

ประสิทธิภาพทางชีววิเคราะห์ของผลิตภัณฑ์เคมีกำจัดแมลงที่ใช้ในบ้านเรือน
ต่อยุงลายบ้านที่มีความต้านทานต่อสารเคมีกำจัดแมลงจากจังหวัดจันทบุรี

Bioefficacy of commercial household insecticide products against
insecticide-resistant *Aedes aegypti* (L.) from Chanthaburi province

ภูเบศร์ ยะอัมพันธ์

สุนัยนา สathanไตรภพ

พงศกร มุขขันธ

สุนิสา อ่อนคง

พรรณเกษม แผ่พร

อาชวินทร์ โรจนวิวัฒน์

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์สาธารณสุข

กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์

Phubeth Ya-umphan

Sunaiyana Sathantriphop

Pongsakorn Mukkhun

Sunisa Onkong

Pungasem Paeporn

Archawin Rojanawiwat

National Institute of Health,

Department of Medical Science

DOI: 10.14456/dcj.2022.69

Received: December 21, 2021 | Revised: April 22, 2022 | Accepted: April 23, 2022

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพทางชีววิเคราะห์ของผลิตภัณฑ์เคมีกำจัดแมลงประเภทต่าง ๆ ที่ใช้ควบคุมกำจัดยุงในบ้านเรือนที่วางจำหน่ายในห้างสรรพสินค้าระหว่างปี 2562-2564 ต่อยุงลายบ้าน (*Aedes aegypti* L.) พาหะนำโรคไข้เลือดออกที่มีความต้านทานต่อสารไพรีทรอยด์จากจังหวัดจันทบุรี เปรียบเทียบกับยุงลายบ้านสายพันธุ์ห้องปฏิบัติการที่มีความไวต่อสารเคมีกำจัดแมลง โดยการทดสอบผลิตภัณฑ์ในตู้ glass bioassay chamber ซึ่งเป็นวิธีมาตรฐานที่ได้รับการรับรอง ISO/IEC 17025:2017 ผลการศึกษาพบว่าผลิตภัณฑ์กำจัดยุงไฟฟ้าชนิดแผ่นแมท (mat electric vaporizer) 1 ผลิตภัณฑ์, ชนิดน้ำ (liquid electric vaporizer) 3 ผลิตภัณฑ์, ยาจุดกันยุง (mosquito coil) 4 ผลิตภัณฑ์ และกระป๋องอัดแก๊ส (aerosol) 11 ผลิตภัณฑ์ มีประสิทธิภาพในการทำให้ยุงลายบ้านสายพันธุ์ห้องปฏิบัติการตายเฉลี่ยร้อยละ 58.3, 38.3-45.0, 95.0-100 และ 100 ตามลำดับ และมีประสิทธิภาพทำให้ยุงลายบ้านจากจันทบุรีที่ต้านทานต่อสารไพรีทรอยด์ตาย ร้อยละ 76.7, 0, 0-55.0 และ 21.7-100 ตามลำดับ ผลิตภัณฑ์ทดสอบทุกชนิดมีผลให้ยุงลายจันทบุรีมีค่าเวลาทำให้ยุงหงายท้อง ร้อยละ 50 (KT_{50}) และ 90 (KT_{90}) มากกว่ายุงลายสายพันธุ์ห้องปฏิบัติการ จากการศึกษาพบว่าผลิตภัณฑ์ aerosol 01 ประกอบด้วยสารออกฤทธิ์ 2 ชนิด คือ permethrin และ cypermethrin มีประสิทธิภาพมากที่สุดในการฆ่าทั้งยุงลายบ้านสายพันธุ์ห้องปฏิบัติการ และภาคสนาม อัตราตายร้อยละ 100 ซึ่งไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ผลิตภัณฑ์ที่มีประสิทธิภาพรองลงมา คือ aerosol 02 สารออกฤทธิ์ pyrethrins และ piperonyl butoxide (PBO) และ aerosol 03 สารออกฤทธิ์ permethrin, esbiothrin และ d-allethrin ทำให้ยุงภาคสนามตาย ร้อยละ 96.7 และ 95.0 ตามลำดับ จากผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์กระป๋องอัดแก๊ส aerosol 01, aerosol 02 และ aerosol 03 เป็นตัวเลือกที่มี

ประสิทธิภาพในการควบคุมยุงพาหะนำโรคไข้เลือดออกที่ต้านทานต่อสารเคมีกำจัดแมลง อย่างไรก็ตาม ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในระดับภาคสนามเพื่อยืนยันผลการศึกษาที่ได้จากห้องปฏิบัติการ

ติดต่อผู้พิมพ์ : ภูเบศร์ ยะอัมพันธ์

อีเมล : phubeth.y@dmisc.mail.go.th

Abstract

The objective of this research was to assess the bioefficacy of household insecticide products used against mosquitoes that available in Thailand supermarkets, 2019–2021. The products were tested using the accredited bioassay glass chamber technique according to ISO/IEC 17025:2017 against the pyrethroid-resistant dengue vector *Aedes aegypti* L. collected from Chanthaburi Province compared with a laboratory susceptible strain. The results showed that mat electric vaporizer (1 product), liquid electric vaporizers (3 products), mosquito coils (4 products) and aerosol sprays (11 products) killed the laboratory susceptible strain of *Ae. aegypti* with the mortality rates of 58.3%, 38.3–45.0%, 95.0–100% and 100%, respectively. The resistant Chanthaburi population exhibited the mortality rates of 76.7% for mat electric vaporizer, 0% for liquid electric vaporizers, 0–55.0% for mosquito coils and 21.7–100% for aerosol sprays. All the tested products displayed higher knockdown time at 50% (KT_{50}) and 90% (KT_{90}) against the resistant Chanthaburi population than the laboratory susceptible strain. Overall, the aerosol spray 01 with permethrin and cypermethrin as active ingredients displayed the highest efficacy (100% mortality rate) to both the laboratory and field strains ($p>0.05$), followed by the aerosol spray 02 with pyrethrins and piperonyl butoxide (PBO) and the aerosol spray 03 with permethrin, esbiothrin, and d-allethrin that showed 96.7% and 95.0% mortality rate of field population, respectively. The results of this study indicated that the aerosol spray 01, the aerosol spray 02 and the aerosol spray 03 should be the potential candidates which are active against insecticide-resistant dengue mosquitoes. However, further studies on field trials should be conducted to confirm these results.

Correspondence: Phubeth Ya-umphan

E-mail: phubeth.y@dmisc.mail.go.th

คำสำคัญ

ยุงลายบ้าน, การต้านทานต่อสารเคมีกำจัดแมลง, การควบคุมพาหะนำโรคไข้เลือดออก, ผลิตภัณฑ์เคมีกำจัดแมลงที่ใช้ในบ้านเรือน

Keywords

Aedes aegypti, insecticide resistance, dengue vector control, household insecticide products

บทนำ

โรคไข้เลือดออก (dengue fever) เกิดจากเชื้อไวรัสเดงกี โดยมียุงลายเป็นพาหะนำโรค สามารถแพร่ระบาดได้อย่างรวดเร็ว พบผู้ป่วยได้ในทุกกลุ่มอายุอุบัติการณ์ของโรคไข้เลือดออกทั่วโลกเพิ่มขึ้นอย่างมาก โดยประชากรประมาณครึ่งหนึ่งของโลกกำลังตกอยู่ใน

ความเสี่ยง ในแต่ละปีจะมีคนติดเชื้อประมาณ 100–400 ล้านคน โดยทั่วไปแล้วมากกว่า 80% นั้นอาการไม่รุนแรงหรือไม่มีอาการ⁽¹⁾ สำหรับในประเทศไทยสถานการณ์โรคไข้เลือดออกปี 2562–2564 ในภาพรวมทั้งประเทศมีรายงานผู้ป่วยสะสมทั้งสิ้นจำนวน 126,708, 71,293 และ 9,798 ราย⁽²⁾ โดยมีรายงานผู้ป่วยเสียชีวิตจำนวน

