ประสิทธิภาพของสารรมฟอสฟีนในการควบคุมมอดฟันเลื่อยสายพันธุ์ต้านทาน

Efficacy of Phosphine Against Resistant Strains of *Oryzaephilus surinamensis* L. (Coleoptera: Silvanidae)

ดวงสมร สุทธิสุทธิ์[1/] รังสิมา เก่งการพานิช[1/]
ภาวินี หนูชนะภัย[1/] พณัญญา พบสุข[1/] ศรุตา สิทธิไชยากุล[1/]

Duangsamorn Suthisut[1/] Rungsima Kengkanpanich[1/]
Pavinee Noochanapai[1/] Pananya Pobsuk[1/] Saruta Sitthichaiyakul[1/]

Abstract

Phosphine resistance of saw-toothed grain beetle, *Oryzaephilus surinamensis* L. (Coleoptera: Silvanidae) was investigated. Adults *O. surinamensis* were surveyed and collected from 43 rice mills in 25 provinces of Thailand. Resistance levels were evaluated according to the FAO method no.16, under laboratory conditions 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 showed that 41 out of 43 populations of *O. surinamensis* (95.35%) were resisted to phosphine with the resistance level between 2-22 resistant times of the discriminating concentration. Only 2 populations from Amphoe Mueang and Amphoe Lom Kao, Phetchabun province were not resistant to phosphine. In addition, the efficacy of phosphine fumigation against all life stages of susceptible, moderately resistant and highly resistant strains of *O. surinamensis* were carried out under field condition at Saraburi province, Thailand. The experimental design was CRD with 3 treatments and 6 replications as followed: 1) no fumigation (untreated control) 2) fumigated with phosphine 2 tablets/1 ton of rice 3) fumigated with phosphine 3 tablets/1 ton of rice with the fumigation time of 7 days. Our study indicated that fumigation 1 ton of rice for 7 days with 2 and 3 tablets of phosphine could completely control all stages of *O. surinamensis*. Therefore, phosphine at the above-mentioned rates with good practices could still be used to control resistant strains of *O. surinamensis* in Thailand.

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

บทคัดย่อ

ทำการศึกษาระดับความต้านทานต่อสารรมฟอสฟีนของมอดฟันเลื่อย (saw-toothed grain beetle) *Oryzaephilus surinamensis* L. (Coleoptera: Silvanidae) โดยการสำรวจและเก็บตัวอย่างตัวเต็มวัยของมอดฟันเลื่อยจากโรงสีข้าวใน 25 จังหวัด จำนวน 43 แหล่ง และทดสอบตามกรรมวิธีของ FAO method no. 16 ณ ห้องปฏิบัติการกลุ่มวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวพืชไร่ กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร กรมวิชาการเกษตร ระหว่างเดือนตุลาคม 2558 - กันยายน 2561 จากการทดสอบ พบมอดฟันเลื่อยต้านทานต่อสารรมฟอสฟีนทั้งหมด 41 แหล่ง (คิดเป็น 95.35 เปอร์เซ็นต์) โดยมีระดับความต้านทาน

[1/] กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพฯ 10900
[1/] Postharvest and Processing Research and Development Division, Department of Agriculture, Bangkok, 10900

ระหว่าง 2 - 22 เท่า ของ discriminating concentration และมีเพียง 2 แหล่ง จากอำเภอเมือง และอำเภอหล่มเก่า จังหวัดเพชรบูรณ์เท่านั้นที่มอดฟันเลื่อยไม่ต้านทานต่อสารรมฟอสฟีน สำหรับการทดสอบประสิทธิภาพของสารรมฟอสฟีนต่อทุกระยะการเจริญเติบโตของมอดฟันเลื่อยสายพันธุ์อ่อนแอ สายพันธุ์ต้านทานระดับปานกลาง และสายพันธุ์ต้านทานระดับสูงที่เป็นตัวแทนจากแหล่งที่ทดสอบ ได้ดำเนินการในโรงสีข้าวที่ จังหวัดสระบุรี โดยวางแผนการทดลองแบบ CRD มี 3 กรรมวิธี 6 ซ้ำ 1) ไม่รมสารรมฟอสฟีน (untreated control) 2) รมด้วยสารรมฟอสฟีน 2 เม็ด/ข้าวสาร 1 ตัน 3) รมด้วยสารรมฟอสฟีน 3 เม็ด/ข้าวสาร 1 ตัน โดยใช้ระยะเวลาการรม 7 วัน ผลการทดลองพบว่า สารรมฟอสฟีน 2 และ 3 เม็ด/ข้าวสาร 1 ตัน ระยะเวลา 7 วัน สามารถกำจัดมอดฟันเลื่อยสายพันธุ์ต้านทานทั้งหมด 100 เปอร์เซ็นต์ในทุกระยะการเจริญเติบโต ดังนั้นสารรมฟอสฟีนอัตรา 2 - 3 เม็ด/ข้าวสาร 1 ตัน ยังสามารถใช้กำจัดมอดฟันเลื่อยสายพันธุ์ต้านทานในประเทศไทยได้

