

strains with susceptible ($RR \leq 1$), 4 strains with low resistance levels (RR between 1.540039063-15.65332031 times), 2 strains with moderate resistance levels (RR were between 273.0263672-410.3515625 times), and 2 strains with high resistance levels (RR is between 13577.38281-4.9563E+28 times). After that 5 difference level strains of flat grain beetle were chosen to test efficacy of fumigation in 1 ton storage condition. The results showed that susceptible and low resistance strains of flat grain beetle could be controlled with 2 tablets phosphine per 1 ton of milled rice on 7 days of fumigation period. While the moderately resistance strain could be controlled with 2 tablets phosphine per 1 ton of milled rice on 14 days of fumigation period or 3 tablets per ton with 7 days fumigation period. For the highly resistant strain beetle, it must used phosphine at a dose of 5 tablets per 1 ton of milled rice on fumigation period of 7 days. For the good effective use of phosphine, it should be known level of insect resistance for selecting the appropriate phosphine dose to control all of flat grain beetle and combining with the elimination of environmental insects at the same time to prevent the repeated destruction of insects.

6. คำนำ

การป้องกันกำจัดแมลงศัตรูผลิตผลเกษตรโดยการใช้สารรมฟอสฟีนเป็นวิธีการที่นิยมกันอย่างกว้างขวางมากกว่า 40 ปีที่มีการนำสารรมฟอสฟีนมาใช้เพื่อการทำกำจัดแมลงศัตรูในผลิตผลเกษตรชนิดต่าง ๆ ในประเทศออสเตรเลียและหลายประเทศในอาเซียนพบว่า 70-80% ของเมล็ดที่เก็บเกี่ยวได้ถูกรุมด้วยสารรมฟอสฟีน (Daglish and Bengston, 1998) ซึ่งในประเทศไทยก็เช่นกัน การรมที่ล้มเหลวไม่สามารถกำจัดแมลงได้ทั้งหมดเกิดจากหลายสาเหตุ เช่น ฝาพลาสติกรั่ว ใช้อัตราฟอสฟีนน้อยเกินไป หรือใช้ระยะเวลาในการรมสั้นเกินไป ทำให้แมลงตายไม่หมด และแมลงที่รอดชีวิตสามารถสร้างความต้านทานต่อสารรมชนิดนี้ได้ ปัจจุบันมีรายงานการสร้าง ความต้านทานต่อสารรมฟอสฟีนของมอดหนวดยาวในหลายพื้นที่ เช่น ในสหรัฐอเมริกาเริ่มพบความต้านทานของแมลงในโรงเก็บตั้งแต่ปี 1980 และในปี 2014 ได้มีการศึกษาระดับความต้านต่อสารรมฟอสฟีนของมอดหนวดยาว (*Cryptolestes ferrugineus*) ในโรงเก็บเมล็ดข้าวสาลีในรัฐโอคลาโฮมา สหรัฐอเมริกา รายงาน พบความต้านทานสูงสุดถึง 133.5 เท่าเมื่อเปรียบเทียบกับสายพันธุ์อ่อนแอ (Konemann et al. 2014) ในปี 2010 ออสเตรเลีย รายงานพบมอดหนวดยาว (*C. ferrugineus*) สร้างความต้านทานต่อสารรมฟอสฟีนสูงมากจากการศึกษาในห้องปฏิบัติการ ที่ระดับความเข้มข้นของฟอสฟีน 0.5 mg/L และ 1.0 mg/L ต้องใช้ระยะเวลาในการรมสูงถึง 30 และ 24 วันตามลำดับ ขณะที่สายพันธุ์อ่อนแอใช้เวลาการรมเพียง 20 ชั่วโมงเท่านั้น (Nayak et al., 2010) และ ยังพบว่ามอดหนวดยาวเป็นแมลงที่สร้างความต้านทานต่อสารรมฟอสฟีนสูงที่สุดในกลุ่มแมลงศัตรูในโรงเก็บโดยพบระดับความต้านทาน 1450 เท่า (Nayak et al., 2013) ในประเทศไทยได้มีการตรวจสอบความต้านทานต่อสารรมฟอสฟีนของแมลงศัตรูผลิตผลเกษตรไปแล้วหลายชนิด ได้แก่ ตัวงวงข้าวโพด มอดหัวป้อม มอดหนวดยาว มอดพื้นเลื้อย และมอดแป้ง จากผลการตรวจสอบพบว่าแมลงศัตรูผลิตผลเกษตรทุกชนิดยกเว้น ตัวงวงข้าวโพด