132, 50 และ 6 ราย ตามลำดับ สำหรับการคาดการณ์โรคไข้เลือดออกตลอดปี 2565 อาจมีผู้ป่วยสูงถึง 95,000 ราย⁽³⁾ การป้องกันควบคุมโรคที่สำคัญ คือ ต้องระงับไม่ให้ยุงลายกัดและกำจัดแหล่งเพาะพันธุ์ การใช้สารเคมีในการกำจัดแมลงรบกวนและแมลงที่นำโรคมาสู่คน เช่น ยุง แมลงวัน และแมลงสาบ เป็นวิธีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์เคมีกำจัดแมลงที่ใช้ในบ้านเรือนซึ่งสามารถหาซื้อได้ทั่วไป เนื่องจากมีวางจำหน่ายเป็นจำนวนมากในร้านสะดวกซื้อ ร้านค้าปลีก และห้างสรรพสินค้า บริษัทผู้ผลิตผลิตภัณฑ์เคมีกำจัดแมลงที่ใช้ในบ้านเรือน ได้พัฒนาผลิตภัณฑ์ให้มีรูปแบบที่ใช้งานสะดวกและง่าย โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่ใช้ไล่และกำจัดยุง ปัจจุบันพบว่าผลิตภัณฑ์ป้องกันและกำจัดยุงมีความหลากหลาย เช่น โลชั่นทากันยุง ยาจุดกันยุง ผลิตภัณฑ์ที่ใช้กับเครื่องไฟฟ้ากำเนิดความร้อนช่วยในการระเหยสารออกฤทธิ์ (electric vaporizer) ชนิดแผ่นเมท (mat) ชนิดน้ำ (liquid) และผลิตภัณฑ์กระป๋องอัดแก๊ส (aerosol) เป็นต้น ซึ่งแต่ละประเภทของผลิตภัณฑ์มีหลายข้อดีให้เลือกซื้อ แต่ละยี่ห้อสูตรสารออกฤทธิ์ที่แตกต่างกัน มีทั้งสูตรสารออกฤทธิ์เดี่ยว สูตรผสม บางสูตรมีการเติมสารเสริมฤทธิ์ (synergist) เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ในการกำจัดยุง กลุ่มสารเคมีที่นิยมใช้เป็นสารออกฤทธิ์สำคัญในผลิตภัณฑ์เคมีกำจัดแมลง คือ สารเคมีในกลุ่มไพรีทรอยด์ (pyrethroids) สารเคมีในกลุ่มนี้ทางองค์การอนามัยโลก (World Health Organization: WHO) แนะนำให้ใช้ฉีดพ่นทั้งแบบฟุ้งกระจาย (space spray) แบบมีฤทธิ์ตกค้าง (indoor residual spraying) และใช้ในผลิตภัณฑ์เคมีกำจัดแมลงในบ้านเรือน (household insecticide products) เพราะสารเคมีกลุ่มนี้สลายตัวได้ดีในธรรมชาติและมีความปลอดภัยต่อคนและสัตว์⁽⁴⁾ มากกว่าสารเคมีในกลุ่มอื่น ๆ เช่น organophosphates, carbamates เป็นต้น

การใช้ผลิตภัณฑ์เคมีกำจัดแมลงสำหรับใช้ในบ้านเรือน เป็นหนึ่งมาตรการสำคัญที่ประชาชนสามารถใช้ป้องกันตนเองจากการถูกยุงกัด ผลิตภัณฑ์เหล่านี้ประชาชนผู้ยังสามารถเข้าถึงได้ง่าย จึงกลายเป็นสิ่งที่มี

อยู่ในเกือบทุกครัวเรือน แต่การใช้ผลิตภัณฑ์เคมีในการควบคุมป้องกันยุงติดต่อกันเป็นระยะเวลานาน โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่มีสารออกฤทธิ์อยู่ในกลุ่มเดียวกันซึ่งมีกลไกการออกฤทธิ์เหมือนกัน อาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่กระตุ้นให้ยุงเกิดการปรับตัวและพัฒนาสร้างความต้านทานต่อผลิตภัณฑ์เคมีที่ใช้อยู่เป็นประจำ⁽⁵⁾ บรรดาบริษัทผู้ผลิตจึงได้พยายามคิดค้นและพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์เคมีกำจัดแมลงให้มีความหลากหลาย และมีประสิทธิภาพมากขึ้นในการกำจัดแมลงและยุงในธรรมชาติที่มีความแข็งแรงและทนต่อสารเคมี

อย่างไรก็ตาม ก่อนวางจำหน่ายผลิตภัณฑ์เคมีกำจัดแมลงในท้องตลาด บริษัทผู้ผลิตและ/หรือจำหน่ายจะต้องส่งผลิตภัณฑ์ไปทดสอบประสิทธิภาพทางชีววิเคราะห์กับกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ก่อน เพื่อนำผลที่ผ่านการทดสอบไปขึ้นทะเบียนที่สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา (อย.) สำหรับการศึกษาประสิทธิภาพทางชีววิเคราะห์ของผลิตภัณฑ์เคมีกำจัดแมลงในบ้านเรือนต่อยุงลายบ้าน ด้วยวิธีทดสอบมาตรฐานของฝ่ายวิจัยและทดสอบเคมีกำจัดแมลง สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์สาธารณสุข กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ ซึ่งได้รับการรับรอง ISO/IEC 17025:2017⁽⁶⁻⁷⁾ จะทดสอบกับยุงสายพันธุ์ห้องปฏิบัติการ ซึ่งเป็ยุงที่มีความไวต่อสารเคมี (susceptible strain) เนื่องจากยุงที่นำมาทดสอบผลิตภัณฑ์เพื่อการขึ้นทะเบียน จำเป็นต้องใช้ยุงที่มีการควบคุมการปนเปื้อนสารเคมีและต้องใช้อย่างที่ผ่านการเลี้ยงที่ได้มาตรฐาน มีความแข็งแรง อายุของยุงที่ใช้ทดสอบอยู่ในช่วงอายุเดียวกัน และสามารถตอบสนองกับสารเคมีได้ดี เพื่อให้ การทดสอบสำหรับแต่ละผลิตภัณฑ์เป็นมาตรฐานเดียวกัน ดังนั้นผลการทดสอบประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์เคมี กำจัดแมลงที่ทดสอบกับยุงสายพันธุ์ห้องปฏิบัติการ จึงเป็นเพียงข้อมูลเบื้องต้นสำหรับใช้ประกอบการขึ้นทะเบียนเท่านั้น อย่างไรก็ตาม เมื่อนำผลิตภัณฑ์ที่จำหน่ายในท้องตลาดไปใช้ควบคุมกำจัดยุงในธรรมชาติพบว่ายุงบางพื้นที่มีความแข็งแรงกว่ายุงห้องปฏิบัติการ และอาจมีการพัฒนาสร้างความต้านทานต่อสารเคมี ทำให้การควบคุมกำจัดยุงได้ไม่ดีเท่าที่ควรเมื่อเทียบกับ

การใช้ผลิตภัณฑ์กับยุงที่เป็นสายพันธุ์ห้องปฏิบัติการ การศึกษาวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเปรียบเทียบข้อมูลประสิทธิภาพทางชีววิเคราะห์ของผลิตภัณฑ์เคมีป้องกันและกำจัดยุงประเภทต่างๆ ที่วางขายในท้องตลาดระหว่างปี 2562-2564 โดยดำเนินการศึกษาเปรียบเทียบผลระหว่างยุงลายบ้านจากภาคสนามกับยุงลายบ้านสายพันธุ์ที่มีความไวต่อสารเคมี (susceptible laboratory strain) ในระหว่างเดือนพฤศจิกายน 2562 ถึงกุมภาพันธ์ 2563 (ผลิตภัณฑ์ที่ห่อที่เก็บมาศึกษาปี 2562 ยังคงมีวางขายอยู่จากการสำรวจตลาดในปี 2564)

วัสดุและวิธีการศึกษา

รูปแบบการศึกษา

การศึกษานี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (experimental study) เป็นการศึกษาประสิทธิภาพทางชีววิเคราะห์ของผลิตภัณฑ์เคมีกำจัดแมลงในบ้านเรือนต่อยุงลายบ้าน ด้วยวิธีทดสอบมาตรฐานของฝ่ายวิจัยและทดสอบเคมีกำจัดแมลง สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์สาธารณสุข กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ ซึ่งได้รับการรับรอง ISO/IEC 17025:2017⁽⁶⁾ และเป็นไปตามแนวทางการทดสอบผลิตภัณฑ์เคมีกำจัดแมลงในบ้านเรือนขององค์การอนามัยโลก⁽⁸⁾ โดยดำเนินการศึกษาเปรียบเทียบผลระหว่างยุงลายบ้านจากภาคสนามกับยุงลายบ้านสายพันธุ์ที่มีความไวต่อสารเคมี

วัสดุอุปกรณ์และแมลงทดสอบ

1. ยุงทดสอบ

1.1) ยุงลายบ้านสายพันธุ์ที่มีความไวต่อสารเคมีกำจัดแมลง

– ยุงลายบ้านสายพันธุ์ห้องปฏิบัติการ (National Institute of Health (NIH) strain)

นำไข่ยุง ใส่ลงในภาชนะพลาสติกที่มีน้ำสะอาด รอจนกระทั่งลูกน้ำฟักออกมาจากไข่ จากนั้นเลี้ยงลูกน้ำด้วยอาหารปลา จนกระทั่งลูกน้ำกลายเป็นตัวโม่งและเก็บตัวโม่งใส่ถ้วยพลาสติก นำไปใส่ไว้ในกรงเพื่อให้เป็นตัวยุง

พร้อมทั้งใส่ขวดเล็กๆ ที่มีแท่งสำลีชุบสารละลายน้ำตาลเข้มข้นร้อยละ 10 และทำการคัดตัวเต็มวัย เพศเมีย อายุ 3-5 วัน สำหรับนำไปทดสอบ

1.2) ยุงลายบ้านที่มีความต้านทานต่อสารเคมีกำจัดแมลงจาก จ.จันทบุรี

– ยุงลายบ้านสายพันธุ์จันทบุรี พื้นที่หมู่ 2 ต.ปอแก้ว อ.มะขาม จ.จันทบุรี

(พิกัด 12 42' 19" N, 102 14' 12" E)