คำหลัก : มอดฟันเลื่อย การรม สารรมฟอสฟีน ความต้านทาน

คำนำ

สารรมเป็นสารเคมีที่มีการใช้กันมาอย่างยาวนานและเป็นที่นิยมสำหรับใช้ในการป้องกันกำจัดแมลงศัตรูผลิตผลเกษตร (stored-product insects) โดยสารรมที่ได้รับความนิยมสำหรับใช้ป้องกันและกำจัดแมลงศัตรูผลิตผลเกษตรในปัจจุบันมีอยู่ 2 ชนิด คือ สารรมเมทิลโบรไมด์ (methyl bromide) และ สารรมฟอสฟีน (phosphine: PH_3) แต่สารรมเมทิลโบรไมด์นั้นมีข้อจำกัด เนื่องจากยกเลิกการใช้ในการกำจัดแมลงศัตรูผลิตผลเกษตรตั้งแต่ปี 2558 แต่ยังคงอนุญาตให้ใช้สารรมชนิดนี้สำหรับการส่งออกและการกักกันพืชได้เท่านั้น สำหรับสารรมฟอสฟีนเป็นสารรมที่มีประสิทธิภาพราคาไม่แพง ไม่มีฤทธิ์ตกค้าง และสะดวกต่อการปฏิบัติ จึงทำให้สารรมชนิดนี้ยังได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย โดยอัตราการใช้สารรมฟอสฟีนตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตรคือ 2 - 3 เม็ด (tablets) ต่อตัน หรือ 1 - 2 เม็ดต่อเนื้อที่ 1 ลูกบาศก์เมตร ระยะเวลาการรม 7 วัน ซึ่งการใช้สารรรมต้องปฏิบัติอย่างถูกวิธีตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตร เพื่อให้สามารถกำจัดแมลงศัตรูผลิตผลเกษตรได้ทั้งหมด (พรทิพย์และคณะ, 2548) แต่จากการใช้สารรมชนิดนี้ไม่ถูกต้องตามหลักปฏิบัติ (poor fumigation) เช่น 1) การใช้อัตราของสารรมฟอสฟีนที่ไม่ถูกต้องกับปริมาณผลผลิต 2) ระยะเวลาการรมที่ไม่เหมาะสม 3) ผ้าพลาสติกที่มีความหนาน้อยกว่า 0.3 มิลลิเมตร ทำให้แมลงศัตรูผลิตผลเกษตรหลายชนิดสร้างความต้านทานต่อสารรมฟอสฟีนในหลาย ๆ ประเทศ เช่น ประเทศอินเดีย (Rajendran, 1999) ประเทศออสเตรเลีย (Nayak *et al.*, 2003) ประเทศบราซิล (Pimentel *et al.*, 2008) ประเทศสหรัฐอเมริกา (Opit *et al.*, 2016) รวมถึงประเทศไทย ถึงแม้ว่าจะมีการนำสารรมชนิดอื่น ๆ เช่น ไฮโดรเจนไซยาไนด์ (hydrogen cyanide) (Price, 1985) ซัลฟูริลฟลูออไรด์ (sulfuryl fluoride) (Baltaci *et al.*, 2009; Ciesla and Ducom, 2010) เอทิลฟอร์เมต (ethyl formate) (Ren *et al.*, 2008) และอีโคฟูม (eco_2fume) (รังสิมาและคณะ, 2558) มาใช้กำจัดแมลงศัตรูผลิตผลเกษตร แต่สารรมเหล่านี้ก็ไม่ได้รับความนิยมเท่ากับสารรมฟอสฟีน

สำหรับการศึกษาความต้านทานสารรมฟอสฟีนได้มีการศึกษามามากกว่า 20 ปี โดย บุษราและคณะ (2541) ได้สำรวจและรวบรวมแมลงศัตรูผลิตผลเกษตร 3 ชนิด คือ มอดข้าวเปลือก *Rhyzoperta dominica* F. มอดแป้ง *Tribolium castaneum* (Herbst) และด้วงงวงข้าวโพด *Sitophilus zeamais* Motschulsky จากแหล่งที่มีการใช้สารรมฟอสฟีนเป็นประจำ พบว่ามีเพียงมอดข้าวเปลือกจาก 3 แหล่งที่ต้านทานสารรมฟอสฟีน โดยพบความต้านทานสูงที่สุด 3 เท่า ต่อมากลุ่มวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวได้สำรวจและเก็บตัวอย่างแมลงศัตรูผลิตผลเกษตร 4 ชนิด คือ ด้วงงวงข้าวโพด มอดแป้ง มอดข้าวเปลือก และมอดฟันเลื่อย *Oryzaephilus surinamensis* L. จากทั่วทุกภาคของประเทศไทยและนำแมลงดังกล่าวมาเลี้ยงขยายพันธุ์และทดสอบความต้านทานตามวิธีการของ FAO method No. 16 (FAO, 1975) และพบว่า มอดแป้ง มอดหัวป้อม และมอดฟันเลื่อยจากทุกแหล่งสามารถสร้างความต้านทานต่อสารรมฟอสฟีนได้

ดวงสมรและคณะ (2557) ได้สำรวจมอดฟันเลื่อยจาก 50 แหล่ง พบว่ามอดฟันเลื่อยจากทุกแหล่งสามารถสร้างความต้านทานต่อสารรมฟอสฟีน ขณะที่ กรรณิการ์และคณะ (2558) ได้สำรวจความต้านทานต่อสารรมฟอสฟีนในมอดหนวดยาว *Cryptolestes* spp. จาก 47 แหล่ง พบว่ามีมอดหนวดยาวถึง 33 แหล่งที่แสดงความต้านทานโดย 2 ใน 33 แหล่งนั้นจัดว่ามีระดับความต้านทานสูงต่อสารรมฟอสฟีน นอกจากนี้ ใจทิพย์และคณะ (2558) ได้ศึกษาความต้านทานสารรมฟอสฟีนในมอดแป้งจาก 125 แหล่ง พบมอดแป้งจาก 121 แหล่งมีความต้านทานต่อสารรมฟอสฟีน สำหรับในปี 2560 ได้สำรวจมอดยาสูบ *Lasioderma serricorne* (F.) จาก 16 แหล่ง และพบมอดยาสูบต้านทานสารรมฟอสฟีน 13 แหล่ง โดยพบต้านทานสารรมฟอสฟีนสูงที่สุดคือ มากกว่า 30 เท่า (รังสิมาและคณะ, 2560) จะเห็นได้ว่ามีแมลงศัตรูผลิตผลเกษตรหลายชนิดที่ต้านทานต่อสารรมฟอสฟีนเพิ่มมากขึ้นในพื้นที่ต่าง ๆ ของประเทศไทย แต่เนื่องจากสารรมฟอสฟีนยังคงเป็นสารรมที่ได้รับความนิยมเนื่องจากเป็นสารรมที่มีประสิทธิภาพ ทำให้มีความจำเป็นที่จะต้องใช้สารรมชนิดนี้ในการป้องกันกำจัดแมลงศัตรูผลิตผลเกษตร ถึงแม้แมลงศัตรูผลิตผลเกษตรบางชนิดได้สร้างความต้านทานแล้วก็ตาม โดย Collins *et al.* (2001) พบว่าการเพิ่มความเข้มข้นและระยะเวลาในการรมของสารรมฟอสฟีนยังสามารถใช้กำจัดแมลงที่ต้านทานต่อสารรมฟอสฟีนได้ โดยแมลงที่ทดสอบมี 3 ชนิดคือ มอดหัวป้อม ด้วงงวงข้าว *Sitophilus oryzea* L. และเหาหนังสือ *Lipocelis bostrychophila* Badonnel สำหรับการทดลองครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ที่ต้องการทราบอัตราและระยะเวลาที่เหมาะสมในการใช้สารรมฟอสฟีนในการกำจัดมอดฟันเลื่อยที่ต้านทานต่อสารรมฟอสฟีน

