

ประสิทธิภาพของน้ำมันหอมระเหยจากพืชตระกูลขิงในการไล่ ด้วงงวงข้าวโพด (*Sitophilus zeamais* Motschulsky) และมอดแป้ง (*Tribolium castaneum* (Herbst))

Efficacy of essential oils from Zingiberaceae as repellent to maize weevil (*Sitophilus zeamais* Motschulsky) and red flour beetle (*Tribolium castaneum* (Herbst))

ดวงสมร สุทธิสุทธิ¹, Paul G. Fields² และ อังศุมาลย์ จันทราปัตย์^{1*}

Duangsamorn Suthisut¹, Paul G. Fields² and Angsumarn Chandrapatya^{1*}

บทคัดย่อ: การศึกษาประสิทธิภาพของน้ำมันหอมระเหยจากเหง้าสดของพืชตระกูลขิง 3 ชนิด คือ ข่าลิง, กระเทียมควาย และ ว่านขมิ้นในการเป็นสารไล่ด้วงงวงข้าวโพดและมอดแป้งโดยการทดสอบในจานทดสอบแบบให้ทางเลือกแก่แมลง พบว่า ที่ความเข้มข้น 0.003, 0.03, 0.15, 0.31, 0.63 และ 1.27 มคก./ตร.ซม. น้ำมันหอมระเหยที่มีประสิทธิภาพในการเป็น สารไล่ด้วงงวงข้าวโพดดีที่สุดคือ ว่านขมิ้น (91.5%) รองลงมาคือกระเทียมควาย (89.4%) และข่าลิง (78.1%) สำหรับ น้ำมันหอมระเหยที่สามารถไล่มอดแป้งได้ดีที่สุดคือ ข่าลิง (97.4%) รองลงมาคือว่านขมิ้น (95.3%) และกระเทียมควาย (93.0%) ตามลำดับ นอกจากนี้การศึกษากฎการตกค้างของน้ำมันหอมระเหยทั้งสามชนิดในการเป็นสารไล่ที่ระดับ ความเข้มข้น 1.27 มคก./ตร.ซม. พบว่า น้ำมันหอมระเหยข่าลิงและกระเทียมควาย สามารถไล่ด้วงงวงข้าวโพดและมอดแป้ง หลังการหยदन้ำมันหอมระเหยได้เป็นเวลา 2 ชั่วโมงจนถึง 8 วัน ขณะที่น้ำมันหอมระเหยจากว่านขมิ้นที่หยदनได้เป็นเวลา 8 วันจะสูญเสียความสามารถในการไล่ด้วงงวงข้าวโพดประมาณ 50%

คำสำคัญ: ด้วงงวงข้าวโพด, มอดแป้ง, ข่าลิง, กระเทียมควาย, ว่านขมิ้น

ABSTRACT: The efficacy of essential oils from rhizomes of *Alpinia conchigera*, *Zingiber zerumbet* and *Curcuma zedoaria* to repel *Sitophilus zeamais* and *Tribolium castaneum* at 0.003, 0.03, 0.15, 0.31, 0.63 and 1.27 $\mu\text{L}/\text{cm}^2$ by Petri-dish choice bioassay indicated that the most efficiency was found in *C. zedoaria* oils (91.5%) followed by *Z. zerumbet* oils (89.4%) and *A. conchigera* oils (78.1%). For *T. castaneum*, *A. conchigera* oil (97.4%) was the most effective one, followed by *C. zedoaria* oil (95.3%) and *Z. zerumbet* oil (93.0%), respectively. Furthermore, the residual of three essential oils were also estimated at 1.27 $\mu\text{L}/\text{cm}^2$ and the results demonstrated that *Alpinia conchigera* and *Z. zerumbet* oils strongly repelled both insects till the end of experiment (8 days) while *C. zedoaria* oils lost its repelling efficacy by 50% on day 8 after treatment.

Keywords: *Sitophilus zeamais*, *Tribolium castaneum*, *Alpinia conchigera*, *Zingiber zerumbet*, *Curcuma zedoaria*

¹ ภาควิชากีฏวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร 10900

¹ Department of Entomology, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok, 10900

² Cereal Research Centre, Agriculture & Agri-Food Canada, 195 Dafoe Road, Winnipeg, Manitoba, Canada R3T 2M9,

* Corresponding author: chandrapatya@yahoo.com

บทนำ

ปัจจุบันผลผลิตเกษตรหลังการเก็บเกี่ยวและอาหารสัตว์ทั่วโลกจะถูกทำลายโดยด้วงมากกว่า 600 ชนิด ผีเสื้อ 70 ชนิดและไรประมาณ 355 ชนิด (Rejendran, 2002) ประเทศไทยเป็นหนึ่งในอีกหลายประเทศที่ต้องประสบกับปัญหาการแพร่ระบาดของแมลงศัตรูในโรงเก็บเช่นกัน แมลงศัตรูผลิตผลเกษตรในโรงเก็บที่สำคัญในประเทศไทยมีหลายชนิด เช่น ด้วงวงข้าวโพด (*Sitophilus zeamais* Motschulsky) และ มอดแป้ง (*Tribolium castaneum* (Herbst)) (พรทิพย์ และคณะ 2548) แมลงเหล่านี้ก่อให้เกิดความเสียหายทั้งในด้านคุณภาพและปริมาณของผลผลิตเกษตร แมลงศัตรูผลิตผลเกษตรส่วนใหญ่จะมีขนาดเล็ก ขยายพันธุ์ได้ง่ายและรวดเร็ว จึงทำให้จำนวนประชากรเพิ่มมากขึ้นในระยะเวลาอันสั้น และก่อให้เกิดความเสียหายต่อผลผลิตเกษตรอย่างมาก (Rees, 2004)

สารรม (fumigant) เป็นสารเคมีที่นิยมนำมาใช้ในการป้องกันกำจัดแมลงศัตรูผลิตผลเกษตรในโรงเก็บ เนื่องจากเป็นสารที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดแมลงสูงมาก สารรมที่นิยมใช้ ได้แก่ เมทิลโบไมด์ (เมทิลฟลูออไรด์ (sulfuryl fluoride) (Mueller, 1990) ปัจจุบันประเทศที่พัฒนาแล้วได้ยกเลิกการใช้สารเมทิลโบไมด์เป็นสารรม เนื่องจากสารนี้ก่อให้เกิดโรคหอบหืดในคน ส่วนประเทศที่กำลังพัฒนาก็จะต้องยกเลิกการใช้สารชนิดเดียวกันนี้ภายในปี พ.ศ. 2558 ตามข้อตกลงของพิธีสารมอนทรีออล (Montreal protocol) (TEAP, 2000) อย่างไรก็ตามการใช้สารเคมีเป็นจำนวนมากและต่อเนื่องกันเป็นเวลานานทำให้แมลงสร้างความต้านทานต่อสารเคมี ส่งผลให้การป้องกันกำจัดทำได้ยากขึ้น นอกจากนี้ยังเกิดการปนเปื้อนของสารเคมีต่อผลผลิตเกษตรและสิ่งแวดล้อม ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อทั้งโดยตรงและโดยอ้อมต่อผู้ใช้และผู้บริโภคอีกด้วย (Emekci, 2010)