เป็นประชากรยุงลายบ้านที่ได้ยืนยันว่าเป็นยุงลายพันธุ์ที่มีการสร้างความต้านทานต่อสารเคมีกำจัดแมลงโดยใช้เกณฑ์การตัดสินระดับความไวตามเกณฑ์ขององค์การอนามัยโลก⁽⁹⁾ จากการทดสอบหาความไวของยุงลายต่อสารเคมีกำจัดแมลง (WHO susceptibility test) กับกระดาศุบสาร cyfluthrin 0.15%, deltamethrin 0.05%, cypermethrin 0.05%, lambdacyhalothrin 0.03%, permethrin 0.25% และ pirimiphos-methyl 0.21% จากองค์การอนามัยโลก ซึ่งพบว่ายุงลายบ้านมีอัตราการตายที่ 24 ชั่วโมงหลังสัมผัสกระดาศุบสารเคมีนาน 1 ชั่วโมง คิดเป็นร้อยละ 7.8, 2.9, 2.0, 0, 0 และ 0 ตามลำดับ และพบว่ายุงลายพันธุ์ จ.จันทบุรี นี้มีระดับค่าเฉลี่ยของเอนไซม์ esterase และ mixed function oxidase อยู่ในระดับสูง โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.01$) เมื่อเทียบกับยุงลายสายพันธุ์มาตรฐานห้องปฏิบัติการ⁽¹⁰⁾

2. ผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง

ผลิตภัณฑ์เคมีกำจัดแมลงในบ้านเรือนที่วางจำหน่ายในห้างสรรพสินค้าระหว่างปี 2562-2564 ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ป้องกันและกำจัดยุงที่ใช้กับเครื่องไฟฟ้ากำเนิดความร้อนช่วยในการระเหยสารออกฤทธิ์ (electric vaporizer) ชนิดแผ่นแมท (mat) จำนวน 1 ผลิตภัณฑ์, ชนิดน้ำ (liquid) จำนวน 3 ผลิตภัณฑ์, ผลิตภัณฑ์ยาจุดกันยุง (mosquito coil) จำนวน 4 ผลิตภัณฑ์ และกระป๋องอัดแก๊ส (aerosol) จำนวน 11 ผลิตภัณฑ์ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลิตภัณฑ์เคมีกำจัดแมลงในบ้านเรือนที่วางจำหน่ายในท้องตลาดระหว่างปี 2562-2564 และใช้ในการศึกษาประสิทธิภาพทางชีววิเคราะห์ต่อยุงลายบ้าน

ประเภทผลิตภัณฑ์	รหัส	สารออกฤทธิ์
ผลิตภัณฑ์กำจัดยุงไฟฟ้า ชนิดแผ่นแมท (mat) และ ชนิดน้ำ (liquid)	Mat 01	d-Allethrin 48 mg/Mat (5.33% w/w), Piperonyl Butoxide 12 mg/Mat (1.33% w/w)
	Liquid 01	Prallethrin 1.6% w/w
	Liquid 02	Prallethrin 1.602% w/w
	Liquid 03	Prallethrin 0.876% w/w
ยาจุดกันยุง (coil)	Coil 01	Transfluthrin 0.05% w/w
	Coil 02	Esbiothrin 0.3% w/w
	Coil 03	Metofluthrin 0.0075% w/w
	Coil 04	d-Allethrin 0.3% w/w
กระป๋องอัดแก๊ส (aerosol)	Aerosol 01	Permethrin 0.051% w/w, Cypermethrin 0.126% w/w
	Aerosol 02	Pyrethrins 0.1% w/w, PBO 0.4% w/w
	Aerosol 03	Permethrin 0.25% w/w, Esbiothrin 0.10% w/w, d-Allethrin 0.10% w/w
	Aerosol 04	Transfluthrin 0.06% w/w, Imiprothrin 0.05% w/w, Permethrin 0.22% w/w
	Aerosol 05	Imiprothrin 0.05% w/w, Cyphenothrin 0.19% w/w
	Aerosol 06	Prallethrin 0.030% w/w, Imiprothrin 0.031% w/w, Cypermethrin 0.100% w/w
	Aerosol 07	Permethrin 0.05% w/w, Esbiothrin 0.126% w/w
	Aerosol 08	d-Phenothrin 0.135% w/w, d-Tetramethrin 0.243% w/w
	Aerosol 09	d-Phenothrin 0.125% w/w, Prallethrin 0.10% w/w
	Aerosol 10	Permethrin 0.068% w/w, d-Tetramethrin 0.135% w/w
	Aerosol 11	Pyrethrins 0.15% w/w

วิธีการทดสอบ

1. การทดสอบประสิทธิภาพทางชีววิเคราะห์ของผลิตภัณฑ์กำจัดยุงไฟฟ้าชนิดแผ่นแมทและชนิดน้ำต่อยุงลายบ้าน

ดูดคัตยุงลายบ้าน เพศเมีย อายุ 3-5 วัน ใส่ในแก้วพลาสติกใส จำนวน 20 ตัวต่อแก้ว ก่อนการทดสอบอุ่นชุดผลิตภัณฑ์เครื่องกำเนิดความร้อนพร้อมวัสดุสารเคมีกันยุงในตู้ดูดควัน (fume hood) นาน 30 นาที สำหรับผลิตภัณฑ์ชนิดแผ่นแมท และนาน 45 นาที สำหรับผลิตภัณฑ์ชนิดน้ำ นำชุดผลิตภัณฑ์ทดสอบเข้าไปวางในตู้ทดสอบ (glass bioassay chamber) ขนาด 70x70x70 ลูกบาศก์เซนติเมตร กดปุ่มเปิดให้เครื่องทำงานต่ออีก 2 นาที แล้วนำชุดผลิตภัณฑ์ออกจากตู้ทดสอบ ปล่อยให้ไอระเหยฟุ้งกระจายทั่วตู้ทดสอบ นาน 2 นาที จากนั้นปล่อยยุงทดสอบที่เตรียมไว้เข้าไปใน

ตู้ทดสอบ เริ่มจับเวลาและบันทึกจำนวนยุงที่หายท้อง (knockdown) ทุก ๆ 30 วินาที จนครบเวลา 10 นาที ของการทดสอบ เก็บยุงทดสอบใส่ในแก้วพลาสติกใสแล้วนำไปเลี้ยงต่อในตู้พักแมลง โดยวางล่ำลือซุบสารละลายน้ำตาลเข้มข้นร้อยละ 10 ไว้ด้านบนของแก้ว บันทึกจำนวนยุงที่ตาย เมื่อครบเวลา 24 ชั่วโมงหลังการทดสอบ ทดสอบ 3 ซ้ำ พร้อมชุดยุงควบคุม (control)

2. การทดสอบประสิทธิภาพทางชีววิเคราะห์ของผลิตภัณฑ์ยาจุดกันยุงชนิดขดต่อยุงลายบ้าน

ดูดคัตยุงลายบ้าน เพศเมีย อายุ 3-5 วัน ใส่ในแก้วพลาสติกใส จำนวน 20 ตัวต่อแก้ว ทำการจุดผลิตภัณฑ์ยาจุดกันยุง ปริมาณ 0.5 กรัม ทั้ง 2 ด้านในตู้ทดสอบขนาด 70x70x70 ลูกบาศก์เซนติเมตร เมื่อยาจุดกันยุงเผาไหม้จนหมด ปล่อยให้ควันฟุ้งกระจายทั่วตู้ทดสอบ นาน 2 นาที จากนั้นปล่อยยุงทดสอบที่เตรียมไว้

เข้าไปในตู้ทดสอบ เริ่มจับเวลาและบันทึกจำนวนยุงที่หงายท้อง (knockdown) ทุก ๆ 30 วินาที จนครบเวลา 20 นาทีของการทดสอบ เก็บยุงทดสอบใส่ในแก้วพลาสติกแล้วนำไปเลี้ยงต่อในตู้พักแมลง โดยวางสำลีสบสารละลายน้ำตาลเข้มข้นร้อยละ 10 ไว้ด้านบนของแก้ว บันทึกจำนวนยุงที่ตาย เมื่อครบเวลา 24 ชั่วโมงหลังการทดสอบ ทดสอบ 3 ซ้ำ พร้อมชุดยุงควบคุม (control)

3. การทดสอบประสิทธิภาพทางชีววิเคราะหของผลิตภัณฑ์กระป๋องอัดแก๊สต่อยุงลายบ้าน

ดูคัดยุงลายบ้าน เพศเมีย อายุ 3-5 วัน ใส่ในแก้วพลาสติกใส จำนวน 20 ตัวต่อแก้ว ฉีดพ่นผลิตภัณฑ์เคมีกระป๋อง ปริมาณ 0.22-0.28 กรัม เข้าไปในตู้

Abbott's formula:

$$\text{อัตราการตายที่แท้จริง} = \frac{\text{อัตราการตายของยุงในชุดทดสอบ} - \text{อัตราการตายของยุงในชุดควบคุม}}{100 - \text{อัตราการตายของยุงในชุดควบคุม}} \times 100$$

การวิเคราะห์ข้อมูล

คำนวณค่าเวลาที่ให้ยุงหงายท้องร้อยละ 50 (knockdown time 50, KT_{50}) และร้อยละ 90

(knockdown time 90, KT_{90}) ด้วย probit analysis และ

คำนวณอัตราการตายของยุงที่ 24 ชั่วโมงหลังการทดสอบ

โดยใช้สูตรคำนวณอัตราการตายของยุง

$$\text{อัตราการตายของยุง} = \frac{\text{จำนวนยุงทดสอบที่ตาย} \times 100}{\text{จำนวนยุงทดสอบทั้งหมด}}$$