อุปกรณ์และวิธีการ

1. การทดสอบระดับความต้านทานต่อสารรมฟอสฟีนของมอดฟันเลื่อยในห้องปฏิบัติการ

1.1 การเตรียมมอดฟันเลื่อยสำหรับทดลอง

สำรวจและรวบรวมมอดฟันเลื่อยจากโรงสีข้าวในประเทศไทย นำมาเลี้ยงเพิ่มปริมาณโดยใช้ข้าวโพดบดหยาบ จำนวน 150 กรัม เป็นแหล่งอาหาร ใส่ตัวเต็มวัยมอดฟันเลื่อยขวดละ 300 ตัว จำนวนแหล่งละ 2 ขวด ใช้กระดาษซับปิดฝาขวด พร้อมเขียนชื่อโรงสี สถานที่เก็บ วันที่เก็บ และวันที่เริ่มเลี้ยง ปล่อยให้แมลงวางไข่เป็นเวลา 10 วัน เมื่อครบกำหนดนำมาร่อนแยกตัวเต็มวัยออก ตัวเต็มวัยที่เกิดขึ้นในขวดอาหารในเวลาต่อมาจัดเป็นแมลงทดสอบชุดที่ 1 ส่วนตัวเต็มวัยเดิมที่แยกออกมา นำไปใส่ในขวดอาหารใหม่ ปล่อยไว้ 10 วันเพื่อเตรียมแมลงทดสอบชุดที่ 2 ต่อไป และเตรียมแมลงทดสอบชุดที่ 3 ด้วยวิธีการเช่นเดิม ในกรณีที่มอดฟันเลื่อยเริ่มต้นมีจำนวนไม่เพียงพอ ให้นำแมลงเหล่านั้นเลี้ยงในขวดที่มีอาหารเป็นเวลา 45 วัน จะทำการเลี้ยงให้ได้รุ่น F1 เพื่อนำไปใช้ในการผลิตแมลงทดสอบชุดที่ 1 ต่อไป ในกรณีที่แมลงในรุ่น F1 มีจำนวนไม่เพียงพอสำหรับการเลี้ยงเพิ่มปริมาณ ให้เลี้ยงอีก 1 รอบวงชีวิตเป็นเวลา 45 วัน จนได้รุ่น F2 เพื่อใช้ในการผลิตชุดที่ 1

1.2 การเตรียมสารรมฟอสฟีน

เตรียมกรดซัลฟิลริกเจือจาง 5 เปอร์เซ็นต์ ในบีกเกอร์แก้วขนาด 5,000 มิลลิลิตร นำหลอดแก้วปลายเปิดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร ยาว 20 เซนติเมตร มายึดติดกับแท่นเหล็กและเตรียมอลูมิเนียมฟอสไฟด์ 1 เม็ด (tablet) หุ้มด้วยกระดาษกรองและผ้าขาวบางอีกชั้นหนึ่ง พันให้แน่นด้วยเทปใส 2 ชั้น ใส่อลูมิเนียมฟอสไฟด์ ที่เตรียมไว้ลงในสารสะลายกรดซัลฟิลริก แล้วนำกรวยแก้วครอบเม็ดอลูมิเนียมฟอสไฟด์ ขยับหลอดแก้วให้ตรงกับกรวยแก้ว เมื่ออลูมิเนียมฟอสไฟด์ทำปฏิกิริยากับกรดซัลฟิลริกจะเกิดสารรมฟอสฟีนลอยขึ้นผ่านกรวยแก้วไปยังหลอดแก้ว ซึ่งสามารถนำมาใช้ในการทดลองต่อไป โดยต้องเปลี่ยนเม็ดอลูมิเนียมฟอสไฟด์ทุก ๆ 7 วัน

1.3 วิธีการทดสอบความต้านทานต่อสารรมฟอสฟีน

นับตัวเต็มวัยของมอดฟันเลื่อยจำนวน 50 ตัว ใส่ในกระปุกพลาสติกความจุ 2 ออนซ์ที่เจาะฝาพลาสติกจำนวน 15 รู นำกระปุกพลาสติกที่บรรจุแมลงที่ใช้ทดสอบจำนวน 2 กระปุก ต่อ 1 ความเข้มข้นวางลงในโหลแก้ว (desiccator) หลังจากนั้นจึงทำการทดสอบความต้านทานตามวิธีการของ FAO method no. 16 โดยใช้มอดฟันเลื่อยจาก Department of Primary Industries and Fisheries รัฐควีนส์แลนด์ ประเทศออสเตรเลีย เป็นสายพันธุ์อ่อนแอ (susceptible strain) ในการเปรียบเทียบ ทั้งนี้ discriminating concentration ของมอดฟันเลื่อยมีค่าเท่ากับ 0.05

มิลลิกรัมต่อลิตร (mg/l) (FAO, 1975) หากทดสอบแล้วพบว่าที่ความเข้มข้นของฟอสฟีนที่ 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร มีแมลงรอดชีวิตให้เพิ่มความเข้มข้นฟอสฟีนขึ้นครั้งละ 1 เท่า โดยใช้เข็มฉีดยา (luer syringe) ดูดสารรมฟอสฟีนจากหลอดแก้วปลายเปิดตามอัตราที่กำหนดและใส่ในโหลแก้ว ปล่อยทิ้งไว้ 20 ชั่วโมง แล้วจึงเปิดฝาเพื่อระบายอากาศ หลังจากนั้นนำอาหารมาใส่ให้แมลงทดสอบทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 14 วัน จึงนับตัวเต็มวัยที่ตายและที่รอดชีวิต หากมีแมลงที่รอดชีวิตที่ระดับความเข้มข้นใดแม้เพียงตัวเดียวให้ถือว่าแมลงจากแหล่งนั้นมีความต้านทานต่อสารรมฟอสฟีนที่ระดับนั้น

2. การทดสอบประสิทธิภาพของสารรมฟอสฟีนต่อมอดฟันเลื่อยในสภาพโรงเก็บ

2.1 การเตรียมมอดฟันเลื่อยสำหรับการทดสอบ

คัดเลือกมอดฟันเลื่อย 3 สายพันธุ์ ที่ได้ทำการทดสอบหาระดับความต้านทานแล้ว คือ

1) มอดฟันเลื่อยไม่ต้านทานสารรมฟอสฟีน (สายพันธุ์อ่อนแอ)