น้ำมันหอมระเหยในพืชเป็นสารทุติยภูมิที่พืชสร้างขึ้นและพบได้ที่ส่วนต่างๆ ของพืช เช่น ใบ เมล็ด ผล และเปลือก เป็นต้น (Bakkali et al., 2008) น้ำมันหอมระเหยจากพืชแต่ละชนิดจะมีสารประกอบเชิงซ้อนที่แตกต่างกันไป สารทุติยภูมิบางชนิดที่มีอยู่ในน้ำมันหอมระเหยของพืชสามารถนำมาใช้กำจัดศัตรูพืชได้หลายแบบ เช่น ใช้เป็นสารสัมผัส (contact toxicity), สารไล่แมลง (repellency), สารรม (fumigant) หรือสารยับยั้งการกิน (antifeedant) เป็นต้น ดังนั้นน้ำมันหอมระเหยจากพืชจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจในการควบคุมแมลงศัตรูผลิตผลเกษตร เพื่อลดปริมาณการใช้สารเคมีซึ่งจะเป็นอันตรายต่อผู้ใช้และปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม

พืชในวงศ์ ขิง (Zingiberace) เป็นพืชที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้มาก เช่น ใช้เป็นอาหาร น้ำหอม ยารักษาโรค รวมถึงการกำจัดแมลงหลายชนิด (Stoll, 2000; Ukeh et al., 2009) เช่น พืชในสกุล *Alpinia* ใช้ไล่หนอนของผีเสื้อหนอนใยผัก (*Plutella xylostella* (L.)) (Wattanasombat, 1995) สกุล *Zingiber* ใช้กำจัดด้วงงวงข้าวเหลือง (*Callosobruchus chinensis* (L.)) (Owolabi et al., 2009) และมีประสิทธิภาพในการเป็นสารไล่ด้วงวงข้าวโพด (สุภาณี และคณะ 2545; Ukeh et al., 2009) สกุล *Curcuma* สามารถใช้ป้องกันและกำจัดแมลงศัตรูผลิตผลเกษตรได้ (Stoll, 2000; Tripathi et al., 2002)

วัตถุประสงค์ของรายงานฉบับนี้คือการศึกษาประสิทธิภาพของน้ำมันหอมระเหยจากเหง้าสดของพืชวงศ์ขิง 3 ชนิด ได้แก่ ข่าลิง (*Alpinia conchigera* Griff.) กระเทียมขวย (*Zingiber zerumbet* Smitt) และ ว่านขมิ้น (*Curcuma zedoaria* (Berg.) Roscoe) ในการไล่ด้วงวงข้าวโพดและมอดแป้ง ผลที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้จะเป็นข้อมูลพื้นฐานในการเลือกใช้น้ำมันหอมระเหยจากพืชเพื่อทดแทนการใช้สารเคมีบางส่วนในโรงเก็บผลิตผลเกษตร

วิธีการศึกษา

แมลงที่ใช้ในการทดสอบ

แมลงที่ใช้ทดสอบในครั้งนี้มี 2 ชนิดคือ ตัวเต็มวัยของด้วงงวงข้าวโพดและมอดแป้ง ซึ่งได้รับจากกลุ่มวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร กรมวิชาการเกษตร และนำมาขยายพันธุ์ต่อไปในตู้ควบคุมอุณหภูมิ (incubator) ที่ 30 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้น $70 \pm 10\%$ โดยเลี้ยงด้วงงวงข้าวโพดในข้าวสาลี (ชนิดข้าวสาลี คือ hard red spring) ซึ่งมีความชื้น 14% ส่วนมอดแป้งเลี้ยงในแป้งสาลีซึ่งมีความชื้น $13.9 \pm 0.2\%$ ผสมยีสต์ (brewer's yeast) ในอัตรา 5% แมลงที่ใช้ในการทดสอบทั้ง 2 ชนิดอยู่ในระยะตัวเต็มวัย มีอายุไม่เกิน 1-14 วันหลังจากออกจากดักแด้

การสกัดน้ำมันหอมระเหย

การสกัดน้ำมันหอมระเหยกระทำโดยนำเหง้าสดของกระเทียมและว่านขมิ้นซึ่งเก็บมาจากจังหวัดพังงา และเหง้าสดของข่าลิ้นซึ่งเก็บมาจากจังหวัดนครศรีธรรมราช ในระหว่างปี พ.ศ. 2551-2552 มาหั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ ก่อนนำเข้าเครื่องสกัดน้ำมันหอมระเหย (Clevenger-type apparatus) เป็นเวลา 8 ชั่วโมง โดยใช้อัตราส่วนพืช : น้ำสะอาด เท่ากับ 1 : 3 ส่วน จากนั้นจึงนำน้ำมันหอมระเหยที่ได้มาเติมโซเดียมซัลเฟต (sodium sulphate) เพื่อกำจัดน้ำที่ปนเปื้อนออกจากน้ำมันหอมระเหย และเก็บรักษาไว้ในตู้เย็นอุณหภูมิ 8-10 องศาเซลเซียส เพื่อใช้ในการทดลองต่อไป สำหรับตัวอย่างพืชทั้ง 3 ชนิด ถูกเก็บรักษาไว้ที่พิพิธภัณฑ์พืชสิรินธร กรมวิชาการเกษตร โดยมีรหัสการเก็บรักษา (Voucher specimen) คือ BK 64163, BK 64164 และ BK 64166 สำหรับข่าลิ้น กระเทียม และขมิ้นชัน ตามลำดับ

ประสิทธิภาพของน้ำมันหอมระเหยในการเป็นสารไล่

นำน้ำมันหอมระเหยที่ได้จากพืชทั้ง 3 ชนิดมาเจือจางที่ระดับความเข้มข้น 0.003, 0.03, 0.15, 0.31, 0.63 และ 1.27 มก./ตร.ซม. เพื่อทดสอบประสิทธิภาพในการเป็นสารไล่ตัวเต็มวัยด้วงงวงข้าวโพดและมอดแป้ง ด้วยการทดสอบแบบมีทางเลือกในจานแก้ว (Petri-dish choice bioassay) ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้กับแมลงในกลุ่ม Coleoptera (Tapondjou et al., 2005; Zepata and Smagghe, 2010)

วิธีทดสอบทำโดยนำกระดาษกรองเบอร์ 1 (Whatmann #1) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 ซม. มาตัดออกเป็น 2 ส่วนเท่าๆ กัน ซีกหนึ่งหยดน้ำมันหอมระเหยจำนวน 1 มิลลิลิตร ส่วนอีกซีกหนึ่งหยดตัวทาละลายคือเอทานอลจำนวน 1 มิลลิลิตร จากนั้นวางกระดาษกรองบนโต๊ะและทิ้งไว้ให้แห้งประมาณ 2 นาที ก่อนที่จะนำกระดาษกรองทั้ง 2 ส่วนมาประกบเข้าด้วยกันโดยใช้เทปใส ก่อนที่จะนำไปวางในจานแก้วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 ซม. และนำแมลงที่จะทดสอบใส่ลงตรงกลางจานแก้ว (จำนวน 10 ตัว/ ซ้ำ, 5 ซ้ำ/ 1 กรรมวิธี) ลง ก่อนที่จะนำจานแก้ววางในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 30 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้น $70 \pm 10\%$ ในสภาพมืดสนิท ทำการนับจำนวนแมลงที่พบบนแต่ละซีกของกระดาษกรองโดยใช้ไฟแสงสีแดงส่องดูเมื่อเวลาผ่านไป 1, 2, 3, 4, 5, 6, 12, 24 และ 48 ชั่วโมง นำข้อมูลที่ได้มาคำนวณหาอัตราการไล่ (Percentage repellency, PR) = $N_c / (N_c + N_t) \times 100$ โดย N_c = จำนวนแมลงที่พบบนซีกที่หยดสารละลาย และ N_t = จำนวนแมลงที่พบบนซีกที่หยดสารทดสอบ วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ ANOVA และ Duncan's Multiple Range Test ด้วยโปรแกรม SPSS

