

1. แผนงานวิจัย: การลดความสูญเสียในผลิตผลเกษตรจากศัตรูพืชหลังการเก็บเกี่ยวและสารพิษจากเชื้อรา
2. โครงการวิจัย: การลดความสูญเสียผลิตผลเกษตรจากแมลงศัตรู
กิจกรรม: การใช้สารรมและสารฆ่าแมลงใน การป้องกันกำจัดแมลงอย่างเหมาะสม
3. ชื่อการทดลอง (ภาษาไทย): การศึกษาอัตราและระยะเวลาที่เหมาะสมของสารรมอีโคฟุ่ม (ECO₂FUME) ในการรมเพื่อกำจัดมอดหนวดยาวสายพันธุ์ที่ต้านทานต่อสารรมฟอสฟีน
ชื่อการทดลอง (ภาษาอังกฤษ): Efficacy studies on ECO₂FUME phosphine fumigant for control The phosphine resistant *Cryptolestes ferrugineus* strains

4. คณะผู้ดำเนินงาน

หัวหน้าการทดลอง: นางสาวรังสิมา เก่งการพานิช

กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร

ผู้ร่วมงาน: นางสาวดวงสมร สุทธิสุทธิ

กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร

นางสาวภาวิณี หนูชนะภัย

กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร

นางสาวศรุตฯ สิทธิไชยากุล

กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร

5. บทคัดย่อ

การศึกษาอัตราและระยะเวลาที่เหมาะสมของสารรมอีโคฟุ่ม (ECO₂FUME) ในการรมเพื่อกำจัดมอดหนวดยาวสายพันธุ์ที่ต้านทานต่อสารรมฟอสฟีน ดำเนินการทดลองระหว่างเดือน ตุลาคม 2558 - กันยายน 2562 ที่ห้องปฏิบัติการกลุ่มวิจัยพัฒนาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวพืชไร่ กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร โดยเก็บตัวอย่างมอดหนวดยาวจากโรงสีข้าว โรงเก็บข้าวโพด และโรงงานอาหารสัตว์ จากจังหวัดต่างๆ ทั่วประเทศ นำมาเลี้ยงขยายพันธุ์ในห้องปฏิบัติการให้ได้ระยะตัวเต็มวัย จากนั้นนำไปทดสอบเพื่อจัดแบ่งระดับความต้านทานของมอดหนวดยาวตามวิธีการของ FAO (FAO Method No.16) โดยเก็บตัวอย่างมอดหนวดยาวจากจังหวัดต่างๆ ทั่วประเทศ จำนวน 22 จังหวัด รวม 28 แหล่ง จากผลการทดสอบระดับความต้านทานของมอดหนวดยาวต่อสารรมฟอสฟีนพบว่ามอดหนวดยาวไม่แสดงความต้านทานต่อสารรมฟอสฟีน 5 แหล่ง ต้านทานต่อฟอสฟีน 1, 7, 14 และ 25 เท่า อย่างละ 1 แหล่ง ต้านทานต่อฟอสฟีน 4 และ 20 เท่า อย่างละ 2 แหล่ง ต้านทานต่อฟอสฟีน 5 เท่า 3 แหล่ง ต้านทานต่อฟอสฟีนมากกว่า 10, 13, 15, 40, 60 และ 70 เท่า อย่างละ 1 แหล่ง ต้านทานต่อฟอสฟีนมากกว่า 20 เท่า 4 แหล่ง และต้านทานต่อฟอสฟีนมากกว่า 80 เท่า 2 แหล่ง จัดแบ่งแมลงที่มีระดับความต้านทานแตกต่างกันออกเป็น 3 กลุ่ม คือ (1) สายพันธุ์ที่ไม่ต้านทานต่อฟอสฟีน (2) สายพันธุ์ที่ต้านทานต่อฟอสฟีนน้อยกว่า 7 เท่า และ (3) สายพันธุ์ที่ต้านทานต่อฟอสฟีนมากกว่า 10 เท่าขึ้นไป ทดสอบประสิทธิภาพของสารรมอีโคฟุ่มในการกำจัดมอดหนวดยาวสายพันธุ์ที่ต้านทานต่อสารรมฟอสฟีนโดยรมกองข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ด้วยสารรมอีโคฟุ่มที่อัตรา 25

กรัม/ลบ.ม. (350 ppm) ระยะเวลา 5 วัน อัตรา 50 กรัม/ลบ.ม. (700 ppm) ระยะเวลา 4 วัน และอัตรา 70 กรัม/ลบ.ม. (1,000 ppm) ระยะเวลา 2 และ 3 วัน ผลการทดลองพบว่า ทุกอัตราการรมมีประสิทธิภาพในการกำจัดมอดหนวดยาวสายพันธุ์ที่ไม่ต้านทานต่อฟอสฟีน และสายพันธุ์ที่ต้านทานต่อสารรมฟอสฟีนน้อยกว่า 7 เท่า ได้ทุกระยะการเจริญเติบโตและไม่พบมอดหนวดยาวที่เกิดใหม่ อย่างไรก็ตามทุกอัตราการรมที่ทดสอบไม่สามารถกำจัดมอดหนวดยาวสายพันธุ์ที่ต้านทานต่อฟอสฟีนมากกว่า 10 เท่าขึ้นไปได้ทุกระยะการเจริญเติบโต ส่วนแมลงในชุดควบคุมสามารถเจริญเติบโตและขยายพันธุ์ได้ตามปกติ จึงทำการทดสอบเพิ่มเติมโดยเพิ่มอัตราสารรมให้สูงขึ้นและเพิ่มระยะเวลาให้นานขึ้น โดยใช้อัตราอีโคฟุ่มอัตรา 50 กรัม/ลบ.ม. (700 ppm) ระยะเวลา 14 วัน และอัตรา 70 กรัม/ลบ.ม. (1,000 ppm) ระยะเวลา 10 วัน อัตรา 100 กรัม/ลบ.ม. (1,400 ppm) ระยะเวลา 7 และ 6 วัน ผลการทดลองพบว่า การรมทุกอัตราพบมอดหนวดยาวรอดชีวิตจำนวนเล็กน้อย และพบว่าการรมด้วยสารรมอีโคฟุ่มอัตรา 50 กรัม/ลบ.ม. (700 ppm) ระยะเวลา 14 วัน และอัตรา 70 กรัม/ลบ.ม. (1,000 ppm) ระยะเวลา 10 วัน พบมอดหนวดยาวที่เกิดใหม่จำนวนเล็กน้อย แต่ที่อัตรา 100 กรัม/ลบ.ม. (1,400 ppm) ระยะเวลา 7 และ 6 วัน ไม่พบมอดหนวดยาวที่เกิดใหม่ แสดงให้เห็นว่ามอดหนวดยาวมีความต้านทานต่อสารรมฟอสฟีนสูงมาก ดังนั้นในการรมข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ด้วยสารรมฟอสฟีนจำเป็นต้องเพิ่มอัตราการใช้สารรมและระยะเวลาการรมให้นานขึ้น

คำหลัก: สารรมอีโคฟุ่ม มอดหนวดยาว ความต้านทานต่อสารรมฟอสฟีน

Abstract

The efficacy of ECO₂FUME phosphine fumigant to control of the phosphine-resistant strains of *Cryptolestes ferrugineus* were carried out in the laboratory of Postharvest Technology on Field Crops Research and Development Group, Postharvest and Processing Research and Development Division during October 2016 to – September 2019. *C. ferrugineus* was collected from milled rice, paddy and stored maize warehouse in Central, Northeast, North, and South of Thailand for 28 locations in 22 provinces and phosphine resistance assay was employed following FAO method (FAO Method No.16). The result showed that *C. ferrugineus* from 5 locations showed susceptible to phosphine. *C. ferrugineus* showed the resistance to phosphine as 1, 7, 14 and 25 times a location for each, 4 and 20 times for 2 locations for each, 5 times for 3 locations, more than 10, 13, 15, 40, 60 and 70 times a location for each, more than 20 times for 4 locations and more than 80 times for 2 locations. Therefore, strains of *C. ferrugineus* were divided into three groups: 1) susceptible to phosphine strain; 2) resistant to phosphine less than 7 times strain, and 3) resistant to phosphine more than 10 times strain. Afterwards, ECO₂FUME® fumigation of maize bag stacks under gas proof sheets was conducted to establish the optimal dosages (application rate) and exposure times (fumigation period) against mixed-age cultures of different levels of the phosphine resistance of *C. ferrugineus* strains. The Complete Randomized Design (CRD)