2) มอดฟันเลื่อยที่ต้านทานสารรมฟอสฟีน ระดับปานกลาง (จากตัวอย่างที่ทดสอบ)

3) มอดฟันเลื่อยที่ต้านทานสารรมฟอสฟีน ระดับสูง (จากตัวอย่างที่ทดสอบ)

ทำการเลี้ยงมอดฟันเลื่อยทั้ง 3 สายพันธุ์ให้ได้ระยะไข่ ระยะตัวอ่อน ระยะดักแด้ และระยะตัวเต็มวัย โดยมีวิธีดังนี้

<u>การเตรียมไข่</u> ปล่อยตัวเต็มวัยมอดฟันเลื่อยที่มีอายุน้อยกว่า 14 วัน จำนวน 300 ตัว/ซ้ำ ลงในอาหารสำหรับเลี้ยงแมลง (เมล็ดข้าวโพดบดหยาบ) จำนวน 150 กรัม ซึ่งบรรจุในขวดแก้วเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 5 เซนติเมตร สูง 12 เซนติเมตร ปิดฝาขวดด้วยกระดาษซับปล่อยทิ้งไว้ 3 วัน เพื่อให้ตัวเต็มวัยวางไข่หลังจากนั้นนำตัวเต็มวัยออก เพื่อให้ได้ระยะไข่สำหรับการทดลอง

<u>การเตรียมหนอน</u> ปล่อยมอดฟันเลื่อย จำนวน 100 ตัว ลงในเมล็ดข้าวโพดบดหยาบ จำนวน 150 กรัม ซึ่งบรรจุในขวดแก้วเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 5 เซนติเมตร สูง 12 เซนติเมตร ปิดฝาขวดด้วยกระดาษซับปล่อยทิ้งไว้ 3 วัน เพื่อให้ตัวเต็มวัยวางไข่จากนั้นนำตัวเต็มวัยออก เก็บขวดแก้วพร้อมอาหารและไข่มอดฟันเลื่อยไว้อีก 15 วัน เพื่อให้ได้ระยะหนอนสำหรับการทดลอง

<u>การเตรียมดักแด้</u> ทำเช่นเดียวกับการเตรียมหนอนแต่เก็บเมล็ดข้าวโพดบดหยาบเป็นระยะเวลา 22 วัน

<u>การเตรียมตัวเต็มวัย</u> ปล่อยตัวเต็มวัยที่มีอายุ 0 - 7 วัน จำนวน 100 ตัว ลงในข้าวโพดบดหยาบ จำนวน 150 กรัม ก่อนการทดลอง 1 วัน

2.2 การทดสอบมอดฟันเลื่อยสายพันธุ์ต้านทานกับสารรมฟอสฟีนในสภาพโรงเก็บ

เตรียมทำความสะอาดพื้นที่ที่จะใช้สำหรับการรมยา หลังจากนั้นปูผ้ารองพื้น และนำข้าวสารบรรจุในกระสอบจัมโบ้ กระสอบละ 1 ตัน วางบนผ้ารองพื้น โดยแต่ละกระสอบวางแยกจากกันจำนวนทั้งสิ้น 18 กระสอบ วางขวดเลี้ยงแมลงที่มีมอดฟันเลื่อยทุกระยะการเจริญเติบโตและทุกสายพันธุ์ลงในกระสอบข้าวสาร (Figure 1A) แล้วจึงคลุมแต่ละกระสอบด้วยผ้าพลาสติก พับชายผ้าและทับด้วยถุงทราย หลังจากนั้นจึงเปิดชายผ้าเพื่อใส่สารรมฟอสฟีนตามจำนวนที่วางแผน ปิดให้มิดชิดและเปิดกองตามเวลาที่กำหนด โดยตลอดระยะเวลาการรมทำการวัดความเข้มข้นของฟอสฟีนในแต่ละกองโดยใช้เครื่องวัดก๊าซฟอสฟีน (phosphine fumigation monitor) (Figure 1C, D) วางแผนการทดลองแบบ CRD มี 3 กรรมวิธี 6 ซ้ำ ดังนี้

กรรมวิธีที่ 1 กรรมวิธีควบคุม (ไม่ใช้สารรม)

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

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

A) The insects were put into the jumbo bag

B) Rice samples were taken from each jumbo bag

C) Phosphine fumigation monitor (Silo Chek)

D) The phosphine concentration was checked daily using the Silo Chek

Figure 1 The fumigation method of *Oryzaephilus surinamensis* L. (susceptible and moderately resistant and highly resistant strains) with phosphine at rice mill

เมื่อครบระยะเวลารมเปิดกองข้าวสารที่ทำการทดสอบเพื่อระบายอากาศแล้วนำมอดฟันเลื่อยที่ทดสอบมาตรวจสอบจำนวนแมลง โดยในระยะตัวเต็มวัยนับจำนวนแมลงที่รอดชีวิตหลังจากการทดสอบ 24 ชั่วโมง สำหรับระยะไข่ ระยะตัวอ่อน และระยะดักแด้ นำมาแมลงที่ผ่านการทดสอบมาเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 1 เดือน 3 สัปดาห์ และ 2 สัปดาห์ตามลำดับ เพื่อรอนับจำนวนตัวเต็มวัยที่เกิดขึ้น และเก็บเมล็ดข้าวโพดบดหยาบ (อาหารเลี้ยงแมลง) ไว้เป็นเวลา 4 สัปดาห์เพื่อตรวจนับจำนวนตัวเต็มวัยรุ่นลูกที่อาจเกิดขึ้นใหม่อีกครั้ง

2.3 การตรวจสอบชนิดและจำนวนแมลงศัตรูผลิตผลเกษตรก่อนและหลังรมสารรมฟอสฟีนในกองข้าวสาร

สุ่มเก็บตัวอย่างข้าวสารจำนวน 250 กรัมจากแต่ละกระสอบ กระสอบละ 3 จุด ทั้งก่อนและหลังการทดสอบ (Figure 1B) เพื่อตรวจเช็คชนิดและจำนวนแมลงศัตรูผลิตผลเกษตรชนิดอื่น ๆ ที่อาจพบในกระสอบข้าวสาร พร้อมทั้งวัดความชื้นในเมล็ดข้าวสาร (ก่อนและหลังรม) และบันทึกอุณหภูมิและความชื้นในโรงเก็บระหว่างทำการทดสอบ

