

การศึกษาความไวต่อสารเคมีและสารเสริมฤทธิ์ของยุงลาย *Aedes aegypti* ในประเทศไทย ปี พ.ศ. 2562

ชนิษฐา ปานแก้ว วท.ม. (กีฏวิทยา)

บุษราคัม สีนาคม วท.บ. (กีฏวิทยา)

พรพิมล ประดิษฐ์ ส.ม. (การจัดการสร้างเสริมสุขภาพ)

บุญเสริม อ่วมอ่อง วท.ม. (เกษตรศาสตร์)

กองโรคติดต่อทางแมลง กรมควบคุมโรค

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์เพื่อศึกษาระดับความไวของยุงลายบ้านสายพันธุ์จากภูมิภาคต่าง ๆ ของประเทศไทย ต่อสารเคมีความเข้มข้นมาตรฐาน ความเข้มข้นที่สูงขึ้น และทดสอบสารเคมีกำจัดแมลงร่วมกับสารเสริมฤทธิ์เพื่อตรวจสอบกลไกการสร้างความต้านทานของสารเคมีฯ สุ่มเก็บตัวอย่างลูกน้ำยุงจากพื้นที่ สคร. จำนวน 12 แห่ง นำยุงลายบ้าน รุ่นที่ 1 มาทดสอบความไวกับสารเคมีกลุ่มไพรีทรอยด์ความเข้มข้นมาตรฐาน ประกอบด้วย alphacypermethrin 0.03%, cyfluthrin 0.15% และ deltamethrin 0.03% และเพิ่มความเข้มข้นของสารเคมีทั้ง 3 ชนิด เป็น 10 เท่า ตลอดจนทดสอบสารไพรีทรอยด์ร่วมกับสารเสริมฤทธิ์ piperonyl butoxide และทดสอบกับสารเคมีกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต ได้แก่ fenitrothion 1%, malathion 0.8% และ pirimiphos - methyl 0.21% ด้วยวิธีการ susceptibility test ตามวิธีการองค์การอนามัยโลก

ผลการศึกษาพบว่า ยุงลายบ้านทุกภูมิภาค ต้านทานต่อสารเคมีกลุ่มไพรีทรอยด์ในระดับปานกลาง จนถึงสูง และเมื่อศึกษาสารเคมีร่วมกับสารเสริมฤทธิ์ พบว่าอัตราการตายของยุงลายบ้านเกือบทุกพื้นที่เพิ่มขึ้นสูงกว่าการใช้สารเคมีเพียงอย่างเดียว สำหรับสารเคมีกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตส่วนใหญ่ต้านทานต่อ fenitrothion และ pirimiphos - methyl ส่วน malathion ต้านทานทุกภูมิภาค ดังนั้นจึงมีข้อเสนอแนะให้ใช้สารกลุ่มไพรีทรอยด์ร่วมกับสารเสริมฤทธิ์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพฯ ประเมินผลการพ่นพุ้งกระจายโดย cage bioassay test และศึกษากลไกการต้านทานของยุงลายบ้านต่อสารเคมีฯเพิ่มเติม เพื่อเป็นข้อมูลประกอบการบริหารจัดการสารเคมีฯ ต่อไป

คำสำคัญ

ยุงลายบ้าน, การทดสอบความไว, การต้านทานต่อสารเคมี, สารเสริมฤทธิ์

Susceptibility of *Aedes aegypti* to insecticide and effect of synergist in Thailand in 2019

Kanitta Pankeaw, M.Sc (Entomology)

Bussarakum Sinakom, B.Sc (Entomology)

Pornpimon Pradit, M.P.H. (Health Promotion Management)

Boonserm Aumaung, M.Sc (Agriculture)

Division of Vector Borne Diseases, Department of Disease Control

Abstract

The objectives of this study were to determine the sensitivity of *Aedes aegypti* from different regions throughout Thailand to insecticide with standard solution, high-intensity concentration and to investigate the resistance mechanism of chemicals combined with synergist. *Ae. aegypti* larvae were gathered from 12 representative places of the Office of Disease Prevention and Control, Thailand. First-generations of *Ae. aegypti* were chosen and tested with discriminating concentration including deltamethrin 0.03%, alphacypermethrin 0.03%, cyfluthrin 0.15% and ten times concentration all of the insecticides. The resistance mechanism tests by synergist-insecticide bioassay with piperonyl butoxide and deltamethrin, alphacypermethrin, cyfluthrin were adopted. Additionally, organophosphates i.e. fenitrothion 1%, malathion 0.8% and pirimiphos - methyl 0.21% were assessed according to the WHO susceptibility test method. The results revealed that *Ae. aegypti* from all regions displayed moderate to high-intensity resistance to deltamethrin, alphacypermethrin and cyfluthrin. Meanwhile, the combination of insecticide with a synergist induced a higher percentage mortality of mosquitoes. Regarding organophosphates, most of *Ae. aegypti* exhibited resistance to fenitrothion and pirimiphos – methyl. Meanwhile, it displayed resistance to malathion throughout regions. Suggesting that the pyrethroids should be employed with piperonyl butoxide for increase efficacy in controlling *Ae. aegypti*. The caged mosquito bioassay should be initiated for space spray evaluation and the test of resistance mechanism of *Ae. aegypti* to pyrethroids should be further considered to be used these data as the integrated *Ae. aegypti* management.

Key word

Aedes aegypti, Susceptibility test, insecticide resistance, synergist, piperonyl butoxide

บทนำ

โรคไข้เลือดออก (Dengue fever) เป็นโรคติดต่อมาโดยยุงลาย ที่เป็นปัญหาที่สำคัญทางสาธารณสุขของประเทศไทย พบรายงานผู้ป่วยและผู้เสียชีวิตด้วยโรคไข้เลือดออกในทุกจังหวัดของประเทศไทยและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในทุกปี การใช้วัคซีนไข้เลือดออกสำหรับการป้องกันโรคไข้เลือดออกยังมีข้อจำกัด ประสิทธิภาพของวัคซีนป้องกันได้ประมาณร้อยละ 60 เท่านั้น⁽¹⁾ วิธีที่ดีที่สุดในการป้องกันการแพร่ระบาดของโรคไข้เลือดออกเน้นการควบคุมยุงพาหะทั้งในระยะตัวเต็มวัยและระยะลูกน้ำ สารเคมีที่ใช้ในการควบคุมกำจัดแมลงมีหลายกลุ่ม เช่น สารกลุ่มคาร์บาเมต (carbamates) ได้แก่ bendiocarb และ propoxur สารกลุ่มไพรีทรอยด์ (pyrethroids) ได้แก่ alpha-cypermethrin, bifenthrin, cyfluthrin, cypermethrin, cyphenothrin, deltamethrin, etofenprox, lambda-cyhalothrin, และ permethrin สารกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต (organophosphates) ได้แก่ fenitrothion, malathion, pirimiphos methyl และ temephos⁽²⁾ สำหรับในประเทศไทยการใช้สารเคมีควบคุมยุงลายระยะตัวเต็มวัยส่วนใหญ่จะใช้สารเคมี ในรูปแบบของการพ่นแบบละอองฝอยหรือพ่นหมอกควันในรัศมี 100 เมตร รอบพื้นที่ที่มีการระบาดเพื่อควบคุมโรค โดยจะดำเนินการเมื่อมีการรายงานโรคไข้เลือดออกเกิดขึ้นแล้ว⁽³⁾ การใช้สารเคมีกำจัดแมลงกำจัดยุงพาหะหากใช้ไม่ถูกต้องและเหมาะสมอาจเป็นปัจจัยหนึ่งที่ชักนำให้ยุงพาหะสร้างความต้านทานต่อสารเคมีกำจัดแมลงได้⁽⁴⁾