experimental design was employed, with 3 replications and 5 treatments. The experiments were (1) treatment with a 25 g/m³ ECO₂FUME® application rate (350 ppm phosphine) for 5 days, (2) treatment with an ECO₂FUME® application rate of 50 g/m³ (700 ppm phosphine) for 4 days and (3) treatment with a 70 g/m³ ECO₂FUME® application rate (1,000 ppm phosphine) for 3, and (4) 2 days and (5) control treatment. The three target phosphine concentrations of 350 ppm, 700 ppm, and 1,000 ppm were maintained throughout the fumigation period. The result showed that both strains of *C. ferrugineus*, susceptible strains and less than 7 times phosphine resistant strains, were completely controlled by all dosages and exposure times. No living insect was found after the immediate fumigation or 6 weeks later but the strain resisting to phosphine more 10 times and non-fumigated control sample could develop and emerge normally. Therefore, additional testing is performed by increasing the rate of ECO₂FUME® application and increasing the duration. The experiments were (1) treatment with a 50 g/m³ ECO₂FUME® application rate (700 ppm phosphine) for 14 days (2) treatment with an ECO₂FUME® application rate of 70 g/m³ (1,000 ppm phosphine) for 10 days and (3) treatment with a 100 g/m³ ECO₂FUME® application rate (1,400 ppm phosphine) for 7, and (4) 6 days and (5) control treatment. The result showed that a few live insects of the strain resisting to phosphine more than 10 times could be found at all dosages and exposure times. The treatment with a 50 g/m³ ECO₂FUME® application rate (700 ppm phosphine) for 14 days, and treatment with an ECO₂FUME® application rate of 70 g/m³ (1,000 ppm phosphine) for 10 days were found a few live insects after 6 weeks of fumigation but the treatments with a 100 g/m³ ECO₂FUME® application rate (1,400 ppm phosphine) for 7, and 6 days were not found live insects emerged after 6 weeks of fumigation. The result showed that *C. ferrugineus* has high phosphine resistance. Therefore, fumigation of maize with phosphine is necessary to increase the application rates and time.

Keywords : ECO₂FUME®, fumigation, phosphine resistance, *C. ferrugineus*

6. คำนำ

ผลิตผลเกษตรหลังการเก็บเกี่ยวจำเป็นต้องเก็บรักษาไว้ระยะเวลาหนึ่ง เพื่อวัตถุประสงค์ต่างๆ ดังนี้ เพื่อใช้ในการบริโภค จำหน่าย รอกการแปรรูป หรือเก็บเป็นเมล็ดพันธุ์ ในระหว่างการเก็บรักษามักเกิดความเสียหายแก่ผลิตผลเกษตรหลังการเก็บเกี่ยว ซึ่งมีสาเหตุมาจากอุณหภูมิ ความชื้นในอากาศ แมลง ไร เชื้อรา นก และหนู เป็นที่ยอมรับกันว่าแมลงเป็นศัตรูที่สำคัญและทำความเสียหายให้มากที่สุด เนื่องจากแมลงศัตรูผลิตผลเกษตรในโรงเก็บมีขนาดเล็ก กินอาหารน้อย และขยายพันธุ์ได้ง่าย ทำให้ประชากรเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ประกอบกับสภาพภูมิอากาศของประเทศไทยร้อนชื้นเหมาะในการเจริญเติบโตและขยายพันธุ์ของแมลง ดังนั้นการระบาดของแมลงจึงเป็นไปอย่างรวดเร็ว และมีการระบาดตลอดทั้งปี จึงก่อให้เกิดความเสียหายให้แก่

ผลิตผลเกษตรหลังการเก็บเกี่ยวได้มาก มอดหนวดยาวเป็นแมลงศัตรูผลิตผลเกษตรที่สำคัญชนิดหนึ่ง มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Cryptolestes ferrugineus* Stephens จัดอยู่ในวงศ์ Cucujidae ตัวเต็มวัยมีขนาดเล็กมา ลำตัวแบนรี สีน้ำตาลแดง หัวและอกรวมกันยาวครึ่งหนึ่งของลำตัว มีหนวดยาวประมาณสองในสามของลำตัว ตัวเต็มวัยเพศเมียวางไข่ได้ 200 ฟอง ไข่เมื่อฟักเป็นตัวหนอนจะกินส่วนที่เป็นจุดงอก (germ) ของเมล็ด บางครั้งพบหนอนทำลายซากแมลงชนิดอื่น และเมื่อตัวหนอนโตเต็มที่จะรวบรวมเศษเมล็ดพืช หรือเศษอาหาร เข้าด้วยกันและเข้าดักแด้อยู่ภายในนั้น มอดหนวดยาวเป็นแมลงที่ไม่สามารถทำลายเมล็ดพืชให้ได้รับความเสียหายโดยตัวเอง ทั้งตัวเต็มวัยและตัวหนอนร่วมทำลายเมล็ดพืชที่แตกหักเสียหายแล้ว หรือผลิตผลเกษตรที่ หลีกเลี่ยงจากการเข้าทำลายของแมลงชนิดอื่น มอดหนวดยาวเป็นแมลงที่ว่องไว ตัวเต็มวัยแทบจะไม่บิน โดยปกติ จะพบมอดหนวดยาวทั่วไปบนพื้นของยังข้าว โรงสี โรงเก็บเมล็ดพืช หรือในไซโล ในปัจจุบันเป็นปัญหาที่สำคัญ ของการเก็บรักษาผลิตผลเกษตร เนื่องจากมีความทนทานต่อสารรมฟอสฟีนมาก จำเป็นต้องเพิ่มอัตราการใช้ สารรมฟอสฟีนจึงจะสามารถกำจัดมอดหนวดยาวได้ (พรทิพย์ และคณะ, 2551)

ประเทศไทยใช้วิธีการรมเพื่อป้องกันกำจัดแมลงศัตรูผลิตผลเกษตรและเพื่อการส่งออกมาเป็น เวลานาน สารรมมีอยู่หลายชนิดแต่ที่นิยมมาก คือ เมทิลโบรไมด์ (methyl bromide) และฟอสฟีน (phosphine) ในปัจจุบันการรมด้วยสารรมทั้งสองชนิดเป็นที่นิยมกันอย่างกว้างขวางในกลุ่มผู้ส่งออก สารรม เมทิลโบรไมด์เป็นที่นิยมใช้เพราะมีประสิทธิภาพดีและใช้เวลาในการรมสั้น แต่เนื่องจากเมทิลโบรไมด์ถูกระบุว่า เป็นตัวทำลายชั้นโอโซนในบรรยากาศ ทำให้แสงอาทิตย์ส่องผ่านมายังโลกได้โดยตรงมีผลทำให้โลกร้อนขึ้น และแสงอุลตราไวโอเลตที่มากกว่าปกติจะทำให้เกิดอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต ดังนั้นภายใต้พิธีสารมอนทรีออลได้มี มาตรการลดการใช้จนถึงยกเลิกการใช้ ยกเว้นเฉพาะการรมเพื่อการส่งออกและการรมเพื่อการกักกันพืช โดย กลุ่มประเทศที่พัฒนาแล้วยกเลิกการใช้แล้วในปี ค.ศ. 2005 และกลุ่มประเทศกำลังพัฒนายกเลิกการใช้แล้วใน ปี ค.ศ. 2015 (นิรนาม, 2551) ดังนั้นการใช้ฟอสฟีนมีความสำคัญเพิ่มมากขึ้นทั้งในปัจจุบันและอนาคตเพราะ ฟอสฟีนเป็นสารรมเพียงชนิดเดียวที่สามารถใช้ทดแทนเมทิลโบรไมด์ได้ในขณะนี้ ประสิทธิภาพของฟอสฟีนจึง เป็นสิ่งสำคัญที่สุด แต่เนื่องจากการใช้ฟอสฟีนติดต่อกันเป็นเวลานาน ใช้บ่อยครั้ง อัตราการใช้ไม่ถูกต้อง วิธีการใช้ไม่ถูกต้อง เช่น ระยะเวลาในการรมสั้นเกินไป ทำให้แมลงสร้างความต้านทานต่อฟอสฟีนได้ ใน ประเทศไทยได้มีการตรวจสอบความต้านทานต่อสารรมฟอสฟีนของแมลงศัตรูผลิตผลเกษตรไปแล้วหลายชนิด ได้แก่ ตัวงวงข้าวโพด มอดหัวป้อม มอดหนวดยาว มอดฟันเลื่อย และมอดแป้งจากผลการตรวจสอบพบว่า แมลงศัตรูผลิตผลเกษตรทุกชนิดยกเว้นตัวงวงข้าวโพด แสดงความต้านทานต่อสารรมฟอสฟีนแล้ว

