

ศักยภาพน้ำมันหอมระเหยยูคาลิปตัสในการไล่ด้วงงวงข้าวโพด
Sitophilus zeamais (Motschulsky)

Potential of Eucalyptus Essential Oil to Repel Maize Weevil
Sitophilus zeamais (Motschulsky)

จิรวัดน์ เอี่ยมใจดี¹ ปภพ สินชยกุล^{1*} และ วิชัย สรพงษ์ไพศาล²

Jirawat Iamjaidee¹, Pabhop Sinchayakul^{1*} and Wichai Sorapongpaisal²

¹ภาควิชากีฏวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ. นครปฐม 73140

¹Department of Entomology, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University,
Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom 73140, Thailand

²ศูนย์วิจัยและพัฒนากีฏวิทยาสิ่งแวดล้อม คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ. นครปฐม 73140

²Environmental Entomology Research and Development Center, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University,
Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom 73140, Thailand

*Corresponding author: Email: agrsci@ku.ac.th

(Received: 12 March 2018; Accepted: 31 May 2018)

Abstract: The objective of this study was to compare the efficiency of 10 percent eucalyptus oil (*Eucalyptus camaldulensis*) in 5 different solvents composed of hexane, xylene, acetone, propanol and methanol to repel maize weevil, *Sitophilus zeamais* using alternative test method on a Petri dish with a lid. The result found that the maize weevil was repelled by eucalyptus oil in all solvents ranged from 86.7 - 100.0 percent at 2 - 24 hours and not a significant difference. The repellent efficacy of eucalyptus oil dissolved in acetone at the concentration of 10 percent was ranged from 95.0 - 100.0 percent from 2 - 24 hours. The contact toxicity of eucalyptus oil dissolved in acetone determined by median lethal concentration (LC₅₀ and LC₉₉) at 6 hours was 26.08 and 36.74 percent (v/v).

Keywords: Repellent, eucalyptus essential oil, maize weevil

บทคัดย่อ: วัตถุประสงค์ของการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการไล่ด้วงวงข้าวโพด (*Sitophilus zeamais*) ของน้ำมันยูคาลิปตัส (*Eucalyptus camaldulensis*) ในตัวทำละลาย 5 ชนิด คือ เฮกเซน ไชลีน อะซิโตน โพรพานอล และเมทานอล โดยทดสอบแบบมีทางเลือกบนจานแก้วที่มีฝาปิด พบว่า น้ำมันยูคาลิปตัสความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ ในตัวทำละลายทุกชนิด มีอัตราการไล่แมลงได้ดีในช่วง 86.7 - 100.0 เปอร์เซ็นต์ ที่เวลา 2 - 24 ชั่วโมง ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติ ประสิทธิภาพของน้ำมันยูคาลิปตัสต่อการไล่ด้วงวงข้าวโพด โดยมีอะซิโตนเป็นตัวทำละลาย ที่ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการไล่ได้ดีต่อเนื่องตั้งแต่ 2 - 24 ชั่วโมง อยู่ในช่วง 95.0 - 100.0 เปอร์เซ็นต์ ความเป็นพิษทางการสัมผัสของน้ำมันยูคาลิปตัสที่ละลายในอะซิโตน มีค่า LC_{50} และ LC_{99} เท่ากับ 26.08 และ 36.74 เปอร์เซ็นต์ (v/v)

คำสำคัญ: การไล่ น้ำมันหอมระเหยยูคาลิปตัส ด้วงวงข้าวโพด

คำนำ

ด้วงวงข้าวโพด *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera: Curculionidae) เป็นหนึ่งในศัตรูที่สำคัญต่อผลิตผลเกษตรในโรงเก็บ พบการระบาดในเขตร้อน และเขตกึ่งร้อน (Throne, 1994) ลงทำลายกัดเจาะเมล็ดธัญพืช และวางไข่ในโพรงที่เจาะ จากนั้นขับสารมีลักษณะเป็นเมือกปิดโพรงไว้ ตัวอ่อนอาศัยและกัดกินภายในเมล็ดจนถึงระยะตัวเต็มวัย ทำให้เมล็ดเหลือแต่เปลือกบางพูน สูญเสียคุณค่าทางอาหาร (เสาวลักษณ์, 2547) การเก็บผลิตผลให้คงคุณภาพอยู่ได้นาน ปราศจากแมลงลงทำลาย จำเป็นต้องทำการป้องกันกำจัด ซึ่งมีหลายวิธี เช่น การปรับสภาพแวดล้อม การควบคุมอุณหภูมิ การฉายรังสี กับดักฟีโรโมน ศัตรูธรรมชาติ สารยับยั้งการเจริญเติบโต (Philips and Throne, 2010) พันธุ์ต้านทาน (Nhamucho *et al.*, 2017) แต่วิธีที่นิยมใช้ คือ สารเคมี เช่น สารมาลาไทออน (เนตรนภา และคณะ, 2554) ฟอสเฟน (Athanassiou *et al.*, 2016) เดลต้า เมทริน (Vélez *et al.*, 2017) และใช้เทคนิคกรรมเป็นหลัก เนื่องจากสามารถทำลายแมลงศัตรูได้ทุกชนิด มีความคงทนสูง (เพ็ญภา, 2556) แต่ทว่าสารเคมีที่ใช้มีความเป็นพิษสูงต่อมนุษย์ ตกค้างในสภาพแวดล้อม และแมลงสามารถสร้าง ความต้านทานต่อสารได้ (ชวลิต, 2556; Daglish *et al.*, 2014) เพื่อเป็นการลดความกังวลด้านสุขภาพ และสิ่งแวดล้อม รวมทั้งรองรับความต้องการอาหารปลอดภัย วิธีการป้องกันกำจัดโดยใช้สารสกัด หรือน้ำมันหอมระเหยจากพืช จึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่สำคัญพืชหลายชนิดมีองค์ประกอบสารสำคัญที่มีศักยภาพต่อ

