

1. แผนงานวิจัย: การลดความสูญเสียในผลิตผลเกษตรจากศัตรูพืชหลังการเก็บเกี่ยวและสารพิษจากเชื้อรา
2. โครงการวิจัย: การลดความสูญเสียผลิตผลเกษตรจากแมลงศัตรู

กิจกรรม: การใช้สารรมและสารฆ่าแมลงในการป้องกันกำจัดแมลงอย่างเหมาะสม

กิจกรรมย่อย: -

3. ชื่อการทดลอง (ภาษาไทย): อัตราการใช้สารรมฟอสฟีนที่เหมาะสมในโรงเก็บเพื่อกำจัดมอดพินเลื้อย
สายพันธุ์ต้านทาน

ชื่อการทดลอง (ภาษาอังกฤษ): The appropriate dosage phosphine to control phosphine resistance strain of *Oryzaephilus surinamensis* (L.) (Coleoptera, Silvanidae) in warehouse

4. คณะผู้ดำเนินงาน

หัวหน้าการทดลอง: นางสาวดวงสมร สุทธิสุทธิ

กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร

ผู้ร่วมงาน: นางสาวรังสิมา เก่งการพานิช

กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร

นางสาวภาวิณี หนูชนะภัย

กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร

นางสาวพนัญญา พบสุข

กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร

5. บทคัดย่อ

การทดสอบหาระดับความต้านทานต่อสารรมฟอสฟีนของมอดพินเลื้อย (Saw-toothed grain beetle; *Oryzaephilus surinamensis* L. (Coleoptera: Silvanidae)) ได้ทำการสำรวจและเก็บตัวอย่างตัวเต็มวัยของมอดพินเลื้อยจากโรงสีข้าว 25 จังหวัด จำนวน 43 แหล่ง และทดสอบตามกรรมวิธีของ FAO method no. 16 ที่ห้องปฏิบัติการของกลุ่มวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวพืชไร่ กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร ระหว่างตุลาคม 2558-กันยายน 2561 จากการทดสอบพบ มอดพินเลื้อยต้านทานต่อสารรมฟอสฟีนทั้งหมด 41 แหล่ง (คิดเป็น 95.35 เปอร์เซ็นต์) โดยพบมอดพินเลื้อยสร้างความต้านทาน 1- 21 เท่า และมีเพียง 2 แหล่ง (คิดเป็น 4.65 เปอร์เซ็นต์) จากจังหวัดเพชรบูรณ์เท่านั้นที่มอดพินเลื้อยไม่ต้านทานต่อสารรมฟอสฟีน นอกจากนี้ประสิทธิภาพของสารรมฟอสฟีนต่อมอดพินเลื้อยสายพันธุ์อ่อนแอ มอดพินเลื้อยสายพันธุ์ต้านทานที่ 10 และ 20 เท่า (ระยะไข่ หนอน ดักแด้ และตัวเต็มวัย) ได้ดำเนินการทดสอบที่โรงสีโคฉัตรไชยไรซ์มิล จ. สระบุรี โดยวางแผนการทดลองแบบ CRD มี 3 กรรมวิธี 6 ซ้ำ 1) ไม่รมสารรมฟอสฟีน (control) 2) รมด้วยสารรมฟอสฟีน 2 เม็ด/ข้าวสาร 1 ตัน 3) รมด้วยสารรมฟอสฟีน 3 เม็ด/ข้าวสาร 1 ตัน เป็นระยะเวลา 7 วัน จากการทดลองพบว่า สารรมฟอสฟีน 2 และ 3 เม็ด/ข้าวสาร 1 ตัน ระยะเวลา 7 วัน สามารถกำจัดมอดพินเลื้อยสายพันธุ์ต้านทานที่ 10 และ 20 เท่าได้ 100 เปอร์เซ็นต์ในทุกระยะการเจริญเติบโต ดังนั้นสารรมฟอสฟีนอัตรา 2-3 เม็ด/ตัน ยังสามารถใช้กำจัดมอดพินเลื้อยสายพันธุ์ต้านทานจากประเทศไทยได้

คำหลัก: มอดฟันเลื่อย การรวม สารรมฟอสฟีน ความต้านทาน

Abstract

Phosphine resistance of saw-toothed grain beetle; *Oryzaephilus surinamensis* L. (Coleoptera: Silvanidae) was investigated. Adults of *O. surinamensis* were surveyed and collected from rice mill over 43 locations from 25 provinces in Thailand. The populations of *O. surinamensis* were studied following FAO method no.16, under laboratory condition at Postharvest Technology on Field Crops Research and Development Group, Postharvest and Processing Research and Development Division, Department of Agriculture during October 2015 to September 2018. The results found that 41 out of 43 populations of *O. surinamensis* resisted to phosphine (95.35% from the total tested-population). The resistance to phosphine level was 1- 21 times. Only 2 populations of *O. surinamensis* from Phetchabun province were not resistance to phosphine (4.65% from the total tested-population). In additions, the efficacy of phosphine fumigation on susceptible strain and resistance strain 10 and 20 times of *O. surinamensis* (eggs, larvae, pupae and adults) were carried out at Chok Chatchai rice mill, Saraburi province, Thailand. The experiment design was CRD with 3 treatments, 6 replications as following 1) not fumigated with phosphine (control) 2) fumigated with phosphine 2 tablets/1 ton of rice 3) fumigated with phosphine 3 tablets/1 ton of rice which were applied for 7 days. Our studies indicated that 2 and 3 tablets of phosphine and fumigation for 7 days could completely control all stages of *O. surinamensis*. Therefore, phosphine 2-3 tablets/1 ton could be still used to control resistance stains of *O. surinamensis* in Thailand.

Keywords: *Oryzaephilus surinamensis*, fumigant, phosphine, resistance

6. คำนำ

สารรมเป็นสารเคมีที่มีการใช้กันมาอย่างยาวนานและเป็นที่ยอมรับเนื่องจากวิธีการไม่ยุ่งยาก และสะดวกต่อการป้องกันกำจัดแมลงศัตรูหลังการเก็บเกี่ยว โดยสารรมที่ได้รับความนิยมสำหรับการใช้ป้องกันและกำจัดแมลงศัตรูหลังการเก็บเกี่ยว ในปัจจุบันมีอยู่ 2 ชนิด คือ สารรมเมทิลโบรไมด์ (methyl bromide) และ สารรมฟอสฟีน (phosphine: PH_3) แต่สารรมเมทิลโบรไมด์นั้นมิชอบจำกัดในการใช้ เนื่องจากจะมีการยกเลิกไม่ให้ใช้เพื่อกำจัดแมลงศัตรูหลังการเก็บเกี่ยว ตั้งแต่ปี 2558 แต่ยังคงใช้สารรมชนิดนี้สำหรับการส่งออกและการ