ฤทธิ์ตกค้างของน้ำมันหอมระเหยในการเป็นสารไล่

นำน้ำมันหอมระเหยทั้ง 3 ชนิด ความเข้มข้น 1.27 มก./ตร.ซม. มาหยดลงบนกระดาษกรองซีกหนึ่ง และเก็บไว้ในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 30 ± 1 องศาเซลเซียส

ความชื้น $70 \pm 10\%$ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง, 1 วัน, 2 วัน, 4 วัน และ 8 วัน ก่อนทำการทดลอง เมื่อครบกำหนดเวลาจึงนำกระดาษกรองที่หยดสารทดสอบไว้แล้วมาประกบกับกระดาษกรองซีกที่หยดสารละลายและทิ้งไว้จนแห้งสนิทก่อนจะบรรจุลงในจานแก้ว จากนั้นจึงปล่อยแมลงทดสอบลงตรงกลางจานแก้ว (จำนวน 10 ตัว/ ซ้ำ, 5 ซ้ำ/ 1 กรรมวิธี) และตรวจนับจำนวนแมลงที่พบบนแต่ละซีกของกระดาษกรองเมื่อเวลาผ่านไป 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 ชั่วโมง นำข้อมูลที่ได้มาคำนวณหาอัตราการไล่ (Percentage repellent, PR) ตามวิธีข้างต้น

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ประสิทธิภาพของน้ำมันหอมระเหยในการเป็นสารไล่

ผลการศึกษาประสิทธิภาพการเป็นสารไล่ของน้ำมันหอมระเหยจากพืชทั้ง 3 ชนิด คือ ข่าลิง กระเทียมควาย และว่านขมิ้น พบว่าพืชทั้ง 3 ชนิดมีประสิทธิภาพในการเป็นสารไล่ด้วงวงข้าวโพดและมอดแป้ง (Tables 1-3)

น้ำมันหอมระเหยจากเหง้าข่าลิงที่ระดับความเข้มข้นต่ำสุด (0.003 มคล./ตร.ซม.) ไล่ด้วงวงข้าวโพดได้เพียง 42-52% โดยมีอัตราการไล่สูงสุดในชั่วโมงที่ 3 และ 4 (Table 1) ในชั่วโมงแรกของการทดลองพบว่าน้ำมันหอมระเหยที่ระดับความเข้มข้น 0.31 มคล./ตร.ซม. ขึ้นไป สามารถไล่ด้วงวงข้าวโพดได้มากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ การใช้น้ำมันจากข่าลิงที่ระดับความเข้มข้น 0.03-0.15 มคล./ตร.ซม. คงประสิทธิภาพในการเป็นสารไล่ได้นาน 6-12 ชั่วโมง ขณะที่การเพิ่มความเข้มข้นมีผลให้ประสิทธิภาพในการเป็นสารไล่ออกฤทธิ์อยู่ได้นาน 12-24 ชั่วโมง ในวันที่สองของการทดลอง (48 ชั่วโมง) พบว่าสารทุกระดับความเข้มข้นไล่ด้วงวงข้าวโพดได้น้อยลง ยกเว้นที่ความเข้มข้นต่ำสุด (0.003 มคล./ตร.ซม.) ซึ่งน้ำมันข่าลิงยังคงไล่ด้วงวงข้าวโพดได้ในอัตราเดิมตั้งแต่เริ่มการทดลอง (Table 1) น้ำมันหอมระเหยจากข่าลิงมีประสิทธิภาพ

สูงในการเป็นสารไล่มอดแป้งที่ทุกระดับความเข้มข้น โดยมีอัตราการไล่สูง 88-100% ความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยที่เพิ่มขึ้นไม่มีผลทำให้อัตราการไล่มอดแป้งเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้อัตราการไล่มอดแป้งของสารทุกระดับความเข้มข้นยังคงมีประสิทธิภาพสูงจนถึงสิ้นสุดการทดลอง

น้ำมันหอมระเหยจากเหง้ากระเทียมควายที่ระดับความเข้มข้น 0.003 มคล./ตร.ซม. สามารถไล่ด้วงวงข้าวโพดได้มากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ภายหลังการทดสอบ 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นประสิทธิภาพในการไล่จะเพิ่มมากขึ้นจนถึง 90% ภายในเวลา 24 ชั่วโมง และลดลงเหลือ 68 ชั่วโมงเมื่อเสร็จสิ้นการทดลอง (Table 2) เมื่อความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยเพิ่มมากขึ้น พบว่าน้ำมันหอมระเหยทุกระดับความเข้มข้น (0.03-1.27 มคล./ตร.ซม.) ไล่ด้วงวงข้าวโพดได้ 86-96% ภายในเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นประสิทธิภาพในการไล่จะเพิ่มมากขึ้น (92-100%) และคงที่อยู่นานถึง 24 ชั่วโมง จากนั้นจึงลดต่ำลงอยู่ในระดับ 62-76% การเพิ่มความเข้มข้นของสารให้สูงกว่า 0.15 มคล./ตร.ซม. ไม่มีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพในการไล่ด้วงวงข้าวโพด สำหรับประสิทธิภาพในการไล่มอดแป้งพบว่า สารที่ระดับความเข้มข้น 0.03 มคล./ตร.ซม. ขึ้นไปจะสามารถไล่มอดแป้งได้ไม่แตกต่างกัน โดยไล่มอดแป้งได้ 94-100% และประสิทธิภาพจะคงที่อยู่ตลอดการทดลอง การใช้ น้ำมันหอมระเหยจากกระเทียมควายที่ความเข้มข้นเพียง 0.003 มคล./ตร.ซม. จะไล่มอดแป้งได้เพียง 60% ภายในเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นประสิทธิภาพในการไล่จะค่อนข้างคงที่ประมาณ 24 ชั่วโมง ก่อนที่จะลดลงเหลือเพียง 38% เมื่อสิ้นสุดการทดลอง (Table 2)

น้ำมันหอมระเหยจากเหง้าว่านขมิ้นที่ระดับความเข้มข้น 0.003 มคล./ตร.ซม. สามารถไล่ด้วงวงข้าวโพดได้มากกว่า 64% ภายหลังการทดสอบ 1 ชั่วโมง จากนั้นประสิทธิภาพในการไล่ด้วงวงข้าวโพดจะเพิ่มขึ้นจนถึง 92% ในชั่วโมงที่ 5 และลดต่ำลงสู่ระดับเดิม (64%) ที่ 48 ชั่วโมง เมื่อระดับความเข้มข้นของน้ำมันว่านขมิ้นเพิ่มขึ้น อัตราการไล่ด้วงวงข้าวโพด