การควบคุมแมลง เช่น จันทร์แปดกลีบ เทียนข้าวเปลือก (กวีวัฒน์ และคณะ, 2557) ว่านหางจระเข้ (ปิ่นวลี, 2559) ยาสูบ (ศุภกร และคณะ, 2560) และ ชิง (Ukeh *et al.*, 2009) เป็นต้น และมีความเป็นพิษน้อยมากต่อสัตว์เลือดอุ่น โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ยูคาลิปตัส น้ำมันยูคาลิปตัสมีฤทธิ์เป็นสารป้องกันกำจัดแมลงหลายรูปแบบ คือ เป็นพิษแบบสัมผัส (Tapondjou *et al.*, 2005) รมควัน (Yi *et al.*, 2007) ยับยั้งการวางไข่ สารไล่ และยับยั้งการกินอาหาร (Batish *et al.*, 2008) สามารถพบได้ทั่วไปในทุกท้องถิ่น และมีศักยภาพในการป้องกันกำจัดแมลงที่เข้าทำลายเมล็ดธัญพืชได้ดี (Jesser *et al.*, 2017) เช่นเดียวกับสารสกัดจาก สะเดา (Tofel *et al.*, 2017) ละหุ่ง (Wale and Assegie, 2015) ส้ม และ มะนาว (Fouad and da Camara, 2017) เป็นต้น อย่างไรก็ตาม การศึกษาประสิทธิภาพน้ำมันหอมระเหยยูคาลิปตัส (*Eucalyptus camaldulensis*) ในสารตัวทำละลายชนิดต่าง ๆ ในลักษณะของการเป็นสารไล่แมลงในด้วงวงข้าวโพดมีรายงานน้อยมาก จึงทำการศึกษาศักยภาพน้ำมันหอมระเหยยูคาลิปตัสในสารตัวทำละลาย 5 ชนิดต่อการไล่ด้วงวงข้าวโพด ขึ้นเพื่อเป็นแนวทางในการใช้น้ำมันยูคาลิปตัสในแมลงศัตรูโรงเก็บต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

การเตรียมน้ำมันยูคาลิปตัส

สกัดน้ำมันหอมระเหยจากใบยูคาลิปตัส ที่ปลูกบริเวณภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม ในเดือนเมษายน 2559

จำนวน 20 กิโลกรัม ด้วยวิธีการต้มน้ำ (steam distillation) บรรจุในขวดแก้วสีชา เก็บไว้ที่อุณหภูมิ -18 ± 3 องศาเซลเซียส คำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ผลผลิตของน้ำมันหอมระเหยโดยใช้สูตร % (volume of essential oils (ml) / dried weight of eucalyptus leaves) x 100 (ศศธร, 2550)

การเตรียมแมลงเพื่อใช้ในการทดลอง

ตัวเต็มวัยด้วงวงข้าวโพด ซึ่งได้รับจากห้องปฏิบัติการของกลุ่มงานวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร กรมวิชาการเกษตร นำมาเลี้ยงเพิ่มปริมาณด้วยข้าวกล้อง ในห้องปฏิบัติการที่อุณหภูมิ 28 ± 3 องศาเซลเซียส (ภาวิณี, 2548) จนเป็นตัวเต็มวัย (อายุ 7 - 14 วัน) ในขวดแก้วกว้าง 8.5 สูง 16 เซนติเมตร เพื่อใช้ในการทดสอบต่อไป

การศึกษาศักยภาพตัวทำลายน้ำมันหอมระเหยยูคาลิปตัสต่อการไล่ด้วงวงข้าวโพด

ตัดกระดาษกรอง (Whatman No.1) เส้นผ่านศูนย์กลาง 90 มิลลิเมตร พื้นที่ 63.64 ตารางเซนติเมตร ออกเป็น 2 ส่วนเท่ากัน หยดนํ้ามันยูคาลิปตัสความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ ในตัวทำลาย เฮกเซน ไชลีน อะซิโตน โพรพานอล และ เมทานอล ปริมาณ 1 มิลลิลิตร ส่วนกระดาษอีกครึ่งหนึ่งหยดตัวทำลายแต่ละชนิดเป็นชุดควบคุม ผึ่งไว้ให้แห้ง 10 นาที ต่อกกระดาษกรองทั้งสองด้วยเทปกาวใส วางในงานเพาะเชื้อที่มีฝาปิด ปล่อยตัวเต็มวัยด้วงวงข้าวโพด 20 ตัว (อายุ 7 - 14 วัน) ตรงกลางทดลองในห้องปฏิบัติการที่ควบคุมอุณหภูมิ 25 ± 3 องศาเซลเซียส ตามกรรมวิธีที่พัฒนาจากวิธีการของ ศศธร (2550) และ ชัยรัตน์ (2544) วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design) ทดลอง 4 ซ้ำ บันทึกผลที่เวลา 2, 4, 6, 8, 10, 12 และ 24 ชั่วโมง คำนวณเปอร์เซ็นต์การไล่แมลง (%PR) โดยใช้สูตร ดังนี้

$$\%PR = [(Nc - Nt) / (Nc + Nt)] \times 100$$

Nt = จำนวนแมลงในบริเวณที่ใส่สาร

Nc = จำนวนแมลงในบริเวณชุดควบคุม

และทำการจัดระดับการไล่ด้วงวงข้าวโพด เป็น 0-5 ระดับ ดังนี้

Level	0	PR < 0.1%	III	40.1 - 60%
	I	0.1 - 20 %	IV	60.1 - 80%
	II	20.1 - 40%	V	80.1 - 100%