วิเคราะห์ค่าทางสถิติเพื่อหาความแตกต่างอัตราการตายของยุงหลังทดสอบกับผลิตภัณฑ์เคมีกำจัดแมลงแต่ละประเภท โดยใช้วิธี Duncan's multiple range test⁽¹²⁾ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$)

ผลการศึกษา

ผลการทดสอบประสิทธิภาพทางชีววิเคราะหของผลิตภัณฑ์กำจัดยุงไฟฟ้าชนิดแผ่นแมทและชนิดน้ำและยาจุดกันยุงต่อยุงลายบ้านดังแสดงในตารางที่ 2 พบว่า ผลิตภัณฑ์ทั้งหมดมีประสิทธิภาพในการทำให้ยุงลายบ้านสายพันธุ์ห้องปฏิบัติการหงายท้องได้อย่างรวดเร็ว (KT_{50} ระหว่าง 1.09-2.27 นาที และ KT_{90} ระหว่าง 1.98-3.46 นาที) ในขณะที่ทุกผลิตภัณฑ์มีค่า

ทดสอบขนาด 70x70x70 ลูกบาศก์เซนติเมตร หลังฉีดพ่นแล้ว 30 วินาที ปลอ่ยยุงทดสอบที่เตรียมไว้เข้าไปในตู้ทดสอบ เริ่มจับเวลาและทำการบันทึกจำนวนยุงที่หงายท้อง (knockdown) ทุก ๆ 30 วินาที จนครบเวลา 20 นาทีของการทดสอบเก็บยุงทดสอบใส่ในแก้วพลาสติกแล้วนำไปเลี้ยงต่อในตู้พักแมลง โดยวางสำลีสบสารละลายน้ำตาลเข้มข้นร้อยละ 10 ไว้ด้านบนของแก้ว บันทึกจำนวนยุงที่ตาย เมื่อครบเวลา 24 ชั่วโมงหลังการทดสอบ ทดสอบ 3 ซ้ำ พร้อมชุดยุงควบคุม (control) ในแต่ละการทดสอบ หากพบยุงในชุดควบคุมมีการตายอยู่ระหว่างร้อยละ 5-20 ให้ปรับอัตราตายด้วย Abbott's formula⁽¹¹⁾ แต่ถ้ายุงตายมากกว่าร้อยละ 20 ให้ทำการทดสอบใหม่

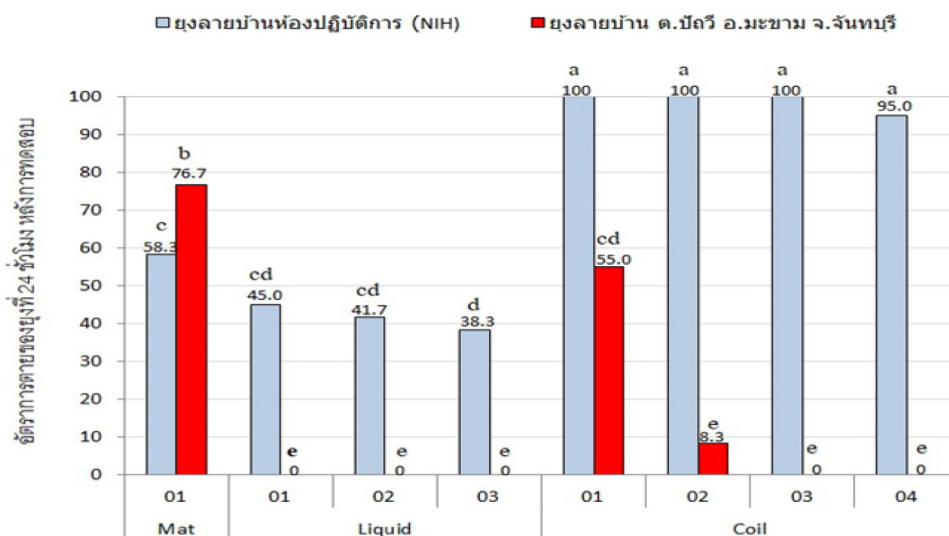
เวลาที่ให้ยุงลายบ้านสายพันธุ์ จ.จันทบุรี หงายท้องร้อยละ 50 (KT_{50}) และร้อยละ 90 (KT_{90}) มากกว่า 10 นาที (สำหรับผลิตภัณฑ์กำจัดยุงไฟฟ้าชนิดแผ่นแมทและชนิดน้ำ) และ 14.97- มากกว่า 20 นาที (สำหรับยาจุดกันยุง) ผลอัตราการตายของยุงลายที่ 24 ชั่วโมงหลังสัมผัสสาร พบว่าสารออกฤทธิ์ในยาจุดกันยุงยังคงมีประสิทธิภาพดีในการกำจัดยุงลายบ้านสายพันธุ์ห้องปฏิบัติการ (ร้อยละ 95-100) แต่มีประสิทธิภาพที่ลดลงในการกำจัดยุงลายบ้านสายพันธุ์ จ.จันทบุรี (ร้อยละ 0-55.0) สำหรับผลิตภัณฑ์กำจัดยุงไฟฟ้าชนิดน้ำ พบสารออกฤทธิ์มีประสิทธิภาพในการกำจัดยุงลายบ้านสายพันธุ์ห้องปฏิบัติการและยุงลายบ้านสายพันธุ์ จ.จันทบุรี ร้อยละ 38.3-45.0 และ 0 ตามลำดับ

ตารางที่ 2 ค่าเวลาที่ทำให้ยุงลายหงายท้องร้อยละ 50 (KT_{50}), ร้อยละ 90 (KT_{90}) และอัตราการตายที่ 24 ชั่วโมงหลังทดสอบกับผลิตภัณฑ์กำจัดยุงไฟฟ้าชนิดแผ่นเมท (mat) ชนิดน้ำ (liquid) และผลิตภัณฑ์จุดกันยุง (mosquito coil) ของยุงลายบ้านสายพันธุ์ห้องปฏิบัติการและยุงลายบ้าน หมู่ 2 ต.ปัว อ.มะขาม จ.จันทบุรี (ค่า Slope ที่เป็นบวกแสดงให้เห็นถึงเวลาที่เพิ่มขึ้นเป็นผลให้ยุงลายมีอัตราการหงายท้องที่เพิ่มขึ้น)

ผลิตภัณฑ์ กำจัดแมลง	สารออกฤทธิ์	ยุงลายบ้านสายพันธุ์ห้องปฏิบัติการ				ยุงลายบ้าน หมู่ 2 ต.ปัว อ.มะขาม จ.จันทบุรี			
		ค่าเวลาที่ทำให้ยุงลายหงายท้อง (Knockdown Time) (นาที, 95% CI)		Slope± SE	อัตราการ ตายที่ 24 ชั่วโมง (%)	ค่าเวลาที่ทำให้ยุงลายหงาย ท้อง (Knockdown Time) (นาที, 95% CI)		Slope±SE	อัตราการ ตายที่ 24 ชั่วโมง (%)
		KT_{50}	KT_{90}			KT_{50}	KT_{90}		
Mat 01	d-Allethrin 48 mg/Mat (5.33% w/w), PBO 12 mg/Mat (1.33% w/w)	1.41 (1.26-1.57)	1.98 (1.77-2.21)	8.66±0.0	58.3	>10	>10	-	76.7
Liquid 01	Prallethrin 1.6% w/w	1.36 (1.14-1.63)	2.33 (1.94-2.78)	5.57±0.0	45.0	>10	>10	-	0
Liquid 02	Prallethrin 1.602% w/w	1.09 (0.85-1.41)	2.46 (1.91-3.17)	3.66±0.0	41.7	>10	>10	-	0
Liquid 03	Prallethrin 0.876% w/w	1.26 (1.05-1.51)	2.11 (1.76-2.52)	5.78±0.04	38.3	>10	>10	-	0
Coil 01	Transfluthrin 0.05% w/w	1.59 (1.37-1.86)	2.48 (2.13-2.89)	6.69±0.03	100	14.97 (11.88-18.88)	>20	3.01± 0.05	55.0
Coil 02	Esbiothrin 0.3% w/w	1.39 (1.14-1.72)	2.56 (2.09-3.13)	4.94±0.05	100	>20	>20	-	8.3
Coil 03	Metofluthrin 0.0075% w/w	1.86 (1.55-2.22)	3.46 (2.89-4.14)	4.77±0.04	100	>20	>20	-	0
Coil 04	d-Allethrin 0.3% w/w	2.27 (2.01-2.55)	3.35 (2.97-3.77)	7.68±0.03	95.0	>20	>20	-	0