แม้ว่าการรมด้วยสารรมฟอสฟีนในรูปของ aluminium phosphide จะมีการใช้กันอย่างกว้างขวาง แต่เนื่องจากมีความเสี่ยงในเรื่องของการติดไฟและการเกิดระเบิดของสารตกค้างที่ใช้ไม่หมด (เหลือตกค้าง ประมาณ 3-5%) ดังนั้นจึงมีการผลิตสารรมชนิดใหม่ขึ้นมาโดยนำเอาฟอสฟีนมาผสมกับคาร์บอนไดออกไซด์ โดยมีสัดส่วนของฟอสฟีน 2% และคาร์บอนไดออกไซด์ 98% บรรจุในถังก๊าซที่ไม่ติดไฟ เรียกว่า สารรมอีโคฟุ่ม (ECO₂ Fume) ซึ่งผลิตโดยบริษัท CYTEC ประเทศแคนาดา ในหลายประเทศมีการนำเอาอีโคฟุ่มมาใช้ในการ รมผลิตผลเกษตรเป็นเวลาหลายปีแล้ว ได้แก่ แคนาดา สหรัฐอเมริกา และออสเตรเลีย จุดเด่นสำคัญของ อีโคฟุ่ม คือ เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เป็นสารรมที่ไม่ติดไฟ และสามารถนำมาใช้ในการรมผลิตผลเกษตรได้

หลายชนิด เช่น ธัญพืช ผลไม้แห้ง ใบยาสูบ และผลิตภัณฑ์ที่ทำจากธัญพืช นอกจากนี้ยังมีการนำมาใช้ในการรมไม้ตัดดอกและผลไม้สดอีกด้วย เนื่องจากในปัจจุบันพบว่ามอดหนวดยาวแสดงความต้านทานต่อสารรมฟอสฟีนในระดับที่สูงมาก ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องมีการศึกษาอัตราและระยะเวลาที่เหมาะสมของสารรมอีโคพุมในการกำจัดมอดหนวดยาวสายพันธุ์ที่ต้านทานต่อสารรมฟอสฟีน

7. วิธีดำเนินการ

- อุปกรณ์

1. แบ่งข้าวสาลี ข้าวสาลี ข้าวโอ๊ต ยีสต์ ข้าวกล้อง ข้าวสาลี
2. มอดหนวดยาว
3. ขวดแก้ว กระจกซับ กระจกกรอง ถาด ฟุ้ง
4. สารรมฟอสฟีน และสารรมอีโคพุม
5. โหลสุญญากาศ (desiccator)
6. กระปุกพลาสติก
7. กระบอกฉีดยา (Hamilton gas-tight syringe)
8. ผ้าพลาสติกสำหรับรมยา ถุงทราย เทปผ้า

- วิธีการ

(1) การทดสอบระดับความต้านทานของมอดหนวดยาวต่อสารรมฟอสฟีน

(1.1) การเลี้ยงขยายพันธุ์มอดหนวดยาว

เก็บตัวอย่างมอดหนวดยาวในโรงสีข้าว โรงเก็บข้าวโพด และโรงงานอาหารสัตว์ จากจังหวัดต่างๆ ทั่วประเทศ นำมาเลี้ยงขยายพันธุ์ในห้องปฏิบัติการที่อุณหภูมิห้อง โดยปล่อยตัวเต็มวัยมอดหนวดยาวอายุ 2-3 สัปดาห์ จำนวน 500 ตัว ลงในขวดที่มีอาหาร (ข้าวโพดบดหยาบ+ข้าวโอ๊ต+ยีสต์) จำนวน 200 กรัม ปิดด้วย กระจกซับ เก็บไว้ในห้องเลี้ยงขยายพันธุ์แมลงที่อุณหภูมิห้อง ปล่อยให้แมลงวางไข่ 10 วัน หลังจากนั้น เอาตัวออกทิ้งไว้จนกระทั่งแมลงกลายเป็นตัวเต็มวัย จะได้แมลงระยะตัวเต็มวัยที่มีความสม่ำเสมอสำหรับนำไปทดสอบ

(1.2) การทดสอบระดับความต้านทานของมอดหนวดยาว

ทำการทดสอบเพื่อแบ่งระดับความต้านทานของมอดหนวดยาว โดยดำเนินการดังนี้

(1.2.1) การเตรียมก๊าซฟอสฟีน

- เตรียมสารละลายกรด H_2SO_4 เข้มข้น 5% ในบีกเกอร์ขนาด 5,000 มล. นำเม็ดฟอสฟีนห่อด้วย กระจกกรอง และหุ้มผ้าขาวบางพันชายด้วยสก็อตเทปใส่ในสารละลายกรด H_2SO_4 ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง จะได้ ก๊าซฟอสฟีนที่นำมาใช้งานได้

- สารรมฟอสฟีนที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ คือ phostoxin ชนิด tablet เป็นผลิตภัณฑ์ของบริษัท Degesh ประเทศเยอรมนี

(1.2.2) ตรวจสอบความต้านทานของมอดหนวดยาวตามวิธีการของ FAO (FAO Method No.16)

- เตรียมแมลงทดสอบโดยใส่มอดหนวดยาวจำนวน 50 ตัว ในกระปุกพลาสติกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 ซม. สูง 3 ซม. ปิดฝาและเจาะรูเพื่อให้อากาศผ่านเข้าออกได้ จำนวน 2 กระปุก ต่อ 1 ความเข้มข้น นำไปวางไว้ในโหลสุญญากาศ ทำความเข้มข้นละ 2 ชั่วโมง

- ความเข้มข้นที่ใช้ในการทดสอบความต้านทานเรียกว่า discriminating dose สำหรับมอดหนวดยาวเท่ากับ 0.06 มก./ลิตร ระยะเวลา 20 ชั่วโมง

- ใช้กระบอกฉีดยา (Hamilton gas-tight syringe) ดูดก๊าซฟอสฟีนใส่ในโหลสุญญากาศ ขนาดปริมาตร 22.32 ลิตร โดยใช้ฟอสฟีนความเข้มข้น 0.06 มก./ลิตร ระยะเวลาการรม 20 ชั่วโมง โดยไม่มีการหมุนเวียนอากาศภายในโหลสุญญากาศ

- หากการทดสอบที่ความเข้มข้น 0.06 มก./ลิตร พบแมลงรอดชีวิตให้ทำการทดสอบใหม่ โดยเพิ่มความเข้มข้นครั้งละ 1 เท่า เป็น 0.12, 0.18, 0.24,...ไปเรื่อยๆ จนกระทั่งไม่พบแมลงรอดชีวิต

- ทำการตรวจสอบความต้านทานของมอดหนวดยาวสายพันธุ์อ่อนแอ (susceptible strain) โดยใช้ฟอสฟีนความเข้มข้น 0.06 มก./ลิตร ระยะเวลาการรม 20 ชั่วโมง เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบ โดยมอดหนวดยาวสายพันธุ์อ่อนแอที่นำมาใช้ในการทดลองครั้งนี้ ได้นำมาจากประเทศออสเตรเลียและเลี้ยงขยายพันธุ์ในห้องปฏิบัติการมาอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ปี พ.ศ. 2550

- หลังสิ้นสุดการรมเปิดฝาโหลสุญญากาศ เพื่อระบายอากาศ จากนั้นนำกระปุกมอดหนวดยาว ใส่อาหารเล็กน้อย นำไปเก็บที่อุณหภูมิห้อง

- บันทึกจำนวนมอดหนวดยาวที่รอดชีวิต (alive) สลบ (knocked down) และ ตาย (dead) หลังเสร็จสิ้นการรม 3 วันและผู้ตรวจสอบอัตราการตายต้องเป็นผู้ที่ได้รับการฝึกฝนและมีความชำนาญในการตรวจสอบการตายของแมลง เพื่อไม่ให้เกิดความผิดพลาดในการตรวจสอบ