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. การทดสอบระดับความต้านทานต่อสารรมฟอสฟีนของมอดฟันเลื่อยในห้องปฏิบัติการ

ผลการสำรวจมอดฟันเลื่อยจากโรงสีข้าวจาก 25 จังหวัดจำนวน 43 แหล่ง ในประเทศไทย โดยในภาคกลาง ได้สำรวจมอดฟันเลื่อย 19 แหล่งจาก 10 จังหวัด ได้แก่ ชัยนาท กำแพงเพชร ลพบุรี นครปฐม ปทุมธานี พิษณุโลก เพชรบูรณ์ ราชบุรี สิงห์บุรี และสุพรรณบุรี และเมื่อนำมาทดสอบหาความต้านทานของมอดฟันเลื่อยต่อสารรมฟอสฟีนในห้องปฏิบัติการ พบมอดฟันเลื่อยไม่ต้านทานต่อสารรมฟอสฟีน 2 แหล่ง จากจังหวัดเพชรบูรณ์ ต้านทานสารรม

ฟอสฟีน 2 เท่า จำนวน 5 แหล่ง จากจังหวัดปทุมธานี พิษณุโลก และสุพรรณบุรี ต้านทานสารรมฟอสฟีน 5 เท่า จำนวน 1 แหล่ง จากจังหวัดลพบุรี ต้านทานสารรมฟอสฟีน 9 เท่า จำนวน 1 แหล่ง จากจังหวัดราชบุรี ต้านทานสารรมฟอสฟีน 10 เท่า จำนวน 1 แหล่ง จากจังหวัดเพชรบูรณ์ ต้านทานสารรมฟอสฟีน 12 เท่า จำนวน 2 แหล่ง จากจังหวัดชัยนาท และพิษณุโลก ต้านทานสารรมฟอสฟีน 13 เท่า จำนวน 1 แหล่ง จากจังหวัดกำแพงเพชร ต้านทานสารรมฟอสฟีน 14 เท่า จำนวน 2 แหล่ง จากจังหวัดลพบุรี และสิงห์บุรี ต้านทานสารรมฟอสฟีน 15 เท่า จำนวน 1 แหล่ง จากจังหวัดลพบุรี ต้านทานสารรมฟอสฟีน 16 เท่า จำนวน 1 แหล่ง จากจังหวัดปทุมธานี ต้านทานสารรมฟอสฟีน 17 เท่า จำนวน 2 แหล่ง จากจังหวัดกำแพงเพชร และนครปฐม (Table 1)

Table 1 Phosphine resistance levels of *Oryzaephilus surinamensis* L. from Central region of Thailand

Region of Thailand	Sites	Location		Resistance level (times)[1/]
		Province	Amphoe	
Central	Chai Nat1	Chai Nat	Sankhaburi	12
	Kamphaeng Phet 1	Kamphaeng Phet	Khanu Waralaksaburi	17
	Kamphaeng Phet 2	Kamphaeng Phet	Khanu Waralaksaburi	13
	Lop Buri 1	Lop Buri	Khok Samrong	5
	Lop Buri 2	Lop Buri	Mueang	15
	Lop Buri 3	Lop Buri	Tha Wung	14
	Nakhon Pathom 1	Nakhon Pathom	Mueang	17
	Pathum Thani 1	Pathum Thani	Klong Luang	2
	Pathum Thani 2	Pathum Thani	Klong Luang	16
	Phitsanulok 1	Phitsanulok	Mueang	12
	Phitsanulok 2	Phitsanulok	Phrom Phiram	2
	Phetchabun 1	Phetchabun	Nong Phai	10
	Phetchabun 2	Phetchabun	Lom Kao	Not resistance
	Phetchabun 3	Phetchabun	Mueang	Not resistance
	Ratchaburi 1	Ratchaburi	Pak Tho	9
	Sing Buri 1	Sing Buri	In Buri	14
	Suphan Buri 1	Suphan Buri	Si Prachan	2
	Suphan Buri 2	Suphan Buri	Si Prachan	2
	Suphan Buri 3	Suphan Buri	Si Prachan	2

[1/] Comparing with discriminating concentration (0.05 mg/l)

ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ทำการสำรวจมอดฟันเลื่อย 17 แหล่ง จาก 11 จังหวัด ได้แก่ อำนาจเจริญ บุรีรัมย์ กาฬสินธุ์ ขอนแก่น เลย นครราชสีมา หนองบัวลำภู หนองคาย สกลนคร สุรินทร์ และอุดรธานี จากการทดลองพบว่า มอดฟันเลื่อยต้านทานต่อสารรมฟอสฟีน 2 เท่า จำนวน 1 แหล่ง จากจังหวัดอำนาจเจริญ ต้านทานสารรมฟอสฟีน 8 เท่า จำนวน 1 แหล่ง จากจังหวัดกาฬสินธุ์ ต้านทานสารรมฟอสฟีน 11 เท่า จำนวน 2 แหล่ง จากจังหวัดกาฬสินธุ์ และนครราชสีมา ต้านทานสารรมฟอสฟีน 13 เท่า จำนวน 1 แหล่ง จากจังหวัดหนองบัวลำภู ต้านทานสารรมฟอสฟีน 15 เท่า 1 แหล่ง จากจังหวัดกาฬสินธุ์ ต้านทานสารรมฟอสฟีน 16 เท่า จำนวน 7 แหล่ง จากจังหวัดบุรีรัมย์ หนองบัวลำภู

สุรินทร์ และอุดรธานี ต้านทานสารรมฟอสฟีน 21 เท่า จำนวน 3 แหล่ง จากจังหวัดเลย หนองคาย และสกลนคร ต้านทานสารรมฟอสฟีน 22 เท่า จำนวน 1 แหล่ง จากจังหวัดขอนแก่น (Table 2)

Table 2 Phosphine resistance levels of *Oryzaephilus surinamensis* L. from Northeastern region of Thailand