เมื่อเปรียบเทียบอัตราการตายที่ 24 ชั่วโมงหลังการสัมผัสสารเคมี พบว่าผลิตภัณฑ์กำจัดยุงไฟฟ้าชนิดน้ำและยาจุดกันยุง ทุกผลิตภัณฑ์มีประสิทธิภาพในการกำจัดยุงลายบ้านสายพันธุ์ที่มีความต้านทานต่อสารเคมีกำจัดแมลงได้น้อยกว่ายุงลายบ้านสายพันธุ์ห้องปฏิบัติการ ในขณะที่ผลิตภัณฑ์ชนิดแผ่นแมทที่สารออกฤทธิ์มีส่วนผสมของ PBO พบว่ามีผลทำให้ยุงลายบ้านสายพันธุ์ที่มีความต้านทานต่อสารเคมีกำจัดแมลงจาก จ.จันทบุรี ตาย (ร้อยละ 76.7) สูงกว่ายุงลายบ้านสายพันธุ์ห้องปฏิบัติการ

(ร้อยละ 58.3) อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ดังแสดงในภาพที่ 1 จากภาพวิธี Duncan's multiple range test เป็นวิธีการเปรียบเทียบตัวอย่างหลายคู่พร้อมกัน โดยจะเปรียบเทียบเป็นคู่ การแสดงผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแสดงผลโดยใช้ตัวอักษรกำกับ โดยค่าเฉลี่ยร้อยละการตายของยุงลายที่กำกับด้วยตัวอักษรเดียวกัน แสดงถึงไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่ค่าเฉลี่ยที่มีได้กำกับด้วยตัวอักษรเดียวกัน แสดงว่ามีความแตกต่างที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)



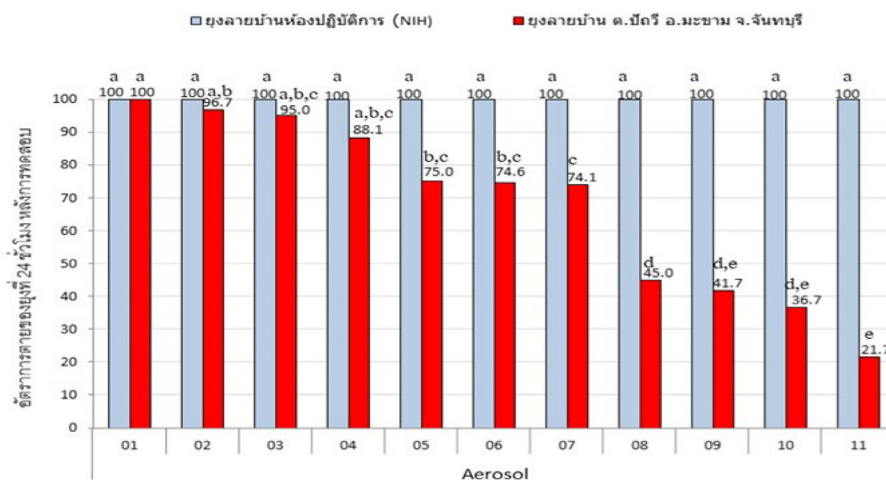
ภาพที่ 1 อัตราการตายที่ 24 ชั่วโมงของยุงลายบ้านห้องปฏิบัติการ (NIH strain) และยุงลายบ้านหมู่ 2 ต.ปลีว อ.มะขาม จ.จันทบุรี หลังทดสอบกับผลิตภัณฑ์เคมีกำจัดยุงไฟฟ้าชนิดแผ่นแมท (mat) ชนิดน้ำ (liquid) และยาจุดกันยุง (coil)

ผลการทดสอบประสิทธิภาพทางชีววิเคราะห์ของผลิตภัณฑ์กระป๋องอัดแก๊สต่อยุงลายบ้านพบว่าผลิตภัณฑ์ทั้งหมดมีประสิทธิภาพในการทำให้ยุงลายบ้านสายพันธุ์ห้องปฏิบัติการหายท้องได้อย่างรวดเร็ว (KT_{50} ระหว่าง 1.52–7.02 นาที และ KT_{90} ระหว่าง 2.23–12.91 นาที) ในขณะที่ทุกผลิตภัณฑ์มีค่าเวลาที่ทำให้ยุงลายบ้านสายพันธุ์จ.จันทบุรีหายท้องร้อยละ 50 (KT_{50}) มากกว่า 7.45 นาที และหายท้อง ร้อยละ 90 (KT_{90}) มากกว่า 17.83 นาที ผลอัตราการตายของยุงลายที่ 24 ชั่วโมงหลังสัมผัสสาร พบว่าสารออกฤทธิ์ในกระป๋องอัด

แก๊สทุกผลิตภัณฑ์ยังคงมีประสิทธิภาพดีในการกำจัดยุงลายบ้านสายพันธุ์ห้องปฏิบัติการ โดยมีอัตราการตายร้อยละ 100 ในขณะที่อัตราการตายของยุงลายบ้านสายพันธุ์จ.จันทบุรี มีความแตกต่างกันไป โดยมีอัตราการตายของยุงลายอยู่ระหว่างร้อยละ 21.7–100 ดังแสดงในตารางที่ 3 เมื่อเปรียบเทียบอัตราการตายที่ 24 ชั่วโมงหลังการสัมผัสสารเคมี พบว่าผลิตภัณฑ์กระป๋องอัดแก๊ส สูตรที่ 1 (permethrin 0.051% w/w, cypermethrin 0.126% w/w), สูตรที่ 2 (pyrethrins 0.1% w/w, PBO 0.4% w/w), สูตรที่ 3 (permethrin 0.25% w/w, esbiothrin

0.10% w/w, d-allethrin 0.10% w/w) และสูตรที่ 4 (transfluthrin 0.06% w/w, imiprothrin 0.05% w/w, permethrin 0.22% w/w) มีผลทำให้ยุงลายบ้านสายพันธุ์ที่มีความต้านทานต่อสารเคมีกำจัดแมลงจากจังหวัด

จันทบุรีมีอัตราการตายสูง (ร้อยละ 88.1–100) ไม่แตกต่างจากยุงลายบ้านสายพันธุ์ห้องปฏิบัติการ ($p>0.05$) ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 อัตราการตายที่ 24 ชั่วโมงของยุงลายบ้านห้องปฏิบัติการ (NIH strain) และยุงลายบ้านหมู่ 2 ต.ป.1 อ.มะขาม จ.จันทบุรี หลังทดสอบกับผลิตภัณฑ์เคมีกำจัดแมลงประเภทระบองอัดแก๊ส (aerosol)

ผลิตภัณฑ์ เคมีกำจัด แมลง	สารออกฤทธิ์	ยุงลายบ้านสายพันธุ์ห้องปฏิบัติการ				ยุงลายบ้าน หมู่ 2 ต.ปัดวิ อ.มะขาม จ.ันทบุรี			
		ค่าเวลาที่ให้ยุงลายหงายท้อง (Knockdown Time) (นาที, 95% CI)		อัตราการ ตายที่ 24 ชั่วโมง (%)		ค่าเวลาที่ให้ยุงลายหงาย ท้อง (Knockdown Time) (นาที, 95% CI)		อัตราการ ตายที่ 24 ชั่วโมง (%)	
		KT ₅₀	KT ₉₀	Slope±SE	KT ₅₀	KT ₉₀	Slope±SE	KT ₅₀	KT ₉₀
Aerosol 01	Permethrin 0.051% w/w, Cypermethrin 0.126% w/w	7.02 (6.69-7.36)	8.84 (8.43-9.27)	16.74±0.01	100	14.65 (12.92-16.60)	5.00±0.03	100.0	
Aerosol 02	Pyrethrins 0.1% w/w, PBO 0.4% w/w	4.73 (4.34-5.15)	7.31 (6.71-7.96)	8.73±0.02	100	>20	-	96.7	
Aerosol 03	Permethrin 0.25% w/w, Esbiothrin 0.10% w/w, d-Allethrin 0.10% w/w	1.52 (1.34-1.73)	2.23 (1.96-2.53)	9.94±0.03	100	11.72 (9.52-13.85)	3.74±0.04	95.0	
Aerosol 04	Transfluthrin 0.06% w/w, Imiprothrin 0.05% w/w, Permethrin 0.22% w/w	2.18 (1.90-2.49)	4.02 (3.51-4.60)	6.29±0.03	100	7.45 (6.57-8.44)	4.34±0.03	88.1	
Aerosol 05	Imiprothrin 0.05% w/w, Cyphenothrin 0.19% w/w	6.84 (6.27-7.46)	12.91 (11.84-14.08)	6.14±0.02	100	>20	-	75.0	
Aerosol 06	Prallethrin 0.030% w/w, Imiprothrin 0.031% w/w, Cypermethrin 0.100% w/w	2.37 (2.12-2.64)	3.79 (3.40-4.23)	8.22±0.02	100	>20	-	74.6	
Aerosol 07	Permethrin 0.05% w/w, Esbiothrin 0.126% w/w	1.87 (1.66-2.19)	2.89 (2.55-3.26)	8.77±0.03	100	7.45 (6.87-9.09)	4.61±0.03	74.1	
Aerosol 08	d-Phenothrin 0.135% w/w, d-Tetramethrin 0.243% w/w	3.07 (2.76-3.41)	4.99 (4.49-5.56)	7.82±0.02	100	>20	-	45.0	
Aerosol 09	d-Phenothrin 0.125% w/w, Prallethrin 0.10% w/w	1.61 (1.41-1.84)	2.47 (2.17-2.82)	8.86±0.03	100	>20	-	41.7	
Aerosol 10	Permethrin 0.068% w/w, d-Tetramethrin 0.135% w/w	6.16 (5.77-6.57)	8.72 (8.17-9.30)	10.98±0.01	100	>20	-	36.7	
Aerosol 11	Pyrethrins 0.15% w/w	5.76 (5.20-6.38)	11.32 (10.22-12.54)	5.62±0.02	100	>20	-	21.7	