จะเพิ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็ตาม อัตราการไล่ด้วงวงข้าวโพด จากการใช้น้ำมันหอมระเหยเข้มข้น 0.03-1.27 มล./ตร.ซม. (86-100%) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ประสิทธิภาพของน้ำมันหอมระเหยจากवानขมิ้นในการไล่ด้วงวงข้าวโพดค่อนข้างคงที่ในระยะเวลา 24 ชั่วโมง และลดลงเล็กน้อยในชั่วโมงที่ 48 (Table 3) สำหรับมอดแป้ง พบว่าน้ำมันหอมระเหยจากวานขมิ้นทุกระดับความเข้มข้นที่ใช้ทดสอบ สามารถไล่มอดแป้งได้ไม่แตกต่างกัน โดยไล่มอดแป้งได้ 78-100% และเมื่อเวลาในการทดสอบนานมากขึ้นจนถึง 48 ชั่วโมง พบว่าสารยังคงมีประสิทธิภาพในการไล่มอดแป้งอยู่เช่นเดิม (Table 3)

จากข้อมูลเปอร์เซ็นต์เฉลี่ยในการไล่แมลงของน้ำมันหอมระเหยทั้ง 3 ชนิด พบว่า สารที่มีประสิทธิภาพในการไล่ด้วงวงข้าวโพดดีที่สุดคือวานขมิ้น (91.5%) รองลงมาได้แก่ กระเทียม (89.4%) และขาลิง (78.1%) ตามลำดับ สำหรับมอดแป้งนั้น น้ำมันหอมระเหยที่สามารถไล่มอดแป้งได้ดีที่สุดคือขาลิง (97.4%) รองลงมาคือวานขมิ้น (95.3%) และ กระเทียม (93.0%) ตามลำดับจะเห็นได้ว่าน้ำมันหอมระเหยทั้ง 3 ชนิดสามารถไล่มอดแป้งได้ดีกว่าด้วงวงข้าวโพด ซึ่งการทดลองครั้งนี้สอดคล้องกับ Liu and Ho (1999), Ko Ko et al. (2009; 2010) ที่พบว่าน้ำมันหอมระเหยของ *Evodia Rutaecarpa* Hook F. Et Thomas, ตะไคร้ต้น *Litsea cubeba* (Lour.) Persoon และหมีขี้ *L. salicifolia* Roxb. Ex Wall สามารถไล่มอดแป้งได้ดีกว่าด้วงวงข้าวโพด นอกจากนั้นผลการศึกษาค้นนี้ยังสอดคล้องกับรายงานการทดสอบฤทธิ์ของน้ำมันหอมระเหยในการเป็นสารไล่ด้วงวงข้าวโพดและมอดแป้ง เช่น น้ำมันหอมระเหยจากยี่ห่วย (*Ocimum gratissimum* L.) (Asawalam et al., 2008), ผักชีล้อม (*Foeniculum vulgare*), มะกรูดฝรั่ง (*Citrus bergamia*) (Cosimi et al., 2009) และ ยูคาลิปตัส (*Eucalyptus* sp.) (Mossi et al., 2011) สามารถไล่ด้วงวงข้าวโพดได้ดี ส่วนน้ำมันหอมระเหยจาก *Artemisia vulgaris* L. (Wang et al., 2006), โหรีกาโน (*Origanum vulgare* L.)

(Kim et al., 2010) และ *Laurelia sempervirens* (Ruiz & Pav.) Tul. (Zapata and Smagghe, 2010) สามารถไล่มอดแป้งได้ เป็นต้น

ประสิทธิภาพในการเป็นสารไล่แมลงศัตรูผลเกษตรของพืชแต่ละชนิด ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของสารสำคัญที่พบในน้ำมันหอมระเหยของพืชแต่ละชนิด (Cosimi et al., 2009) ซึ่งจากการศึกษาก่อนหน้านี้ Suthisit et al. (2011) ได้รายงานสารสำคัญที่พบในน้ำมันหอมระเหยทั้งสามชนิด โดยน้ำมันหอมระเหยขาลิงประกอบด้วยสารสำคัญคือ 1,8-cinelo, β -pinene, α -pinene, β -sesquiphellandrene และ α -terpineol, น้ำมันหอมระเหยกระเทียมประกอบด้วยสาร camphene, α -humulene, camphor, 1,8-cinelo และ zerumbone ส่วนน้ำมันหอมระเหยวานขมิ้นประกอบด้วยสาร camphor, α -zingiberene, camphene, α -curcumene และ isoborneol สารเหล่านี้บางชนิดได้มีการรายงานถึงประสิทธิภาพการเป็นสารไล่ เช่น camphor มีประสิทธิภาพในการไล่ผีเสื้อหนอนกุดกินอ่อน, *Lobesia botrana* Den. Et Schiff. (Katerinopoulos et al., 2005); สาร 1,8-cinelo สามารถไล่ด้วงวงข้าวโพด ด้วงวงข้าวสาธิต *S. granarius* (L.) แต่ไม่มีประสิทธิภาพในการเป็นสารไล่มอดแป้งและมอด *Prostephanus truncatus* (Horn) (Obeng-Ofori and Reichmuth, 1997) ส่วน α -terpinene และ (-)-camphene สามารถไล่มอดแป้ง (García et al., 2005) นอกจากนั้น Abeywickrama et al. (2006) พบว่าในน้ำมันข่า *Alpinia calcarata* (Rosc.) ซึ่งมีสาร 1,8-cinelo เป็นสารสำคัญมีประสิทธิภาพในการเป็นสารไล่ด้วงงั่วเขียว *Callosobruchus maculatus* (F) และ Ko Ko (2009; 2010) พบว่าน้ำมันหอมระเหยจากผลของตะไคร้ต้นและหมีขี้ ซึ่งมี terpinen-4-ol เป็นสารสำคัญสามารถไล่ด้วงวงข้าวโพดและมอดแป้งได้เช่นเดียวกับผลการศึกษาค้นนี้ ดังนั้นประสิทธิภาพของน้ำมันหอมระเหยจากพืชตระกูลขิงในการเป็นสารไล่ด้วงวงข้าวโพดและมอดแป้งในครั้งนี้ น่าจะเป็นผลมาจากสารสำคัญที่พบในน้ำมันหอมระเหยด้วย

ฤทธิ์ตกค้างของน้ำมันหอมระเหยในการเป็นสารไล่

จากการศึกษาประสิทธิภาพของน้ำมันหอมระเหยทั้ง 3 ชนิด ที่ระดับความเข้มข้น 1.27 มคล./ตร.ซม. ในการเป็นสารไล่ หลังจากหยดสารทดสอบบนกระดาษกรองในช่วงเวลาที่แตกต่างกันคือ 2 ชั่วโมง, 1, 2, 4 และ 8 วัน พบว่า น้ำมันหอมระเหยจากชาลิ้งและกระเทียมควายมีประสิทธิภาพในการเป็นสารไล่ต่อดังวงวงข้าวโพดและมอดแป้งในทุกช่วงเวลา โดยมีค่าเฉลี่ยของอัตราการไล่ต่อดังวงวงข้าวโพดมากถึง 97.3 และ 98.0% หลังจากที่ยอดสารแล้ว 2 ชั่วโมง นอกจากนั้นยังพบว่าน้ำมันหอมระเหยจากชาลิ้งและกระเทียมควายที่ยอดสารบนกระดาษกรองก่อนการทดสอบ 8 วันยังคงประสิทธิภาพในการไล่โดยมีค่าเฉลี่ยของการไล่ เท่ากับ 82.7 และ 75.3% ตามลำดับ น้ำมันหอมระเหยของพืชสองชนิดนี้มีอัตราการไล่มอดแป้งมากกว่า 90% ในทุกช่วงเวลาที่ทดสอบ (Tables 4, 5)