สถานการณ์การต้านทานต่อสารเคมีกำจัดแมลงของยุงลายในประเทศไทยพบว่า ระยะเวลา มากกว่า 10 ปี ที่ผ่านมามีรายงานการต้านทานต่อสารเคมีกลุ่มไพรีทรอยด์อย่างต่อเนื่องในทุกปีและทุกภาคของประเทศไทยตั้งแต่ปี 2551 ถึงปี 2561⁽⁵⁻¹⁷⁾ สำหรับสารเคมีกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตมีรายงานการต้านทานสารกลุ่มนี้ในบางพื้นที่ของประเทศไทย^{(5-7), (10), (12), (18-19)} การที่แมลงเกิดความต้านทานต่อสารฆ่าแมลงนั้น มีหลายปัจจัยที่เกี่ยวข้อง และบางปัจจัยอาจต้องมิกซ์กันที่ทำงานประสานกัน (combination resistance) ได้แก่ พฤติกรรมการต้านทาน (behavior resistance, avoidance) ความสามารถในการลดอัตราการดูดซึมสารฆ่าแมลง (reduce penetration) การขับสารฆ่าแมลงออกจากร่างกาย (excretion) เอนไซม์ทำลายสารฆ่าแมลง (metabolic resistance) การเก็บกักสารฆ่าแมลงเพื่อไม่ให้ถูกเคลื่อนย้ายไปยังบริเวณออกฤทธิ์ (sequestration) การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างบริเวณสารออกฤทธิ์ (target site mutation) ซึ่งส่งผลทำให้แมลงมีความต้านทานได้สูงขึ้น⁽²⁰⁾ มีรายงานการต้านทานของยุงลายบ้านในประเทศต่าง ๆ ซึ่งหากใช้ piperonyl butoxide ร่วมกับสารกำจัดแมลงกลุ่มไพรีทรอยด์จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดยุงลายได้ดี โดยไปยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ monooxygenase ที่ยุงสร้างขึ้น แต่การศึกษาถึงกลไกการต้านทานยังไม่ชัดเจน⁽²¹⁾ การศึกษารั้วนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาระดับความไวของยุงลายบ้านสายพันธุ์จากภูมิภาคต่าง ๆ ของประเทศไทยต่อสารเคมี ความเข้มข้นมาตรฐาน ความเข้มข้นที่สูงขึ้น และทดสอบสารเคมีกำจัดแมลงร่วมกับสารเสริมฤทธิ์เพื่อตรวจสอบกลไกการสร้าง ความต้านทานของสารเคมีกำจัดแมลง เพื่อเป็นข้อมูลประกอบการบริหารจัดการสารเคมีกำจัดแมลงในควบคุมยุงลายบ้านซึ่งเป็นพาหะนำโรคที่มีความสำคัญของประเทศไทยต่อไป

วิธีการ

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (experimental research) โดยมีขั้นตอนการดำเนินการศึกษาดังนี้

1. สุ่มเก็บตัวอย่างลูกน้ำยุงลายแบบเฉพาะเจาะจง (purposive selection) ระหว่างปี 2561-2562 ในพื้นที่สำนักงานป้องกันควบคุมโรคที่ 1-12 จำนวน 12 แห่ง แต่ละแห่งเลือก 1 จังหวัด ได้แก่ เชียงใหม่ ตาก นครสวรรค์ พระนครศรีอยุธยา นครปฐม ราชบุรี ขอนแก่น อุดรธานี นครราชสีมา อุบลราชธานี พังงา และจังหวัดสงขลา แต่ละจังหวัดคัดเลือกเก็บตัวอย่างลูกน้ำยุงลาย 1 หมู่บ้าน 30 หลังคาเรือน นำลูกน้ำยุงมาเลี้ยงจนเป็นตัวเต็มวัย คัดเลือกเฉพาะยุงลายบ้าน *Aedes aegypti* ทั้งเพศผู้และเพศเมีย มาเลี้ยงภายใต้ห้องปฏิบัติการกองโรคติดต่อภายในโดยแมลง เก็บไข่ยุงรุ่นลูกรุ่นที่ 1 (F1) เลี้ยงเป็นลูกน้ำเจริญเป็นตัวยุงตัวเต็มวัย นำยุงเพศเมียอายุ 3-5 วัน นำมาทดสอบความไวต่อสารเคมีและสารเสริมฤทธิ์ ด้วยวิธีการ susceptibility test ตามวิธีการองค์การอนามัยโลก ปี 2016⁽²²⁾

2. สารที่ใช้ทดสอบคือสารเคมีกลุ่มไพรีทรอยด์ความเข้มข้นมาตรฐาน (1x) ประกอบด้วย alphacypermethrin 0.03%, cyfluthrin 0.15% และ deltamethrin 0.03% และเพิ่มความเข้มข้นของสารเคมีกลุ่มไพรีทรอยด์ทั้ง 3 ชนิดนี้ เป็น 10 เท่า (10x) ตลอดจนทดสอบสารไพรีทรอยด์ความเข้มข้นมาตรฐานร่วมกับสารเสริมฤทธิ์ piperonyl butoxide (PBO 4.00%) นอกจากนั้นยังได้ทดสอบกับสารกำจัดแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต ได้แก่ fenitrothion 1.00%, malathion 0.80% และ pirimiphos - methyl 0.21% ซึ่งกระดาศหุบสารเคมีใช้ตามมาตรฐานองค์การอนามัยโลก โดยสั่งจาก Universiti Sains Malaysia, Penang, Malaysia ซึ่งเป็นศูนย์ความร่วมมือขององค์การอนามัยโลก⁽²²⁻²³⁾

3. วิธีการทดสอบความไวตามวิธีมาตรฐานองค์การอนามัยโลก โดยอาศัยหลักการให้ยุงสัมผัสกับสารเคมีในความเข้มข้นระดับที่ถูกกำหนดตามมาตรฐาน⁽²²⁻²³⁾

4. การเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ผล

- บันทึกอุณหภูมิความชื้น ในห้องทดสอบที่ทำการทดสอบ และเมื่อครบ 24 ชั่วโมง
- นับจำนวนยุงสลบ เมื่อยุงสัมผัสกระดาศหุบสารเคมี 60 นาที
- นับจำนวนยุงที่ตายและยุงที่รอดชีวิตทั้งหมดแต่ละกระบอกที่ 24 ชั่วโมง
- คำนวณอัตราการตายของยุงที่ 24 ชั่วโมง ถ้าในการทดสอบจำนวนยุงในชุดเปรียบเทียบตายระหว่าง 5-20 % จะทำการปรับค่า ด้วย Abbott formula⁽²⁴⁾ แต่ถ้ามีอัตราการตายมากกว่า 20% จะทำการทดสอบใหม่

Abbott's formula : $\frac{\% \text{ตายของยุงที่สัมผัสสารเคมี} - \% \text{ตายของยุงชุดเปรียบเทียบ}}{100 - \% \text{ตายของยุงชุดเปรียบเทียบ}} \times 100$

100 - %ตายของยุงชุดเปรียบเทียบ

5. เกณฑ์ในการตัดสินผลการทดสอบ ใช้เกณฑ์การตัดสินระดับความไวตามเกณฑ์ขององค์การอนามัยโลกปี 2016⁽²²⁾ โดยแบ่งออกเป็น 3 เกณฑ์ ดังนี้