วิจารณ์

ผลิตภัณฑ์เคมีกำจัดแมลงในบ้านเรือนแต่ละประเภทมีกลไกการออกฤทธิ์ในป้องกันและกำจัดยุงแตกต่างกัน ผลิตภัณฑ์เคมีกำจัดยุงไฟฟ้าชนิดแผ่นแมทชนิดน้ำ เมื่อมีการใช้งานผลิตภัณฑ์ สารออกฤทธิ์ได้รับความร้อนจากเครื่องไฟฟ้ากำเนิดความร้อนจะเปลี่ยนเป็นไอระเหย ในขณะที่ยาจุดกันยุงเมื่อมีการเผาไหม้จะเกิดควันลอยฟุ้งกระจายในอากาศทำให้ไปรบกวนหรือยับยั้งพฤติกรรมการออกหากินของยุง (biting/feeding inhibition) โดยยุงมีอวัยวะรับกลิ่น (olfactory receptor) อยู่ที่บริเวณหนวด มีหน้าที่ตรวจจับกลิ่นรวมทั้งกลิ่นของสารเคมี⁽¹³⁻¹⁴⁾ และส่งข้อมูลกลิ่นที่ตรวจจับได้ไปยังสมองทำให้ยุงหลีกเลี่ยงเข้ามาในพื้นที่ที่มีการใช้ผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ฤทธิ์ในการไล่ยุงแล้วสารออกฤทธิ์ส่วนใหญ่ที่ใช้ในผลิตภัณฑ์ยังมีฤทธิ์ในการทำให้ยุงหายใจหรือตายได้ด้วย สำหรับกลไกการออกฤทธิ์ของผลิตภัณฑ์เคมีกระป๋องอัดแก๊ส เมื่อฉีดพ่นผลิตภัณฑ์สารออกฤทธิ์ที่อยู่ในรูปของละอองขนาดเล็กลอยอยู่ในอากาศ เมื่อยุงบินมาสัมผัสกับละอองสารเคมี สารเคมีจะซึมผ่านผนังลำตัวของยุงและไปออกฤทธิ์ยังเป้าหมาย เช่น ระบบประสาท สารเคมีบางส่วนจะถูกส่งผ่านทางรูหายใจที่อยู่ข้างลำตัวของยุง ส่งผลให้ยุงหายใจไม่สะดวกและตาย⁽¹⁵⁾

จากผลการศึกษาพบว่าผลิตภัณฑ์กำจัดยุงไฟฟ้าชนิดแผ่นแมท ชนิดน้ำ และยาจุดกันยุง ทั้งหมดมีประสิทธิภาพในการทำให้ยุงลายบ้านสายพันธุ์ห้องปฏิบัติการหายใจไม่สะดวกและตายสูง สอดคล้องกับการศึกษาของสุนัยนา สท้านไตรภพ และคณะ ที่พบว่าสารออกฤทธิ์ในยาจุดกันยุง metofluthrin 0.025% w/w, d-allethrin 0.225% w/w, esbiothrin 0.10% w/w มีประสิทธิภาพทำให้ยุงลายบ้าน *Aedes aegypti* สายพันธุ์ห้องปฏิบัติการหายใจไม่สะดวกโดยมีค่า KT_{50} อยู่ในช่วงเวลาระหว่าง 1-6 นาที, KT_{90} อยู่ในช่วงเวลาระหว่าง 1-8 นาที และมีผลทำให้ยุงลายบ้านตายร้อยละ

78.4-100⁽¹⁶⁾ สำหรับผลิตภัณฑ์ชนิดแผ่นแมท (สารออกฤทธิ์ d-allethrin 48 mg/mat (5.33% w/w), PBO 12 mg/mat (1.33% w/w)) และชนิดน้ำ (สารออกฤทธิ์ prallethrin 0.876% - 1.602% w/w) พบว่าผลิตภัณฑ์ประเภทกลุ่มนี้ยังคงมีประสิทธิภาพไม่เพียงพอในการกำจัดยุงลายสายพันธุ์ห้องปฏิบัติการ อาจเป็นไปได้ว่าความเข้มข้นของสารออกฤทธิ์ มีฤทธิ์เพียงพอในการทำให้ยุงลายหายใจไม่สะดวก (knockdown effect) แต่ไม่เพียงพอในการฆ่า (killing effect) (จากการให้สัมภาษณ์นาน 10 นาที) อย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์ที่นำมาทดสอบทั้งหมดถือว่าผ่านเกณฑ์ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการของกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ คือต้องมีประสิทธิภาพในการทำให้ยุงทดสอบหายใจไม่สะดวกกว่าร้อยละ 90 ภายในเวลา 10 นาที สำหรับผลิตภัณฑ์ชนิดแผ่นแมทและชนิดน้ำ และภายในเวลา 20 นาที สำหรับยาจุดกันยุง การประเมินประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์หลังการวางจำหน่ายควรได้รับการสุ่มทดสอบ

การทดสอบประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ต่อยุงลายบ้านสายพันธุ์ที่ต้านทานต่อสารเคมีกำจัดแมลงพบว่าทุกผลิตภัณฑ์มีประสิทธิภาพในการทำให้ยุงลายหายใจไม่สะดวกมากกว่า 10-20 นาทีขึ้นไป โดยผลิตภัณฑ์กำจัดยุงไฟฟ้าชนิดชนิดน้ำและยาจุดกันยุง มีประสิทธิภาพในการกำจัดยุงลายบ้านสายพันธุ์ที่มีความต้านทานต่อสารเคมีกำจัดแมลงได้น้อยกว่ายุงลายบ้านสายพันธุ์ห้องปฏิบัติการ จะเห็นได้ว่าแม้ผลิตภัณฑ์จะผ่านการทดสอบในห้องปฏิบัติการและสามารถวางจำหน่ายในท้องตลาด อย่างไรก็ตามเมื่อนำผลิตภัณฑ์มาทดสอบกับยุงลายสายพันธุ์ที่สร้างความต้านทานต่อสารเคมีพบว่าประสิทธิภาพของสารออกฤทธิ์ในผลิตภัณฑ์สามารถกำจัดยุงได้ลดลง แม้จะมีรายงานว่าการทำงานของสารโพแทสเซียมไอออนช่องเปิดการนำสารสื่อประสาทโดยไม่ได้รับผลออกฤทธิ์รบกวนต่อการนำสารสื่อประสาทสมดุลของโซเดียม (voltage gated sodium channel) ซึ่งเป็นบริเวณเป้าหมายของสารฆ่าแมลงโดยตรง⁽¹⁴⁾ อย่างไรก็ตามการทดสอบในระบบปิด ทำให้ยุงทดสอบได้รับไอสารระเหยโดยตรง ไม่สามารถบินหนีได้ จึง

อาจมีผลทำให้ยุงลายมีความต้านทานสารเคมีกำจัดแมลง (ซึ่งอาจมีกลไกการต้านสารเคมีกำจัดแมลงแบบเฉียบพลัน knockdown resistance, kdr คือ ยุงลายสามารถลดการจับกับสารไพรีทรอยด์ในสารสื่อประสาทสมดุสของโซเดียมได้)⁽¹⁷⁾ มีความทนทาน ซึ่งใช้เวลาในการหยายทองยาวนานกว่ายุงลายสายพันธุ์ห้องปฏิบัติการ รวมถึงยุงลายบ้านสายพันธุ์ที่มีความต้านทานต่อสารเคมีกำจัดแมลงจากจังหวัดจันทบุรีมีระดับของเอนไซม์ esterase และ mixed function oxidase ในระดับที่สูงกว่ายุงลายสายพันธุ์ห้องปฏิบัติการ⁽¹⁰⁾ ซึ่งเอนไซม์สองชนิดนี้เป็นเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับความต้านทานของยุงต่อสารไพรีทรอยด์และสารเคมีกลุ่มอื่น ๆ⁽¹⁸⁾ จึงเป็นผลให้ผลิตภัณฑ์ที่มีสารออกฤทธิ์ในกลุ่มไพรีทรอยด์ กำจัดยุงลายบ้านสายพันธุ์ที่มีความต้านทานต่อสารเคมีกำจัดแมลงจากจังหวัดจันทบุรีนี้ได้ลดลง ในส่วนเพิ่มเติมหากนำผลิตภัณฑ์ไปใช้ในสภาพการใช้งานจริง อาจมีปัจจัยต่างๆ ที่มีผลในการลดประสิทธิภาพในการกระจายตัวของสารออกฤทธิ์ในผลิตภัณฑ์ (spatial activity of airborne insecticide) เช่น แรงลม ทิศทางการหมุนเวียนของอากาศ อุณหภูมิ และความชื้นเป็นต้น⁽¹⁹⁾ จากการรวบรวมผลการศึกษายาจุดกันยุงของ Sheila B Ogoma และคณะพบว่าผลิตภัณฑ์ยาจุดกันยุงมีประสิทธิภาพสูงมากในการกำจัดยุงในห้องปฏิบัติการ (อัตราการตายร้อยละ 95 ขึ้นไป) ในขณะที่เมื่อนำไปทดสอบในสภาพใช้งานจริง (field-assays) กลับพบว่าผลิตภัณฑ์ยาจุดกันยุงมีประสิทธิภาพต่ำในการกำจัดยุงในภาคสนาม (อัตราการตายร้อยละ 3-16)⁽¹³⁾