การศึกษาประสิทธิภาพน้ำมันหอมระเหยยูคาลิปตัสต่อการไล่ด้วงวงข้าวโพด

ตัดกระดาษกรอง (Whatman No.1) เส้นผ่านศูนย์กลาง 90 มิลลิเมตร พื้นที่ 63.64 ตารางเซนติเมตร ออกเป็น 2 ส่วนเท่ากัน หยดนํ้ามันยูคาลิปตัสในตัวทำลายที่ผ่านการคัดเลือกจากข้างต้น ปริมาณ 1 มิลลิลิตร ความเข้มข้น 7 เปอร์เซ็นต์ ส่วนกระดาษอีกครึ่งหนึ่งเป็นชุดควบคุม คือสารตัวทำลาย ผึ่งไว้ 10 นาทีเพื่อให้แห้ง ต่อกันด้วยเทปกาวใส วางในงานเพาะเชื้อที่มีฝาปิด ปล่อยตัวเต็มวัยด้วงวงข้าวโพด 20 ตัว (อายุ 7 - 14 วัน) ตรงกลาง ทำเช่นเดียวกันในการทดสอบกับความเข้มข้น 8, 9, 10, 11, 12 และ 13 เปอร์เซ็นต์ ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการที่อุณหภูมิ 25 ± 3 องศาเซลเซียส ตามวิธีการที่พัฒนาจากวิธีการของชัยรัตน์ (2544) และ Yang *et al.* (2014) วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ ทดลอง 4 ซ้ำ บันทึกผลที่เวลา 2, 4, 6, 8, 10, 12 และ 24 ชั่วโมง คำนวณเปอร์เซ็นต์การไล่แมลง (%PR)

การทดสอบความเป็นพิษ (toxicity) ของน้ำมันหอมระเหยยูคาลิปตัสต่อด้วงวงข้าวโพด

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์ในการทดสอบพิษทางสัมผัส โดยเตรียมนํ้ามันยูคาลิปตัส ความเข้มข้น 10, 20, 30, 40 และ 50 เปอร์เซ็นต์ ในอะซิโตนปริมาณ 1 มิลลิลิตร หยดลงบนกระดาษกรอง (Whatman No.1) เส้นผ่านศูนย์กลาง 90 มิลลิเมตร พื้นที่ 63.64 ตารางเซนติเมตร ปล่อยทิ้งไว้ 10 นาที ผึ่งให้แห้ง วางในงานเพาะเชื้อที่มีฝาปิด ปล่อยตัวเต็มวัยด้วงวงข้าวโพด 20 ตัว (อายุ 7 - 14 วัน) ลงตรงกลาง วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ ทดสอบ 4 ซ้ำ ในห้องปฏิบัติการที่ควบคุมอุณหภูมิ 25 ± 3 องศาเซลเซียส ตามวิธีการที่พัฒนาจากวิธีการของ Yang *et al.* (2014) และ Herrera *et al.*

(2015) บันทึกผลอัตราการตาย ที่เวลา 2, 4, 6, 8, 10, 12 และ 24 ชั่วโมง วิเคราะห์ค่า LC_{50} และ LC_{99}

วิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P < 0.05$)

ผลการทดลอง

การศึกษาศักยภาพของตัวทำละลายน้ำมันหอมระเหยยูคาลิปตัสต่อการไล่ด้วงวงข้าวโพด

ผลการสกัดน้ำมันหอมระเหยยูคาลิปตัสเป็นเวลา 5 ชั่วโมง ได้ปริมาณน้ำมันยูคาลิปตัส 0.325 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และเมื่อทดสอบศักยภาพของตัวทำละลายน้ำมันยูคาลิปตัสต่อการไล่ด้วงวงข้าวโพดพบว่าอัตราการขับไล่ ด้วงวงข้าวโพดของน้ำมันยูคาลิปตัส 10 เปอร์เซ็นต์ ในตัวทำละลาย คือ เฮกเซน ไชลีน อะซิโตน โพรพานอล และ เมทานอล ตั้งแต่เวลา 2 - 24 ชั่วโมง มีระดับการไล่ไม่แตกต่างกัน โดยมีค่ากระจายอยู่ในช่วง 86.7 - 100 เปอร์เซ็นต์ จัดอยู่ในระดับ 5 ของเปอร์เซ็นต์การไล่แมลง ทุกระยะเวลาการบันทึกผล (ตารางที่ 1) และได้เลือกอะซิโตนเป็นตัวทำละลายในการศึกษาประสิทธิภาพน้ำมันหอมระเหยยูคาลิปตัส

การศึกษาประสิทธิภาพน้ำมันหอมระเหยยูคาลิปตัสต่อการไล่ด้วงวงข้าวโพด

อัตราการขับไล่ด้วงวงข้าวโพดของน้ำมันยูคาลิปตัสในอะซิโตน โดยเฉลี่ยที่ 2 ชั่วโมงแรก ความเข้มข้น 8, 9, 10 และ 11 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการไล่สูงสุดในช่วง 97.5 - 100.0 เปอร์เซ็นต์ ช่วงเวลา 4 และ 6 ชั่วโมง ที่ความเข้มข้น 10 และ 11 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการไล่แมลง 97.5 - 100 เปอร์เซ็นต์ สำหรับเวลา 8 ชั่วโมงความเข้มข้น 8 - 11 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการไล่แมลงอยู่ในช่วง 90.0 - 100 เปอร์เซ็นต์ ที่เวลา 10 ชั่วโมง ความเข้มข้น 9, 10, 11, 12 และ 13 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการไล่แมลง 95.0 - 100 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเวลาผ่านไป 12 ชั่วโมง ทุกความเข้มข้นมีประสิทธิภาพการไล่ได้ไม่แตกต่างกันทางสถิติ อยู่ในช่วง 92.5 - 100 เปอร์เซ็นต์ และเวลา 24 ชั่วโมง ความเข้มข้น 8 - 13 เปอร์เซ็นต์ มีประสิทธิภาพการไล่อยู่ในช่วง 87.5 - 97.5 เปอร์เซ็นต์ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 2) อัตราการขับไล่ด้วงวงข้าวโพด ตั้งแต่ 2 - 24 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพการไล่อยู่ในช่วง 75.0 - 100 เปอร์เซ็นต์ โดยความเข้มข้นที่ 10 เปอร์เซ็นต์ มีประสิทธิภาพในการไล่ได้ดีตลอดระยะเวลา 2 - 24 ชั่วโมง

การทดสอบความเป็นพิษ (toxicity) ของน้ำมันหอมระเหยยูคาลิปตัสต่อด้วงวงข้าวโพด

ผลการศึกษาพิษทางสัมผัสของน้ำมันยูคาลิปตัส ต่อการตายของด้วงวงข้าวโพด ซึ่งมีอะซิโตนเป็น

Table 1. Percentage of repellency rate of eucalyptus oil on *Sitophilus zeamais* (Motschulsky) dissolved in different solvents at 2-24 hours