- ที่ discriminating dose มอดหนวดยาวสายพันธุ์อ่อนแอที่นำมาเปรียบเทียบต้องตายทั้งหมด (100%) ถ้ามอดหนวดยาวที่ทดสอบตายหมดแสดงว่าไม่ต้านทาน แต่ถ้าพบมอดหนวดยาวรอดชีวิตไม่ว่าจำนวนเท่าไร หมายความว่าแมลงแสดงความต้านทานต่อฟอสฟีน หรืออาจเกิดความผิดพลาดในการทดสอบต้องทำการทดสอบซ้ำ

- ถ้าแมลง control ตายมากกว่า 10% ต้องทดสอบใหม่

(2) การทดสอบประสิทธิภาพของสารรมอีโคฟุ่มในการกำจัดมอดหนวดยาวสายพันธุ์ต้านทานต่อสารรมฟอสฟีนในโรงเก็บ

(2.1) การรมข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ด้วยสารรมอีโคฟุ่มอัตราต่างๆ เพื่อกำจัดมอดหนวดยาวสายพันธุ์ที่มีความต้านทานต่อฟอสฟีนระดับต่างๆ

(2.1.1) การเลี้ยงขยายพันธุ์แมลงมอดหนวดยาว

นำมอดหนวดยาวจากทุกแหล่งที่ทดสอบมารวมกัน โดยแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม คือ (1) สายพันธุ์ที่ไม่ต้านทานต่อฟอสฟีน (2) สายพันธุ์ที่ต้านทานต่อฟอสฟีนน้อยกว่า 7 เท่า และ (3) สายพันธุ์ที่ต้านทานต่อฟอสฟีนมากกว่า 10 เท่าขึ้นไป เลี้ยงขยายพันธุ์มอดหนวดยาวในห้องปฏิบัติการที่อุณหภูมิห้อง โดยปล่อยมอด

หนวดยาวอายุ 2-3 สัปดาห์ จำนวน 300 ตัว ลงในขวดที่มีอาหาร (ข้าวโพดบ่นหยาบ+ข้าวโอ๊ต+ยีสต์) 200 กรัม ปลอยมอดหนวดยาวทิ้งไว้ 3 สัปดาห์ เพื่อให้แมลงวางไข่ จากนั้นนำตัวเต็มวัยออก ปลอยไว้ 6 สัปดาห์ เพื่อให้ได้แมลงทุกระยะการเจริญเติบโตแล้วจึงนำไปปรมา

(2.1.2) แผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ CRD มี 3 ซ้ำ 5 กรรมวิธี ดังนี้

- (1) การรมด้วยสารรมอีโคฟุม อัตรา 25 กรัม/ลบ.ม. (350 ppm) ระยะเวลา 5 วัน
- (2) การรมด้วยสารรมอีโคฟุม อัตรา 50 กรัม/ลบ.ม. (700 ppm) ระยะเวลา 4 วัน
- (3) การรมด้วยสารรมอีโคฟุม อัตรา 70 กรัม/ลบ.ม. (1,000 ppm) ระยะเวลา 3 วัน
- (4) การรมด้วยสารรมอีโคฟุม อัตรา 70 กรัม/ลบ.ม. (1,000 ppm) ระยะเวลา 2 วัน
- (5) ไม่ใช้สารรม

(2.1.3) ขั้นตอนการรม

- ทำความสะอาดพื้นโรงเก็บและปูผ้ารองพื้น (floor sheet) หนา 0.5 มม.
- บรรจุข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในกระสอบจัมโบ้ กระสอบละประมาณ 1,000 กก. โดย 1 กอง ประกอบด้วยกระสอบจัมโบ้จำนวน 8 กระสอบ วัดขนาดของกองเพื่อใช้ในการคำนวณปริมาณสารรม โดยกองข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มีปริมาตรอยู่ระหว่าง 6.67-7.5 ลบ.ม.
- นำแมลงทดสอบวางด้านบน ด้านล่าง และกึ่งกลางของกอง จำนวน 3 จุด
- คลุมกองด้วยผ้าพลาสติกหนา 0.2 มิลลิเมตร ปิดชายผ้าพลาสติกกับผ้ารองพื้นให้มิดชิดด้วยถุงทรายและกระดากาวย่นเพื่อป้องกันการรั่วไหลของก๊าซ
- ใส่สารรมอีโคฟุมตามกรรมวิธีที่กำหนด

(2.1.4) สารรมและการวัดความเข้มข้นของก๊าซฟอสฟีน

- สารรมอีโคฟุมที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ เป็นผลิตภัณฑ์ของบริษัท Cytec Industries ประเทศสหรัฐอเมริกา
- วัดความเข้มข้นของก๊าซฟอสฟีนในหน่วยของ ppm โดยใช้เครื่องวัดก๊าซฟอสฟีน Silo check ของบริษัท Canary ประเทศออสเตรเลีย
- วัดความเข้มข้นของก๊าซฟอสฟีนหลังปล่อยอีโคฟุม 1 ชั่วโมง และวัดทุกวันๆ ละ 2 ครั้ง เช้าและบ่าย ถ้าความเข้มข้นลดลงต่ำกว่าระดับที่กำหนด ให้เติมสารรมอีโคฟุม
- โดยปริมาณการเติมอีโคฟุมจะทำการคำนวณตามสูตร ดังนี้

ปริมาณอีโคฟุมที่เติม

$$= \frac{((\text{ความเข้มข้นที่กำหนด} + \text{ความเข้มข้นที่ต้องการเพิ่ม}) - \text{ความเข้มข้นที่วัดได้จริง}) \times \text{ปริมาตร}}$$

14,000

$$\text{*ความเข้มข้นที่ต้องการเพิ่ม} = \frac{\text{ความเข้มข้นที่กำหนด} \times \text{เปอร์เซ็นต์ที่ต้องการเพิ่ม**}}{100}$$

100

**** จะกำหนดจากเปอร์เซ็นต์ของก๊าซฟอสฟีนที่ลดลง**

(2.1.5) การตรวจสอบประสิทธิภาพในการกำจัดมอดหนวดยาว

ประสิทธิภาพของสารรมอีโคฟุ่มตัดสินจากอัตราการตายของแมลง โดยตรวจเช็คอัตราการตายของมอดหนวดยาวหลังเสร็จสิ้นการรม และเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง ตรวจเช็คอีกครั้งหลัง 6 สัปดาห์เพื่อตรวจเช็คจำนวนแมลงที่เกิดใหม่

(2.1.6) การตรวจสอบประสิทธิภาพในการกำจัดแมลงจากตัวอย่างข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่สุ่ม

ก่อนการรมสุ่มตัวอย่างข้าวโพดเลี้ยงสัตว์กองละ 3 จุด ๆ ละ 250 กรัม ตรวจสอบชนิดและปริมาณการเข้าทำลายของแมลง และหลังเสร็จสิ้นการรมสุ่มตัวอย่างอีกครั้งเพื่อตรวจเช็คอัตราการรอดของแมลง จากนั้นเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง ตรวจเช็คอีกครั้งหลัง 6 สัปดาห์

(2.1.7) การวัดความชื้นภายในเมล็ดของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

ก่อนและหลังการรมตรวจเช็คความชื้นภายในเมล็ดของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

(2.1.8) การวัดอุณหภูมิและความชื้นของโรงเก็บ

ตรวจเช็คอุณหภูมิและความชื้นของโรงเก็บตลอดระยะเวลาการรม

(2.2) การรมข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ด้วยสารรมอีโคฟุ่มอัตราต่างๆ เพื่อกำจัดมอดหนวดยาวสายพันธุ์ที่มีความต้านทานต่อฟอสฟีนมากกว่า 10 เท่าขึ้นไป

(2.2.1) การเลี้ยงขยายพันธุ์แมลงมอดหนวดยาว

นำมอดหนวดยาวสายพันธุ์ที่ต้านทานต่อสารรมฟอสฟีนมากกว่า 10 เท่าจากทุกแหล่งที่ทดสอบมารวมกัน นำมาเลี้ยงขยายพันธุ์ในห้องปฏิบัติการที่อุณหภูมิห้อง ดำเนินการทดลองเช่นเดียวกับข้อ (2.1.1)

(2.2.2) แผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ CRD มี 3 ซ้ำ 5 กรรมวิธี ดังนี้