สำหรับผลการทดสอบผลิตภัณฑ์ชนิดแผ่นแมทที่พบว่าผลทำให้ยุงลายบ้านสายพันธุ์ที่มีความต้านทานต่อสารเคมีกำจัดแมลงตาย (ร้อยละ 76.7) สูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับสายพันธุ์ห้องปฏิบัติการ (ร้อยละ 58.3) เป็นไปได้ว่าผลิตภัณฑ์ดังกล่าวมีสารออกฤทธิ์ที่มีส่วนผสมของ piperonyl butoxide (PBO) อยู่ ซึ่งสาร PBO นี้เป็นสารเสริมฤทธิ์ (synergist) ชนิดหนึ่ง ที่มีผลในการเพิ่มอัตราการตายของยุงลายบ้านสายพันธุ์ที่มีความต้านทานต่อสารเคมีกำจัดแมลง⁽²⁰⁾ การเติมสารเสริมฤทธิ์เข้าไปในสูตร

ผลิตภัณฑ์สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของสารออกฤทธิ์ในการกำจัดยุงลายที่ต้านทานต่อสารเคมีได้ โดยสารเสริมฤทธิ์ทำหน้าที่ในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ทำลายพิษ (detoxification enzymes) ในตัวแมลงแต่ไม่เป็นที่พิษกับแมลง ช่วยให้สารเคมีสามารถออกฤทธิ์ต่อตัวแมลงได้เต็มที่ โดยเฉพาะแมลงที่มีความต้านทานต่อสารเคมีและมีปริมาณเอนไซม์ทำลายพิษมากกว่าแมลงปกติ⁽²¹⁾ ซึ่งเห็นได้จากผลการทดสอบผลิตภัณฑ์กระป๋องอัดแก๊สเช่นกัน โดยผลิตภัณฑ์ aerosol 11 (pyrethrins 0.15% w/w) ซึ่งไม่มีส่วนผสม PBO มีผลทำให้ยุงลายบ้านสายพันธุ์ที่มีความต้านทานต่อสารเคมีกำจัดแมลงตายเพียงร้อยละ 21.7 ในขณะที่ผลิตภัณฑ์ aerosol 02 ที่มีสารออกฤทธิ์เป็น pyrethrins สูตรเดี่ยวเช่นกัน แต่มีการเพิ่มสาร PBO (pyrethrins 0.1% w/w, PBO 0.4% w/w) มีผลทำให้ยุงลายบ้านสายพันธุ์ที่มีความต้านทานต่อสารเคมีกำจัดแมลงตายร้อยละ 96.7 สอดคล้องกับงานวิจัยของ Aizoun N และคณะ ซึ่งว่าสารเสริมฤทธิ์ PBO สามารถเพิ่มประสิทธิภาพสาร deltamethrin และ permethrin ในการทำให้ยุงก้นปล่อง (*Anopheles gambiae*) ที่มีความต้านทานต่อสารเคมีทั้งสองชนิดมีอัตราการตายเพิ่มขึ้น⁽²²⁾ รวมถึงการศึกษาของ Kakko I และคณะ ที่พบว่าสารเสริมฤทธิ์ PBO สามารถเสริมฤทธิ์ให้สาร pyrethrins มีพิษสูงขึ้นเมื่อปริมาณ pyrethrins เพิ่มขึ้นด้วย⁽²³⁾

การทดสอบประสิทธิภาพทางชีววิเคราะหของผลิตภัณฑ์กระป๋องอัดแก๊ส พบผลิตภัณฑ์ทั้งหมดมีประสิทธิภาพในการทำให้ยุงลายบ้านสายพันธุ์ห้องปฏิบัติการหยายทองได้อย่างรวดเร็วและตายสูง สอดคล้องกับการศึกษาของพรรณเกษม แผ่นพรและคณะ ที่ได้ทำการรวบรวมข้อมูลผลการทดสอบประสิทธิภาพทางชีววิเคราะหของผลิตภัณฑ์กระป๋องอัดแก๊ส กำจัดยุงที่ส่งมาทดสอบที่สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์สาธารณสุขระหว่างปี 2556-2561 มีผลิตภัณฑ์ทั้งสิ้น 183 ตัวอย่าง โดยมีสูตรแตกต่างกัน 38 สูตร พบทุกผลิตภัณฑ์มีผลทำให้ยุงลายบ้านทดสอบตายร้อยละ 100 ผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่ (ร้อยละ 71.5) มีค่า KT_{50} อยู่ระหว่าง

2-4 นาที่ สารออกฤทธิ์ที่ใช้ในผลิตภัณฑ์มากที่สุดคือ imiprothrin รองลงมาคือ permethrin, prallethrin, cypermethrin และ d-tetramethrin ตามลำดับ⁽⁷⁾ สูตรสารออกฤทธิ์ต่างๆ ที่หลากหลายของผลิตภัณฑ์เป็นผลให้อัตราการตายของยุงลายบ้านที่มีความต้านทานต่อสารเคมีกำจัดแมลงจากจังหวัดจันทบุรีแตกต่างกันไป ซึ่งพบว่ามีสารออกฤทธิ์ 4 สูตรที่สามารถกำจัดยุงลายสายพันธุ์ต้านทานสารเคมีกำจัดแมลงได้ดีไม่แตกต่างจากยุงลายบ้านสายพันธุ์ห้องปฏิบัติการ Kuri-Morales และคณะ ได้ศึกษาผลิตภัณฑ์เคมีกระป๋องอัดแก๊ส 13 ผลิตภัณฑ์ต่อยุงลายบ้านในสภาพกึ่งจำลองธรรมชาติของ พบว่าไม่มีผลิตภัณฑ์ใดที่สามารถกำจัดยุงลายได้ร้อยละ 100 ในช่วงเวลา 30 นาทีหลังสัมผัสสารเคมี อย่างไรก็ตามพบว่ามี 3 ผลิตภัณฑ์ที่สามารถกำจัดยุงลายได้หลังสัมผัสสารในช่วงเวลา 24 ชั่วโมง ในขณะที่อีกหลายผลิตภัณฑ์มีผลที่แตกต่างกันไป อาจเป็นไปได้ว่าผลิตภัณฑ์ที่สามารถกำจัดยุงลายได้สูงกว่าผลิตภัณฑ์อื่นอาจมีลักษณะสูตร (formulation) อัตราการใช้ (dose) และคุณลักษณะในการผลิตละออง (spray characteristics) ที่เหมาะสม ซึ่งส่งผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดยุงลาย นอกจากนี้ตำแหน่งที่พักอาศัยของยุงในห้องทดสอบมีผลต่อประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์กำจัดแมลงด้วย ซึ่งพบว่ายุงที่หลบพักอยู่ในตู้หรือวัสดุที่กั้นยุงจากการสัมผัสละอองสาร เป็นผลให้ยุงลายมีอัตราการตายที่ลดลง⁽²⁴⁾ สำหรับปัจจัยอื่นๆ ที่ช่วยให้สารออกฤทธิ์ในผลิตภัณฑ์เคมีกระป๋องอัดแก๊สมีประสิทธิภาพในการกำจัดยุงได้แก่ อัตราการพ่น (discharge rate) ขนาดละออง (droplet size) ที่เหมาะสมจะช่วยให้ละอองลอยอยู่ในอากาศได้นานเพื่อบริโภคยุงบินมาสัมผัสและสามารถกระจายตัวไปยังพื้นที่อับหรือแหล่งเกาะพักของยุงได้⁽²⁵⁾ และผลิตภัณฑ์ที่มีตัวทำละลายเป็น oil-based solvent สามารถฆ่ายุงได้ดีกว่าผลิตภัณฑ์ที่เป็น water-based⁽²⁶⁾ รวมถึงการเติมสารเสริมฤทธิ์เพื่อช่วยป้องกันเอนไซม์ทำลายพิษในตัวยุงย่อยสลายสารเคมีเป็นต้น

แม้ว่าผลทางสถิติแสดงให้เห็นว่า ผลิตภัณฑ์ aerosol 01, aerosol 02, aerosol 03 และ aerosol 04

ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในการกำจัดยุงลายสายพันธุ์ต้านทานต่อสารเคมีกำจัดแมลง อย่างไรก็ตาม ผลิตภัณฑ์ aerosol 01, aerosol 02 และ aerosol 03 เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดจากการศึกษานี้ ซึ่งถูกแนะนำให้เลือกใช้ในการนำไปกำจัดยุงลายในภาคสนาม ซึ่งทั้ง 3 ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวมีประสิทธิภาพทำให้ยุงลายบ้านตายไม่น้อยกว่าร้อยละ 95.0 เมื่อครบเวลา 24 ชั่วโมงหลังการทดสอบในห้องปฏิบัติการ เพราะในการนำไปใช้ในภาคสนามจริง ประสิทธิภาพในการกำจัดยุงลายจะลดลงเนื่องจากมีปัจจัยอื่นๆ ที่ไม่สามารถควบคุมได้เหมือนการทดสอบในห้องปฏิบัติการ การใช้ผลิตภัณฑ์เคมีกระป๋องอัดแก๊สในการกำจัดยุงลายโดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีการระบาดของโรค เช่น บ้านผู้ป่วย ใช้เลือดออก เป็นการพ่นกำจัดยุงลายพาหะเบื้องต้นที่ประชาชนสามารถทำได้เองก่อนที่จะเจ้าหน้าที่รัฐจะดำเนินการพ่นสารเคมีแบบหมอกควัน (thermal fog) หรือ ละอองฝอยละเอียด (cold fog) รวมถึงการใช้ผลิตภัณฑ์เคมีกำจัดแมลงที่ใช้ในบ้านเรือนอื่นๆ เพื่อป้องกันตนเองจากการถูกยุงกัด ประชาชนสามารถมีส่วนร่วมในการป้องกันการระบาดของโรคใช้เลือดออกในชุมชนได้ อย่างไรก็ตามควรเลือกใช้ผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการรับรองจาก อย. ปฏิบัติตามฉลากบนผลิตภัณฑ์อย่างเคร่งครัด และใช้เท่าที่จำเป็น เพื่อลดอันตรายจากการใช้สารเคมีและลดปัญหาการสร้าง ความต้านทานของยุงต่อสารเคมีกำจัดแมลงที่ใช้ การศึกษาเพิ่มเติมในอนาคต คณะผู้วิจัยได้มีแนวคิดในการใช้ผลิตภัณฑ์ aerosol 01, aerosol 02 และ aerosol 03 ไปทดสอบประสิทธิภาพในการกำจัดยุงลายสายพันธุ์ต้านทานต่อสารเคมีกำจัดแมลงในพื้นที่ภาคสนาม หมู่ 2 ต.ปัดอี อ.มะขาม จ.จันทบุรี เพื่อยืนยันผลการศึกษาที่ได้จากห้องปฏิบัติการต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณฝ่ายอนุกรมวิธานและสนับสนุนงานกีฏวิทยาทางการแพทย์ ที่ให้การสนับสนุนยุงลายบ้านสายพันธุ์ห้องปฏิบัติการสำหรับใช้ในการทดสอบ คุณเอก ฐานโสภาส ที่ช่วยในการทดสอบ

ผลิตภัณฑ์กระป๋องอัดแก๊ส เจ้าหน้าที่และชาวบ้าน หมู่ 2 ต.ปัดวี อ.มะขาม จ.จันทบุรี ที่ให้การอนุเคราะห์ในการเข้าเก็บตัวอย่างลูกน้ำยุงและให้ข้อมูลเกี่ยวกับการใช้สารเคมีกำจัดแมลงในพื้นที่ศึกษา คุณ Alex Ahebwa นิสิตปริญญาเอก ภาควิชาชีววิทยา คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ในการตรวจแก้ไขบทความภาษาอังกฤษ รวมทั้งขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ฝ่ายวิจัยและทดสอบเคมีกำจัดแมลงและบุคคลที่ไม่ได้เอ่ยนามที่มีส่วนช่วยในการศึกษาวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

1. World Health Organization. Dengue and severe dengue [Internet]. 2021. [cited 2021 Mar 15]. Available from: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/dengue-and-severe-dengue>
2. Division of vector borne diseases, Department of disease control, Ministry of public health (TH) [Internet]. 2021. [cited 2021 Mar 15]. Available from: <https://drive.google.com/drive/folders/1TTaSVaYYamVwA5Ig7ATZJmIcH-BuGXOSb> (in Thai)
3. Division of vector borne diseases, Department of disease control, Ministry of public health (TH) [Internet]. 2021. [cited 2021 Mar 15]. Available from: <https://drive.google.com/drive/folders/1P4PKW0dMDnrO9kGXhi9PwTUA-23PXhmQk> (in Thai)
4. World Health Organization. Safety of pyrethroids for public health use. World Health Organization; 2005.
5. Cuervo-Parra JA, Cortés TR, Ramirez-Lepe M. Mosquito-Borne Diseases, Pesticides Used for Mosquito Control, and Development of Resistance to Insecticides. In: Trdan S, editor. Insecticides Resistance. London: IntechOpen; 2016. p. 111–34.
6. Bureau of Laboratory Quality Standards. Department of Medical Sciences, Ministry of Public Health (TH). [Internet]. 2021. [cited 2021 Mar 15]. Available from: http://webdb.dmsc.moph.go.th/ifc_qa/dbqa/default.asp?iID=EJFIDH
7. Paeporn P, Sathantriphop S, Ya-umphan P, Mukkhun P, Tassanai P, Tanopas A. Bioefficacy test of aerosol insecticide products against a dengue vector, *Aedes aegypti*. J Health Sci. 2021;30:162–8. (in Thai)
8. World Health Organization. Guidelines for efficacy testing of household insecticide products. Mosquito coils, Vaporizer mats, Liquid vaporizers, Ambient emanators and Aerosol. World Health Organization; 2009.
9. World Health Organization. Monitoring and managing insecticide resistance in *Aedes* mosquito populations Interim guidance for entomologists. Geneva: World Health Organization; 2016.
10. Ya-umphan P, Sathantriphop S, Mukkhun P, Paeporn P, Ritthison W. Insecticide susceptibility characterization and efficacy of insecticides for thermal space spray application against insecticide-resistant *Aedes aegypti* (L.) from Chanthaburi Province. Dis Control J. 2021;4:967–81. (in Thai)
11. Abbott WS. A method for computing the effectiveness of an insecticide. 1925. J Am Mosq Control Assoc. 1987;3(2):302–3.
12. Duncan BD. Multiple range and multiple F tests. Biometrics. 1955;11(1):1–42.
13. Ogoma SB, Moore SJ, Maia MF. A systematic review of mosquito coils and passive emanators: defining recommendations for spatial repellency testing methodologies. Parasites Vectors. 2012;5:287.

14. Bohbot JD, Fu L, Le TC, Chauhan KR, Cantrell CL, Dickens JC. Multiple activities of insect repellents on odorant receptors in mosquitoes. *Med Vet Entomol.* 2011;25:436-44.
15. Pemba D, Kadangwe C. Mosquito control aerosols' efficacy based on pyrethroids constituents. In: Perveen F, editor. *Insecticides-advances in integrated pest management.* London: IntechOpen; 2012.
16. Sathantriphop S, Onkong S, Paeporn P, Ya-umphan P, Mukkhun P, Bang MJ, et al. Knockdown and lethal effects of three mosquito coil formulations against *Aedes aegypti* and *Culex quinquefasciatus* under different nutritional conditions. *J Asia Pac Entomol.* 2019;22(4):1046-52.
17. Dong K. Insect sodium channels and insecticide resistance. *Invert Neurosci.* 2007;7(1):17-30.
18. Fonseca-González I, Quiñones ML, McAllister J, Brogdon WG. Mixed-function oxidases and esterases associated with cross-resistance between DDT and lambda-cyhalothrin in *Anopheles darlingi* Root 1926 populations from Colombia. *Mem Inst Oswaldo Cruz.* 2009;104(1):18-26.
19. Kawada H, Iwasaki T, Loan LL, Tien TK, Mai NTN, Shono Y, et al. Field evaluation of spatial repellency of metofluthrin impregnated lattice work plastic strips against *Aedes aegypti* (L.) and analysis of environmental factors affecting its efficacy in My Tho City, Tien Giang, Vietnam. *Am J Trop Med Hyg.* 2006;75:1153-7.
20. Bingham G, Strode C, Tran L, Khoa PT, Jamet HP. Can piperonyl butoxide enhance the efficacy of pyrethroids against pyrethroid-resistant *Aedes aegypti*? *Trop Med Int Health.* 2011;16(4):492-500.
21. Matsumura F. *Toxicology of Insecticides.* Boston: Springer; 1985.
22. Aïzoun N, Aikpon R, Padonou GG, Oussou O, Oké-Agbo F, Gnanguenon V, et al. Mixed-function oxidases and esterases associated with permethrin, deltamethrin and bendiocarb resistance in *Anopheles gambiae* s.l. in the south-north transect Benin, West Africa. *Parasites Vectors.* 2013;6:223.
23. Kakko I, Toimela T, Tähti H. Piperonyl butoxide potentiates the synaptosome ATPase inhibiting effect of pyrethrin. *Chemosphere.* 2000;40:301-5.
24. Kuri-Morales PA, Correa-Morales F, González-Acosta C, Moreno-García M, Dávalos-Becerril E, Benitez-Alva JI. Efficacy of 13 commercial household aerosol insecticides against *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) From Morelos, Mexico. *J Med Entomol.* 2017;55(2):417-22.
25. Nachaiwieng W, Yanola J, Chamnanya S, Lumjuan N, Somboon P. Efficacy of five commercial household insecticide aerosol sprays against pyrethroid resistant *Aedes aegypti* and *Culex quinquefasciatus* mosquitoes in Thailand. *Pestic Biochem Physiol.* 2021;178(11):104911.
26. Yoon J, An H, Kim N, Tak JH. Efficacy of seven commercial household aerosol insecticides and formulation-dependent toxicity against Asian tiger mosquito (Diptera: Culicidae). *J Med Entomol.* 2020;57(5):1560-6.