Region of Thailand	Sites	Location		Resistance level (times) [1/]
		Province	Amphoe	
Northeastern	Amnat Charoen 1	Amnat Charoen	Pathum Ratchawongsa	2
	Buri Ram 1	Buri Ram	Mueang	16
	Buri Ram 2	Buri Ram	Mueang	16
	Buri Ram 3	Buri Ram	Mueang	16
	Kalasin 1	Kalasin	Yang Talat	11
	Kalasin 2	Kalasin	Yang Talat	15
	Kalasin 3	Kalasin	Yang Talat	8
	Khon Kaen 1	Khon Kaen	Ban Phai	22
	Loei 1	Loei	Wang Saphung	21
	Nakhon Ratchasima1	Nakhon Ratchasima	Sikhio	11
	Nong Bua Lam Phu 1	Nong Bua Lam Phu	Mueang	13
	Nong Bua Lam Phu 2	Nong Bua Lam Phu	Mueang	16
	Nong Khai 1	Nong Khai	Tha Bo	21
	Sakon Nakhon 1	Sakon Nakhon	Phang Khon	21
	Surin 1	Surin	Mueang	16
	Surin 2	Surin	Mueang	16
	Udon Thani 1	Udon Thani	Mueang	16

[1/] Comparing with discriminating concentration (0.05 mg/l)

ในภาคเหนือ ทำการสำรวจมอดฟันเลื่อย 5 แหล่ง จาก 3 จังหวัด ได้แก่ ลำปาง พะเยา และแพร่ พบว่ามอดฟันเลื่อยต้านทานต่อสารรมฟอสฟีน 2 เท่า และ 4 เท่า ระดับละ 1 แหล่ง จากจังหวัดลำปาง ต้านทานสารรมฟอสฟีน 15 เท่า จำนวน 1 แหล่ง จากจังหวัดพะเยา ต้านทานสารรมฟอสฟีน 20 เท่า จำนวน 2 แหล่ง จากจังหวัดพะเยา และแพร่ (Table 3)

Table 3 Phosphine resistance levels of *Oryzaephilus surinamensis* L. from Northern region of Thailand

Region of Thailand	Sites	Location		Resistance level (times) [1/]
		Province	Amphoe	
Northern	Lampang	Lampang	Wang Nuea	2
	Lampang	Lampang	Mae Tha	4
	Phayao 1	Phayao	Chiang Kham	20
	Phayao 2	Phayao	Chiang Kham	15
	Phrae 1	Phrae	Mueang	20

[1/] Comparing with discriminating concentration (0.05 mg/l)

ภาคใต้ ทำการสำรวจมอดฟันเลื่อย 2 แหล่ง จากจังหวัดพัทลุง พบมอดฟันเลื่อยต้านทานต่อสารรมฟอสฟีน 19 และ 20 เท่า (Table 4)

Table 4 Phosphine resistance levels of *Oryzaephilus surinamensis* L. from Southern region of Thailand

Region of Thailand	Sites	Location		Resistance level (times) [1/]
		Province	Amphoe	
Southern	Phatthalung 1	Phatthalung	Khao Chaison	20
	Phatthalung 2	Phatthalung	Mueang	19

[1/] Comparing with discriminating concentration (0.05 mg/l)

รายงานการสำรวจความต้านทานต่อสารรมฟอสฟีนของมอดฟันเลื่อยจากประเทศต่าง ๆ เช่น ประเทศอินเดีย (Rajendran, 1999) และ ประเทศสหรัฐอเมริกา (Hubhachen *et al*., 2018) พบว่ามอดฟันเลื่อยมีความต้านทานต่อสารรมฟอสฟีนได้ 92 และ 28 เปอร์เซ็นต์จากจำนวนแหล่งที่สำรวจทั้งหมดตามลำดับ สำหรับการสำรวจในประเทศไทย พบว่ามอดฟันเลื่อย 95 เปอร์เซ็นต์ จากจำนวนแหล่งทั้งหมดที่สำรวจมีความต้านทานต่อสารรมฟอสฟีน จะเห็นได้ว่ามอดฟันเลื่อยจากประเทศไทยและประเทศอินเดียสร้างความต้านทานได้หลายพื้นที่มากกว่าประเทศสหรัฐอเมริกา อาจเป็นเพราะประเทศสหรัฐอเมริกามีการใช้สารรมฟอสฟีนที่ถูกต้องและเหมาะสม โดยจากการทดสอบในครั้งนี้ พบว่าความต้านทานต่อสารรมฟอสฟีนของมอดฟันเลื่อยที่พบต่ำกว่าของมอดยาสูบ โดยในมอดฟันเลื่อยพบความต้านทานสูงที่สุดอยู่ที่ 22 เท่า ขณะที่ในมอดยาสูบจากจังหวัดเชียงใหม่ พบต้านทานสูงมากกว่า 60 เท่า (รังสิมาและคณะ, 2560) Hubhachen *et al*. (2018) ได้ทดสอบระดับความต้านทานต่อสารรมฟอสฟีนของระยะไข่และระยะตัวเต็มวัยของมอดฟันเลื่อยในประเทศสหรัฐอเมริกา พบว่าในระยะตัวเต็มวัยมีความต้านทานสูงที่สุด 24.3 เท่า ขณะที่ในระยะไข่ พบต้านทานต่อสารรมฟอสฟีน 43.6 เท่า ซึ่งค่าที่ได้จะเห็นได้ว่าระยะไข่มีความต้านทานต่อสารรมฟอสฟีนมากกว่าระยะตัวเต็มวัย โดยกลไกความต้านทานต่อสารรมฟอสฟีนของแมลงเกิดขึ้นจากการที่แมลงลดอัตราการหายใจทำให้แมลงรับสารรมฟอสฟีนในปริมาณน้อยกว่าแมลงที่ไม่ต้านทานต่อสารรมฟอสฟีน