น้ำมันหอมระเหยจากว่านขมิ้นมีประสิทธิภาพในการไล่ด้วงวงข้าวโพดและมอดแป้งสูง โดยสารที่ยอดบนกระดาษกรองเป็นเวลา 2 ชั่วโมงถึง 4 วัน แสดงค่าเฉลี่ยในการไล่แมลงทั้ง 2 ชนิดไม่แตกต่างกัน (93-97%) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าน้ำมันหอมระเหยจากว่านขมิ้นมีความคงทนสูงถึง 4 วันในการไล่แมลง นอกจากนั้นผลการทดลองนี้ยังแสดงให้เห็นว่าน้ำมันหอมระเหยจากว่านขมิ้นเริ่มสูญเสียความสามารถในการไล่แมลงทั้ง 2 ชนิดโดยไล่ด้วงวงข้าวโพดและมอดแป้งได้เพียง 42.7 และ 64.3% เมื่อหยดสารทิ้งไว้ก่อนทดสอบ 8 วัน (Tables 6)

การศึกษาเกี่ยวกับฤทธิ์ตกค้างของน้ำมันหอมระเหยในการเป็นสารไล่กับด้วงวงข้าวโพดและมอดแป้งในครั้งนี้เป็นการรายงานครั้งแรก แต่สำหรับการศึกษาฤทธิ์ตกค้างของน้ำมันหอมระเหยโดยวิธีคลุกเมล็ดที่ช่วงเวลาแตกต่างกันมีการศึกษาโดย Jessica et al. (2010) ซึ่งพบว่า น้ำมันหอมระเหยจากใบ *Peumus boldus* Molina ที่นำมาคลุกเมล็ดข้าวโพดและเก็บไว้ 1, 5 และ 10 วัน พบว่ามีอัตรา

การตายของด้วงวงข้าวโพดน้อยลงในวันที่ 5 และ 10 ตามลำดับ

Casida (1990) ได้กล่าวไว้ว่าประสิทธิภาพการเป็นสารไล่ของน้ำมันหอมระเหยขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญในน้ำมันหอมระเหย และความอ่อนแอของแมลง ดังนั้นการที่จะนำเอาน้ำมันหอมระเหยมาพัฒนามาใช้เป็นผลิตภัณฑ์เพื่อไล่แมลงศัตรูผลิตผลเกษตรจำเป็นต้องคำนึงถึงประสิทธิภาพของน้ำมันหอมระเหยหลังจากการหยดสารด้วยเนื่องจากน้ำมันหอมระเหยสามารถระเหยได้รวดเร็ว ดังนั้นจึงควรที่จะพัฒนาวิธีการที่สามารถควบคุมการระเหยของน้ำมันหอมระเหยในอนาคต

สรุป

น้ำมันหอมระเหยจากเหง้าสดของชาลิ้ง กระเทียมควาย และว่านขมิ้นสามารถไล่ด้วงวงข้าวโพดและมอดแป้งซึ่งเป็นแมลงศัตรูผลิตผลเกษตรที่สำคัญของเมืองไทยได้ อย่างไรก็ตามอัตราการไล่แมลงจะขึ้นอยู่กับช่วงเวลาหลังการหยदन้ำมันหอมระเหยด้วย เนื่องจากน้ำมันหอมระเหยสามารถระเหยได้ค่อนข้างรวดเร็ว ดังนั้นควรมีการพัฒนาแบบฉบับของน้ำมันหอมระเหยที่สามารถนำไปใช้ในสภาพโรงเก็บผลิตผลเกษตรเพื่อความสะดวกและคงประสิทธิภาพของน้ำมันหอมระเหยได้นานขึ้น ซึ่งจะก่อให้เกิดเป็นประโยชน์ต่อคุณภาพชีวิตของเกษตรกรและผู้บริโภคมากขึ้น

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณโครงการปริญญาเอกกาญจนาภิเษก (The Royal Golden Jubilee Ph.D. Program) (PHD/0011/2551), โครงการเมธีวิจัยอาวุโสของ ศ.ดร. อังศุมาลย์ จันทราปัติย์ (RTA#4880006) ภายใต้งานสนับสนุนของสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย และ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้ทุนสนับสนุนในการทำวิจัยในครั้งนี้ ขอขอบคุณ สถาบัน Cereal Research Center, Manitoba ประเทศแคนาดา ที่ได้

ให้ความสะดวกด้านอุปกรณ์และสถานที่ในการทดลอง และขอขอบคุณ ดร.ปราโมทย์ ไตรบุญ พิพิธภัณฑ์พืชสิรินธร กรมวิชาการเกษตร ในการจัดจำแนกชนิดของพืช

เอกสารอ้างอิง

- สุภาณี พิมพ์สมาน, สังวาล สมบูรณ์, และเบญจมาภรณ์ฤทธิ์ไธสง. 2545. ความเป็นพิษและผลในการไล่ของน้ำมันหอมระเหยต่อด้วงงวงข้าวโพด (*Sitophilus zeamais* Motsch.). ว. วิทย์. กษ. 33:295-299
- พรทิพย์ วิสารทนนท์, กุสุมา นวลวัฒน์, บุษรา จันทรแก้วมณี, ใจทิพย์ อุไรชื่น, รังสิมา เก่งการพานิช, กรรณิการ์ เพ็งคุ้ม, จิราภรณ์ ทองพันธ์, ดวงสมร สุทธิสุทธิ์, ลักขณา ร่มเย็น, และภาวิณี หนูชนะภัย. 2548. แมลงที่พบในผลิตผลเกษตรและการป้องกันกำจัด. สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร กรมวิชาการเกษตร. โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด. กรุงเทพฯ.
- Abeywickrama, K., A.A.C.K. Adhikari, P. Paranagama, and C.S.P. Gamage. 2006. The efficacy of essential oil of *Alpinia calcarata* (Rosc.) and its major constituent, 1,8-cineole, as protectants of cowpea against *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera: Bruchidae). Can. J. Plant Sci. 86:821-827.
- Asawalam, E.F., S.O. Emosairue, and A. Hassanali. 2008. Essential oil of *Ocimum grattissimum* (Labiatae) as *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae) protectant. Afr. J. Biotechnol. 7:3771-3776.
- Bakkali, F., S. Averbek, D. Averbek, and M. Idaomar. 2008. Biological effects of essential oils - A review. Food Chem. Toxicol. 46:446-475.
- Casida, J.H. 1990. Pesticide mode of action, evidence for implications of a finite number of biochemical targets P 11-22. In: J.E. Casida. 1990. Pesticides and Alternatives, Innovative Chemical and Biological Approaches to Pest Control, Elsevier, Amsterdam.
- Cosimi, S., E. Rossi, P.L. Cioni, and A. Canale. 2009. Bioactivity and qualitative analysis of some essential oils from Mediterranean plants against stored-product pests: Evaluation of repellency against *Sitophilus zeamais* Motschulsky, *Cryptolestes ferrugineus* (Stephens) and *Tenebrio molitor* (L.). J. Stored Prod. Res. 45:125-132.
- Emekci, M. 2010. Quo Vadis the fumigants?. P. 303-313. In O.M. Carvalho, P.G. Fields, C.S. Adler, F.H. Arthur, C.G. Athanassiou, J.F. Campbell, F. Fleurat-Lessard, P.W. Flinn, R.J. Hodges, A.A. Isikber, S. Navarro, R.T. Noyes, J. Riudavets, K.K. Sinha, G.R. Thorpe, B.H. Timlick, P. Trematerra, N.D.G. White, (Eds). Proceedings, 10th International Working Conference on Stored Product Protection, 27 June - 2 July, 2010, Estoril, Portugal, Julius-Kühn-Archiv, Berlin, Germany.
- García, M., O. J. Donadel, C. E. Ardanaz, C. E. Tonn, and M. E. Sosa. 2005. Toxic and repellent effects of *Baccharis salicifolia* essential oil on *Tribolium castaneum*. Pest Manag. Sci. 61:612-618.
- Jessica B.R., S.A. Gonzalo, R.M. Concepción, F.G. Susana, and Z.S.M. Nelson. 2010. Insecticidal Activity of *Peumus boldus* Molina Essential oil Against *Sitophilus zeamais* Motschulsky. Chilean J. Agric. Res. 70(3): 399-407
- Katerinopoulos, H. E., G. Pagona, A. Afratis, N. Stratigakis, and N. Roditakis. 2005. Composition and insect attracting activity of the essential oil of *Rosmarinus offinalis*. J. Chem. Ecol. 31:111-122.
- Kim, S.I., J.S. Yoon, J.W. Jung, K.B. Hong, Y.J. Ahn, and H.W. Kwon. 2010. Toxicity and repellency of organum essential oil and its components against *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae) adults. J. Asia Pac. Entomol. 13:369-373.
- Ko, K., W. Juntarajumnong, and A. Chandrapatya. 2009. Repellency, fumigant and contract toxicities of *Litsea cubeba* (Lour.) Persoon against *Sitophilus zeamais* Motschulsky and *Tribolium castaneum* (Herbst). Kasetsart J. (Nat. Sci.). 43:56-63.
- Ko, K., W. Juntarajumnong, and A. Chandrapatya. 2010. Insecticidal activities of essential oils from fruits of *Litsea salicifolia* Roxb. ex Wall. against *Sitophilus zeamais* Motschulsky and *Tribolium castaneum* (Herbst). Pakistan J. Zool. 42:551-557.
- Liu, Z.L., and S.H. Ho. 1999. Bioactivity of the essential oil extracted from *Evodia rutaecarpa* Hook f. et Thomas against the grain storage insects, *Sitophilus zeamais* Motsch. and *Tribolium castaneum* (Herbst). J. Stored Prod. Res. 35:317-328.