กักกันพืชได้เท่านั้น สำหรับสารรมฟอสฟีนเป็นสารรมที่มีประสิทธิภาพ ราคาไม่แพง ไม่มีฤทธิ์ตกค้าง และสะดวกต่อการปฏิบัติ จึงทำให้สารรมชนิดนี้ยังได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย โดยอัตราการใช้สารรมฟอสฟีนตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตรแนะนำอัตรา 2-3 เม็ด (tablets) ต่อตัน หรือ 1-2 เม็ดต่อเนื้อที่ 1 ลูกบาศก์เมตร ระยะเวลาการรม 7 วัน ซึ่งการใช้สารรมต้องปฏิบัติอย่างถูกต้องตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตร เพื่อให้สามารถกำจัดแมลงศัตรูผลิตผลเกษตรได้ทั้งหมด (พรทิพย์ และคณะ 2548) แต่จากการใช้สารรมชนิดนี้ไม่ถูกต้องตามหลักปฏิบัติ ทำให้แมลงศัตรูหลังการเก็บเกี่ยวหลายชนิดจากหลายพื้นที่สร้างความต้านทาน ต่อสารรมฟอสฟีนในหลายๆประเทศเช่น อินเดีย (Rajendran, 1999) ออสเตรเลีย (Nayak *et al.*, 2003) บราซิล (Pimentel *et al.*, 2008) อเมริกา (Opit *et al.*, 2016) รวมถึงประเทศไทย ถึงแม้ว่าจะมีการนำสารรมชนิดอื่นๆเช่น ไฮโดรเจน ไซยาไนด์ (hydrogen cyanide) (Price, 1985) ซัลฟูริลฟลูออไรด์ (sulfuryl fluoride) (Baltaci *et al.*, 2009; Ciesla and Ducom, 2010) เอทิลฟอเมท (ethyl formate) (Ren *et al.*, 2008) และอีโคฟุม (รังสีมา และคณะ, 2558) มาใช้กำจัดแมลงศัตรูหลังการเก็บเกี่ยว แต่สารรมเหล่านี้ก็ไม่ได้ได้รับความนิยมเท่ากับสารรมฟอสฟีน โดยประเทศไทยทางกลุ่มวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวได้มีโครงการร่วมวิจัยกับโครงการลดและเลิกการใช้สารเมทิลโบรไมด์ในประเทศไทย โดยได้รับเงินสนับสนุนโครงการวิจัยจากทาง World Bank (ตั้งแต่ปี 2551-2556) โดยทำการสำรวจและเก็บตัวอย่างแมลงศัตรูหลังการเก็บเกี่ยว 4 ชนิด คือ ตัวงวงข้าวโพด มอดแป้ง มอดหัวป้อมและมอดฟันเลื่อย จากทั่วทุกภาคของประเทศไทยและนำแมลงดังกล่าวมาเลี้ยงขยายพันธุ์และทดสอบความต้านทานตามวิธีการของ FAO method No. 16 (FAO, 1975) จากการทดสอบพบ มอดแป้ง (*Tribolium castaneum*) มอดหัวป้อม (*Rhyzoperta dominica*) และมอดฟันเลื่อย มีความสามารถในการสร้างความต้านทานต่อสารรมฟอสฟีนได้จากทั่วทุกภาคของประเทศไทย และต่อมา ดวงสมร และคณะ (2557) ได้สำรวจมอดฟันเลื่อยจาก 50 แหล่ง พบว่าทุกแหล่งแมลงสร้างความต้านทานต่อสารรมฟอสฟีน ขณะที่ กรรณิการ์ และคณะ (2558) ได้สำรวจความต้านทานต่อสารรมฟอสฟีนในมอดหนวดยาว (*Cryptolestes* spp.) จาก 47 แหล่ง พบว่า มอดหนวดยาวมีความต้านทานสูง 2 แหล่ง จาก 33 แหล่งที่พบว่ามอดหนวดยาวสร้างความต้านทาน นอกจากนี้ ใจทิพย์และคณะ (2558) ได้ศึกษาความต้านทานสารรมฟอสฟีนในมอดแป้งจาก 125 แหล่ง พบมอดแป้งจาก 121 แหล่งมีความต้านทานต่อสารรมฟอสฟีน โดยมี 4 แหล่งที่มีค่า LC_{50} สูง คือมีค่า เท่ากับ 335.76, 255.58, 286.84 และ 724.68 ไมโครกรัม/ลิตร

สำหรับในปี 2560 ได้สำรวจมอดยาสูบจาก 16 แหล่ง และพบมอดยาสูบต้านทานสารรมฟอสฟีน 13 แหล่ง โดยพบต้านทานสารรมฟอสฟีนสูงที่สุดคือ มากกว่า 30 เท่า (รังสีมา และคณะ, 2560) จะเห็นได้ว่ามีแมลงศัตรูผลิตผลเกษตรหลายชนิดที่ต้านทานต่อสารรมฟอสฟีนเพิ่มมากขึ้นในพื้นที่ต่างๆของประเทศไทย แต่เนื่องจากสารรมฟอสฟีนยังคงเป็นสารรมที่ได้รับความนิยมเนื่องจากเป็นสารรมที่มีประสิทธิภาพ วิธีการใช้ไม่ยุ่งยาก ไม่มีพิษตกค้างเหลืออยู่บนผลิตผลเกษตร (หากทำการรมอย่างถูกต้อง) ทำให้มีความจำเป็นที่จะต้องใช้สารรมชนิดนี้ในการป้องกันกำจัดแมลงศัตรูผลิตผลเกษตรถึงแม้แมลงศัตรูหลังการเก็บเกี่ยวบางชนิดสร้างความต้านทานแล้วก็ตาม โดย Collin *et al.*, (2001) พบว่าการเพิ่มความเข้มข้นและระยะเวลาในการรมของฟอสฟีนยังสามารถใช้กำจัดแมลงที่ต้านทานต่อสารรมฟอสฟีนได้ โดยแมลงที่ทดสอบมี 3 ชนิดคือ มอดหัวป้อม ตัวง

งวงข้าว (*Sitophilus oryzae*) และเหาหนังสือ (*Lipocelis bostrychophila*) สำหรับการทดลองครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ที่ต้องการทราบอัตราและระยะเวลาที่เหมาะสมในการใช้สารรมฟอสฟีนในการกำจัดมอดพินเลื้อยที่ต้านทานสารรมฟอสฟีน

7. วิธีดำเนินการ

- อุปกรณ์

1. มอดพินเลื้อย
2. ข้าวสาร ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์
3. สารรมฟอสฟีน aluminium phosphide 56 เปอร์เซ็นต์ ชนิด tablet ของ phostoxin
4. เครื่องวัดสารรมฟอสฟีน (silo chek)
5. โหลแก้วสุญญากาศ (dessicator) ขนาด 22.3 ลิตร
6. กรดซัลฟูริก (H_2SO_4) หลอดแก้วปลายเปิด กรวยแก้ว
7. กระบอกฉีดยา (hamilton gas-tight syring ขนาด 25-1,000 ไมโครลิตร)
8. ขวดแก้ว กระดาษซับ และฟู่กัน
9. ผ้าพลาสติก (tarpaulin) สำหรับรมยา หน้า 0.2 มิลลิเมตร และผ้าปูรองพื้น (floor sheet) หน้า 0.5 มิลลิเมตร
10. ถุงทราย และกระตักกระดาษ