สำหรับมอดหนวดยาวพบผลการสุ่มเก็บตัวอย่างมอดหนวดยาวจากโรงสีและโรงเก็บข้าวโพดในปี 2556-2558 จำนวน 47 แห่ง จากทั้ง 4 ภาค 22 จังหวัด ผลการทดสอบพบมอดหนวดยาวด้านทาน 33 แห่ง หรือ 70 เปอร์เซ็นต์ โดยพบมอดหนวดยาวสายพันธุ์ด้านทานกระจายตัวในทุกภาค และจากสายพันธุ์ด้านทานพบมีมอดหนวดยาวที่แสดงความต้านทานรุนแรงเพียง 2 แห่ง (กรรณิการ์ และคณะ, 2559)

ข้อมูลการสร้างความต้านทานของแมลงมีความสำคัญต่อการบริหารการใช้สารรมอย่างมาก ถ้าแมลงศัตรูในโรงเก็บชนิดใด หรือในพื้นที่ใดมีความต้านทานต่อสารรมในระดับสูงจะทำให้สารรมนั้นไม่มีประสิทธิภาพในการกำจัดแมลงอีกต่อไป อย่างไรก็ตามสารรมฟอสฟีนก็ยังเป็นสารรมที่จำเป็นและสำคัญอย่างมากสำหรับการกำจัดแมลงศัตรูในโรงเก็บของประเทศไทย เนื่องจากยังไม่มีสารรมชนิดใดที่ใช้ง่าย และราคาถูกเท่ากับฟอสฟีน ซึ่งอัตราการใช้สารรมฟอสฟีนตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตรแนะนำไว้ว่า ต้องใช้อัตรา 2-3 เม็ด (tablets) ต่อตัน หรือ 1-2 เม็ดต่อเนื้อที่ 1 ลูกบาศก์เมตร โดยระยะเวลาการรม 7 วัน ซึ่งการรมยาจะต้องปฏิบัติอย่างถูกวิธีตามคำแนะนำ เพื่อให้สามารถกำจัดแมลงตายทั้งหมด (พรทิพย์ และคณะ 2548) แต่เนื่องจากยังไม่มีสารรมที่สามารถใช้ทดแทนฟอสฟีนทำให้มีความจำเป็นที่จะต้องใช้อัตราและระยะเวลาที่เหมาะสมในการป้องกันกำจัดแมลงศัตรูผลิตผลเกษตรถึงแม้แมลงบางชนิดสร้างความต้านทานแล้วก็ตาม Collin และคณะ (2000) พบว่าการเพิ่มความเข้มข้นและระยะเวลาในการรมของฟอสฟีนสามารถกำจัดแมลงที่ต้านทานต่อสารรมฟอสฟีนได้ โดยแมลงทั้ง 3 ชนิดคือ มอดหัวป้อม (*Rhyzoperta dominica*) ตัวงวงข้าว (*Sitophilus oryzae*) และเหาหนังสือ (*Lipocelis bostrychophila*) ดังนั้นจึงควรทำการศึกษาเพื่อหาอัตราและระยะเวลาที่เหมาะสมของการรมด้วยสารรมฟอสฟีนในการกำจัดมอดหนวดยาวเพื่อแนะนำในแหล่งที่แมลงมีความต้านทาน

7. วิธีดำเนินการ

7.1 การคัดเลือกมอดหนวดยาวสายพันธุ์ด้านทาน

คัดเลือกแมลงสายพันธุ์ด้านทานที่มีระดับความต้านทานต่างๆ โดยการนำจากข้อมูลการตรวจสอบสายพันธุ์ด้านทานของมอดหนวดยาวปี 2556-2558 (กรรณิการ์ และคณะ, 2559) นำแมลงที่คัดเลือกมาทดสอบ ระดับความต้านทานตามวิธีการของ FAO (FAO Method No. 16) (Anonymous, 1975) เพื่อแบ่งระดับแมลงตามความต้านทานต่อสารรมจำนวน 4 ระดับ คือ

- ไม่ต้านทาน คือแมลงมีอัตราความต้านทานเท่ากับ 1
- ระดับความต้านทานต่ำ คือแมลงมีอัตราความต้านทานระหว่าง 2-100 เท่า
- ระดับความต้านทานปานกลาง คือแมลงมีอัตราความต้านทานระหว่าง 101-500 เท่า
- ระดับความต้านทานสูง คือแมลงมีอัตราความต้านทานสูงกว่า 500 เท่า