Solvents	Percentage of repellency rate (%) Mean \pm SD at 2 - 24 hours ¹						
	2	4	6	8	10	12	24
Hexane	97.5 \pm 5.0 ^a	97.5 \pm 5.0 ^a	87.5 \pm 9.6 ^{ab}	97.5 \pm 5.0 ^a	97.5 \pm 5.0 ^a	87.5 \pm 5.0 ^a	95.0 \pm 10.0 ^a
Xylene	100.0 \pm 0.0 ^a	100.0 \pm 0.0 ^a	90.0 \pm 0.0 ^{ab}	92.5 \pm 5.0 ^a	92.5 \pm 9.6 ^a	87.5 \pm 9.6 ^a	95.0 \pm 5.8 ^a
Acetone	92.5 \pm 5.0 ^a	92.5 \pm 5.0 ^a	86.7 \pm 9.4 ^b	87.5 \pm 12.6 ^a	90.0 \pm 0.0 ^a	93.3 \pm 9.4 ^a	95.0 \pm 5.8 ^a
Propanol	90.0 \pm 8.2 ^a	97.5 \pm 5.0 ^a	92.5 \pm 5.0 ^{ab}	90.0 \pm 8.2 ^a	97.5 \pm 5.0 ^a	100.0 \pm 0.0 ^a	95.0 \pm 10.0 ^a
Methanol	100.0 \pm 0.0 ^a	100.0 \pm 0.0 ^a	100.0 \pm 0.0 ^a	92.5 \pm 5.0 ^a	97.5 \pm 5.0 ^a	97.5 \pm 5.0 ^a	95.0 \pm 5.8 ^a

¹ Means within column followed by the same letters are not significantly different according to DMRT test ($P < 0.05$)

Table 2. Percentage of repellency rate of eucalyptus oil dissolved in acetone on *Sitophilus zeamais* (Motschulsky) at different concentrations at 2 - 24 hours

Concentration (% v/v)	Percentage of repellency rate (%) Mean ± SD at 2 - 24 hours ¹						
	2	4	6	8	10	12	24
7	77.5 ± 5.0 ^c	77.5 ± 5.0 ^c	80.0 ± 0.0 ^b	75.0 ± 10.0 ^c	87.5 ± 5.0 ^c	92.5 ± 5.0 ^a	82.5 ± 5.0 ^b
8	97.5 ± 5.0 ^a	82.5 ± 5.0 ^{bc}	90.0 ± 8.2 ^{ab}	90.0 ± 8.2 ^{ab}	90.0 ± 0.0 ^{bc}	92.5 ± 5.0 ^a	87.5 ± 12.6 ^{ab}
9	100.0 ± 0.0 ^a	90.0 ± 10.0 ^{abc}	92.5 ± 7.6 ^{ab}	97.5 ± 3.8 ^{ab}	97.5 ± 3.8 ^a	100.0 ± 0.0 ^a	90.0 ± 5.0 ^{ab}
10	97.5 ± 5.0 ^a	97.5 ± 5.0 ^{ab}	97.5 ± 5.0 ^a	100.0 ± 0.0 ^a	97.5 ± 5.0 ^a	100.0 ± 0.0 ^a	95.0 ± 5.8 ^a
11	92.5 ± 5.0 ^{ab}	100.0 ± 0.0 ^a	100.0 ± 0.0 ^a	92.5 ± 9.6 ^{ab}	95.0 ± 5.8 ^{ab}	95.0 ± 5.8 ^a	95.0 ± 5.8 ^a
12	85.0 ± 12.9 ^{bc}	82.5 ± 20.6 ^{bc}	82.5 ± 9.6 ^b	85.0 ± 17.3 ^{abc}	95.0 ± 5.8 ^{ab}	92.5 ± 5.0 ^a	95.0 ± 5.8 ^a
13	82.5 ± 5.0 ^c	87.5 ± 12.6 ^{abc}	82.5 ± 17.1 ^b	82.5 ± 17.1 ^{bc}	100.0 ± 0.0 ^a	97.5 ± 5.0 ^a	97.5 ± 5.0 ^a

¹ Means within column followed by the same letters are not significantly different according to DMRT test ($P < 0.05$)

ตัวทำลาย ความเข้มข้น 10, 20, 30, 40, 50 เปอร์เซ็นต์ และชุดควบคุม คือ อะซิโตน พบว่า ที่เวลา 2 และ 4 ชั่วโมง หลังได้รับสาร ความเข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการตายสูงสุด 87.5 และ 96.3 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับความเข้มข้น 40 เปอร์เซ็นต์ ที่มีอัตราการตาย 78.8 และ 91.3 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเวลาผ่านไป 6 ชั่วโมง ความเข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์ พบอัตราการตายสะสมสูงสุด 100.0 เปอร์เซ็นต์ ชั่วโมงที่ 8 ความเข้มข้น 40 และ 50 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการตายสะสมสูงสุด 100.0 เปอร์เซ็นต์ ไม่แตกต่างทางสถิติกับความเข้มข้น 30 เปอร์เซ็นต์ ที่มีอัตราการตายสะสม 98.8 เปอร์เซ็นต์ ชั่วโมงที่ 12 และ 24 ความเข้มข้น 30, 40 และ 50 เปอร์เซ็นต์ อัตราการตายสะสมของด้วงวงข้าวโพด 100.0 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 3) และประสิทธิภาพของน้ำมันยูคาลิปตัสในช่วงเวลา 6 ชั่วโมง มีค่า LC₅₀ และ LC₉₉ เท่ากับ 26.08 และ 36.74 เปอร์เซ็นต์ (v/v) (ภาพที่ 1)

วิจารณ์

ผลการสกัดน้ำมันยูคาลิปตัสด้วยวิธีการกลั่นด้วยไอน้ำเป็นเวลา 5 ชั่วโมง ปริมาณน้ำมันยูคาลิปตัส 0.325 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ซึ่งเป็นระดับบริเวณปกติทั่วไป สอดคล้องกับรายงานของ ซัยรต์นีย์ (2544) ที่พบปริมาณน้ำมันยูคาลิปตัส 0.37 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