- วิธีการ

1. วิธีทดสอบระดับความต้านทานของสารรมฟอสฟีนของมอดพินเลื้อยในห้องปฏิบัติการ

1.1 การเตรียมมอดพินเลื้อย

สำรวจและรวบรวมมอดพินเลื้อยจากโรงสีข้าวในประเทศไทยนำมาเลี้ยงขยายพันธุ์เพิ่มเติมโดยใช้ข้าวโพดป่น จำนวน 150 กรัม เป็นแหล่งอาหารโดยนับใส่ขวดขวดละ 300 ตัว จำนวนแหล่งละ 2 ขวด ปิดฝาขวดโดยใช้กระดาษซับ พร้อมกับทำการเขียนชื่อโรงสี สถานที่เก็บ วันที่เก็บ และวันที่เลี้ยง โดยเขียนว่าเป็นชุดที่ 1 โดยจะปล่อยให้แมลงวางไข่เป็นเวลา 10 วัน เมื่อครบกำหนดนำมอดพินเลื้อยมาร่อนแยกออกจากอาหาร และย้ายตัวเต็มวัยดังกล่าวมาใส่ขวดอาหารขวดใหม่โดยจะปล่อยให้แมลงวางไข่เป็นเวลา 10 วัน เพื่อใช้ในการทดลองเป็นชุดที่ 2 เมื่อครบกำหนด 10 วันนำมอดพินเลื้อยมาร่อนแยกออกจากอาหาร และย้ายตัวเต็มวัยดังกล่าวมาใส่ขวดอาหารขวดใหม่โดยจะปล่อยให้แมลงวางไข่เป็นเวลา 10 วัน เพื่อใช้ในการทดลองเป็นชุดที่ 3 แต่ในกรณีที่มีมอดพินเลื้อยมีจำนวนไม่พอให้นำแมลงเหล่านั้นเลี้ยงในขวดที่มีอาหารเป็นเวลา 45 วัน จะทำการเลี้ยงให้ได้ชุด F1 เพื่อใช้ในการทดลองเป็นชุดที่ 1 ในกรณีที่ชุด F1 ตัวที่ออกมายังไม่พอสำหรับการเลี้ยงให้เลี้ยงอีกครั้งเป็นเวลา 45 วันจนได้รุ่น F2 เพื่อใช้ในการทดลองเป็นชุดที่ 1

1.2 การเตรียมสารรมฟอสฟีน

เตรียมกรดซัลฟูริก 5 เปอร์เซ็นต์ (น้ำ 4000 มิลลิลิตร และกรดซัลฟูริกจำนวน 200 มิลลิลิตร) ลงใน ปีกเกอร์แก้วขนาด 5000 มิลลิลิตร นำหลอดแก้วปลายเปิดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร ยาว 20 เซนติเมตรนำมายึดติดกับแท่นเหล็ก และเตรียมอลูมิเนียมฟอสไฟด์ 1 เม็ด (tablet) หุ้มโดยกระดาษกรองและ ผ้าขาวบางอีกชั้นหนึ่ง ปิดให้แน่นโดยใช้เทปใสพัน 2 ชั้น ตัดปลายทิ้งเพื่อความเรียบร้อย ใส่อลูมิเนียมฟอสไฟด์ ที่เตรียมลงในสารละลายกรดซัลฟูริก แล้วนำกรวยแก้วครอบอลูมิเนียมฟอสไฟด์ที่เตรียมไว้ ขยับหลอดแก้วให้ ตรงกับกรวยแก้วที่ครอบอลูมิเนียมฟอสไฟด์ โดยจะมีปฏิกิริยาเกิดขึ้นทำให้ได้สารรมฟอสฟีนปล่อยให้สารรม ฟอสฟีนไปแทนที่สารละลายกรดซัลฟูริกซึ่งสารรมฟอสฟีนที่เกิดขึ้นสามารถนำมาใช้ทดลองโดยเปลี่ยนเม็ด อลูมิเนียมฟอสไฟด์ทุกๆ 7 วันเพื่อใช้สำหรับงานทดลอง

1.3 วิธีการทดสอบความต้านทานต่อสารรมฟอสฟีน

ทำการคัดแยกตัวเต็มวัยของมอดฟืนเลื้อยโดยนับแมลงจำนวน 50 ตัวใส่ในกระปุกพลาสติกความจุ 2 ออนซ์ที่เจาะฝาพลาสติกจำนวน 15 รู นำกระปุกพลาสติกที่บรรจุแมลงที่ใช้ทดสอบจำนวน 2 กระปุก ต่อ 1 ความเข้มข้นวางลงในโหลแก้ว (dessicator) หลังจากนั้นทดสอบความต้านทานตามวิธีการของ FAO method no. 16 โดยใช้มอดฟืนเลื้อยพันธุ์อ่อนแอ (susceptible strain) จาก Department of Primary Industries and Fisheries รัฐควีนแลนด์ ประเทศออสเตรเลีย นำมาเปรียบเทียบเป็นมาตรฐาน โดยค่า discriminating concentration ของมอดฟืนเลื้อยค่าเท่ากับ 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร (mg/l) หากทดสอบแล้วความเข้มข้นของ ฟอสฟีนที่ 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร พบแมลงรอดชีวิต ให้เพิ่มความเข้มข้นฟอสฟีนขึ้นครึ่งละ 1 เท่า โดยใช้เข็มฉีดยา (luer syringe) ดูดสารรมฟอสฟีนจากหลอดแก้วปลายเปิดตามอัตราที่กำหนดและใส่ในโหลแก้ว ปล่อยทิ้งไว้ 20 ชั่วโมง แล้วจึงเปิดฝาเพื่อระบายอากาศ หลังจากนั้นนำอาหารมาใส่ให้แมลงทดสอบทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 14 วัน จึงนับตัวเต็มวัยที่ตายและที่รอดชีวิตหากมีแมลงที่รอดชีวิตที่ระดับความเข้มข้นใดใดแม้เพียง ตัวเดียวให้ถือว่าแมลงจากแหล่งนั้นมีความต้านทานต่อสารรมฟอสฟีนที่ระดับนั้น

2. วิธีทดสอบประสิทธิภาพของสารรมฟอสฟีนต่อมอดฟืนเลื้อยสายพันธุ์ต้านทานในสภาพโรงเก็บ