5.1. เกณฑ์การตัดสินผลการทดสอบสารเคมีกำจัดแมลงที่ความเข้มข้นมาตรฐาน (1x) แบ่งออกเป็น 3 ระดับ คือ

5.1.1 อัตราการตาย $\geq 98\%$ หมายถึง ยุงไวต่อสารเคมีกำจัดแมลง

5.1.2 อัตราการตายระหว่าง 90-97% หมายถึง คาดว่ายุงอาจจะต้านต่อสารเคมีกำจัดแมลง ต้องการการยืนยันผลอีกครั้ง อาจทดสอบซ้ำกับยุงประชากรเดียวกันหรือในรุ่นลูกของยุงที่รอดชีวิต หากผลการทดสอบมีอัตราการตายต่ำกว่า 98% ยืนยันการต้านทานต่อสารเคมี

5.1.3 อัตราการตาย $< 90\%$ หมายถึง ยุงต้านทานต่อสารเคมีกำจัดแมลง

5.2. เกณฑ์การตัดสินผลการทดสอบสารเคมีกำจัดแมลงที่ความเข้มข้น 10 เท่าของความเข้มข้นมาตรฐาน (10x) เพื่อตรวจสอบระดับความต้านทานของสารเคมีกำจัดแมลง แบ่งออกเป็น 2 ระดับ คือ

5.2.1 อัตราการตาย $\geq 98\%$ หมายถึง ยุงมีความต้านทานต่อสารเคมีกำจัดแมลงในระดับปานกลาง

5.2.2 อัตราการตาย $< 98\%$ หมายถึง ยุงมีความต้านทานต่อสารเคมีกำจัดแมลงในระดับสูง

5.3 เกณฑ์การตัดสินผลการทดสอบสารเคมีกำจัดแมลงร่วมกับสารใช้สารเสริมฤทธิ์ (synergist) เพื่อตรวจสอบกลไกการสร้างความต้านทานของสารเคมีกำจัดแมลง มีรายละเอียดดังนี้

5.3.1 อัตราการตายของยุงที่ใช้สารเคมีกำจัดแมลง ≥ 90 ไม่สามารถประเมินผลของสารเสริมฤทธิ์ได้

5.3.2 อัตราการตายของยุงที่ใช้สารเคมีกำจัดแมลง < 90 สามารถประเมินผลของสารเสริมฤทธิ์ได้
ดังนี้

5.3.2.1 อัตราการตายของยุงที่ใช้สารเคมีกำจัดแมลงร่วมกับสารเสริมฤทธิ์ $\geq 98\%$ และมีอัตราการตายสูงกว่าการใช้สารเคมีกำจัดแมลงเพียงอย่างเดียว หมายถึง กลไกการสร้างความต้านทานของสารเคมีกำจัดแมลงของยุงขึ้นกับเอนไซม์ monooxygenase โดยสารเสริมฤทธิ์จะยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ monooxygenase ซึ่งเป็นเอนไซม์ ที่สำคัญในการย่อยสลายสารพิษของแมลง ส่งผลทำให้ยุงกลับมามีความไวต่อสารเคมีกำจัดแมลง

5.3.2.2 อัตราการตายของยุงที่ใช้สารเคมีกำจัดแมลงร่วมกับสารเสริมฤทธิ์ $< 98\%$ และมีอัตราการตายสูงกว่าการใช้สารเคมีกำจัดแมลงเพียงอย่างเดียว หมายถึง กลไกการสร้างความต้านทานของสารเคมีกำจัดแมลงของยุงไม่ได้ขึ้นกับเอนไซม์ monooxygenase เพียงชนิดเดียว แต่อาจเกิดจากกลไกการต้านทานอื่น ๆ ร่วมด้วย ส่งผลให้ยุงไม่ลดความต้านทานต่อสารเคมีกำจัดแมลง

5.3.2.3 อัตราการตายของยุงที่ใช้สารเคมีกำจัดแมลงร่วมกับสารเสริมฤทธิ์มีค่าเท่ากับหรือต่ำกว่า การใช้สารเคมีกำจัดแมลงเพียงอย่างเดียว หมายถึง กลไกการต้านทานสารเคมีกำจัดแมลงไม่ได้ขึ้นกับเอนไซม์ monooxygenase

ผลการศึกษา

1. การศึกษาความไวของยุงลายบ้านต่อสารเคมีกลุ่มไพรีทรอยด์

ศึกษาความไวของยุงลายบ้านต่อสารเคมีกลุ่มไพรีทรอยด์สารความเข้มข้นมาตรฐาน (1x) ประกอบด้วย deltamethrin 0.03% alpha-cypermethrin 0.03% และ cyfluthrin 0.15% และเพิ่มความเข้มข้นของสารเคมีกลุ่มไพรีทรอยด์ทั้ง 3 ชนิดนี้ เป็น 10 เท่าของความเข้มข้นมาตรฐาน (10x) คือ deltamethrin

0.30% alpha-cypermethrin 0.30% และ cyfluthrin 1.50% ใช้วิธีการทดสอบตามวิธีมาตรฐานองค์การอนามัยโลกกับยุงลายบ้านสายพันธุ์ธรรมชาติจำนวน 12 สายพันธุ์ ผลการศึกษาพบว่ายุงลายบ้านเกือบทุกสายพันธุ์ ต้านทานต่อสาร deltamethrin 0.03% alphacypermethrin 0.03%, cyfluthrin 0.15% อัตราการตายไม่เกิน 89.00% (อัตราการตาย อยู่ระหว่าง 7.62-88.12% ,4.49-73.74% และ 18.75-88.12% ตามลำดับ) และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารเคมีกลุ่มไพรีทรอยด์ทั้ง 3 ชนิดนี้ขึ้นเป็น 10 เท่า (10x) พบว่ายุงลายบ้านเกือบทุกสายพันธุ์ยังมีระดับความต้านทานต่อสารเคมีกลุ่มไพรีทรอยด์ทั้ง 3 ชนิดในระดับสูง อัตราการตาย deltamethrin alphacypermethrin และ cyfluthrin อยู่ระหว่าง 69.49 - 96.97% , 30.27 - 82% และ 42.39 - 96.79% ตามลำดับ ยกเว้นยุงลายบ้านสายพันธุ์เชียงใหม่ที่มีความต้านทานต่อสารทั้ง 3 ชนิด ในระดับปานกลาง มีอัตราการตายของยุงลายบ้านต่อสาร deltamethrin 0.30% alphacypermethrin 0.30% และ cyfluthrin 1.50% เท่ากับ 99.06% 99.05% และ 100% ตามลำดับ เช่นเดียวกับยุงลายบ้านสายพันธุ์ตากที่มีความต้านทานปานกลางต่อสาร deltamethrin 0.30% โดยมีอัตราการตายเท่ากับ 99.03% นอกจากนี้ยังพบว่ายุงลายบ้านสายพันธุ์ขอนแก่นมีความต้านทานต่อสาร cyfluthrin 1.50% ในระดับปานกลางเช่นกัน อัตราการตายเท่ากับ 99.04% (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 อัตราการตายของยุงลายบ้านที่ 24 ชั่วโมง เมื่อสัมผัสสารเคมี deltamethrin, alphacypermethrin และ cyfluthrin ที่ความเข้มข้น 1x และ 10x จำแนกตามสายพันธุ์จังหวัดต่างๆ