จากการสกัดใบยูคาลิปตัสในเดือนสิงหาคม กันยายน พฤศจิกายน และธันวาคม 2542 แต่มีปริมาณน้ำมันน้อยกว่าการสกัดใบยูคาลิปตัสในประเทศตุนิเซีย ช่วงเดือนพฤษภาคม สิงหาคม พฤศจิกายน 2552 และ กุมภาพันธ์ 2553 ปริมาณน้ำมันยูคาลิปตัส เท่ากับ 0.85, 1.32, 1.42 และ 0.76 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ (Jemâa *et al.*, 2012)

น้ำมันยูคาลิปตัสความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ในตัวทำลายทั้ง 5 ชนิดคือ เฮกเซน ไชลีน อะซิโตน โพรพานอล และ เมทานอล มีระดับการไล่ด้วงวงข้าวโพดได้ดีไม่แตกต่างกัน อยู่ในระดับ 5 ของเปอร์เซ็นต์การไล่แมลงตั้งแต่วเวลา 2 - 24 ชั่วโมงหลังได้รับสาร ซึ่งสารตัวทำลายที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ มีระดับความเป็นพิษต่างกัน จากรายงานของ Public Health Service (1999) พบว่า การสัมผัสเฮกเซนเป็นเวลานาน ส่งผลกระทบต่อเส้นประสาทควบคุมกล้ามเนื้อแขน และขา ทำให้กล้ามเนื้ออ่อนแรง และเป็นอัมพาต Saillenfait *et al.* (2003) ศึกษาความเป็นพิษของไชลีน พบว่ามีผลกระทบต่อพัฒนาการของเด็กในครรภ์ ซึ่งผลดังกล่าวได้รับการยืนยันจาก Luttrell (2012) รายงานอาการหญิงสาวอายุ 25 ปีที่สัมผัสไชลีนในช่วงที่ 3-16 สัปดาห์ของการตั้งครรภ์ พบว่าทารกที่คลอดออกมามีความผิดปกติ โดย Public Health Service (1994) รายงานข้อมูลทางพิษวิทยาสำหรับอะซิโตน พบว่า เป็นสารเคมีที่พบใน

Table 3. Cumulative mortality (%) ± SD of *Sitophilus zeamais* (Motschulsky) on 2 - 24 hours after contacted to eucalyptus oil dissolved in acetone at the concentrations of 10, 20, 30, 40, 50 percent

Concentration n (% v/v)	%Cumulative mortality ± SD at 2 - 24 hours ¹						
	2	4	6	8	10	12	24
10	0.0 ± 0.0 ^c	0.0 ± 0.0 ^c	0.0 ± 0.0 ^c	0.0 ± 0.0 ^b			
20	1.3 ± 2.5 ^c	1.3 ± 2.5 ^c	1.3 ± 2.5 ^c	2.5 ± 5.0 ^b	2.5 ± 5.0 ^b	5.0 ± 10.0 ^b	10.0 ± 20.0 ^b
30	53.8 ± 13.1 ^b	62.5 ± 13.2 ^b	90.0 ± 13.5 ^b	98.8 ± 2.5 ^a	98.8 ± 2.5 ^a	100.0 ± 0.0 ^a	100.0 ± 0.0 ^a
40	78.8 ± 4.8 ^a	91.3 ± 4.8 ^a	97.5 ± 2.9 ^{ab}	100.0 ± 0.0 ^a			
50	87.5 ± 2.9 ^a	96.3 ± 2.5 ^a	100.0 ± 0.0 ^a	100.0 ± 0.0 ^a	100.0 ± 0.0 ^a	100.0 ± 0.0 ^a	100.0 ± 0.0 ^a

¹ Means within column followed by the same letters are not significantly different according to DMRT test ($P < 0.05$)

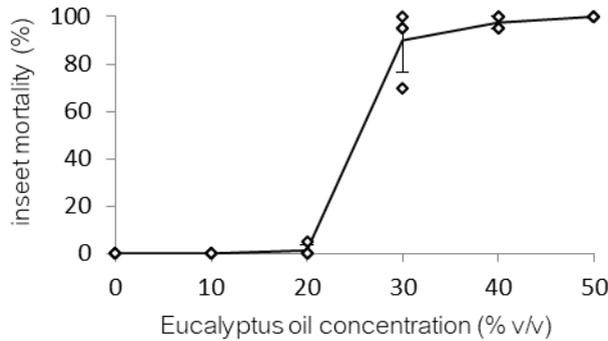


Figure 1. Percentage of maize weevil mortality at 6 hours on various concentrations of eucalyptus oil dissolved in acetone

สภาพแวดล้อมทั่วไป และในร่างกายมนุษย์จากกระบวนการสลายไขมัน ซึ่งอะซิโตนจากแหล่งภายนอกที่เข้าสู่ร่างกายมนุษย์ไม่สามารถย่อยสลายได้ แต่ถูกขับออกด้วยกระบวนการหายใจภายใน 3 วันหลังหยุดการสัมผัสสาร และไม่เป็นพิษต่อการทำงานของตับ และ Cosentino *et al.* (2016) รายงานว่าเมทานอลเป็นสารที่มีพิษสูง ผู้ที่สัมผัสสารอาจอยู่ในภาวะพาร์กินสันซิม (parkinsonism) และมีพิษต่อเซลล์ประสาทตา (retinal ganglion cell) (Amat *et al.*, 1978) ซึ่งผลดังกล่าวได้รับการยืนยันจาก Ghanbari *et al.* (2017) พบว่าความเป็นพิษที่เกิดจากเมทานอลเกี่ยวข้องกับภาวะบวมน้ำของเซลล์ประสาทตา (retinal ganglion cell) ส่งผลให้สูญเสียการมองเห็น และมีรายงานความเป็นพิษต่อเฮโมโกลบินในวัว (hemoglobin) เช่นเดียวกับสารโพรพานอล แต่มี