2.1 การเตรียมมอดฟืนเลื้อยสำหรับการทดสอบ

คัดเลือกมอดฟืนเลื้อย 3 สายพันธุ์ ที่ได้ทำการทดสอบหาระดับความต้านทานแล้ว คือ

- 1) มอดฟืนเลื้อยไม่ต้านทานสารรมฟอสฟีน (สายพันธุ์อ่อนแอ)
- 2) มอดฟืนเลื้อยที่ต้านทานสารรมฟอสฟีน 10 เท่า
- 3) มอดฟืนเลื้อยที่ต้านทานสารรมฟอสฟีน 20 เท่า

ทำการเลี้ยงมอดฟืนเลื้อยทั้ง 3 สายพันธุ์ให้ได้ระยะไข่ ระยะตัวอ่อน ระยะดักแด่ และระยะตัวเต็มวัย โดยมีวิธีดังนี้

การเตรียมไข่ สามวันก่อนการทดลองปล่อยตัวเต็มวัยมอดฟืนเลื้อยที่มีอายุน้อยกว่า 14 วัน จำนวน 300 ตัว/ซ้ำ ลงในอาหารสำหรับเลี้ยงแมลง (ข้าวโพดป่น) ซึ่งบรรจุในขวดแก้วขนาด 12x5 ซม. ปิดฝา ขวดด้วยกระดาษขั้วปล่อยทิ้งไว้ 3 วัน เพื่อให้ตัวเต็มวัยวางไข่จากนั้นนำตัวเต็มวัยออก ทำให้ได้ข้าวโพดป่นที่มี ไข่ของมอดฟืนเลื้อยปนอยู่

การเตรียมหนอน ปล่อยมอดฟืนเลื้อยก่อนการทดลอง 15 วัน จำนวน 100 ตัวลงในข้าวโพดป่น

ซึ่งบรรจุในขวดแก้วขนาด 12x5 ซม. ปิดฝาขวดด้วยกระดาษซับปล่อยทิ้งไว้ 3 วัน เพื่อให้ตัวเต็มวัยวางไข่ จากนั้นนำตัวเต็มวัยออก เพื่อให้ได้ระยะหนอนสำหรับการทดลอง

การเตรียมดักแด้ ทำเช่นเดียวกับการเตรียมหนอนแต่ปล่อยมอดฟืนเลื่อยก่อนการทดลอง 22 วัน

การเตรียมตัวเต็มวัย หนึ่งวันก่อนการทดลองปล่อยตัวเต็มวัยที่มีอายุ 0-7 วัน จำนวน 100 ตัว ลงในข้าวโพดป่น 150 กรัม

2.2 การทดสอบมอดฟืนเลื่อยสายพันธุ์ต้านทานกับสารรมฟอสฟีนในสภาพโรงเก็บ

เตรียมทำความสะอาดพื้นที่ที่จะใช้สำหรับการมยา หลังจากนั้นปูผ้ารองพื้น และนำข้าวสารที่บรรจุในถุงจัมโบ้ จำนวนกองละ 1 ตัน วางบนผ้ารองพื้น จำนวน 18 กอง วางขวดเลียงแมลงที่มีมอดฟืนเลื่อยทุกระยะการเจริญเติบโตในกองข้าวสารแล้วจึงคลุมกองด้วยผ้าพลาสติก พับชายผ้าและทับด้วยถุงทรายอีกครั้ง และใส่สารรมฟอสฟีนตามจำนวนที่วางแผนและเปิดกองตามเวลาที่กำหนด โดยตลอดระยะเวลาการมทำการวัดความเข้มข้นของฟอสฟีนในแต่ละกองโดยใช้เครื่องวัดก๊าซฟอสฟีน

นำมอดฟืนเลื่อยที่เลี้ยงได้ทุกระยะการเจริญเติบโตมาทดสอบกับสารรมฟอสฟีนในโรงเก็บโดยวางแผนการทดลองแบบ CRD มี 3 กรรมวิธี 6 ซ้ำ ดังนี้

กรรมวิธีที่ 1 กรรมวิธีควบคุม (ไม่ใช้สารรม)

กรรมวิธีที่ 2 รมมอดฟืนเลื่อยด้วยสารรมฟอสฟีน อัตรา 2 เม็ด (tablets) ระยะเวลา 7 วัน

กรรมวิธีที่ 3 รมมอดฟืนเลื่อยด้วยสารรมฟอสฟีน อัตรา 3 เม็ด (tablets) ระยะเวลา 7 วัน

เมื่อรมเสร็จเรียบร้อยเปิดกองข้าวสารที่ทำการทดสอบเพื่อระบายอากาศ และนำมอดฟืนเลื่อยมาเช็คจำนวนแมลง โดยในระยะตัวเต็มวัยทำการนับจำนวนแมลงที่รอดชีวิตหลังจากการทดสอบ 24 ชั่วโมง สำหรับระยะไข่ ระยะตัวอ่อน และระยะดักแด้ นำมาแมลงที่ผ่านการทดลองมาเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 1 เดือน 3 อาทิตย์ และ 2 อาทิตย์ ตามลำดับ เพื่อบันทึกจำนวนตัวเต็มวัยที่เกิดขึ้น และเก็บข้าวสารดังกล่าวไว้เป็นเวลา 4 อาทิตย์เพื่อบันทึกตัวเต็มวัยรุ่นลูกที่เกิดขึ้นใหม่อีกครั้ง

2.3 การตรวจสอบชนิดและจำนวนแมลงศัตรูหลังการเก็บเกี่ยวก่อนและหลังรมสารรมฟอสฟีนในกองข้าวสาร

สุ่มข้าวสารจำนวน 250 กรัมจากกองข้าวสารกองละ 3 จุดที่ทดสอบทั้งก่อนและหลังการทดสอบเพื่อเช็คชนิดและจำนวนแมลงที่พบในกองข้าวสารที่ทดสอบ พร้อมทั้งวัดความชื้นในเมล็ดข้าวสาร (ก่อนและหลังรมตรวจเช็คความชื้นของข้าวสาร) และวัดอุณหภูมิและความชื้นในโรงเก็บระหว่างทำการทดสอบ