2. การทดสอบประสิทธิภาพของสารรมฟอสฟีนต่อมอดฟันเลื่อยที่ในสภาพโรงเก็บ

คัดเลือกมอดฟันเลื่อยจากการทดสอบในห้องปฏิบัติการ โดยแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม คือสายพันธุ์อ่อนแอ สายพันธุ์ต้านทานระดับปานกลาง และสายพันธุ์ต้านทานระดับสูง นำมาเลี้ยงขยายพันธุ์ให้ได้ทุกระยะการเจริญเติบโต และทดสอบกับสารรมฟอสฟีนในอัตรา 2 และ 3 เม็ดต่อ ข้าวสาร 1 ตัน ระยะเวลารม 7 วัน ที่โรงสีข้าว จ.สระบุรี และระหว่างทดสอบทำการวัดอุณหภูมิและความชื้นภายในโรงเก็บ ซึ่งมีอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 28.9 - 39.5 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์อยู่ระหว่าง 42.1 - 70.7 เปอร์เซ็นต์ จากการทดลองไม่พบการรอดชีวิตของมอดฟันเลื่อยทั้งสายพันธุ์อ่อนแอ สายพันธุ์ต้านทานระดับปานกลาง และสายพันธุ์ต้านทานระดับสูง ในทุกระยะการเจริญเติบโตที่รมด้วยสารรมฟอสฟีน อัตรา 2 และ 3 เม็ด ระยะเวลา 7 วัน นอกจากนี้ยังพบว่าการรมตามกรรมวิธีที่ 2 และ 3 ไม่มีการรอดชีวิตของรุ่นลูกเช่นกัน (Table 5) โดยปริมาณสารรมฟอสฟีนที่วัดได้ระหว่างการทดลองมีค่าไม่ต่ำกว่า 500 ppm (Figure 2) ดังนั้นการใช้สารรมฟอสฟีนอัตราที่แนะนำจากกรมวิชาการเกษตรยังคงสามารถใช้ป้องกันกำจัดมอดฟันเลื่อยที่ต้านทานต่อสารรมฟอสฟีนระดับปานกลาง และระดับสูงได้ หากปฏิบัติถูกต้องตามหลักวิชาการ สำหรับการตรวจสอบแมลงที่พบในกองข้าวสารก่อนรมฟอสฟีน พบมอดฟันเลื่อย มอดแป้ง มอดหนวดยาว ด้วงงวงข้าวโพด ผีเสื้อข้าวสาร และเหาหนังสือที่มีชีวิต และไม่พบแมลงชนิดใดที่มีชีวิตในข้าวที่สุ่มมาหลังจากการรมฟอสฟีนในกรรมวิธีที่ 2 และ 3 สำหรับความชื้นเมล็ดข้าวก่อนและหลังรมมีค่าระหว่าง 13.1 - 13.6 เปอร์เซ็นต์

แม้ว่าการหยุดใช้สารรมฟอสฟีนช่วงระยะเวลาหนึ่งอาจทำให้แมลงสามารถชะลอการสร้างความต้านทานต่อสารรมฟอสฟีนได้ แต่ในทางปฏิบัติไม่สามารถหยุดใช้สารรมได้เป็นระยะเวลานาน ดังนั้น จึงควรนำสารรมชนิดอื่น เช่น สารรมซัลฟูริลฟลูออไรด์ (Opit *et al*., 2016) หรือสารรมซัลฟูริลฟลูออไรด์ผสมกับสารรมฟอสฟีนมาใช้เพื่อกำจัดแมลงที่ต้านทานต่อสารรมฟอสฟีน (Chandra *et al*., 2018)

Table 5 Survival of *Oryzaephilus surinamensis* L. (susceptible, moderately resistant and highly resistant strains) fumigated with phosphine at the rates of 0, 2 and 3 tablets per 1 ton of rice for 7 days

Insects strain	Treatments	% Survival of *Oryzaephilus surinamensis*[1/]				
		Eggs	Larva	Pupa	Adults	Adults (F_1)
		Checked after 4 weeks	Checked after 2 weeks	Checked after 1 weeks	Checked after 1 day	Checked after 6 weeks (hidden infestation)
Susceptible strain	Untreated 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
Moderately resistant strain	Untreated 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
Highly resistance strain	Untreated 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

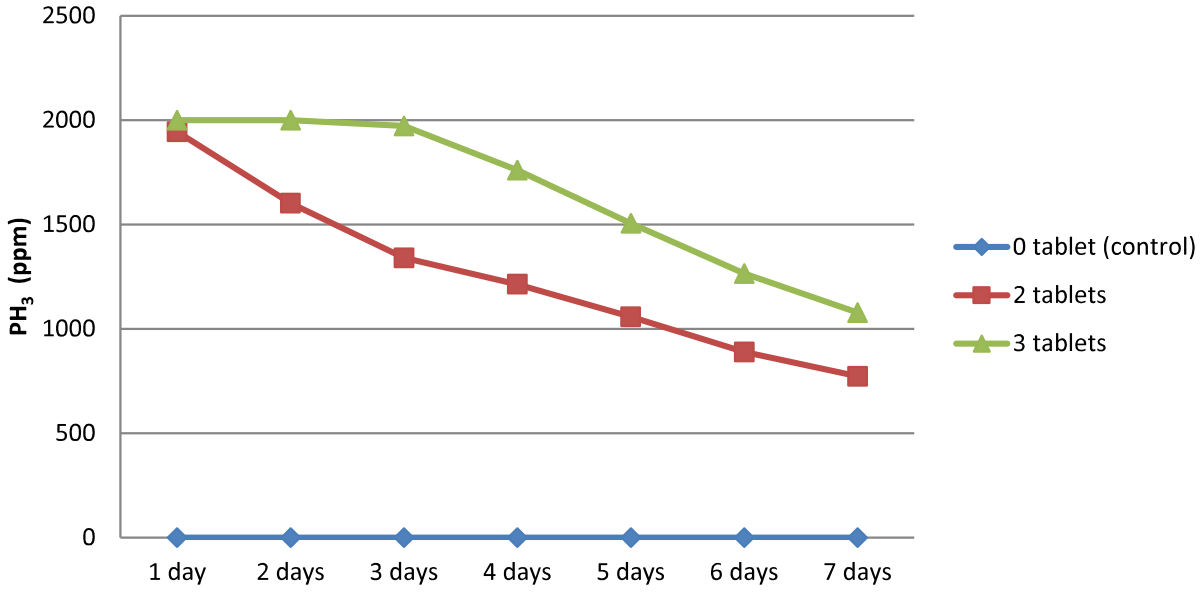

Figure 2 Average phosphine concentrations (ppm) inside the tarpaulin sheet with 1 ton of rice from treatments with 0, 2 and 3 tablets of aluminium phosphine during 7 days of fumigation

สรุปผลการทดลองและคำแนะนำ

จากการสำรวจมอดฟันเลื่อยและนำมาทดสอบตามกรรมวิธีของ FAO จำนวน 43 แหล่ง พบว่ามีมอดฟันเลื่อยที่ต้านทานต่อสารรมฟอสฟีนจำนวน 41 แหล่ง คิดเป็น 95.35 เปอร์เซ็นต์ มีเพียง 2 แหล่งเท่านั้นที่ไม่ต้านทานต่อสารรมฟอสฟีน แต่ผลการทดสอบประสิทธิภาพของสารรมฟอสฟีนในอัตราที่กรมวิชาการเกษตรแนะนำยังสามารถกำจัดมอดฟันเลื่อยที่ต้านทานต่อสารรมฟอสฟีนได้ ดังนั้นผู้ประกอบการจึงควรระมัดระวังในการใช้สารรมฟอสฟีนโดยการปฏิบัติอย่างถูกวิธี เพื่อป้องกันไม่ให้แมลงศัตรูผลิตผลเกษตรสร้างความต้านทานเพิ่มมากขึ้น ซึ่งจะทำให้สามารถใช้สารรมฟอสฟีนกำจัดแมลงศัตรูผลิตผลเกษตรได้ต่อไป