ความเป็นพิษต่ำกว่า (Jun *et al.*, 2011) นอกจากนี้สารตัวทำละลายเมทานอลมีส่วนเกี่ยวข้องเป็นสารก่อมะเร็งในการทดสอบกับหนู (Parthasarathy *et al.*, 2006; Siu *et al.*, 2013) จากข้อมูลการศึกษา จึงเลือกอะซิโตนเป็นตัวทำละลายในการศึกษาประสิทธิภาพน้ำมันยูคาลิปตัสต่อการไล่ด้วงงวงข้าวโพด เนื่องจากเป็นสารตัวทำละลายที่มีพิษน้อย เมื่อเทียบกับสารตัวทำละลายชนิดอื่นข้างต้น และนิยมใช้เป็นสารตัวทำละลายในการทดสอบประสิทธิภาพสารสกัด และน้ำมันหอมระเหยจากพืชต่อแมลงศัตรูในโรงเก็บ ตัวอย่างเช่น การศึกษาศักยภาพน้ำมันหอมระเหยขมิ้นชัน ข่า ขิง กะเพรา แมงลัก โหระพา มะกรูด มะนาว กานพลู พริกไทยดำ และดีปลี ในการควบคุมด้วงงวงข้าวโพด และมอดแป้ง (ศศธร, 2550) การศึกษาการออกฤทธิ์ไล่ด้วงงวงข้าวโพดของน้ำมัน

ตะไคร้หอม และ น้ำมันสะเดาข้าง (กนกอร และคณะ, 2558) การศึกษาประสิทธิภาพน้ำมันยูคาลิปตัส (*Eucalyptus saligna*) ต่อความเป็นพิษในด้วงงวงข้าวโพด และมอดแป้ง (Tapondjou *et al.*, 2005) การทดสอบการออกฤทธิ์ไล่มอดแป้งของ *Nigella sativa* และ *Trachyspermum ammi* (Sagheer *et al.*, 2014) การทดสอบความเป็นพิษของ *Nerium oleander* ใน khapra beetle และ lesser grain borer (Khaliq *et al.*, 2014) และการทดสอบประสิทธิภาพ *Toddalia asiatica* ต่อความเป็นพิษในด้วงถั่วเขียว ด้วงงวงข้าว และมอดแป้ง (Nattudurai *et al.*, 2015)

จากการศึกษาประสิทธิภาพต่อการไล่ พบว่า น้ำมันยูคาลิปตัสในสารตัวทำละลายอะซิโตน ที่ความเข้มข้น 9, 10 และ 11 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการไล่ด้วงงวงข้าวโพดสูงสุด ที่เวลา 2-12 ชั่วโมงหลังได้รับสาร และที่เวลา 24 ชั่วโมง น้ำมันยูคาลิปตัสความเข้มข้น 7, 8, 9, 10, 11, 12 และ 13 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการไล่เพิ่มขึ้น เท่ากับ 82.5, 87.5, 90.0, 95.0, 95.0, 95.0 และ 97.5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เช่นเดียวกับการทดสอบประสิทธิภาพน้ำมันยูคาลิปตัส *Eucalyptus globules* ที่ความเข้มข้น 0.01, 0.1 และ 1 เปอร์เซ็นต์ พบอัตราการไล่ด้วงถั่วเขียว 5.0, 13.0, และ 27 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Fouad, 2013) และ การศึกษาประสิทธิภาพ น้ำมันยูคาลิปตัส (*E. camaldulensis*) ในการไล่ด้วงงวงข้าวโพด ที่ความเข้มข้น 0.002, 0.02, 0.2 และ 2 ไมโครลิตร บนกระดาษกรองเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.8 เซนติเมตร พบอัตราการไล่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เท่ากับ 10.51, 12.12, 41.97 และ 74.35 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Karemu *et al.*, 2012)

ผลการศึกษาระดับความเป็นพิษต่อด้วงงวงข้าวโพดของน้ำมันยูคาลิปตัสในตัวทำละลายอะซิโตน ที่ 6 ชั่วโมง พบอัตราการตายสูงถึงระดับ 100 เปอร์เซ็นต์ และมีค่า LC₅₀ และ LC₉₉ เท่ากับ 26.08 และ 36.74 เปอร์เซ็นต์ (v/v) มีความเป็นพิษน้อยกว่า Bett *et al.* (2017) ที่ศึกษาความเป็นพิษของน้ำมันยูคาลิปตัส (*E. saligna*) ทางสัมผัสต่อด้วงงวงข้าวโพด มีค่าความเป็นพิษ LC₅₀ เท่ากับ 0.21 เปอร์เซ็นต์ (v/w) และผลการศึกษาความเป็นพิษของน้ำมันยูคาลิปตัส (*E. saligna*) ต่อด้วงงวงข้าวโพด ทางสัมผัสบนกระดาษกรองพื้นที่ 38.5 ตารางเซนติเมตร ที่มี

ค่าความเป็นพิษ LC₅₀ และ LC₉₉ เท่ากับ 0.36 และ 1.33 ไมโครลิตรต่อตารางเซนติเมตร (Tapondjou *et al.*, 2005)

สรุป

น้ำมันยูคาลิปตัสในตัวทำละลายเฮกเซน ไชลีน อะซิโตน โพรพานอล และเมทานอลที่ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ มีศักยภาพในการไล่ด้วงงวงข้าวโพดได้ดี ในช่วง 86.7 - 100 เปอร์เซ็นต์ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ และเมื่อละลายในอะซิโตน ระดับความเข้มข้น 7, 8, 9, 10, 11, 12 และ 13 เปอร์เซ็นต์ พบว่าที่ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการไล่ด้วงงวงข้าวโพดสูงสุดอยู่ในช่วง 95.0 - 100.0 เปอร์เซ็นต์ ตลอดระยะเวลาทดสอบ และมีค่าความเป็นพิษ LC₅₀ และ LC₉₉ เท่ากับ 26.08 และ 36.74 เปอร์เซ็นต์ (v/v) ที่เวลา 6 ชั่วโมง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ กลุ่มงานวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตภัณฑ์เกษตร กรมวิชาการเกษตร ที่ให้ความอนุเคราะห์สนับสนุน และภาควิชากีฏวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขต กำแพงแสน ที่อำนวยความสะดวกที่ เรือนปฏิบัติการกีฏวิทยา ใน การศึกษาครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- กนกอร วุฒิวงศ์ อรัญ งามผ่องใส และ เขียวลักษณ์ จันทร์-บาง. 2558. การออกฤทธิ์ขับไล่ด้วงงวงข้าวโพด (*Sitophilus zeamais* Motschulsky) ของน้ำมันจากพืชบางชนิด. แก่นเกษตร 43(1)(พิเศษ): 145-150.
- กวีวัฒน์ จาวสุวรรณวงษ์ จรงค์ศักดิ์ พุ่มนวม และ อัมรินทร์สังข์. 2557. ประสิทธิภาพการไล่และการยับยั้งการวางไข่ของสุตรน้ำมันหอมระเหยจาก จันทร์แปดกลีบ (*Illicium verum*) และเทียนข้าวเปลือก (*Anethum graveolens*) ต่อตัวเต็ม