- เวลาและ สถานที่ : ตุลาคม 2558- กันยายน 2561

กลุ่มวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวพืชไร่

กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร

โรงสี โชคฉัตรไชยไรซ์มิล จ. สระบุรี

8. ผลการทดลองและวิจารณ์

8.1 การทดสอบระดับความต้านทานของสารรมฟอสฟีนของมอดฟืนเลื้อยในห้องปฏิบัติการ

จากการสำรวจมอดฟืนเลื้อยจากโรงสีข้าว จาก 25 จังหวัดจำนวน 43 แหล่ง ในประเทศไทย โดยแบ่งเป็น ภาคกลาง ภาคใต้ ภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ พบว่า ภาคกลาง ได้สำรวจมอดฟืนเลื้อย 19 แหล่ง จากจังหวัดต่างๆจำนวน 10 จังหวัด ได้แก่ ชัยนาท กำแพงเพชร ลพบุรี นครปฐม ปทุมธานี พิษณุโลก เพชรบูรณ์ ราชบุรี สิงห์บุรี และสุพรรณบุรี และเมื่อนำมาทดสอบหาความต้านทานของมอดฟืนเลื้อยต่อสารรมฟอสฟีนในห้องปฏิบัติการ พบมอดฟืนเลื้อยไม่ต้านทานต่อสารรมฟอสฟีน 2 แหล่งจากจังหวัดเพชรบูรณ์ ต้านทานสารรมฟอสฟีน 1 เท่า จำนวน 5 แหล่งจากจังหวัด ปทุมธานี พิษณุโลก และสุพรรณบุรี ต้านทานสารรมฟอสฟีน 4 เท่า จำนวน 1 แหล่งจากจังหวัด ลพบุรี ต้านทานสารรมฟอสฟีน 8 เท่า จำนวน 1 แหล่งจาก จังหวัดราชบุรี ต้านทานสารรมฟอสฟีน 9 เท่า จำนวน 1 แหล่งจากจังหวัดเพชรบูรณ์ ต้านทานสารรมฟอสฟีน 11 เท่า จำนวน 2 แหล่งจากจังหวัดชัยนาท และ พิษณุโลก ต้านทานสารรมฟอสฟีน 12 เท่า จำนวน 1 แหล่ง จากจังหวัด กำแพงเพชร ต้านทานสารรมฟอสฟีน 13 เท่า จำนวน 2 แหล่งจากจังหวัดลพบุรีและ สิงห์บุรี ต้านทานสารรมฟอสฟีน 14 เท่า จำนวน 1 แหล่งจากจังหวัด ลพบุรี ต้านทานสารรมฟอสฟีน 15 เท่า จำนวน 1 แหล่งจากจังหวัดปทุมธานี ต้านทานสารรมฟอสฟีน 16 เท่า จำนวน 2 แหล่งจากจังหวัดกำแพงเพชร และ นครปฐม (Table 1)

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ สำรวจมอดฟืนเลื้อย 17 แหล่งจากจังหวัดต่างๆจำนวน 11 จังหวัด ได้แก่ อำนาจเจริญ บุรีรัมย์ กาฬสินธุ์ ขอนแก่น เลย นครราชสีมา หนองบัวลำภู หนองคาย สกลนคร สุรินทร์ และ อุดรธานี จากการทดลองพบว่ามอดฟืนเลื้อยต้านทานต่อสารรมฟอสฟีน 1 เท่าจำนวน 1 แหล่งจากจังหวัด อำนาจเจริญ ต้านทานสารรมฟอสฟีน 7 เท่า จำนวน 1 แหล่งจากจังหวัด กาฬสินธุ์ ต้านทานสารรมฟอสฟีน 10 เท่า จำนวน 2 แหล่งจากจังหวัดกาฬสินธุ์ และนครราชสีมา ต้านทานสารรมฟอสฟีน 12 เท่า จำนวน 1 แหล่งจากจังหวัดหนองบัวลำภู ต้านทาน 14 เท่า 1 แหล่ง คือ กาฬสินธุ์ ต้านทานสารรมฟอสฟีน 15 เท่า จำนวน 7 แหล่งจากจังหวัดบุรีรัมย์ หนองบัวลำภู สุรินทร์ และอุดรธานี ต้านทานสารรมฟอสฟีน 20 เท่า จำนวน 3 แหล่งจากจังหวัดเลย หนองคาย และสกลนคร ต้านทานสารรมฟอสฟีน 21 เท่า จำนวน 1 แหล่ง จากจังหวัดขอนแก่น (Table 2)

ภาคเหนือ สำรวจมอดฟืนเลื้อย 5 แหล่งจากจังหวัดต่างๆจำนวน 3 จังหวัด ได้แก่ ลำปาง พะเยา และ แพร่ พบว่ามอดฟืนเลื้อยต้านทานต่อสารรมฟอสฟีน 1 เท่า และ 3 เท่า จำนวนตัวอย่างละ 1 แหล่งจากจังหวัด ลำปาง ต้านทานสารรมฟอสฟีน 14 เท่า จำนวน 1 แหล่งจากจังหวัดพะเยา ต้านทานสารรมฟอสฟีน 19 เท่า จำนวน 2 แหล่งจากจังหวัดพะเยา และแพร่ (Table 3)

ภาคใต้ สำรวจมอดฟืนเลื้อย 2 แหล่งจาก จังหวัด พัทลุง พบ มอดฟืนเลื้อยต้านทานต่อสารรมฟอสฟีน 18 และ 19 เท่า (Table 4) จากการสำรวจความต้านทานสารรมฟอสฟีนของมอดฟืนเลื้อยจากหลายๆแหล่ง เช่น ประเทศไทย (การทดลองครั้งนี้) อินเดีย (Rajendran, 1999) และ อเมริกา (Hubhachen *et al.*, 2018) พบว่ามอดฟืนเลื้อยสามารถสร้างความต้านทานสารรมฟอสฟีนได้ 95, 92 และ 28 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับจะ

เห็นได้ว่ามอดพื้นเลื้อยจากประเทศไทยและประเทศอินเดียสร้างความต้านทานได้หลายพื้นที่มากกว่าประเทศสหรัฐอเมริกา จากการทดสอบในครั้งนี้นับว่าความต้านทานสารรมฟอสฟีนของมอดพื้นเลื้อยที่พบไม่สูงเท่ากับมอดยาสูบ โดยมอดพื้นเลื้อยพบความต้านทานสูงที่สุดอยู่ที่ 21 เท่าซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับแมลงชนิดอื่น เช่น มอดยาสูบจากจังหวัดเชียงใหม่ พบต้านทานสูงมากกว่า 60 เท่า (รังสิมา และคณะ, 2560) และ Hubhachen *et al.*, (2018) ได้ทดสอบระดับความต้านทานฟอสฟีนของระยะไข่และระยะตัวเต็มวัยของมอดพื้นเลื้อยในประเทศสหรัฐอเมริกา พบความต้านทานฟอสฟีนในระยะตัวเต็มวัยสูงที่สุด 24.3 เท่า ขณะที่ระยะไข่ พบต้านทานต่อสารรมฟอสฟีน 43.6 เท่า ซึ่งค่าที่ได้จะเห็นได้ว่าระยะไข่มีความต้านทานต่อสารรมฟอสฟีนมากกว่าระยะตัวเต็มวัยถึง 3 เท่า โดยกลไกการสร้างความต้านทานสารรมฟอสฟีนของแมลงเกิดขึ้นจากการที่แมลงที่ต้านทานสารรมฟอสฟีนมีการลดอัตราการหายใจทำให้แมลงรับสารรมฟอสฟีนในปริมาณน้อยกว่าแมลงที่ไม่ต้านทานสารรมฟอสฟีน โดย Pimentel *et al.*, (2008) ได้ทำการศึกษาปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในแมลง 4 ชนิด คือมอดแป้ง ดั่งวงวงข้าวโพด มอดหัวป้อม และมอดพื้นเลื้อย พบว่าแมลงที่มีอัตราการหายใจต่ำจะมีเปอร์เซ็นต์การตายต่ำโดยพบว่า มอดหัวป้อม และมอดพื้นเลื้อยเป็นแมลงที่อ่อนแอ (มีอัตราการหายใจสูง) ต่อสารรมฟอสฟีนมากกว่ามอดแป้งและดั่งวงวงข้าวโพด (มีอัตราการหายใจต่ำ)

