutella xylostella* L. *FAO Plant Protection Bulletin*. 35: 11-14.
- Zhou, W., Y. Arcot, R. F. Medina, J. Bernal, L. Cisneros - Zevallos and M.E.S Akbulut. 2024. Integrated Pest Management: An Update on the Sustainability Approach to Crop Protection. *ACS Omega*. 9(40): 41130-41147.