- (1) การรมด้วยสารรมอีโคฟุ่ม อัตรา 50 กรัม/ลบ.ม. (700 ppm) ระยะเวลา 14 วัน
- (2) การรมด้วยสารรมอีโคฟุ่ม อัตรา 70 กรัม/ลบ.ม. (1,000 ppm) ระยะเวลา 10 วัน
- (3) การรมด้วยสารรมอีโคฟุ่ม อัตรา 100 กรัม/ลบ.ม. (1,400 ppm) ระยะเวลา 7 วัน
- (4) การรมด้วยสารรมอีโคฟุ่ม อัตรา 100 กรัม/ลบ.ม. (1,400 ppm) ระยะเวลา 6 วัน
- (5) ไม่ใช้สารรม

(2.2.3) ขั้นตอนการรม

ดำเนินการทดลองเช่นเดียวกับข้อ (2.1.3)

(2.2.4) สารรมและการวัดความเข้มข้นของก๊าซฟอสฟีน

ดำเนินการทดลองเช่นเดียวกับข้อ (2.1.4)

(2.2.5) การตรวจสอบประสิทธิภาพในการกำจัดมอดหนวดยาว

ดำเนินการทดลองเช่นเดียวกับข้อ (2.1.5)

(2.2.6) การตรวจสอบประสิทธิภาพในการกำจัดแมลงจากตัวอย่างข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่สุ่ม

ดำเนินการทดลองเช่นเดียวกับข้อ (2.1.6)

(2.2.7) การวัดความชื้นภายในเมล็ดของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

ดำเนินการทดลองเช่นเดียวกับข้อ (2.1.7)

(2.2.8) การวัดอุณหภูมิและความชื้นของโรงเก็บ

ดำเนินการทดลองเช่นเดียวกับข้อ (2.1.8)

- เวลาและ สถานที่ : ตุลาคม 2558 - กันยายน 2562

กลุ่มวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวพืชไร่

กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร

8. ผลการทดลองและวิจารณ์

(1) การทดสอบระดับความต้านทานของมอดหนวดยาวต่อสารรมฟอสฟีน

ผลการทดสอบระดับความต้านทานของมอดหนวดยาวจากจังหวัดต่างๆ ทั่วประเทศ จำนวน 22 จังหวัด รวม 28 แหล่ง ต่อสารรมฟอสฟีน สรุปได้ดังนี้ (Table 1)

- ภาคกลาง 11 จังหวัด จำนวน 15 แหล่ง พบว่ามอดหนวดยาวไม่แสดงความต้านทานต่อสารรมฟอสฟีน 4 แหล่ง ต้านทานต่อฟอสฟีน 1, 7, 20 และ 25 เท่า อย่างละ 1 แหล่ง ต้านทานต่อฟอสฟีนมากกว่า 10, 13, 60, 70 และ 80 เท่า อย่างละ 1 แหล่ง ต้านทานต่อฟอสฟีนมากกว่า 20 เท่า 2 แหล่ง
- ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 8 จังหวัด จำนวน 9 แหล่ง พบว่ามอดหนวดยาวทุกแหล่งที่ทดสอบ ต้านทานต่อฟอสฟีน 4, 14 และ 20 เท่า อย่างละ 1 แหล่ง ต้านทานต่อฟอสฟีน 5 เท่า 2 แหล่ง ต้านทานต่อฟอสฟีนมากกว่า 15, 20, 40 และ 80 เท่า อย่างละ 1 แหล่ง
- ภาคเหนือ 2 จังหวัด จำนวน 2 แหล่ง พบว่ามอดหนวดยาวต้านทานต่อฟอสฟีน 4 และ 5 เท่า อย่างละ 1 แหล่ง
- ภาคใต้ 1 จังหวัด จำนวน 2 แหล่ง พบว่ามอดหนวดยาวไม่แสดงความต้านทานต่อสารรมฟอสฟีน 1 แหล่ง และต้านทานต่อฟอสฟีนมากกว่า 20 เท่า 1 แหล่ง

(2) การทดสอบประสิทธิภาพของสารรมอีโคฟุ่มในการกำจัดมอดหนวดยาวสายพันธุ์ที่มีความต้านทานต่อสารรมฟอสฟีนในโรงเก็บ

(2.1) การรมข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ด้วยสารรมอีโคฟุ่มอัตราต่างๆ เพื่อกำจัดมอดหนวดยาวสายพันธุ์ที่มีความต้านทานต่อฟอสฟีนที่ระดับต่างๆ

(2.1.1) ประสิทธิภาพในการกำจัดมอดหนวดยาวสายพันธุ์ที่มีความต้านทานต่อฟอสฟีนที่ระดับต่างๆ

ผลการทดลองพบว่า การรมด้วยสารรมอีโคฟุ่มอัตรา 25 กรัม/ลบ.ม. (350 ppm) ระยะเวลา 5 วัน อัตรา 50 กรัม/ลบ.ม. (700 ppm) ระยะเวลา 4 วัน และอัตรา 70 กรัม/ลบ.ม. (1,000 ppm) ระยะเวลา 3 และ 2 วัน มีประสิทธิภาพในการกำจัดมอดหนวดยาวสายพันธุ์ที่ไม่ต้านทานต่อฟอสฟีน และสายพันธุ์ที่ต้านทานต่อสารรมฟอสฟีนน้อยกว่า 7 เท่า ได้ทุกระยะการเจริญเติบโต โดยไม่พบแมลงรอดชีวิต ในขณะที่

กรรมวิธีควบคุมพบแมลงรอดชีวิตจำนวนมากทุกสายพันธุ์ที่ทำการทดสอบ เมื่อครบ 6 สัปดาห์นำมาตรวจเช็คอีกครั้งไม่พบแมลงที่เกิดใหม่ทุกอัตราการรวม อย่างไรก็ตามทุกอัตราการรวมไม่สามารถกำจัดมอดหนวดยาวสายพันธุ์ที่ต้านทานต่อฟอสฟิโนมากกว่า 10 เท่าขึ้นไปได้ทุกระยะการเจริญเติบโต โดยพบแมลงรอดชีวิต และพบแมลงที่เกิดใหม่จำนวนมาก (Table 2)

(2.1.2) ประสิทธิภาพการกำจัดแมลงจากตัวอย่างข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่สุ่ม

ก่อนการรวมตรวจสอบชนิดและปริมาณการเข้าทำลายของแมลงศัตรูจากตัวอย่างข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่สุ่มมา แมลงศัตรูที่พบเข้าทำลายข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ได้แก่ ตัวงวงข้าวโพด มอดแป้ง มอดหนวดยาว ผีเสื้อข้าวสาร และเหาหนังสือ หลังเสร็จสิ้นการรวมตรวจสอบการรอดชีวิตของแมลงจากตัวอย่างข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่สุ่มมาพบว่าการรวมทุกอัตราไม่พบแมลงรอดชีวิต

(2.1.3) การวัดความเข้มข้นของก๊าซฟอสฟิโนและปริมาณการเติมสารรมอีโคฟุม

วัดระดับความเข้มข้นของก๊าซฟอสฟิโนที่ 1, 18, 24, 42, 48, 66, 72, 90, 96 และ 144 ชั่วโมง โดยระยะเวลาการวัดจะขึ้นอยู่กักระยะเวลาการรวมยา โดยระดับความเข้มข้นของก๊าซฟอสฟิโนที่วัดได้และปริมาณการเติมสารรมอีโคฟุมแสดงใน Table 3