8.2 วิธีทดสอบประสิทธิภาพของสารรมฟอสฟีนต่อมอดพื้นเลื้อยสายพันธุ์ต้านทานในสภาพโรงเก็บ

จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการได้ทำการคัดเลือกมอดพื้นเลื้อยสายพันธุ์อ่อนแอ มอดพื้นเลื้อยที่ต้านทานสารรมฟอสฟีน 10 เท่า และมอดพื้นเลื้อยที่ต้านทานสารรมฟอสฟีน 20 เท่า และนำมอดพื้นเลื้อยดังกล่าวมาเลี้ยงขยายพันธุ์ให้ได้ทุกระยะการเจริญเติบโต (ระยะไข่ ระยะหนอน ระยะดักแด้ และระยะตัวเต็มวัย) และนำไปทดสอบความต้านทานต่อสารรมฟอสฟีนตามกรรมวิธีที่กำหนดที่โรงสีโชคฉัตรไชยไรซ์มิล จากการทดลองพบว่า มอดพื้นเลื้อยสายพันธุ์อ่อนแอ มอดพื้นเลื้อยสายพันธุ์ต้านทานที่ 10 และ 20 เท่า ที่ผ่านการรมด้วยฟอสฟีน อัตรา 2 และ 3 เม็ด ระยะเวลา 7 วัน (Fig. 1) พบว่า มอดพื้นเลื้อยทุกระยะการเจริญเติบโตไม่มีเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิต (กรรมวิธีที่ 2 และ 3) และพบว่ากรรมในกรรมวิธีที่ 2 และ 3 ไม่พบเปอร์เซ็นต์การรอดของรุ่นลูกเช่นกัน (Table 5) โดยปริมาณสารรมฟอสฟีนที่วัดได้ระหว่างการทดลองไม่ต่ำกว่า 500 ppm (Fig. 2) ดังนั้นการใช้สารรมฟอสฟีนอัตราที่แนะนำจากกรมวิชาการเกษตรยังคงสามารถใช้ป้องกันกำจัดมอดพื้นเลื้อยที่ต้านทานสารรมฟอสฟีน 10 และ 20 เท่าได้ นอกจากนี้สามารถนำสารรมซัลฟูริลฟลูโอไรด์ (Opit *et al.*, 2016) หรือการนำเอาสารรมซัลฟูริลฟลูโอไรด์มาผสมกับสารรมฟอสฟีน มาใช้กำจัดแมลงที่ต้านทานต่อสารรมฟอสฟีนได้ด้วยเช่นกัน (Chandra *et al.*, 2018)

สำหรับการตรวจสอบแมลงที่พบในกองข้าวสารก่อนรมฟอสฟีน พบมอดพื้นเลื้อย มอดแป้ง มอดหนวดยาว ดั่งวงวงข้าวโพด ผีเสื้อข้าวสาร และเหาหนังสือที่มีชีวิต และไม่พบแมลงที่มีชีวิตในข้าวที่สุ่มมาหลังจากการรมฟอสฟีนในกรรมวิธีที่ 2 และ 3 สำหรับความชื้นเมล็ดข้าวก่อนและหลังรมมีค่าเท่ากับ 13.1-13.6 เปอร์เซ็นต์ และอุณหภูมิและความชื้นภายในโรงเก็บระหว่างทดสอบมีอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 28.9-39.5 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์อยู่ระหว่าง 42.17 เปอร์เซ็นต์

9. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

จากการสำรวจมอดพื้นเลื้อยและนำมาทดสอบตามกรรมวิธีของ FAO จำนวน 43 แห่ง พบว่ามีมอดพื้นเลื้อยที่ต้านทานสารรมฟอสฟีน 41 แห่ง คิดเป็น 95.35 เปอร์เซ็นต์ จากจำนวนทั้งหมด มีเพียง 2 แห่ง (4.65 เปอร์เซ็นต์) ที่ไม่ต้านทานสารรมฟอสฟีน แสดงให้เห็นว่ามอดพื้นเลื้อยสร้างความต้านทานต่อสารรมฟอสฟีนเกือบทุกแห่งที่ทำการสำรวจ ถึงแม้ว่าการใช้สารรมฟอสฟีนในอัตราปกติที่กรมวิชาการเกษตรแนะนำยังสามารถกำจัดมอดพื้นเลื้อยที่ต้านทานสารรมฟอสฟีน 20 เท่าได้ แต่ควรที่จะระมัดระวังการใช้สารรมฟอสฟีนให้มีการใช้อย่างถูกวิธี เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดแมลงศัตรูหลังการเก็บเกี่ยวสร้างความต้านทานเพิ่มมากขึ้น ซึ่งจะทำให้สามารถใช้สารรมฟอสฟีนกำจัดแมลงศัตรูผลิตผลเกษตรได้ต่อไปในอนาคต

10. การนำผลงานไปใช้ประโยชน์

- 10.1 ทำให้ทราบถึงระดับความต้านทานต่อสารรมฟอสฟีนของมอดพื้นเลื้อยจากหลายพื้นที่
- 10.2 นักวิชาการและผู้ที่มีสนใจสามารถนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ในการกำจัดมอดพื้นเลื้อยสายพันธุ์ต้านทาน