- Mossi, A.J., V. Astolfi, G. Kubiak, L. Lerin, C. Zanella, G. Toniazzi, D.D. Oliveira, H. Treichel, I.A. Devilla, R. Cansian, and R. Restello. 2011. Insecticidal and repellency activity of essential oil of *Eucalyptus* sp. against *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera, Curculionidae). *J. Sci. Food Agric.* 91:273-277.
- Obeng-Ofori, D., and C. H. Reichmuth. 1997. Bioactivity of eugenol, a major component of essential oil of *Ocimum suave* (Wild.) against four species of stored-product Coleoptera. *Int. J. Pest Manage.* 43:89-94.
- Owolabi, M.S., M.O. Oladimeji, L. Lajide, G. Singh, P. Marimuthu, and V.A. Isidorov. 2009. Bioactivity of three plant derived essential oils against the maize weevils *Sitophilus zeamais* Motschulsky and cowpea weevils *Callosobruchus maculatus* (Fabricius). *Elec. J. Environ. Agric. Food Chem.* 8: 828-835.
- Rajendran, S. 2002. Postharvest pest losses. P. 654-656. In: D. Pimentel, (Ed.). *Encyclopedia of Pest Management*. Marcel Dekker, Inc., New York.
- Rees, D. 2004. *Insect of Stored Products*. CSIRO Publishing, Australia.
- Stoll, G. 2000. *Natural Crop Protection in the Tropics*. Margraf Verlag, Weikersheim.
- Suthisut, D., P.G. Fields, and A. Chandrapatya. 2010. Fumigation toxicity of essential oils from three Thai plants (Zingiberaceae) and their major compounds against *Sitophilus zeamais* and *Tribolium castaneum*. (in press)
- Tapondjou, A.L., C. Adler, D.A. Fontem, H. Bouda, and C. Reichmuth. 2005. Bioactivities of cymol and essential oils of *Cupressus sempervirens* and *Eucalyptus saligna* against *Sitophilus zeamais* Motschulsky and *Tribolium confusum* du Val. *J. Stored Prod. Res.* 41:91-102.
- TEAP. 2000. Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer: UNEP Technology and Economic Assessment Panel. April 2000, United Nations.
- Tripathi, A.K., V. Prajapati, N. Verma, J.R. Bahl, R.P. Bansal, S.P.S. Khanuja, and S. Kumar. 2002. Bioactivities of the leaf essential oil of *Curcuma longa* (Var.Ch-66) on three species of storedproduct beetles (Coleoptera). *J. Econ. Entomol.* 95: 183-189.
- Ukeh, D.A., M.A. Birkett, J.A. Pickett, A.S. Bowman, and A.J. Mordue. 2009. Repellent activity of alligator pepper, *Aframomum melegueta*, and ginger, *Zingiber officinale*, against the maize weevil, *Sitophilus zeamais*. *Phytochem.* 70: 751-758.
- Wang, J., F. Zhua, X.M. Zhoua, C.Y. Niua, and C.L. Lei. 2006. Repellent and fumigant activity of essential oil from *Artemisia vulgaris* to *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae). *J. Stored Prod. Res.* 42: 339-347.
- Wattanasombat, T. 1995. Efficiency of *Galanga* (*Alpinia galangal* Stuntz.) extracts on the mortality rate and enzymes levels of diamondback moth (*Plutella xylostella* L.). M.S. Thesis, Kasetsart University, Bangkok.
- Zapata, N., and G. Smagghe. 2010. Repellency and toxicity of essential oils from the leaves and bark of *Laurelia sempervirens* and *Drimys winteri* against *Tribolium castaneum*. *Ind. Crop. Prod.* 32: 405-410.

Table 1 Percent of *Sitophilus zeamais* and *Tribolium castaneum* adults (n=10) on the untreated side of petri dish. The treated side was dropped by *Alphinia conchigera* oils at different concentration and duration times.