การรวมด้วยสารรมอีโคฟุมที่อัตรา 25 กรัม/ลบ.ม. (350 ppm) ระยะเวลา 5 วัน หลังใส่อีโคฟุมทิ้งไว้เพื่อให้ก๊าซกระจายตัวทั่วกองข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ เมื่อครบ 1 ชั่วโมงวัดความเข้มข้นของก๊าซฟอสฟิโนได้ 527 ppm จากนั้นวัดความเข้มข้นอีกครั้งเมื่อครบ 18 ชม. ได้ 282 ppm จะเห็นได้ว่าความเข้มข้นของก๊าซฟอสฟิโนลดลงอย่างมาก และลดลงต่ำกว่า 350 ppm ที่กำหนดไว้ แสดงว่าข้าวโพดเลี้ยงสัตว์สามารถดูดซับก๊าซฟอสฟิโนได้สูง สอดคล้องกับ รังสีมา และคณะ (2550) รายงานว่าข้าวโพดเลี้ยงสัตว์สามารถดูดซับก๊าซฟอสฟิโนได้มาก ทำให้ความเข้มข้นของก๊าซลดลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งการดูดซับก๊าซฟอสฟิโนของผลิตภัณฑ์เกษตรมีความสำคัญมาก ถ้าผลิตภัณฑ์เกษตรดูดซับก๊าซได้มาก จะทำให้ระดับความเข้มข้นของก๊าซภายในกองที่รมจะลดลงต่ำกว่าระดับที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดแมลง อาจทำให้การรวมล้มเหลวได้ จากการรวมข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ด้วยอีโคฟุมในครั้งนี้พบว่าความเข้มข้นของก๊าซฟอสฟิโนลดลงประมาณ 40-50% จึงต้องเติมอีโคฟุมเพื่อให้ระดับความเข้มข้นที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดแมลงคงอยู่ตลอดระยะเวลาการรวม โดยอัตราการเติมอีโคฟุมจะพิจารณาจากเปอร์เซ็นต์การลดลงของก๊าซ สำหรับการทดลองครั้งนี้กำหนดให้เติมอีโคฟุมเพิ่มจากอัตราปกติอีก 40% คิดเป็นความเข้มข้น 490 ppm ($350 + 140 = 490$ ppm) เพื่อชดเชยการดูดซับก๊าซของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ปริมาณอีโคฟุมที่ต้องเติมเท่ากับ 15.64 กรัม/ลบ.ม. (ตารางที่ 3) วัดความเข้มข้นของก๊าซอีกครั้งเมื่อครบ 24 ชม. ได้ 814 ppm ในวันที่ 2 ชั่วโมงที่ 42 วัดได้ความเข้มข้นของก๊าซฟอสฟิโนได้ 380 ppm แม้ว่าความเข้มข้นจะได้สูงกว่า 350 ppm แต่ยังลดลงค่อนข้างมาก หากไม่เติมอีโคฟุมอาจไม่สามารถคงอยู่ในระดับ 350 ppm ได้จนถึงวันที่ 5 จึงทำการเติมอีโคฟุมอีก 8.87 กรัม/ลบ.ม. เมื่อครบ 48 ชม. วัดความเข้มข้น ได้สูงถึง 1,426 ppm จะเห็นได้ว่าในวันที่ 2 ของการรวมเมื่อเติมอีโคฟุมในอัตราเดิม คือ 490 ppm แต่กลับวัดความเข้มข้นได้สูงเกิน 1,000 ppm ทั้งนี้อาจเกิดขึ้นเนื่องจากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ได้ดูดซับก๊าซฟอสฟิโนไว้มากในวันที่ 1 ทำให้ในวันที่ 2 อัตราการดูดซับก๊าซฟอสฟิโนของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ลดลงอย่างเห็นได้ชัด ดังนั้นการเติมอีโคฟุมในวันที่ 2 ไม่จำเป็นต้องเพิ่มปริมาณเพื่อชดเชยการดูดซับก๊าซของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์สูงถึง 40% อาจกำหนดแค่เพียง

10-20% เพื่อเป็นการประหยัดสารเคมี เมื่อวัดก๊าซวันที่ 3 ชั่วโมงที่ 66 ได้ 598 ppm ซึ่งยังคงสูงอยู่ จึงไม่มีการเติมอีโคฟุม แต่วันที่ 4 ชั่วโมงที่ 90 ความเข้มข้นของก๊าซฟอสฟีนลดต่ำลงเหลือ 432 ppm จึงเติมอีโคฟุมอีกเล็กน้อย 4.24 กรัม/ลบ.ม. เพื่อรักษาระดับความเข้มข้นของก๊าซฟอสฟีน สรุปได้ว่าการรมด้วยสารเคมีอีโคฟุมที่อัตรา 25 กรัม/ลบ.ม. (350 ppm) ระยะเวลา 5 วัน ต้องเติมอีโคฟุมจำนวน 3 ครั้ง

การรมด้วยสารเคมีอีโคฟุมที่อัตรา 50 กรัม/ลบ.ม. (700 ppm) ความเข้มข้นของก๊าซฟอสฟีนที่วัดได้เป็นไปในทิศทางเดียวกับการรมด้วยอีโคฟุมที่ 25 กรัม/ลบ.ม. ดังนั้นจึงเติมอีโคฟุมเพื่อชดเชยการดูดซับก๊าซของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ เพิ่มจากอัตราปกติอีก 40% คิดเป็นความเข้มข้น 980 ppm ($700 + 280 = 980$ ppm) โดยการรมระยะเวลา 4 วัน ต้องเติมอีโคฟุมทั้งหมด 2 ครั้ง ส่วนการรมด้วยสารเคมีอีโคฟุม อัตรา 70 กรัม/ลบ.ม. (1,000 ppm) ก็เช่นเดียวกันโดยจะเติมอีโคฟุมเพื่อชดเชยการดูดซับก๊าซของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ เพิ่มจากอัตราปกติอีก 40% คิดเป็นความเข้มข้น 1,400 ppm ($1,000 + 400 = 1,400$ ppm) โดยทั้งการรมระยะเวลา 3 และ 2 วัน จะเติมอีโคฟุมเพิ่มเพียง 1 ครั้ง

(2.1.4) ความชื้นภายในเมล็ด (Moisture content) ของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

ความชื้นภายในเมล็ดของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ก่อนการรมและหลังการรม พบว่าความชื้นภายในเมล็ดใกล้เคียงกันอยู่ระหว่าง 13.2-13.8%

(2.1.5) อุณหภูมิและความชื้นภายในโรงเก็บ

อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเก็บระหว่างช่วงเวลาที่ทำการรม อยู่ระหว่าง 29.2-35.3 องศาเซลเซียส และ 42.9-66.2% ตามลำดับ

(2.2) การรมข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ด้วยสารเคมีอีโคฟุมอัตราต่างๆ เพื่อกำจัดมอดหนวดยาวสายพันธุ์ที่มีความต้านทานต่อฟอสฟีนมากกว่า 10 เท่าขึ้นไป

(2.2.1) ประสิทธิภาพในการกำจัดมอดหนวดยาวสายพันธุ์ที่มีความต้านทานฟอสฟีนมากกว่า 10 เท่าขึ้นไป

ผลการทดลองในข้อ (2.1) พบว่าแต่ทุกอัตราการรมไม่สามารถกำจัดมอดหนวดยาวสายพันธุ์ที่ต้านทานต่อฟอสฟีนมากกว่า 10 เท่าขึ้นไปได้ทุกระยะการเจริญเติบโต ดังนั้นจึงนำเฉพาะมอดหนวดยาวสายพันธุ์ที่ต้านทานต่อฟอสฟีนมากกว่า 10 เท่าขึ้นไป มาทดสอบต่อโดยเพิ่มอัตราสารเคมีและเพิ่มระยะเวลาในการรมให้นานขึ้น ผลการทดลองพบว่าการรมทุกอัตราพบมอดหนวดยาวรอดชีวิตจำนวนเล็กน้อย เมื่อครบ 6 สัปดาห์นำมอดหนวดยาวตรวจเช็คอีกครั้งเพื่อตรวจเช็คจำนวนแมลงที่เกิดใหม่ และพบว่าการรมด้วยสารเคมีอีโคฟุมอัตรา 50 กรัม/ลบ.ม. (700 ppm) ระยะเวลา 14 วัน และอัตรา 70 กรัม/ลบ.ม. (1,000 ppm) ระยะเวลา 10 วัน พบมอดหนวดยาวที่เกิดใหม่จำนวนเล็กน้อย แต่ที่อัตรา 100 กรัม/ลบ.ม. (1,400 ppm) ระยะเวลา 7 และ 6 วัน ไม่พบมอดหนวดยาวที่เกิดใหม่ (Table 4)

(2.2.2) ประสิทธิภาพการกำจัดแมลงจากตัวอย่างข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่สุ่ม

ก่อนการรมตรวจสอบชนิดและปริมาณการเข้าทำลายของแมลงศัตรูจากตัวอย่างข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่สุ่มมา แมลงศัตรูที่พบเข้าทำลายข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ได้แก่ ตัวงวงข้าวโพด มอดแป้ง มอดหนวดยาว ผีเสื้อ

ข้าวสาร และหาหนังสือ หลังเสร็จสิ้นการตรวจสอบการรอดชีวิตของแมลงจากตัวอย่างข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่
สุ่มมาจากทุกอัตราการรมไม่พบแมลงรอดชีวิต