วิธีทดลอง

1. สุ่มและเก็บตัวอย่างมอดหนวดยาว จากแหล่งที่คัดเลือกแล้วมาเลี้ยงขยายพันธุ์ในห้องปฏิบัติการ
2. การเลี้ยงขยายพันธุ์แมลงสำหรับทดสอบโดยใช้อาหารสูตรแป้งสาลี 300 กรัม ข้าวบาร์เลย์ป่น 300 กรัม ข้าวโพดป่น 150 กรัม จมูกข้าวสาลี 45 กรัม ยีสต์ 5 กรัม ปล่อยตัวเต็มวัยมอดหนวดยาวอายุ 1 สัปดาห์

จำนวน 300 ตัว ลงในอาหาร 300 กรัม หลังจากนั้น 1 สัปดาห์ เอาตัวออกจากอาหารให้หมด นำอาหารที่มีไข่แมลงเลี้ยงต่อในห้องเลี้ยงแมลง ที่อุณหภูมิห้อง ที่ไว้จนแมลงเข้าสู่ระยะตัวเต็มวัย จึงนำมาใช้ในการทดสอบต่อไป

3. นับแมลงตัวเต็มวัยใส่ในถ้วยพลาสติกใสจำนวน 50 ตัวต่อถ้วยต่อซ้ำ ปิดด้วยฝาเจาะรู นำใส่ใน desiccator ปิดฝา

4. ใส่สารฟอสฟีนอัตราเริ่มต้นที่ discriminating dose คือ 0.06 และเพิ่มอัตราที่ละ 1 เท่า ไปเรื่อยๆ จนกว่าแมลงในสายพันธุ์นั้นจะตายทั้งหมด และใช้ระยะเวลาการรม 20 ชั่วโมง เปิดฝา desiccator ปล่อยให้ระบายอากาศประมาณ 2-3 ชั่วโมง จากนั้นกระปุกกระปุกมอดหนวดยาวออกจาก desiccator ใส่อาหารเล็กน้อยนำไปเลี้ยงต่อในตู้เลี้ยงแมลงอีก 14 วันจึงทำการตรวจสอบผลการทดลอง

5. นำข้อมูลมาวิเคราะห์ค่า Probit หาค่า LC_{50} นำมาคำนวณหาอัตราความต้านทาน (resistance ratio) ของแมลงหลังจากการรมด้วยฟอสฟีน ตามกรรมวิธีของ Salehi et al. (2016)

$$\text{Resistance ratio (RR)} = \text{LD}_{50} \text{ of field strains} / \text{LD}_{50} \text{ of Susceptible strain}$$

โดย ถ้าค่า RR มากกว่า 1 ถือว่าต้านทาน ถ้าค่า RR น้อยกว่าหรือเท่ากับ 1 ถือว่าอ่อนแอ

การทดสอบระดับความเข้มข้นและระยะเวลาที่เหมาะสมของการรมฟอสฟีนต่อมอดหนวดยาวสายพันธุ์ต้านทานในสภาพโรงเก็บ

วางแผนการทดลอง

การทดลองครั้งที่ 1

วางแผนการทดลองแบบ CRD มี 3 ซ้ำ 10 กรรมวิธี ได้แก่

1. อัตราสารรมฟอสฟีน 5 อัตรา คือ 0 2 3 5 และ 7 เม็ดต่อ 1 ตันข้าวสาร (tablets/ตัน)
2. ระยะเวลาที่ใช้รม 2 ระยะ คือ 7 และ 14 วัน

โดยทดสอบกับแมลง 5 strains คือแมลงสายพันธุ์อ่อนแอ 2 สายพันธุ์ ต้านทานต่ำ 1 สายพันธุ์ ต้านทานปานกลาง 1 สายพันธุ์ และต้านทานสูง 1 สายพันธุ์

การทดลองครั้งที่ 2

วางแผนการทดลองแบบ CRD มี 3 ซ้ำ 9 กรรมวิธี ได้แก่

1. อัตราสารรมฟอสฟีน 3 อัตรา คือ 0, 3, และ 4 เม็ดต่อ 1 ตันข้าวสาร (tablets/ตัน)
2. ระยะเวลาที่ใช้รม 3 ระยะ คือ 7 10 และ 14 วัน