insect	Oil (µg/ cm ²)	PR (Mean% ± SE) Time after insect release (h)										PR (Mean %)
		1	2	3	4	5	6	12	24	48		
<i>S. zeamais</i>	0.003	42 ± 16 b	50 ± 15 b	52 ± 20 b	52 ± 20 b	44 ± 20 b	44 ± 19 b	50 ± 16 b	42 ± 15 b	46 ± 11 b	46.9	
	0.03	78 ± 14 a	72 ± 18 ab	74 ± 17 ab	78 ± 16 ab	74 ± 24 ab	78 ± 17 a	68 ± 15 ab	60 ± 11 ab	52 ± 12 ab	70.4	
	0.15	70 ± 11 ab	90 ± 6 a	80 ± 7 ab	82 ± 7 ab	88 ± 6 a	82 ± 6 a	78 ± 13 ab	62 ± 10 ab	66 ± 7 ab	77.6	
	0.31	98 ± 2 a	94 ± 4 a	96 ± 2 a	98 ± 2 a	96 ± 2 a	98 ± 2 a	88 ± 8 a	64 ± 8 ab	58 ± 7 ab	87.8	
	0.63	96 ± 4 a	98 ± 2 a	96 ± 2 a	98 ± 2 a	96 ± 2 a	100 ± 0 a	98 ± 2 a	86 ± 4 a	76 ± 4 a	93.8	
	1.27	96 ± 4 a	100 ± 0 a	100 ± 0 a	100 ± 0 a	98 ± 2 a	100 ± 0 a	100 ± 0 a	88 ± 3 a	50 ± 8 ab	92.4	
											78.1	
<i>T. castaneum</i>	0.003	96 ± 2 a	100 ± 0 a	96 ± 4 a	98 ± 2 a	96 ± 4 a	96 ± 4 a	100 ± 0 a	100 ± 0 a	98 ± 2 a	97.8	
	0.03	98 ± 2 a	100 ± 0 a	98 ± 2 a	98 ± 2 a	100 ± 0 a	98 ± 2 a	100 ± 0 a	96 ± 2 a	96 ± 4 a	98.2	
	0.15	100 ± 0 a	100 ± 0 a	98 ± 2 a	96 ± 4 a	94 ± 4 a	96 ± 4 a	96 ± 4 a	100 ± 0 a	100 ± 0 a	97.8	
	0.31	100 ± 0 a	98 ± 2 a	98 ± 2 a	98 ± 2 a	94 ± 4 a	96 ± 4 a	88 ± 12 a	88 ± 7 a	90 ± 10 a	94.4	
	0.63	98 ± 2 a	96 ± 4 a	100 ± 0 a	100 ± 0 a	96 ± 2 a	100 ± 0 a	98 ± 0 a	98 ± 0 a	96 ± 4 a	98.0	
	1.27	100 ± 0 a	98 ± 2 a	100 ± 0 a	96 ± 4 a	98 ± 2 a	100 ± 0 a	98 ± 2 a	98 ± 2 a	96 ± 2 a	98.2	
											97.4	

*Five replicates of 10 insects in each replication, for each insect, means in same column followed by the different letters are significantly (P>0.05) Duncan's multiple range test (DMRT).

Table 2 Percent of *Sitophilus zeamais* and *Tribolium castaneum* adults (n=10) on the untreated side of petri dish. The treated side was dropped by *Zingiber zerumbet* oils at different concentration and duration times.

insect	Oil (µg/ cm ³)	PR (Mean% ± SE) Time after insect release (h)										PR (Mean %)
		1	2	3	4	5	6	12	24	48		
<i>S. zeamais</i>	0.003	54 ± 15 b	76 ± 17 b	78 ± 17 a	60 ± 19 b	66 ± 21 b	66 ± 19 b	66 ± 13 b	90 ± 8 a	68 ± 9 a	69.3	
	0.03	94 ± 6 a	100 ± 0 a	98 ± 2 a	98 ± 2 a	98 ± 2 a	100 ± 0 a	96 ± 2 a	90 ± 5 a	62 ± 9 a	92.9	
	0.15	96 ± 4 a	100 ± 0 a	98 ± 2 a	92 ± 5 a	96 ± 2 a	100 ± 0 a	96 ± 2 a	98 ± 2 a	76 ± 9 a	94.7	
	0.31	96 ± 4 a	100 ± 0 a	98 ± 0 a	92 ± 0 a	96 ± 0 a	100 ± 0 a	94 ± 2 a	90 ± 3 a	76 ± 10 a	93.6	
	0.63	86 ± 8 a	96 ± 2 ab	96 ± 2 a	100 ± 0 a	100 ± 0 a	100 ± 0 a	94 ± 4 a	100 ± 0 a	66 ± 10 a	93.1	
	1.27	86 ± 9 a	96 ± 4 ab	100 ± 0 a	100 ± 0 a	100 ± 0 a	100 ± 0 a	100 ± 0 a	94 ± 2 a	62 ± 4 a	93.1	
											89.4	
<i>T. castaneum</i>	0.003	60 ± 8 b	64 ± 12 b	64 ± 9 b	64 ± 9 b	64 ± 9 b	64 ± 12 b	60 ± 7 b	58 ± 13 b	38 ± 16 b	59.6	
	0.03	100 ± 0 a	100 ± 0 a	98 ± 2 a	100 ± 0 a	100 ± 0 a	100 ± 0 a	100 ± 0 a	100 ± 0 a	94 ± 6 a	99.1	
	0.15	100 ± 0 a	100 ± 0 a	100 ± 0 a	100 ± 0 a	100 ± 0 a	100 ± 0 a	100 ± 0 a	100 ± 0 a	94 ± 6 a	99.3	
	0.31	100 ± 0 a	100 ± 0 a	100 ± 0 a	100 ± 0 a	100 ± 0 a	100 ± 0 a	100 ± 0 a	98 ± 2 a	100 ± 0 a	99.8	
	0.63	100 ± 0 a	100 ± 0 a	100 ± 0 a	100 ± 0 a	100 ± 0 a	100 ± 0 a	100 ± 0 a	100 ± 0 a	100 ± 0 a	100.0	
	1.27	100 ± 0 a	100 ± 0 a	100 ± 0 a	100 ± 0 a	100 ± 0 a	100 ± 0 a	100 ± 0 a	100 ± 0 a	100 ± 0 a	100.0	
											93.0	

*Five replicates of 10 insects in each replication, for each insect, means in same column followed by the different letters are significantly (P>0.05) Duncan's multiple range test (DMRT).

Table 3 Percent of *Sitophilus zeamais* and *Tribolium castaneum* adults (n=10) on the untreated side of petri dish. The treated side was dropped by *Curcuma zedoaria* oils at different concentration and duration times.

insect	Oil (µg/ cm ²)	PR (Mean% ± SE) Time after insect release (h)										PR (Mean %)
		1	2	3	4	5	6	12	24	48		
<i>S. zeamais</i>	0.003	64 ± 11 b	74 ± 15 b	72 ± 14 b	86 ± 9 a	92 ± 5 a	80 ± 11 b	80 ± 10 b	72 ± 8 c	64 ± 7 c	76	
	0.03	86 ± 2 a	92 ± 13 ab	94 ± 6 a	92 ± 8 a	88 ± 8 a	88 ± 10 ab	92 ± 4 ab	82 ± 2 bc	70 ± 8 bc	87.1	
	0.15	90 ± 5 a	94 ± 6 ab	94 ± 2 a	98 ± 2 a	100 ± 0 a	100 ± 0 a	94 ± 4 a	92 ± 4 ab	78 ± 7 abc	93.3	
	0.31	100 ± 0 a	98 ± 5 a	100 ± 0 a	100 ± 0 a	100 ± 0 a	100 ± 0 a	94 ± 3 a	96 ± 2 a	92 ± 4 a	97.8	
	0.63	96 ± 3 a	98 ± 5 a	100 ± 0 a	98 ± 2 a	100 ± 0 a	100 ± 0 a	100 ± 0 a	96 ± 2 a	88 ± 6 ab	97.3	
	1.27	98 ± 2 a	100 ± 0 a	100 ± 0 a	100 ± 0 a	100 ± 0 a	100 ± 0 a	100 ± 0 a	98 ± 2 a	79 ± 4 abc	97.2	
											91.5	
<i>T. castaneum</i>	0.003	88 ± 7 a	92 ± 8 a	86 ± 12 a	80 ± 13 b	78 ± 16 b	78 ± 16 a	82 ± 18 a	82 ± 16 a	72 ± 17 b	82.0	
	0.03	96 ± 2 a	100 ± 0 a	98 ± 2 a	98 ± 2 a	96 ± 2 ab	96 ± 2 a	100 ± 2 a	98 ± 0 a	100 ± 0 a	98.0	
	0.15	92 ± 6 a	100 ± 0 a	100 ± 0 a	100 ± 0 a	96 ± 4 ab	94 ± 4 a	100 ± 4 a	100 ± 0 a	98 ± 2 a	97.8	
	0.31	96 ± 2 a	98 ± 2 a	98 ± 2 a	100 ± 0 a	100 ± 0 a	98 ± 2 a	100 ± 4 a	98 ± 0 a	96 ± 2 a	98.2	
	0.63	94 ± 4 a	98 ± 2 a	98 ± 2 a	94 ± 2 ab	98 ± 2 ab	92 ± 4 a	100 ± 2 a	100 ± 0 a	98 ± 2 a	96.9	
	1.27	94 ± 4 a	100 ± 0 a	98 ± 2 a	98 ± 2 a	100 ± 0 a	100 ± 0 a	100 ± 0 a	100 ± 0 a	100 ± 0 a	98.9	
											95.3	

*Five replicates of 10 insects in each replication, for each insect, means in same column followed by the different letters are significantly (P>0.05) Duncan's multiple range test (DMRT).