- วัยของด้วงวงข้าวโพด (*Sitophilus zeamais*). วารสารเกษตรพระจอมเกล้า 32(2): 41-47.
- ชวลิต จิตน์นัท. 2556. ความต้านทานต่อสารรมฟอสฟีน และประสิทธิภาพของฟีโรโมนที่มีต่อสายพันธุ์ ต้านทานและสายพันธุ์อ่อนแอของมอดแป้ง *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae). วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร มหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 65 หน้า.
- ชัยรัตน์ จันทร์หนู. 2544. ประสิทธิภาพของน้ำมันหอมระเหยจากใบยูคาลิปตัส (*Eucalyptus camaldulensis* Dehnh) ต่อแมลงศัตรูในโรงเก็บบางชนิด. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 86 หน้า.
- เนตรนภา ศรีสองสม เยาวลักษณ์ จันทร์บาง และ ไสวบุญรณพานิชพันธ์. 2554. ประสิทธิภาพของสารฆ่าแมลงบางชนิดและการใช้ร่วมกับดินเบาในการกำจัดมอดแป้งจากโรงเก็บข้าวโพด. วารสารเกษตร 27(2): 155-164.
- ปัทมศรี สุศิริรัตน์. 2559. ประสิทธิภาพของสารสกัดจากเปลือกกว่านหางจระเข้ในการควบคุมหนอนใยผัก. วารสารเกษตร 32(3): 369-378.
- เพ็ญญา กิตติวุฒิจริณ. 2556. การควบคุมการเจริญและการสร้างสารพิษอะฟลาทอกซินของเชื้อรา *Aspergillus flavus* ในข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ด้วยน้ำส้มสายชูหมัก และฟอสฟีนภายใต้ความชื้นสูง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ. 96 หน้า.
- ภาวิณี อาสน์สุวรรณ. 2548. ผลของอุณหภูมิที่มีต่อวงจรชีวิต อัตราการขยายพันธุ์ของด้วงวงข้าวโพด (*Sitophilus zeamais*) และประสิทธิภาพของแตนนเปียนหนอน (*Theocolax elegans* Westwood). วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น. 160 หน้า.
- ศศธร สิงขรอาจ. 2550. ประสิทธิภาพน้ำมันหอมระเหยในการควบคุมด้วงวงข้าวโพด (*Sitophilus zeamais*) และมอดแป้ง (*Tribolium castaneum*) ในข้าวสาร. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ. 151 หน้า.
- ศุภกร วงศ์สุข เยาวลักษณ์ จันทร์บาง และ จิราพร กุลสาริน. 2560. ประสิทธิภาพเศษใบ และก้านใบยาสูบในการควบคุมแมลงศัตรูฝักบางชนิด. วารสารเกษตร 33(3): 367-376.
- เสาวลักษณ์ ไชยชมภู. 2547. การใช้คลื่นเสียงตรวจสอบการเจริญเติบโต การเข้าทำลาย และพฤติกรรมของด้วงวงข้าวโพด. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่. 52 หน้า.
- Amat, G. M., K. E. McMartin, S. S. Hayreh, M. S. Hayreh and T. R. Tephly. 1978. Methanol poisoning: Ocular toxicity produced by formate. *Toxicology and Applied Pharmacology* 45(1): 201-208.
- Athanassiou, C. G., C. I. Rumbos, M. Sakka and V. Sotiroudas. 2016. Insecticidal efficacy of phosphine fumigation at low pressure against major stored-product insect species in a commercial dried fig processing facility. *Crop Protection* 90: 177-185.
- Batish, R. D., H. P. Singh, R. K. Kohli and S. Kaur. 2008. Eucalyptus essential oil as a natural pesticide. *Forest Ecology and Management* 256: 2166-2174.
- Bett, P. K, A. L. Deng, J. O. Ogendo, S. T. Kariuki, M. Kamatenesi-Mugisha, J. M. Mihale and B. Torto. 2017. Residual contact toxicity and repellence of *Cupressus lusitanica* Miller and *Eucalyptus saligna* Smith essential oils against major stored product insect pests. *Industrial Crops & Products* 110: 65-74.
- Cosentino, C., L. Torres and L. Apaza. 2016. Methanol-induced parkinsonism. *Basal Ganglia* 6: 23-24.