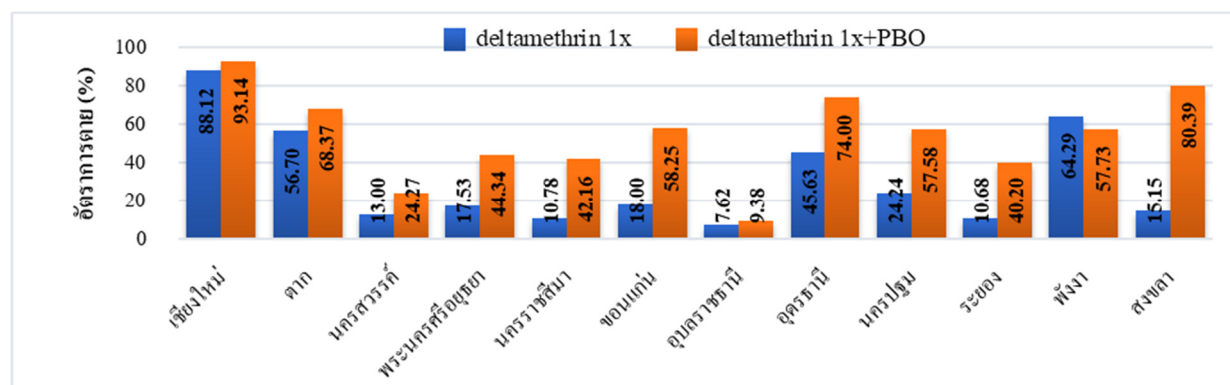
สายพันธุ์	อัตราการตายของยุงลายบ้านต่อสารเคมีที่ความเข้มข้นต่าง ๆ (%)					
	deltamethrin		alphacypermethrin		cyfluthrin	
	0.03% (1x)	0.30%(10x)	0.03% (1x)	0.3% (1x)	0.15%(1x)	1.50% (10x)
เชียงใหม่	88.12	99.06	73.74	99.05	88.12	100
ตาก	56.70	99.03	30.68	82.00	58.42	93.40
นครสวรรค์	13.00	74.49	11.11	35.71	39.36	42.39
พระนครศรีอยุธยา	17.53	89.01	27.84	44.00	26.85	66.67
นครราชสีมา	10.78	83.84	24.26	70.30	26.67	63.54
ขอนแก่น	18.00	92.31	4.49	65.38	18.75	99.04
อุบลราชธานี	7.62	82.83	12.50	58.59	22.00	86.73
อุดรธานี	45.63	95.64	41.84	78.18	59.41	96.79
นครปฐม	24.24	69.49	29.00	30.27	33.00	44.35
ระยอง	10.68	96.97	5.10	82.00	19.79	84.16

ตารางที่ 1 อัตราการตายของยุงลายบ้านที่ 24 ชั่วโมง เมื่อสัมผัสกระดาษชุบสารเคมี deltamethrin, alphacypermethrin และ cyfluthrin ที่ความเข้มข้น 1x และ 10x จำแนกตามสายพันธุ์จังหวัดต่างๆ

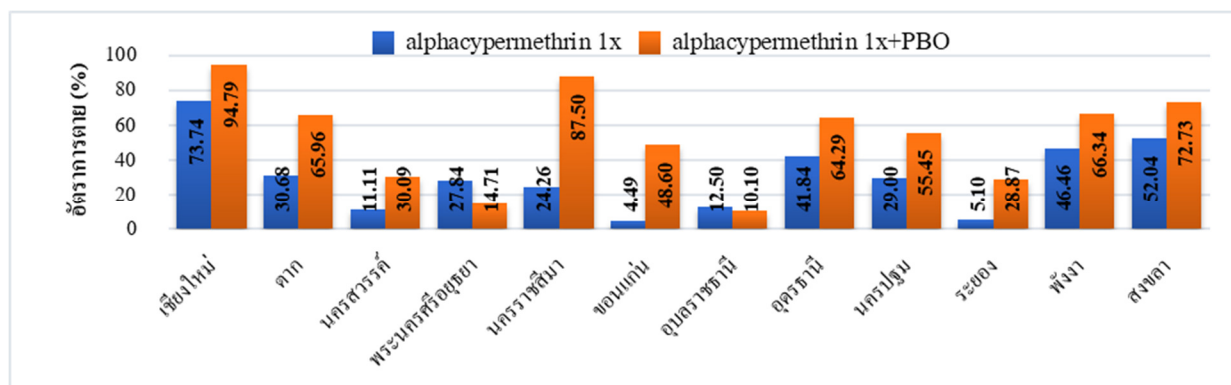
สายพันธุ์	อัตราการตายของยุงลายบ้านต่อสารเคมีที่ความเข้มข้นต่าง ๆ (%)					
	deltamethrin		alphacypermethrin		cyfluthrin	
	0.03% (1x)	0.30%(10x)	0.03% (1x)	0.3% (1x)	0.15%(1x)	1.50% (10x)
พังงา	64.29	91.00	46.46	66.67	64.04	67.00
สงขลา	15.15	86.46	52.04	75.56	78.57	73.20

2. การศึกษาความต้านทานของยุงลายบ้านต่อสารเคมีกลุ่มไพรีทรอยด์ร่วมกับสารเสริมฤทธิ์ PBO เพื่อตรวจสอบกลไกการสร้างความต้านทานต่อสารเคมีกำจัดแมลง

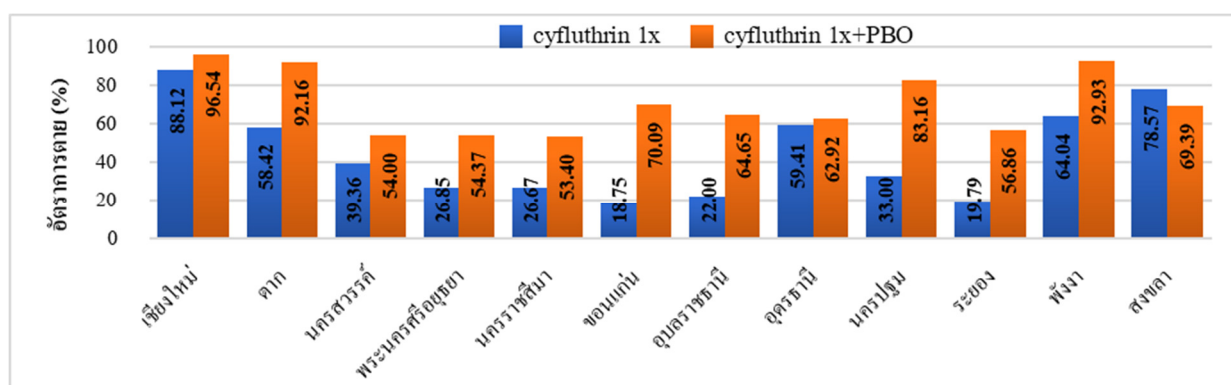
การศึกษาความต้านทานของยุงลายบ้านจำนวน 12 สายพันธุ์ ต่อสารเคมีกลุ่มไพรีทรอยด์ 3 ชนิด ที่ความเข้มข้นมาตรฐาน ประกอบด้วย deltamethrin 0.03%, alphacypermethrin 0.03% และ cyfluthrin 0.15% ร่วมกับสารเสริมฤทธิ์ PBO 4.00% พบว่าอัตราการตายของยุงลายบ้านเกือบทุกพื้นที่เพิ่มสูงขึ้นกว่าการใช้สารเคมีเพียงอย่างเดียว โดยมีอัตราการตายอยู่ระหว่าง 9.38-93.14%, 10.1-94.79% และ 53.40-96.54 % ตามลำดับ (ภาพที่ 1, 2 และ 3)