Table 4 Percent of *Sitophilus zeamais* and *Tribolium castaneum* adults (n=10) on the untreated side of petri dish. The treated side was dropped by *Alpinia conchigera* oils at 1.27 µg/cm² after difference duration times.

insect	Duration after oils dropped	PR (Mean% ± SE) Time after insect release (h)						PR (Mean %)
		1	2	3	4	5	6	
<i>S. zeamais</i>	2 h	88 ± 10 a	98 ± 2 a	100 ± 0 a	100 ± 9 a	100 ± 0 a	98 ± 2 a	97.3
	1 d	88 ± 6 a	92 ± 4 a	96 ± 2 a	92 ± 5 a	88 ± 8 a	92 ± 5 a	91.3
	2 d	74 ± 9 a	78 ± 7 a	82 ± 10 a	88 ± 8 a	82 ± 11 a	92 ± 4 a	82.7
	4 d	66 ± 13 a	84 ± 10 a	80 ± 11 a	84 ± 7 a	84 ± 7 a	84 ± 7 a	80.3
	8 d	68 ± 12 a	90 ± 6 a	82 ± 8 a	84 ± 8 a	88 ± 6 a	84 ± 7 a	82.7
<i>T. castaneum</i>	2 h	92 ± 4 a	100 ± 0 a	100 ± 0 a	94 ± 4 a	100 ± 0 a	100 ± 0 a	97.7
	1 d	94 ± 6 a	100 ± 0 a	100 ± 0 a	100 ± 0 a	96 ± 4 a	98 ± 2 a	98.0
	2 d	96 ± 4 a	96 ± 3 a	98 ± 2 a	100 ± 0 a	92 ± 8 a	92 ± 6 a	95.7
	4 d	86 ± 9 a	90 ± 6 a	96 ± 4 a	90 ± 6 a	86 ± 8 a	100 ± 0 a	91.3
	8 d	82 ± 14 a	96 ± 2 a	98 ± 2 a	98 ± 2 a	94 ± 4 a	94 ± 4 a	93.7

*Five replicates of 10 insects in each replication, for each insect, means in same column followed by the different letters are significantly (P>0.05) Duncan's multiple range test (DMRT).

Table 5 Percent of *Sitophilus zeamais* and *Tribolium castaneum* adults (n=10) on the untreated side of petri dish. The treated side was dropped by *Zingiber zerumbet* oils at 1.27 µg/cm² after difference duration times.

insect	Duration after oils dropped	PR (Mean% ± SE) Time after insect release (h)						PR (Mean %)
		1	2	3	4	5	6	
<i>S. zeamais</i>	2 h	94 ± 4 a	98 ± 2 a	98 ± 2 a	100 ± 0 a	98 ± 2 a	100 ± 0 a	98.0
	1 d	80 ± 8 a	100 ± 0 a	100 ± 0 a	100 ± 0 a	100 ± 0 a	100 ± 0 a	96.7
	2 d	86 ± 4 a	90 ± 6 a	88 ± 6 a	94 ± 6 a	92 ± 8 a	92 ± 8 a	90.3
	4 d	86 ± 8 a	88 ± 8 a	84 ± 12 a	88 ± 12 a	90 ± 10 a	90 ± 10 a	87.7
	8 d	86 ± 4 a	74 ± 12 a	72 ± 17 a	62 ± 19 a	68 ± 19 a	68 ± 19 a	75.3
<i>T. castaneum</i>	2 h	90 ± 3 a	100 ± 0 a	100 ± 0 a	96 ± 2 a	98 ± 2 a	100 ± 0 a	97.3
	1 d	92 ± 4 a	100 ± 0 a	100 ± 0 a	98 ± 2 a	98 ± 2 a	94 ± 4 a	97.0
	2 d	96 ± 2 a	98 ± 2 a	100 ± 0 a	98 ± 2 a	86 ± 6 a	94 ± 4 a	95.3
	4 d	96 ± 4 a	100 ± 0 a	100 ± 0 a	100 ± 0 a	96 ± 2 a	90 ± 6 a	97.0
	8 d	98 ± 2 a	100 ± 0 a	96 ± 4 a	100 ± 0 a	98 ± 2 a	98 ± 2 a	98.3

*Five replicates of 10 insects in each replication, for each insect, means in same column followed by the different letters are significantly (P>0.05) Duncan's multiple range test (DMRT).

358

Table 6 Percent of *Sitophilus zeamais* and *Tribolium castaneum* adults (n=10) on the untreated side of petri dish. The treated side was dropped by *Curcuma zedoaria* oils at 1.27 µg/cm² after difference duration times.

insect	Duration after oils dropped	PR (Mean% ± SE) Time after insect release (h)						PR (Mean %)
		1	2	3	4	5	6	
<i>S. zeamais</i>	2 h	94 ± 4 a	96 ± 2 a	98 ± 2 a	98 ± 2 a	100 ± 0 a	98 ± 2 a	97.3
	1 d	88 ± 4 a	94 ± 2 a	100 ± 0 a	100 ± 0 a	100 ± 0 a	100 ± 0 a	97.0
	2 d	94 ± 2 a	100 ± 0 a	96 ± 2 a	100 ± 0 a	98 ± 2 a	100 ± 0 a	98.0
	4 d	82 ± 13 a	98 ± 2 a	94 ± 6 a	94 ± 4 a	96 ± 4 a	96 ± 4 a	93.3
	8 d	42 ± 17 b	46 ± 15 b	44 ± 15 b	46 ± 12 b	36 ± 16 b	42 ± 17 b	42.7
<i>T. castaneum</i>	2 h	98 ± 2 a	100 ± 0 a	98 ± 2 a	94 ± 2 a	94 ± 2 a	100 ± 0 a	97.3
	1 d	98 ± 2 a	100 ± 0 a	100 ± 0 a	90 ± 6 ab	96 ± 0 a	98 ± 2 a	97.0
	2 d	100 ± 0 a	98 ± 2 a	98 ± 2 a	98 ± 2 a	94 ± 4 a	98 ± 2 a	97.7
	4 d	96 ± 2 a	100 ± 0 a	98 ± 2 a	100 ± 0 a	96 ± 0 a	100 ± 0 a	98.3
	8 d	64 ± 9 b	64 ± 19 b	66 ± 18 b	66 ± 19 b	62 ± 17 b	64 ± 18 b	64.3

*Five replicates of 10 insects in each replication, for each insect, means in same column followed by the different letters are significantly (P>0.05) Duncan's multiple range test (DMRT)