- Daglish, G. J., M. K. Nayak and H. Pavic. 2014. Phosphine resistance in *Sitophilus oryzae* (L.) from eastern Australia: Inheritance, fitness and prevalence. *Journal of Stored Products Research* 59: 237-244.
- Fouad, H. A. 2013. Effect of five essential oils as repellents against the cowpea beetle *Callosobruchus maculatus* (F.). *Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences* 2(5): 23-27.
- Fouad, H. A. and C. A. G. da. Camara. 2017. Chemical composition and bioactivity of peel oils from *Citrus aurantiifolia* and *Citrus reticulata* and enantiomers of their major constituent against *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). *Journal of Stored Products Research* 73: 30-36.
- Ghanbari, A., M. Ghareghani, K. Zibara, H. Delaviz, E. Ebadi and M. H. Jahantab. 2017. Light-Emitting Diode (LED) therapy improves occipital cortex damage by decreasing apoptosis and increasing BDNF-expressing cells in methanol-induced toxicity in rats. *Biomedicine & Pharmacotherapy* 89: 1320-1330.
- Herrera, J. M., M. P. Zunino, J. S. Dambolena, R. P. Pizzolitto, N. A. Gañan, E. I. Lucini and J. A. Zygadlo. 2015. Terpene ketones as natural insecticides against *Sitophilus zeamais*. *Industrial Crops and Products* 70: 435-442.
- Jemâa, J. M. B., S. Haouel, M. Bouaziz and M. L. Khouja. 2012. Seasonal variations in chemical composition and fumigant activity of five eucalyptus essential oils against three moth pests of stored dates in Tunisia. *Journal of Stored Products Research* 48: 61-67.
- Jesser, E.N., J.O. Werdin-González, A.P. Murray and A.A. Ferrero. 2017. Efficacy of essential oils to control the Indian meal moth, *Plodia interpunctella* (Hübner) (Lepidoptera: Pyralidae). *Journal of Asia-Pacific Entomology* 20: 1122-1129.
- Jun, C., Y. Xue, R. Liu and M. Wang. 2011. Study on the toxic interaction of methanol, ethanol and propanol against the bovine hemoglobin (BHb) on molecular level. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy* 79: 1406-1410.
- Karemu, C. K., M. Ndungu and M. Githua. 2013. Evaluation of repellent effects of the oils from *Eucalyptus camaldulensis* (Schlecht) and *Eucalyptus globulus* (Labill.) against *Sitophilus zeamais* (Motschulsky). *Tanzania Journal of Natural & Applied Sciences* 4(2): 626-633.
- Khaliq, A., M. Javed, M. H. Ahmad, M. Yasir, M. Sagheer and Mansoor-ul-Hasan. 2014. Biocidal and repellent effect of *Saccharopolyspora spinosa* and *Nerium oleander* extract against stored product pests. *Basic Research Journals* 3(6): 49-54.
- Luttrell, W. E. 2012. Toxic tips: Xylene. *Journal of Chemical Health and Safety* 19(2): 34-35.
- Nattudurai, G., S. S. Irudayaraj, M. G. Paulraj, K. Baskar and S. Ignacimuthu. 2015. Insecticidal and repellent activities of *Toddalia asiatica* (L.) Lam. extracts against three major stored product pests. *Entomology, Ornithology & Herpetology: Current Research* 4: 2, doi: 10.4172/2161-0983.1000148.
- Nhamucho, E., S. Mugo, L. Gohole, T. Tefera, M. Kinyua and E. Mulima. 2017. Resistance of selected Mozambican local and improved

- maize genotypes to maize weevil, *Sitophilus zeamais* (Motschulsky). Journal of Stored Products Research 73: 115-124.
- Parthasarathy, N. J., R. S. Kumar, S. Manikandan and R. S. Devi. 2006. Methanol-induced oxidative stress in rat lymphoid organs. Journal of Occupational Health 48(1): 20-27.
- Public Health Service. 1994. Toxicological Profile for Acetone. U.S. Department of Health and Human Services. Atlanta, Georgia. 245 p.
- Public Health Service. 1999. Toxicological Profile for n-Hexane. U.S. Department of Health and Human Services. Atlanta, Georgia. 221 p.
- Sagheer, M., Mansoor-ul-Hasan, M. Najam-ul-Hassan, M. Farhan, F. Z. A. Khan and A. Rahman. 2014. Repellent effects of selected medicinal plant extracts against rust-red flour beetle, *Tribolium castaneum* (Herbst). Journal of Entomology and Zoology 2(3): 107-110.
- Saillenfait, A. M., F. Gallissot, G. Morel and P. Bonnet. 2003. Developmental toxicities of ethylbenzene, ortho-, meta-, para-xylene and technical xylene in rats following inhalation exposure. Food and Chemical Toxicology 41: 415-429.
- Siu, M. T., A. M. Shapiro, M. J. Wiley and P. G. Wells. 2013. A role for glutathione, independent of oxidative stress, in the developmental toxicity of methanol. Toxicology and Applied Pharmacology 273: 508-515.
- 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* and *Tribolium confusum* du Val. Journal of Stored Products Research 41: 91-102.
- Throne, J.E. 1994. Life history of immature *S. zeamais* (Coleoptera: Curculionidae) on corn stored at constant temperatures and relative humidity in the laboratory. Environmental Entomology 23(6): 1459-1471.
- Tofel, K. H., P. Kosma, M. Stähler, C. Adler and E. N. Nukenine. 2017. Insecticidal products from *Azadirachta indica* and *Plectranthus glandulosus* growing in Cameroon for the protection of stored cowpea and maize against their major insect pests. Industrial Crops & Products 110: 58-64.
- Ukeh, D. A., M. A. Birkett, J. A. Pickett, A. S. Bowman and A. J. M. Luntz. 2009. Repellent activity of alligator pepper, *Aframomum melegueta*, and ginger, *Zingiber officinale*, against the maize weevil, *Sitophilus zeamais*. Phytochemistry 70: 751-758.
- Vélez, M., W. F. Barbosa, J. Quintero, M. Chediak and R. N. C. Guedes. 2017. Deltamethrin- and spinosad-mediated survival, activity and avoidance of the grain weevils *Sitophilus granarius* and *S. zeamais*. Journal of Stored Products Research 74: 56-65.
- Wale, M. and H. Assegie. 2015. Efficacy of castor bean oil (*Ricinus communis* L.) against maize weevils (*Sitophilus zeamais*) in northwestern Ethiopia. Journal of Stored Products Research 63: 38-41.
- Yang, K., C. F. Wang, C. X. You, Z. F. Geng, R. Q. Sun, S. S. Guo, S. S. Du, Z. L. Liu and Z. W. Deng. 2014. Bioactivity of essential oil of *Litsea cubeba* from China and its main compounds against two stored product

insects. Journal of Asia-Pacific Entomology
17(3): 459-466.

Yi, C.G., M. Kwon, T. T. Hieu, Y. S. Jang and Y. J. Ahn. 2007. Fumigant toxicity of plant essential oils to *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Yponomeutidae) and *Cotesia glomerata* (Hymenoptera: Braconidae). Journal of Asia-Pacific Entomology 10(2): 157-163.