ภาพที่ 1 อัตราการตายของยุงลายบ้านที่ 24 ชั่วโมง เมื่อสัมผัสกระดาษชุบสารเคมี deltamethrin 0.03 % (1x) และ deltamethrin 0.03 % (1x) ร่วมกับ PBO 4.00%



ภาพที่ 2 อัตราการตายของยุงลายบ้านที่ 24 ชั่วโมง เมื่อสัมผัสสารเคมี alphacypermethrin 0.03% (1x) และ alphacypermethrin 0.03% (1x) ร่วมกับ PBO 4.00%



ภาพที่ 3 อัตราการตายของยุงลายบ้านที่ 24 ชั่วโมง เมื่อสัมผัสสารเคมี cyfluthrin 0.15% (1x) และ cyfluthrin 0.15% (1x) ร่วมกับ PBO 4.00%

3. การศึกษาความไวของยุงลายต่อสารเคมีกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต

ศึกษาความไวของยุงลายบ้านจำนวน 12 สายพันธุ์ ต่อสารเคมีกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต ได้แก่ malathion 0.80%, fenitrothion 1.00% และ pirimiphos - methyl 0.21% พบว่ายุงลายบ้านทั้ง 12 สายพันธุ์ ต้านทานต่อสารเคมี malathion 0.80% อัตราการตายอยู่ระหว่าง 0.00 - 86.87% ส่วนสาร fenitrothion 1.00% พบว่ายุงลายบ้านสายพันธุ์พังงา มีความไวต่อสาร fenitrothion 1.00% อัตราการตายเท่ากับ 100% และยุงลายบ้านจำนวน 7 สายพันธุ์ ต้านทานต่อสาร fenitrothion 1.00% คือสายพันธุ์นครปฐม อุดรธานี อุบลราชธานี ขอนแก่น นครราชสีมา นครสวรรค์ และ ดอก มีอัตราการตายระหว่าง 18.18 - 87.88% นอกจากนี้ยังพบว่า ยุงลายบ้านสายพันธุ์สงขลา ระยอง พระนครศรีอยุธยา และเชียงใหม่ อาจจะต้านทานต่อสาร fenitrothion 1.00% โดยมีอัตราการตายอยู่ระหว่าง 95.05 - 97.98% สำหรับยุงลายบ้านสายพันธุ์สงขลาพบว่าไวต่อสาร pirimiphos - methyl 0.21% อัตราการตายเท่ากับ 98.02% และยุงลายบ้านจำนวน 3 สายพันธุ์ อาจจะต้านทาน

ต่อสาร pirimiphos - methyl 0.21% คือ สายพันธุ์ระยอง อุดรธานี และเชียงใหม่ ส่วนยุงสายพันธุ์จังหวัด ตาก นครสวรรค์ พระนครศรีอยุธยา นครปฐม ขอนแก่น นครราชสีมา อุบลราชธานี และ พังงา พบว่าต้านทานต่อสารเคมีดังกล่าว อัตราการตายอยู่ระหว่าง 3.03 - 80.85% ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 อัตราการตายของยุงลายบ้านที่ 24 ชั่วโมง เมื่อสัมผัสกระดาษชุบสารเคมี fenitrothion 1.00%, malathion 0.80% และ pirimiphos - methyl 0.21% จำแนกตามสายพันธุ์

สายพันธุ์	อัตราการตายของยุงลายบ้านต่อสารเคมี (%)		
	pirimiphos-methyl 0.21%	fenitrothion 1.00%	malathion 0.80%
เชียงใหม่	93.00	95.96	7.84
ตาก	56.00	59.62	3.13
นครสวรรค์	80.85	88.42	6.19
พระนครศรีอยุธยา	79.00	95.05	0.00
นครราชสีมา	64.42	79.81	1.06
ขอนแก่น	73.79	88.46	3.92
อุบลราชธานี	33.00	18.18	2.02
อุดรธานี	92.00	87.88	8.16
นครปฐม	3.03	73.47	86.87
ระยอง	91.00	96.00	0.00
พังงา	79.19	100	2.77
สงขลา	98.02	97.98	8.33

วิจารณ์

จากการทดสอบความไวของยุงลายบ้าน สายพันธุ์จังหวัด เชียงใหม่ ตาก นครสวรรค์ พระนครศรีอยุธยา นครปฐม ระยอง ขอนแก่น อุดรธานี นครราชสีมา อุบลราชธานี พังงา และจังหวัด สงขลา ต่อสารกำจัดแมลงความเข้มข้นมาตรฐาน ได้แก่ alphacypermethrin 0.03%, cyfluthrin 0.15% และ deltamethrin 0.03% พบว่ายุงลายทุกจังหวัดต้านทานต่อสารเคมีทั้ง 3 ชนิด ซึ่งจากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า รายงานสถานการณ์ความไวของยุงลายบ้าน *Ae. aegypti* ต่อสารเคมี deltamethrin, alphacypermethrin และ cyfluthrin ในประเทศไทยนั้นมีแนวโน้มลดต่ำลงและพบรายงานด้านต้านทานเพิ่มในหลายพื้นที่ โดยในปี พ.ศ 2542 บุญเสริมและคณะ⁽⁵⁾ รายงานว่ายุงลายบ้าน *Ae. aegypti* ในพื้นที่ 10 จังหวัดภาคกลางของประเทศไทย ได้แก่ กรุงเทพมหานคร นนทบุรี ปทุมธานี อยุธยา อ่างทอง สิงห์บุรี นครปฐม สมุทรสาคร สุพรรณบุรี และ นครนายก มีความไวระดับปานกลางจนถึงระดับต่ำต่อสารเคมี deltamethrin 0.25%, cyfluthrin 0.10% และ

ไม่มีจังหวัดใดที่มีความไวระดับสูงต่อสารเคมีทั้ง 2 ชนิด และในปี 2546 -2548 เนื่ององค์และคณะ⁽⁶⁾ ได้รายงานว่ายุงลายบ้าน *Ae. aegypti* จากพื้นที่กรุงเทพมหานคร ชลบุรี นครสวรรค์ นครราชสีมา สงขลา ส่วนใหญ่ มีความไวระดับต่ำต่อสารเคมี deltamethrin 0.06% นอกจากนี้ Komalamisra, et al.⁽⁹⁾ รายงานว่ายุงลายบ้านในพื้นที่กรุงเทพมหานคร 55 พื้นที่ พบว่ามีความไวระดับสูงจนถึงต้านทาน deltamethrin 0.05% และ cyfluthrin 0.15%

แต่ต่อมาในปี 2551 สถานการณ์ความไวของยุงลายบ้านต่อ deltamethrin 0.05% และ alphacypermethrin 0.05% พบว่ามีความไวต่อสารดังกล่าวในหลายพื้นที่ เช่น Thanispong, et al.⁽⁷⁾ รายงานว่ายุงลายบ้าน *Ae. aegypti* ในหลายจังหวัดกระจายตามภูมิภาคต่าง ๆ ยังคงมีความไวต่อ deltamethrin 0.05% และ alphacypermethrin 0.05% สอดคล้องกับ Chuaycharoensuk, et al.⁽⁸⁾ ที่รายงานยุงลายบ้าน 32 พื้นที่กระจายตามภูมิภาคต่าง ๆ ของประเทศไทยพบว่ายุงลายบ้านส่วนใหญ่ยังมีความไวต่อ deltamethrin 0.05% โดยไม่พบยุงที่มีความไวระดับต่ำต่อสารเคมีชนิดนี้