เอกสารอ้างอิง

กรรณิการ์ เพ็งคุ้ม ใจทิพย์ อุไรชื่น และณัฐวัฒน์ แย้มยิ้ม. 2558. การตรวจสอบความต้านทานของมอดหนวดยาว, *Cryptolestes* spp., ต่อสารรมฟอสฟีนในประเทศไทย. หน้า 401-407. *ใน: รายงานผลงานวิจัยเรื่องเต็มประจำปี 2558.* กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร กรมวิชาการเกษตร.

ใจทิพย์ อุไรชื่น และกรรณิการ์ เพ็งคุ้ม. 2558. การตรวจสอบความต้านทานของมอดแป้ง (*Tribolium castaneum*) ต่อสารรมฟอสฟีน. หน้า. 496-509. *ใน: รายงานผลงานวิจัยเรื่องเต็มประจำ ปี 2558.* กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร กรมวิชาการเกษตร.

ดวงสมร สุทธิสุทธิ์ รังสิมา เก่งการพานิช และอัจฉรา เพชรโชติ. 2557. ความต้านทานต่อสารรมฟอสฟีนของมอดฟันเลื่อย: *Oryzaephilus surinamensis* L. ในประเทศไทย. *วารสารกีฏและสัตววิทยา* 32(1): 41-48.

บุษรา พรหมสถิต ชูวิทย์ ศุขปราการ และพรทิพย์ วิสารทานนท์. 2541. การศึกษาความต้านทานของแมลงศัตรูผลิตผลเกษตรต่อสารรมฟอสฟีน. *วารสารกีฏและสัตววิทยา* 20(3): 176-183.

พรทิพย์ วิสารทานนท์ กุสุมา นวลวัฒน์ บุษรา จันทร์แก้วมณี ใจทิพย์ อุไรชื่น รังสิมา เก่งการพานิช กรรณิการ์ เพ็งคุ้ม จิราภรณ์ ทองพันธ์ ดวงสมร สุทธิสุทธิ์ ลักขณา ร่มเย็น และภาวิณี หนูชนะภัย. 2548. *แมลงที่พบในผลิตผลเกษตรและการป้องกันกำจัด*. สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพฯ. 150 หน้า.

รังสิมา เก่งการพานิช ดวงสมร สุทธิสุทธิ์ ภาวินี หนูชนะภัย และพณัญญา พบสุข. 2558. การใช้สารรม ECO_2FUME ในการป้องกันกำจัดแมลงศัตรูผลิตผลเกษตร. หน้า 450-460. *ใน: รายงานผลงานวิจัยเรื่องเต็มประจำ ปี 2558.* กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร กรมวิชาการเกษตร.

รังสิมา เก่งการพานิช ดวงสมร สุทธิสุทธิ์ กรรณิการ์ เพ็งคุ้ม และศรุตา สิทธิไชยากุล. 2560. การตรวจสอบความต้านทานของมอดยาสูบต่อสารรมฟอสฟีนในประเทศไทย. หน้า 167-173. *ใน: รายงานผลงานวิจัยเรื่องเต็มประจำ ปี 2560*. กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร กรมวิชาการเกษตร.

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

Chandra, K; M.K. Nayak; R. Jagadeesan; P.R. Ebert and V.T. Singarayan. 2018. Potential of co-fumigation with phosphine (PH_3) and sulfuryl fluoride (SO_2F_2) for the management of strongly phosphine-resistant insect pests of stored grain. *Journal of Economic Entomology* 111: 2956-2965.

Ciesla, Y. and P. Ducom. 2010. Efficacy against eggs of *Tribolium confusum* and *Tribolium castaneum* after fumigations with sulfuryl fluoride (ProFume®) in flour mills. Pages 48-51. *In*: *International European Symposium on Stored Product Protection "Stress on chemical products"* May 25 - 26, 2009 Berlin.

Collins, P.J; G.J. Daglish; M.K. Nayak; P.R. Ebert; D. Schlipalius; W. Chen; H. Pavic; T.M. Lambkin; R. Kopittke and B.W. Bridgeman. 2001. Combating resistance to phosphine in Australia. Pages 593-607. *In: Proceedings of the International Conference on Controlled Atmosphere and Fumigation in Stored Products* October 29 - November 3, 2000. USA.

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; G. Opit; S.G. Gautam; C. Konemann and E. Hosoda. 2018. Phosphine resistance in saw-toothed grain beetle, *Oryzaephilus surinamensis* (Coleoptera: Silvanidae) in the United States. Pages 635-642. *In: 12th Proceedings of International Working Conference on Stored-Product Protection (IWCSPP)* October 7 - 11, 2018. Germany.

Nayak, M.K; P.J. Collins; H. Pavic and Y. Cao. 2003. Developments in phosphine resistance in China and possible implications for Australia. Pages 156-159. *In: Proceedings of the Australian Postharvest Technical Conference* June 25-27, 2003. Australia.

Opit, G.P; E. Thoms; T.W. Phillips and M.E. Payton. 2016. Effectiveness of sulfuryl fluoride fumigation for the control of phosphine-resistant grain insects infesting stored wheat. *Journal of Economic Entomology* 109: 930-941.

Pimentel, M.A.G; L.R.D.A. Faroni; M.D. Batista and F.H.D. Silva. 2008. Resistance of stored-product insects to phosphine. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira* 43: 1671-1676.

Price, N.R. 1985. The mode of action of fumigants. *Journal of Stored Products Research* 21: 157-164.

Rajendran, S. 1999. Phosphine resistance in stored grain insect pest in India. Pages 635-641. *In*: *7th Proceedings of International Working Conference on Stored-Product Protection* October 14 – 19, 1998. China.

Ren, Y.; B. Lee; D. Mahon; N. Xin; M. Head and R. Reid. 2008. Fumigation of wheat using liquid ethyl formate plus methyl isothiocyanate in 50-tonne farm bins. *Journal of Economic Entomology* 101: 623-630.