11. คำขอบคุณ

-

12. เอกสารอ้างอิง

- กรรณิการ์ เฟ็งคุ่ม ใจทิพย์ อุไรชื่น และณัฐวัฒน์ แยมยิ้ม. 2558 การตรวจสอบความต้านทานของมอดหนวดยาว, *Cryptolestes* spp., ต่อสารรมฟอสฟีนในประเทศไทย. ในรายงานผลงานวิจัยเรื่องเต็มประจำ ปี 2558. กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร, กรมวิชาการเกษตร. หน้า. 401-407.
- ใจทิพย์ อุไรชื่น และกรรณิการ์ เฟ็งคุ่ม. 2558. การตรวจสอบความต้านทานของมอดแป้ง (*Tribolium castaneum*) ต่อสารรมฟอสฟีนในรายงานผลงานวิจัยเรื่องเต็มประจำ ปี 2558. กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร, กรมวิชาการเกษตร. หน้า. 496-509.
- ดวงสมร สุทธิสุทธิ รังสิมา เก่งการพานิช และอัจฉรา เพชรโชติ. 2557. ความต้านทานต่อสารรมฟอสฟีนของมอดพื้นเลื้อย: *Oryzaephilus surinamensis* L. ในประเทศไทย. วารสารกีฏวิทยาและสัตววิทยา, 32 (1), หน้า 41-48
- พรทิพย์ วิสารทานนท์ กุสุมา นวลวัฒน์ บุชรา จันท์แก้วมณี ใจทิพย์ อุไรชื่น รังสิมา เก่งการพานิช กรรณิการ์ เฟ็งคุ่ม จิราภรณ์ ทองพันธ์ ดวงสมร สุทธิสุทธิ ลักษณะ ร่มเย็นและภาวิณี หนูชนะภัย. 2548. แมลงที่พบในผลิตผลเกษตรและการป้องกันกำจัด. สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร กรมวิชาการเกษตร. 150 หน้า.
- รังสิมา เก่งการพานิช ดวงสมร สุทธิสุทธิ ภาวิณี หนูชนะภัย และพนัญญา พบสุข. 2558. การใช้สารรม

ECO₂FUME ในการป้องกันกำจัดแมลงศัตรูผลิตผลเกษตร. ในรายงานผลงานวิจัยเรื่องเต็มประจำปี 2558. กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร, กรมวิชาการเกษตร. หน้า. 450-460.

รังสิมา เก่งการพานิช ดวงสมร สุทธิสุทธิ กรรณิการ์ เฟ็งคุ่ม และศรุตดา สิทธิไชยากุล. 2560. การตรวจสอบความต้านทานของมอดยาสูบต่อสารรมฟอสฟีนในประเทศไทย. ในรายงานผลงานวิจัยเรื่องเต็มประจำปี 2560. กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร, กรมวิชาการเกษตร. หน้า. 167-173.

Baltaci, D., Klementz, D., Gerowitt, B., Drinkall, M.J., Reichmuth, C., 2009. Lethal effects of sulfuryl fluoride on eggs of different ages and other life stages of the warehouse moth *Ephestia elutella* (Hübner). *J. Stored Prod. Res.* 45, 19-23.

Chandra, K., Nayak, M.K., Jagadeesan, R., Ebert, P.R., Singarayan, V.T., 2018. Potential of Co-Fumigation with Phosphine (PH₃) and Sulfuryl Fluoride (SO₂F₂) for the Management of Strongly Phosphine-Resistant Insect Pests of Stored Grain. *J. Econ. Entomol.* 111, 2956-2965.

Ciesla, Y., Ducom, P., 2010. Efficacy against eggs of *Tribolium confusum* and *Tribolium castaneum* after fumigations with sulfuryl fluoride (ProFume®) in flour mills, In: Collins, P.J., Darglish, G.J., Nayak, M.K., Ebert, P.R., Schilipalius, D., Chen, W., Hervolkapavic, Tina M Lambkin, Rosemary kopittke, Bridgeman, B.W. 2001. Combating resistance to phosphine in Australia In: Donahaye, E.J., Navarro, S and Leesch J.G. (2001) Proc. Int. Conf. Controlled Atmosphere and Fumigation in Stored Products. Fresno, C.A. 29 Oct.-3 Nov. 2000, Executive Printing Services, Clovis, CA, U.S.A., pp.593-607.

Collins, P.J., Darglish, G.J., Nayak, M.K., Ebert, P.R., Schilipalius, D., Chen, W., Hervolkapavic, Tina, M., Lambkin, Rosemary kopittke, Bridgeman, B.W. 2001. Combating resistance to phosphine in Australia In: Donahaye, E.J., Navarro, S and Leesch J.G. (2001) Proc. Int. Conf. Controlled Atmosphere and Fumigation in Stored Products. Fresno, C.A. 29 Oct.-3 Nov. 2000, Executive Printing Services, Clovis, CA, U.S.A., pp.593-607.

Food and Agriculture Organization, 1975. Tentative method for adults of some major pest

- species of stored cereals with methyl bromide and phosphine, FAO method no. 16. FAO Plant Protection Bulletin 23, 12-25.
- Hubhachen, Z., Opit, G., Gautam, S.G., Konemann, C., Hosoda, E., 2018. Phosphine resistance in saw-toothed grain beetle, *Oryzaephilus surinamensis* (Coleoptera: Silvanidae) in the United States. 12th International Working Conference on Stored Product Protection (IWCSPPX in Berlin, Germany, October 7-11, 2018).
- Nayak, M.K., Collins P.J., Pavic., H., 2003. Developments in phosphine resistance in China and possible implications for Australia. In: E.J. Wright, M.C. Webb and E. Highley, ed., Stored grain in Australia 2003. Proceedings of the Australian Postharvest Technical Conference, Canberra, 25–27 June 2003. pp.156-159.
- Opit, G.P., Thoms, E., Phillips, T.W., Payton, M.E., 2016. Effectiveness of sulfuryl fluoride fumigation for the control of phosphine-resistant grain insects Infesting stored wheat. J. Econ. Entomol. 109, 930-941.
- Pimentel, M.A.G., Faroni, L.R.D.A., Batista, M.D., Silva, F.H.D., 2008. Resistance of stored-product insects to phosphine. Pesquisa Agropecuaria Brasileira. 43, 1671-1676.
- Price, N.R., 1985. The mode of action of fumigants. J. Stored Prod. Res. 21, 157-164.
- Rajendran S., 1999. Phosphine resistance in stored grain insect pest in India In: Jin, Z. Liang, Q. Liang, Y. Tan, X.;Guan, L. (Eds.), Proceedings of the 7th International Working Conference on Stored-Product Protection, Beijing, China., 14-19 October. 635-641.
- Ren, Y., Lee, B., Mahon, D., Xin, N., Head, M., Reid, R., 2008. Fumigation of wheat using liquid ethyl formate plus methyl isothiocyanate in 50-tonne farm bins. J. Econ. Entomol. 101, 623-630.

Table 1 The resistance to phosphine level of *Oryzaephilus surinamensis* L. at Central part of Thailand

Part of Thailand	Sites	Location		Resistance level (times) ^{1/}
		Province	District	
Central	Chai Nat1	Chai Nat	Sankhaburi	11
	Kamphaeng Phet 1	Kamphaeng Phet	Khanu Waralaksaburi	16
	Kamphaeng Phet 2	Kamphaeng Phet	Khanu Waralaksaburi	12
	Lop Buri 1	Lop Buri	Khok Samrong	4
	Lop Buri 2	Lop Buri	Mueang	14
	Lop Buri 3	Lop Buri	Tha Wung	13
	Nakhon Pathom 1	Nakhon Pathom	Mueang	16
	Pathum Thani 1	Pathum Thani	Klong Luang	1

Pathum Thani 2	Pathum Thani	Klong Luang	15
Phitsanulok 1	Phitsanulok	Mueang	11
Phitsanulok 2	Phitsanulok	Phrom Phiram	1
Phetchabun 1	Phetchabun	Nong Phai	9
Phetchabun 2	Phetchabun	Lom Kao	Not resistance
Phetchabun 3	Phetchabun	Mueang	Not resistance
Ratchaburi 1	Ratchaburi	Pak Tho	8
Sing Buri 1	Sing Buri	In Buri	13
Suphan Buri 1	Suphan Buri	Si Prachan	1
Suphan Buri 2	Suphan Buri	Si Prachan	1
Suphan Buri 3	Suphan Buri	Si Prachan	1

^{1/}Comparing with discriminating concentration (0.05 mg/l)

Table 2 The resistance to phosphine level of *Oryzaephilus surinamensis* L. at North-eastern part of Thailand.