ในปี 2552 กองแก้วและคณะ⁽¹¹⁾ ได้ทำการศึกษายุงลายบ้านในภาคตะวันออกเฉียงเหนือพบว่ามีความไวระดับสูงและปานกลางต่อ deltamethrin 0.05% มีจังหวัดร้อยเอ็ดเพียงจังหวัดเดียวที่มีความไวระดับต่ำ สอดคล้องกับการศึกษาของพรรณเกษม และคณะ⁽¹⁰⁾ ได้เก็บตัวอย่างยุงลายบ้าน 25 จังหวัด ในภาคต่าง ๆ ของประเทศไทย ระหว่างปี พ.ศ. 2549-2553 มาทดสอบความไว พบว่ามีความไวของระดับปานกลางจนถึงมีความไวต่อสารเคมีในระดับต่ำ (ต้านต่อสารเคมี) และไม่มีจังหวัดใดที่มีความไวระดับสูงต่อ deltamethrin 0.05%, Cyfluthrin 0.15% และ fenitrothion 1.00%

ในปี 2558-2559 กาญจนาและคณะ⁽¹⁶⁾ ได้มีการศึกษาความไวของยุงลายบ้านในพื้นที่ 8 จังหวัดภาคเหนือพบว่า ยุงลายบ้านที่จังหวัดลำปางและจังหวัดลำพูนยังมีระดับความไวสูงไวต่อสาร deltamethrin 0.05% และที่จังหวัดลำปางยังมีระดับความไวสูงต่อ alphacypermethrin ขณะที่จังหวัดเชียงใหม่มีความไวต่อสารทั้งสองชนิดนี้ระดับปานกลาง แต่ในปี 2560 วสิน และคณะ⁽¹⁷⁾ รายงานยุงลายบ้านพื้นที่จังหวัดบุรีรัมย์ พบว่ามียุงลายบ้านมีความไวระดับต่ำต่อ deltamethrin 0.05%, alphacypermethrin 0.08% เช่นเดียวกับการศึกษาของ ดุยิต และคณะ⁽²⁵⁾ ที่เก็บตัวอย่างลูกน้ำยุงลายบ้านพื้นที่จังหวัดพิษณุโลก ในปี 2561-2562 มาทดสอบความไวของยุงลายบ้านพบว่ามีความไวระดับต่ำต่อ alphacypermethrin 0.03%

และเมื่อนำยุงลายบ้าน 12 สายพันธุ์ไปทดสอบกับสารกำจัดแมลงความเข้มข้นสูงกว่ามาตรฐาน 10 เท่า (10x) ได้แก่ alphacypermethrin 0.30%, cyfluthrin 1.50% และ deltamethrin 0.30% พบว่ายุงลายบ้านสายพันธุ์จังหวัดเชียงใหม่และจังหวัดตากต้านทานต่อสารเคมี deltamethrin ระดับปานกลาง ยุงลายบ้านสายพันธุ์เชียงใหม่ต้านทานต่อ alphacypermethrin ระดับปานกลาง และยุงลายบ้านสายพันธุ์จังหวัดขอนแก่นต้านทานต่อ cyfluthrin ระดับปานกลาง สำหรับยุงลายบ้านสายพันธุ์ที่เหลือต้านทานต่อสารเคมี ทั้ง 3 ชนิดระดับสูง

ผลการทดสอบความไวของลายบ้านสายพันธุ์พื้นที่ทุกจังหวัดต่อสารเคมี deltamethrin, alphacypermethrin และ cyfluthrin เดี่ยว พบว่าลายบ้านสายพันธุ์พื้นที่ทุกจังหวัดมีอัตราการตายน้อยกว่า 90% จึงจำเป็นต้องนำลายบ้านสายพันธุ์พื้นที่ทุกจังหวัดมาทดสอบกับไพริทรอยด์ทั้ง 3 ชนิด ร่วมกับ PBO เพื่อหาประสิทธิภาพการสร้างความต้านทาน ผลการทดสอบความไวของลายบ้านกับ deltamethrin ร่วมกับ PBO พบว่าอัตราการตายของลายบ้านสายพันธุ์พื้นที่ทุกจังหวัดมีอัตราการตายน้อยกว่า 98% และมีอัตราการตายมากกว่าผลการทดสอบกับ deltamethrin เดี่ยว ยกเว้นลายบ้านสายพันธุ์จังหวัดพังงา มีอัตราการตายของยุงทดสอบกับสารเคมีร่วมกับ PBO น้อยกว่าผลการทดสอบกับ deltamethrin เดี่ยว แสดงว่ากลไกการสร้างความต้านทานต่อ deltamethrin ของลายบ้านสายพันธุ์พื้นที่ทุกจังหวัด ไม่ได้ขึ้นกับเอนไซม์ monooxygenase เพียงชนิดเดียว แต่อาจเกิดจากกลไกการต้านทานอื่น ๆ ร่วมด้วย ส่งผลให้ยุงไม่ลดความต้านทานต่อสารเคมีกำจัดแมลงลง และสำหรับลายบ้านสายพันธุ์จังหวัดพังงาพบว่ากลไกการต้านทานต่อ deltamethrin ไม่ได้ขึ้นกับเอนไซม์ monooxygenase

การทดสอบความไวของลายบ้านกับ alphacypermethrin ร่วมกับ PBO พบว่าอัตราการตายของลายบ้านสายพันธุ์พื้นที่ทุกจังหวัดมีอัตราการตายน้อยกว่า 98% แต่มากกว่าทดสอบกับ alphacypermethrin เดี่ยว ยกเว้นสายพันธุ์จังหวัดพระนครศรีอยุธยา และอุบลราชธานี มีอัตราการตายของยุงทดสอบน้อยกว่าทดสอบกับ alphacypermethrin เดี่ยว แสดงว่ากลไกการสร้างความต้านทานต่อ alphacypermethrin ของลายบ้านสายพันธุ์พื้นที่ทุกจังหวัด ไม่ได้ขึ้นกับเอนไซม์ monooxygenase เพียงชนิดเดียว แต่อาจเกิดจากกลไกการต้านทานอื่น ๆ ร่วมด้วย ส่งผลให้ยุงไม่ลดความต้านทานต่อสารเคมีกำจัดแมลงลง ยกเว้นสายพันธุ์จังหวัดพระนครศรีอยุธยา และอุบลราชธานีที่กลไกการต้านทานต่อ alphacypermethrin ไม่ได้ขึ้นกับเอนไซม์ monooxygenase

การทดสอบความไวของลายบ้านกับ cyfluthrin ร่วมกับ PBO พบว่าอัตราการตายของลายบ้านสายพันธุ์พื้นที่ทุกจังหวัดมีอัตราการตายน้อยกว่า 98% แต่มากกว่าทดสอบกับ cyfluthrin เดี่ยว ยกเว้น สายพันธุ์จังหวัดสงขลามีอัตราการตายของยุงทดสอบน้อยกว่าทดสอบกับ cyfluthrin เดี่ยว แสดงว่ากลไกการสร้างความต้านทานต่อ cyfluthrin ของลายบ้านสายพันธุ์พื้นที่ทุกจังหวัด ไม่ได้ขึ้นกับเอนไซม์ monooxygenase เพียงชนิดเดียว แต่อาจเกิดจากกลไกการต้านทานอื่น ๆ ร่วมด้วย ส่งผลให้ยุงไม่ลดความต้านทานต่อสารเคมีกำจัดแมลงลง ยกเว้นสายพันธุ์จังหวัดสงขลาที่กลไกการต้านทานต่อ cyfluthrin ไม่ได้ขึ้นกับเอนไซม์ monooxygenase