(2.2.3) การวัดความเข้มข้นของก๊าซฟอสฟีนและปริมาณการเติมสารรมอีโคฟุม

วัดระดับความเข้มข้นของก๊าซฟอสฟีนที่ 1, 18, 24, 42, 48, 66, 72, 90, 96, 144, 162, 168, 186,
192, 210, 216, 234, 240, 258, 264, 282, 288, 306, 312 และ 330 ชั่วโมง โดยระยะเวลาการวัดจะ
ขึ้นอยู่กับระยะเวลาการรมยา โดยระดับความเข้มข้นของก๊าซฟอสฟีนที่วัดได้และปริมาณการเติมสารรมอีโคฟุม
แสดงใน Table 5

การรมด้วยสารรมอีโคฟุมที่อัตรา 50 กรัม/ลบ.ม. (700 ppm) ระยะเวลา 14 วัน หลังใส่อีโคฟุมทิ้งไว้
เพื่อให้ก๊าซกระจายตัวทั่วกองข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ เมื่อครบ 1 ชั่วโมงวัดความเข้มข้นของก๊าซฟอสฟีนได้ 1,610
ppm จากนั้นวัดความเข้มข้นอีกครั้งเมื่อครบ 18 ชม. ได้ 940 ppm ซึ่งความเข้มข้นของก๊าซฟอสฟีนลดลง
อย่างมาก แต่ยังคงสูงกว่า 700 ppm จึงไม่มีการเติมอีโคฟุม และมาเติมอีโคฟุมในวันที่ 2 เมื่อครบ 42 ชั่วโมง
เพื่อชดเชยการดูดซับก๊าซของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ สำหรับการทดลองครั้งนี้กำหนดให้มีการเติมอีโคฟุมจากอัตรา
ปกติเพิ่มอีก 20% คิดเป็นปริมาณอีโคฟุมที่ต้องเติมเท่ากับ 130.0 กรัม/ลบ.ม. ในวันที่ 3 ชั่วโมงที่ 66 เนื่องจาก
ระดับความเข้มข้นของฟอสฟีนยังคงสูงอยู่หลังเติมอีโคฟุม จึงไม่มีการเติมอีโคฟุม ในวันที่ 4 เมื่อครบ 90
ชั่วโมงพบว่าก๊าซฟอสฟีนลดต่ำลง จึงทำการเติมอีโคฟุมอีก 130 กรัม เนื่องจากการทดลองครั้งที่ผ่านมาทำให้
เราทราบว่า การลดลงของก๊าซฟอสฟีนในช่วงวันแรกๆ ของการรมจะลดลงเกือบ 50 % แต่ในวันต่อๆ มาการ
ลดลงของก๊าซฟอสฟีนจะอยู่ในอัตราที่ลดลงมาก ทั้งนี้อาจเกิดขึ้นเนื่องจากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ได้ดูดซับก๊าซฟอส
ฟีนจนกระทั่งเกิดการอิ่มตัว ดังนั้นในวันที่ 7 ของการรมแม้ว่าความเข้มข้นของก๊าซฟอสฟีนอยู่ในระดับ
ใกล้เคียงกับ 700 ppm แต่ไม่มีการเติมอีโคฟุมเพิ่มเติม โดยจะเติมอีโคฟุมอีกครั้งในวันที่ 8 และ 11 ของการ
รมเมื่อความเข้มข้นของก๊าซฟอสฟีนลดลงต่ำกว่า 700 ppm สรุปได้ว่าการรมด้วยสารรมอีโคฟุมที่อัตรา 50
กรัม/ลบ.ม. (700 ppm) ระยะเวลา 14 วัน เติมอีโคฟุมจำนวน 4 ครั้ง ส่วนการรมด้วยสารรมอีโคฟุมที่อัตรา
70 กรัม/ลบ.ม. (1,000 ppm) ระยะเวลา 10 วัน ในวันที่ 1 และ 2 ของการรม ความเข้มข้นของก๊าซฟอสฟีน
ลดลงค่อนข้างมาก จึงต้องเติมอีโคฟุมเพื่อชดเชยการดูดซับก๊าซของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ และการรมในครั้งนี้อาจ
เติมอีโคฟุมจำนวน 4 ครั้ง และการรมด้วยสารรมอีโคฟุม อัตรา 100 กรัม/ลบ.ม. (1,400 ppm) ระยะเวลา 7
วัน จะเติมอีโคฟุมเพื่อชดเชยการดูดซับก๊าซของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ เพิ่มจำนวน 4 ครั้ง ส่วนการรมที่ระยะเวลา
6 วันจะเติมอีโคฟุมเพิ่มจำนวน 3 ครั้ง

(2.2.4) ความชื้นภายในเมล็ด (Moisture content) ของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

ความชื้นภายในเมล็ดของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ก่อนการรมและหลังการรม พบว่าความชื้นภายในเมล็ด
ใกล้เคียงกันอยู่ระหว่าง 12.0-13.0%

(2.2.5) อุณหภูมิและความชื้นภายในโรงเก็บ

อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเก็บระหว่างช่วงเวลาที่ทำการ รม อยู่ระหว่าง 29.8-36.9 องศา
เซลเซียส และ 46.1-65.2% ตามลำดับ

9. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

(1) ในเขตภาคกลาง พบว่ามอดหนวดยาวไม่แสดงความต้านทานต่อสารรมฟอสฟีน 4 แหล่ง ด้านทานต่อฟอสฟีน 1, 7, 20 และ 25 เท่า อย่างละ 1 แหล่ง ด้านทานมากกว่า 10, 13, 60, 70 และ 80 เท่า อย่างละ 1 แหล่ง ด้านทานมากกว่า 20 เท่า 2 แหล่ง ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ พบว่ามอดหนวดยาวทุกแหล่งที่ทดสอบ ด้านทานต่อสารรมฟอสฟีน ด้านทานต่อฟอสฟีน 4, 14 และ 20 เท่า อย่างละ 1 แหล่ง ด้านทานต่อฟอสฟีน 5 เท่า 2 แหล่ง ด้านทานมากกว่า 15, 20, 40 และ 80 เท่า อย่างละ 1 แหล่ง ภาคเหนือ พบว่ามอดหนวดยาว ด้านทานต่อฟอสฟีน 4 และ 5 เท่า อย่างละ 1 แหล่ง และภาคใต้ พบว่ามอดหนวดยาวไม่แสดงความต้านทานต่อสารรมฟอสฟีน 1 แหล่ง และด้านทานต่อฟอสฟีนมากกว่า 20 เท่า 1 แหล่ง

(2) การใช้สารรมอีโคฟุ่มที่อัตรา 25 กรัม/ลบ.ม. (350 ppm) ระยะเวลา 5 วัน อัตรา 50 กรัม/ลบ.ม. (700 ppm) ระยะเวลา 4 วัน และอัตรา 70 กรัม/ลบ.ม. (1,000 ppm) ระยะเวลา 2 และ 3 วัน มีประสิทธิภาพในการกำจัดมอดหนวดยาวสายพันธุ์ที่ไม่ต้านทานต่อฟอสฟีน และสายพันธุ์ที่ต้านทานต่อสารรมฟอสฟีนน้อยกว่า 7 เท่า ได้ทุกระยะการเจริญเติบโตและไม่พบแมลงที่เกิดใหม่ แต่ไม่สามารถกำจัดมอดหนวดยาวสายพันธุ์ที่ต้านทานต่อฟอสฟีนมากกว่า 10 เท่าขึ้นไปได้ทุกระยะการเจริญเติบโต โดยพบแมลงรอดชีวิตและเกิดใหม่

(3) การใช้สารรมอีโคฟุ่มที่อัตรา 50 กรัม/ลบ.ม. (700 ppm) ระยะเวลา 14 วัน และอัตรา 70 กรัม/ลบ.ม. (1,000 ppm) ระยะเวลา 10 วัน อัตรา 100 กรัม/ลบ.ม. (1,400 ppm) ระยะเวลา 7 และ 6 วัน พบมอดหนวดยาวสายพันธุ์ที่ต้านทานต่อฟอสฟีนมากกว่า 10 เท่าขึ้น รอดชีวิตจำนวนเล็กน้อยทุกอัตราการรม และพบว่าที่อัตรา 50 กรัม/ลบ.ม. (700 ppm) ระยะเวลา 14 วัน และอัตรา 70 กรัม/ลบ.ม. (1,000 ppm) ระยะเวลา 10 วัน พบมอดหนวดยาวที่เกิดใหม่จำนวนเล็กน้อย ส่วนที่อัตรา 100 กรัม/ลบ.ม. (1,400 ppm) ระยะเวลา 7 และ 6 วัน ไม่พบมอดหนวดยาวที่เกิดใหม่

10. การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

สามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลในการกำหนดคำแนะนำอัตราการใช้ (dose recommendation) สารรมอีโคฟุ่มเมื่อรมผลิตผลเกษตรเพื่อป้องกันกำจัดมอดหนวดยาวสายพันธุ์ที่ต้านทานต่อสารรมฟอสฟีนได้ นำผลงานวิจัยเผยแพร่ในรูปแบบตำรา สิ่งพิมพ์ การออกรายการโทรทัศน์ เป็นต้น หน่วยที่นำไปใช้ประโยชน์ ได้แก่ เกษตรกร ผู้ประกอบการโรงสี โรงเก็บผลิตผลเกษตร หน่วยงานภาครัฐที่เกี่ยวข้อง ภาคเอกชน ประชาชน นิสิต นักศึกษา

12. เอกสารอ้างอิง

พรทิพย์ วิสารทานนท์ พรรณเพ็ญ ชโยภาส ใจทิพย์ อุไรชื่น รังสิมา เก่งการพานิช กรรณิการ์ เพ็งคุ้ม จิราภรณ์ ทองพันธ์ ดวงสมร สุทธิสุทธิ ลักษณะ ร่มเย็น ภาวินี หนูชนะภัย อัจฉรา เพชรโชติ. 2551. แมลงที่พบในผลิตผลเกษตรและการป้องกันกำจัด. กลุ่มวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว.

สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร กรมวิชาการเกษตร. 170 หน้า.

นิรนาม. 2551. ความเป็นมาของอนุสัญญาเวียนนาและพิธีสารมอนทรีออล. หน้า 17-19. ใน : *คู่มือการฝึกอบรมเรื่อง วิธีการและการใช้สารทดแทนเมทิลโบรไมด์*. สำนักงานบริหารโครงการลดและเลิกใช้สารเมทิลโบรไมด์ในประเทศไทย สำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพฯ.

รังสีมา เก่งการพานิช พรทิพย์ วิสารทนนท์ และดวงสมร สุทธิสุทธิ. 2550. การใช้สารรมฟอสฟีนในการป้องกันกำจัดแมลงศัตรูข้าวโพดเลี้ยงสัตว์หลังการเก็บเกี่ยว. หน้า 79-92. ใน : *รายงานผลงานวิจัยเรื่อง เต็ม ปี 2550*. สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร กรมวิชาการเกษตร.

Table 1 The phosphine resistance level of *Cryptolestes ferrugineus*

No.	Part of Thailand	Province	Resistance level (Time)*
1	Central	Phetchabun 1	Not resistance
2		Kamphaeng Phet	Not resistance

3		Saraburi	Not resistance
4		Uthai Thani 1	Not resistance
5		Phetchabun 2	1
6		Uthai Thani 2	7
7		Sing Buri	20
8		Chai Nat	25
9		Pathum Thani	>10
10		Uthai Thani 3	>13
11		Phichit	>20
12		Ayutthaya	>20
13		Chon Buri	>60
14		Nakhon Sawan 1	>70
15		Nakhon Sawan 2	>80
16	North East	Kalasin 1	4
17		Kalasin 2	5
18		Udon Thani	5
19		Mukdahan	14
20		Khon Kaen	20
21		Sakon Nakhon	>15
22		Buri Ram	>20
23		Nakhon Ratchasima	>40
24		Surin	>80
25	North	Sukhothai	4
26		Phayao	5
27	South	Nakhon Si Thammarat 1	Not resistance
28		Nakhon Si Thammarat 2	>20

*Comparing with discriminating concentration (0.06 mg/L)

Table 2 The survival of insects inside the maize stacks during ECO₂FUME® fumigation with different dosage and exposure times to control the different phosphine-resistant level strains of *Cryptolestes ferrugineus*.

Dosages (g/m ³)	Times (Days)	The number of insects survival (insect) ^{1/}					
		susceptible to phosphine strain		resistant to phosphine less than 7 times strain		resistant to phosphine more than 10 times strain	
		Time after fumigation (week)					
		1	6	1	6	1	6
25 g/m ³ (350 ppm)	5	0.0	0.0	0.0	0.0	91.7	18.3
50 g/m ³ (700 ppm)	4	0.0	0.0	0.0	0.0	78.6	16.5
70 g/m ³ (1,000 ppm)	3	0.0	0.0	0.0	0.0	48.9	19.2
70 g/m ³ (1,000 ppm)	2	0.0	0.0	0.0	0.0	85.8	16.3
Not fumigated (control)	5	1,144.8	435.0	762.4	310.0	348.2	205.1

^{1/}Mean of 3 replications

Table 3 Average phosphine concentrations inside the maize stacks during ECO₂FUME[®] fumigation with different dosage and exposure times to control the phosphine-resistant strains of *Cryptolestes ferrugineus* and the top up volumes of ECO₂FUME.

Dosages (g/m ³)/ The top up volumes of ECO ₂ FUME (g)	Phosphine concentrations (ppm) ^{1/}									
	Day/Hours									
	0	1		2		3		4		5
	1	18	24	42	48	66	72	90	96	114
25 g/m ³ (350 ppm) (5 Days)	527	282	814	380	1426	598	584	432	700	398
The top up volumes of ECO ₂ FUME (g)		15.64		8.87				4.24		
50 g/m ³ (700 ppm) (4 Days)	1,109	593	1,573	872	1,754	990	985	794		
The top up volumes of ECO ₂ FUME (g)		27.00		9.47						
70 g/m ³ (1,000 ppm) (3 Days)	2,000	1,071	1,060	1,298	1,254	1,093				
The top up volumes of ECO ₂ FUME (g)			23.11							
70 g/m ³ (1,000 ppm) (2 Days)	1,968	1,132	1,128	1,182						
The top up volumes of ECO ₂ FUME (g)			16.44							

^{1/}Mean of 3 replications

Table 4 The survival of insects inside the maize stacks during ECO₂FUME[®] fumigation with different dosage and exposure times to control the more than 10 times phosphine-resistant strains of *Cryptolestes ferrugineus*.

Dosages (g/m ³)	Times	The number of insects survival (insect) ^{1/}
-----------------------------	-------	---

	(Days)	Time after fumigation (week)	
		1	6
50 g/m ³ (700 ppm)	14	2.5	2.0
70 g/m ³ (1,000 ppm)	10	2.3	1.0
100 g/m ³ (1,400 ppm)	7	1.0	0.0
100 g/m ³ (1,400 ppm)	6	1.7	0.0
Not fumigated (control)	14	314.8	216.7

¹/Mean of 3 replications

Table 5 Average phosphine concentrations inside the maize stacks during ECO₂FUME[®] fumigation with different dosage and exposure times to control the more than 10 times phosphine-resistant strains of *Cryptolestes ferrugineus* and the top up volumes of ECO₂FUME.

Dosages (g/m ³)/ The top up volumes of ECO ₂ FUME (g)	Phosphine concentrations (ppm) ^{1/}																											
	Day/Hours																											
	0	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		13		14
	1	18	24	42	48	66	72	90	96	114	120	138	144	162	168	186	192	210	216	234	240	258	264	282	288	306	312	330
50 g/m ³ (700 ppm) (14 Days)	1610	940	1181	850	1831	1037	1028	831	1906	984	1046	853	889	769	781	675	699	1057	848	759	773	677	678	893	894	861	809	696
The top up volumes of ECO ₂ FUME (g)				130.0				130.0									90.0						120.0					
70 g/m ³ (1000 ppm) (10 Days)	2000	1214	1934	1265	2000	1396	1395	1138	2000	1451	1553	1309	1311	1142	1192	1024	1064	1489	1150	1051	1064							
The top up volumes of ECO ₂ FUME (g)		143.3		380.0				220.0									96.6											
100 g/m ³ (1400 ppm) (7 Days)	2000	1823	1831	1702	1712	1604	1903	1734	1654	1602	1434	1749	1527	1352	1565													
The top up volumes of ECO ₂ FUME (g)			50.0			110.0					90.0			110														
100 g/m ³ (1400 ppm) (6 Days)	2000	1684	1866	1613	2000	1960	1953	1633	1900	1813	1844	1661	1687															
The top up volumes of ECO ₂ FUME (g)		300.0		210				240																				

¹/Mean of 3 replications