Part of Thailand	Sites	Location		Resistance level (times) ^{1/}
		Province	District	
North-eastern	Amnat Charoen 1	Amnat Charoen	Pathum Ratchawongsa	1
	Buri Ram 1	Buri Ram	Mueang	15
	Buri Ram 2	Buri Ram	Mueang	15
	Buri Ram 3	Buri Ram	Mueang	15
	Kalasin 1	Kalasin	Yang Talat	10
	Kalasin 2	Kalasin	Yang Talat	14

Kalasin 3	Kalasin	Yang Talat	7
Khon Kaen 1	Khon Kaen	Ban Phai	21
Loei 1	Loei	Wang Saphung	20
Nakhon Ratchasima1	Nakhon Ratchasima	Sikhio	10
Nong Bua Lam Phu 1	Nong Bua Lam Phu	Mueang	12
Nong Bua Lam Phu 2	Nong Bua Lam Phu	Mueang	15
Nong Khai 1	Nong Khai	Tha Bo	20
Sakon Nakhon 1	Sakon Nakhon	Phang Khon	20
Surin 1	Surin	Mueang	15
Surin 2	Surin	Mueang	15
Udon Thani 1	Udon Thani	Mueang	15

^{1/} Comparing with discriminating concentration (0.05 mg/l)

Table 3 The resistance to phosphine level of *Oryzaephilus surinamensis* L. at Northern part of Thailand.

Part of Thailand	Sites	Location		Resistance level (times) ^{1/}
		Province	District	
Northern part	Lampang	Lampang	Wang Nuea	1
	Lampang	Lampang	Mae Tha	3
	Phayao 1	Phayao	Chiang Kham	19
	Phayao 2	Phayao	Chiang Kham	14

Phrae 1	Phrae	Mueang	19
---------	-------	--------	----

^{1/}Comparing with discriminating concentration (0.05 mg/l)

Table 4 The resistance to phosphine level of *Oryzaephilus surinamensis* L. at Southern part of Thailand.

Part of Thailand	Sites	Location		Resistance level (times) ^{1/}
		Province	District	
Southern	Phatthalung 1	Phatthalung	Khao Chaison	19
	Phatthalung 2	Phatthalung	Mueang	18

^{1/}Comparing with discriminating concentration (0.05 mg/l)

Table 5 Percentage survival of *Oryzaephilus surinamensis* L. (susceptible and resistance strains 10 and 20 times) fumigated with phosphine at 0, 2 and 3 tablets for 7 days

Type of insects	Treatments	% Survival of <i>Oryzaephilus surinamensis</i> ^{1/}				
		Eggs Checked after 4 weeks	Larva Checked after 2 weeks	Pupa Checked after 1 weeks	Adults Checked after 1 day	Adults (F ₁) Checked after 6 weeks (hidden infestation)
susceptible strain	Not fumigated (control)	100	100	100	100	100
	PH ₃ = 2 tablets for 7 days	0	0	0	0	0
	PH ₃ = 3 tablets for 7 days	0	0	0	0	0
resistance strain 10 times	Not fumigated (control)	100	100	100	100	100
	PH ₃ = 2 tablets for 7 days	0	0	0	0	0
	PH ₃ = 3 tablets for 7 days	0	0	0	0	0
resistance strain 20 times	Not fumigated (control)	100	100	100	100	100
	PH ₃ = 2 tablets for 7 days	0	0	0	0	0
	PH ₃ = 3 tablets for 7 days	0	0	0	0	0

^{1/} Mean of 6 replications



Fig. 1 The fumigation method of *Oryzaephilus surinamensis* L. (weak and resistance stains 10 times and 20 times) with phosphine at rice mill.

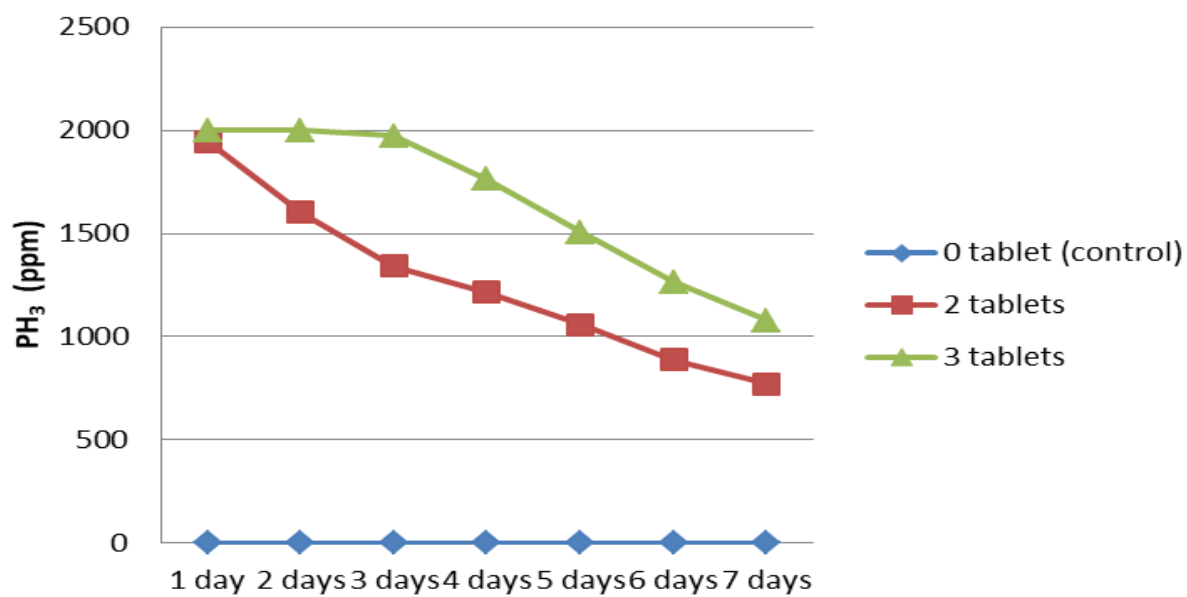


Fig. 2 Average phosphine concentrations (ppm) from 0, 2 and 3 tablets of phosphine inside the rice stacks (1 ton/replication) during fumigation period.