การทดสอบความไวของลายบ้านต่อสารเคมีกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต พบว่ามีลายบ้านสายพันธุ์จังหวัดสงขลาเพียงสายพันธุ์เดียวที่มีความไวต่อสาร pirimiphos-methyl 0.21% สำหรับสายพันธุ์จังหวัดเชียงใหม่ และอุดรธานียังไม่สามารถยืนยันได้ ในขณะที่สายพันธุ์อื่น ๆ ด้านทานต่อ pirimiphos-methyl

ลายบ้านสายพันธุ์จังหวัดพังงา มีความไวต่อสาร fenitrothion 1.00% ขณะที่สายพันธุ์จังหวัดเชียงใหม่ พระนครศรีอยุธยา ระยอง และสงขลา ยังไม่สามารถยืนยันได้ แต่สายพันธุ์อื่น ๆ ด้านทานต่อ

fenitrothion ซึ่งความไวของยุงลายบ้านต่อสาร fenitrothion มีรายงานความไวมีแนวโน้มลดต่ำลงในหลายพื้นที่โดยในปี พ.ศ 2542 บุญเสริมและคณะ⁽⁵⁾ รายงานว่ายุงลายบ้าน *Ae. aegypti* ในพื้นที่ 3 จังหวัดภาคกลางของประเทศไทย ได้แก่ กรุงเทพมหานคร สิงห์บุรี และนครนายก ทุกจังหวัดมีความไวระดับต่ำต่อสารเคมี fenitrothion 1.00% และพรรณเกษม และคณะ⁽¹⁰⁾ รายงานความไวของยุงลายบ้าน 18 จังหวัด ในภาคต่าง ๆ ของประเทศไทย ระหว่างปี พ.ศ. 2549-2553 กับสารเคมี fenitrothion 1.00% พบว่าความไวมีความแตกต่างกันตั้งแต่ระดับสูง ของระดับปานกลาง จนถึงมีความไวต่อสารเคมีในระดับต่ำ (ต้านทานต่อสารเคมี) พบยุงลายบ้าน 7 ใน 18 พื้นที่ ด้านทานต่อสารเคมีชนิดนี้

สำหรับการทดสอบกับ malathion 0.80% พบว่ายุงลายบ้านทุกสายพันธุ์ต้านทานต่อ malathion ซึ่งส่วนใหญ่มีอัตราการตายต่ำกว่า 10.00%

การศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่า ยุงลายบ้าน *Ae. aegypti* ทุกภูมิภาคของประเทศไทย ด้านทานต่อสารเคมีไพรีทรอยด์ ได้แก่ deltamethrin, alphacypermethrin และ cyfluthrin ในระดับปานกลางจนถึงสูง และเมื่อตรวจสอบกลไกการสร้างความต้านทานต่อสารเคมีไพรีทรอยด์ โดยให้ยุงลายบ้านสัมผัสสารเคมีกลุ่มไพรีทรอยด์ร่วมกับ PBO 4.00% พบว่ากลไกการต้านทานไม่ได้ขึ้นกับเอนไซม์ monooxygenase เพียงอย่างเดียว แต่มีกลไกอย่างอื่นร่วมด้วย ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Kongmee, et al.⁽²⁶⁾ รายงานในปี 2562 พบว่ายุงลายบ้านในประเทศไทยมีการต้านทานระดับปานกลางต่อ deltamethrin 0.05% และเมื่อให้ยุงลายบ้านสัมผัสสารเคมี deltamethrin ร่วมกับ PBO 4.00% พบว่าอัตราการตายของยุงลายบ้านจะเพิ่มสูงขึ้นแต่ไม่ได้สรุปผลว่ากลไกการต้านทานต่อสารเคมีเกิดจากกลไกใด

สรุป

จากการศึกษาจะเห็นได้ว่ายุงลายบ้านในพื้นที่ศึกษาภูมิภาคต่าง ๆ ของประเทศไทย เกิดกลไกการต้านทานต่อสารเคมีไพรีทรอยด์หลายชนิด ซึ่งกลไกการต้านทานส่วนหนึ่งขึ้นกับเอนไซม์ monooxygenase และมีกลไกการต้านทานอื่น ๆ ร่วมด้วย ส่งผลให้ยุงไม่ลดความต้านทานต่อสารเคมีกำจัดแมลงลงจนถึงระดับที่ไวต่อสารกำจัดแมลงนั้น ๆ นอกจากนั้นยุงลายบ้านที่ศึกษานี้ยังต้านทานต่อ fenitrothion, pirimiphos – methyl และ malathion

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะจากผลการวิจัย

- จากการศึกษาครั้งนี้พบว่า การใช้สารเคมีกลุ่มไพรีทรอยด์ร่วมกับสารเสริมฤทธิ์ พบว่าอัตราการตายของยุงลายบ้านเพิ่มสูงขึ้นกว่าการใช้สารเคมีกลุ่มไพรีทรอยด์เพียงอย่างเดียว ดังนั้นจึงควรใช้สารเคมีกลุ่มไพรีทรอยด์ร่วมกับ piperonyl butoxide (PBO) ในการพ่นพู่กระจาย เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดยุงลายบ้าน

2. ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

- ควรมีการศึกษาติดตามประเมินผลการพ่นพุ่มกระจายโดยการทำ cage bioassay test กับสารเคมีชนิดอื่นๆที่มีใช้ในการควบคุมยุงลายในพื้นที่
- ควรมีการศึกษาผลกระทบการต้านทานของยุงลายบ้านต่อสารเคมีกลุ่มไพรีทรอยด์เพื่อเป็นข้อมูลประกอบการบริหารจัดการสารเคมีกำจัดแมลงในควบคุมยุงลายบ้านซึ่งเป็นพาหะนำโรคที่มีความสำคัญของประเทศไทยหลายโรคด้วยกันต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้สำเร็จได้ด้วยดีโดยการสนับสนุนของหลายฝ่ายด้วยกัน ขอขอบพระคุณผู้อำนวยการกองโรคติดต่อมาโดยแมลง หัวหน้ากลุ่มกีฏวิทยาและควบคุมแมลงนำโรคที่ให้การสนับสนุน ขอบคุณทีมกีฏวิทยาสำนักงานป้องกันควบคุมโรคที่ช่วยเก็บตัวอย่างลูกน้ำยุงลาย ขอบคุณเจ้าหน้าที่กลุ่มกีฏวิทยาและควบคุมแมลงนำโรคทุกท่านที่มีส่วนช่วยดำเนินการในส่วนต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินการครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

1. สถาบันวัคซีนแห่งชาติ. วัคซีนไข้เลือดออก" สำเร็จแล้ว จ่อขึ้นทะเบียน แม้ประสิทธิภาพไม่เต็ม 100% แต่ดีกว่าไม่. [อินเทอร์เน็ต]. ม.ป.ป. [เข้าถึงเมื่อ 1 ส.ค. 63.]; เข้าถึงได้จาก: <http://www.nvi.go.th/index.php/blog/2016/02/v012>.
2. World Health Organization. Pesticides and their application and their application for the control of vectors and pests of public health importance. Geneva, Switzerland. sixth edition. WHO/CDS/NTD/WHOPES/GCDPP/2006.1; 2006.
3. สำนักโรคติดต่อมาโดยแมลง กรมควบคุมโรค. คู่มือวิชาการโรคติดต่อเฉียบพลันและโรคไข้เลือดออกเฉียบพลันด้านการแพทย์และสาธารณสุข ปี พ.ศ. 2558 . พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์อักษรกราฟฟิคแอนด์ดีไซน์ กรุงเทพมหานคร; 2558. 140 หน้า.
4. Insecticide Resistance Action Committee (IRAC). Prevention and Management of Insecticide Resistance in Vectors of Public Health Importance. [online].2011. 2nd edition. [cite 2020 September 15]; Available form: https://croplife.org/wp-content/uploads/pdf_files/IRAC-Prevention-management-of-insecticide-resistance-in-vectors-pests-of-public-health-importance.pdf.
5. บุญเสริม อ่วมอ่อง สงคราม งามปทุม และมานิช ศรีแก้ว. การศึกษาความไวของยุงลาย *Aedes aegypti* ต่อสารกำจัดแมลงในภาคกลางของประเทศไทย. วารสารกระทรวงสาธารณสุข 2542; 18 (7-12): 93-101.

6. Jirakanjanakit N, Rongnoparut P, Saengtharatip S, Chareonviriyaphap T, Duchon S, Bellec C, et al. Insecticide susceptible/resistance status in *Aedes* (Stegomyia) **aegypti** and *Aedes* (Stegomyia) **albopictus** (Diptera: Culicidae) in Thailand during 2003-2005. J Econ Entomol; 2007; (2):545-50. doi: 10.1603/0022-0493(2007)100[545: irsias]2.0.co;2. PMID: 17461081.
7. Thanispong K, Sathantriphop S, Chareonviriyaphap T. Insecticide resistance of *Aedes aegypti* and *Culex quinquefasciatus* in Thailand. J Pestic Sci 2008; 33(4):351-356. DOI: 10.1584/jpestics.G08-12.
8. Chuaycharoensuk, T, Juntarajumnong W, Boonyuan W, Bangs J M, Akwatanakul P, Thammaphalo S, et al. Frequency of pyrethroid resistance in *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) in Thailand. J Vector Ecol 2011; 36(1):204-212.
9. Komalamisra N, Srisawat R, Phanbhuwong T, Oatwaree S. Insecticide Susceptibility of The Dengue Vector, *Aedes aegypti* (L.) In Metropolitan Bangkok. Southeast Asian J Trop Med Public Health 2011; 42(4):814-823.
10. พรรณเกษม แผ่พร, กสิน สุภปฐม และ สุนัยนา สพานไทรภพ. ความไวของยุงลายตามภาคต่างๆ ของประเทศไทยต่อสารเคมีกำจัดแมลงที่ใช้ในการควบคุมโรค ใช้เลือดออก, 2549-2553. วารสารโรคติดต่อ นำโดยแมลง 2553; 7(1): 8-16.
11. กองแก้ว ชะอุบ, อาสาพะ พิมพ์บึง, บุญส่ง กุลโสง, พรทวิวัฒน์ สุนัยจันทร์. ระดับความไวต่อสารเคมีของลูกน้ำและยุงลายในพื้นที่รับผิดชอบของสำนักงานป้องกันควบคุมโรคที่ 6 จังหวัดขอนแก่น ปี 2552. วารสารสำนักงานป้องกันควบคุมโรคที่ 6 ขอนแก่น 2554; 18(3) 1-10.
12. คณัจจิรัช ธานีสงศ์, ฌนิษฐา ปานแก้ว, ประชา สุขโชติ. ความไว/ความต้านทานต่อสารเคมีกำจัดแมลงของยุงลายบ้านต่อสารเคมีกำจัดแมลงที่ใช้ในงานสาธารณสุข. วารสารโรคติดต่อ นำโดยแมลง; 2554; 8 (2):28-43 หน้า.
13. เพ็ญภา ชะวิต, นฤมล โกมลมิศร์ และชำนาญ อภิวัฒน์ศร. การทดสอบความไวของยุงลายบ้านต่อสารเคมีกำจัดแมลง จังหวัดลพบุรี เพชรบุรี ปราจีนบุรี สุราษฎร์ธานี และกรุงเทพมหานคร วารสารสาธารณสุข 2555; 21(3):467-476.
14. สำนักโรคติดต่อ นำโดยแมลง. รายงานประจำปี 2560 สำนักโรคติดต่อ นำโดยแมลง. สำนักพิมพ์อักษรกราฟฟิคแอนด์ดีไซน์ กรุงเทพมหานคร ; 2561. 138 หน้า.
15. สำนักโรคติดต่อ นำโดยแมลง. รายงานประจำปี 2561 สำนักโรคติดต่อ นำโดยแมลง. สำนักพิมพ์อักษรกราฟฟิคแอนด์ดีไซน์ กรุงเทพมหานคร ; 2562. 128 หน้า.
16. กาญจนา โกติทิพย์, เจนจิรา จันสุภา, สุธาสิณี มาแดง, กานต์ธีรา เรืองเจริญ และวรรณภา สุวรรณเกิด. ความไวของยุงลายบ้าน (*Aedes aegypti*) ต่อสารเคมีกลุ่ม Pyrethriod ในพื้นที่ 8 จังหวัดภาคเหนือ ปี 2558 และ 2559. วารสารสาธารณสุข ล้านนา 2561; 14(1):13-22.

17. วสิน เทพเนาว์, นที ชาวนา, ดอกกรัก ฤทธิ์จีน และสำราญ ป่านขาว. ความไวต่อสารเคมีฆ่าแมลง (Temephos, Alphacypermethrin, Deltamethrin, Lamda-cyhalothrin และ Cypermethrin) ของยุงลาย ป้าย *Aedes aegypti* ในพื้นที่จังหวัดบุรีรัมย์. วารสารวิชาการ สคร. 9 2561; 24(2):15-23.
18. Pimsamarn S, Sornpeng W, Akksilp S, Paeporn P, Limpawitthayakul M. Detection of insecticide resistance in *Aedes aegypti* to organophosphate and synthetic pyrethroid compounds in the north-east of Thailand. Dengue Bulletin 2009; 33: 194 - 202.
19. Paeporn P, Supaphathom K, Sathantriphop S. Insecticide susceptibility of *Aedes aegypti* in different parts of Thailand, 2006–2010. J Vector Borne Dis 2010; 17: 8-16.
20. สิริภัก สุระพร. กลไกที่แมลงต้านทานต่อสารฆ่าแมลง. วารสารเกษตรพระวรุณ 2562;16(1):34 – 48.
21. Amelia-Yap Z, Chee Chen D, Sofian-Azirun M, Low V. Pyrethroid resistance in the dengue vector *Aedes aegypti* in Southeast Asia: present situation and prospects for management. Parasit Vectors 2018; 11:332:1-17.
22. World Health Organization. Test procedures for insecticide resistance monitoring in malaria vector mosquitoes – 2nd ed. Geneva, Switzerland; 2016. 48 page
23. สำนักโรคติดต่อนำโดยแมลง. คู่มือการทดสอบสารเคมี. พิมพ์ครั้งที่ 1. นนทบุรี: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด; 2557: 42 หน้า.
24. Capinera J L. Abbott's Formula. Encyclopedia of entomology. [online]. 2005. [cite 2020 September 15]; Available form: Available from: URL: https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007%2F0-306-48380-7_4.
25. ดุยิต โพธิ์ทอง นันทิดา คาสรี และ พิธิษฐ์ พูลประเสริฐ. การทดสอบความไวของยุงลายต่อสารเคมีในเขตพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย PSRU Journal of Science and Technology 2020; 5(2): 1-12.
26. Kongmee M, Thanispong K, Sathantriphop S, Sukkanon C, Bangs MJ, Chareonviriyaphap T. Enhanced mortality in deltamethrin-resistant *Aedes aegypti* in Thailand using a piperonyl butoxide synergist. Acta Trop 2019; 189:76-83. doi: 10.1016/j.actatropica.2018.09.025. Epub 2018 Oct 1. PMID: 30287252.