โดยทดสอบกับแมลง 2 strains คือแมลงสายพันธุ์อ่อนแอ และสายพันธุ์ต้านทานสูง

วิธีทดลอง

1. การเลี้ยงขยายพันธุ์แมลงสำหรับทดสอบ

- ระยะดักแด้ ปล่อยให้ตัวเต็มวัยมอดหนวดยาวอายุ 1 สัปดาห์ จำนวน 300 ตัว ลงในข้าวโพดบดหยาบ 300 กรัม หลังจากนั้น 1 สัปดาห์ เอาตัวออกจากอาหารให้หมด ทำก่อนการรมสารรม 21 วัน

- ระยะหนอนทำเช่นเดียวกับการเตรียมดักแด้ ทำก่อนการรมสารรม 14 วัน

- ระยะตัวเต็มวัย ปล่อยให้ตัวเต็มวัยมอดหนวดยาวอายุ 1 สัปดาห์ จำนวน 100 ตัว ลงในข้าวโพดบดหยาบ 200 กรัม ทำก่อนการรมสารรม 1 วัน

- ระยะไข่ ปล่อยตัวเต็มวัยมอดหนวดยาวอายุ 1 สัปดาห์ จำนวน 500 ตัว ลงในข้าวโพดบดหยาบ 200 กรัม ปล่อยให้วางไข่ 4 วัน เอาตัวออกให้หมดก่อนทำการทดลอง 1 วัน

2. ทดสอบความต้านทานโดยการรมขนาดกอง 1 ตัน ขั้นตอนดังนี้เตรียมทำความสะอาดพื้นที่ที่จะใช้สำหรับการรมยา หลังจากนั้นปูผ้า และกองข้าวสารจำนวนกองละ 1 ตัน วางขวดเลี้ยงแมลงที่มีแมลงทุกระยะการเจริญเติบโตของแต่ละชนิดในกองข้าวแล้วจึงคลุมกองด้วยผ้าพลาสติก พับชายผ้าและทับด้วยถุงทรายอีกครั้งหนึ่ง ใส่สารรมฟอสฟีนชนิด tablet ของ phostoxin ซึ่งประกอบไปด้วย aluminium phosphide 56% ตามจำนวนที่วางแผนและเปิดกองตามเวลาที่กำหนด โดยต้องทำการวัดความเข้มข้นของก๊าซฟอสฟีนภายในกองที่รมยาทุกวัน ตลอดการทดลอง

3. การตรวจวัดผลการทดลอง

ในระยะไข่ หนอน ดักแต่ จะนำมาเลี้ยงต่อที่ห้องปฏิบัติการจนเจริญเติบโตเป็นตัวเต็มวัย และนับจำนวนตัวเต็มวัยที่เกิด ในขณะที่ตัวเต็มวัยของแมลงแต่ละชนิดสามารถนำมานับจำนวนที่รอดชีวิตหลังรมแล้ว 1 วัน และตรวจวัดปริมาณแก๊สฟอสฟีนในกองรมตลอดการทดลอง

บันทึกข้อมูล

- จำนวนแมลงเป็นและตายหลังการทดสอบ
- ปริมาณแก๊สในกองรม

สถานที่ทำการทดลอง

ห้องปฏิบัติการกลุ่มวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร กรมวิชาการเกษตร และโรงเก็บผลิตผลเกษตร

8. ผลการทดลองและวิจารณ์

8.1 การคัดเลือกมอดหนวดยาวสายพันธุ์ต้านทาน

คัดเลือกคัดเลือกมอดหนวดยาวสายพันธุ์ต้านทานระดับต่างๆ จากฐานข้อมูลปี 2559 (กรรณิการ์ และคณะ, 2559) และทดสอบความต้านทานของมอดหนวดยาวในห้องปฏิบัติการ โดยคัดเลือกแมลงสายพันธุ์ต้านทานระดับต่างๆ จำนวน 15 สายพันธุ์ ผลการตรวจสอบระดับความต้านทานแสดงใน Table 1 ได้แมลงสายพันธุ์อ่อนแอ (มีอัตราความต้านทานน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1 เท่า) จำนวน 7 สายพันธุ์ มีระดับความต้านทานต่ำ (มีอัตราความต้านทานอยู่ระหว่าง 1.540039063-15.65332031 เท่า) จำนวน 4 สายพันธุ์ มีระดับความต้านทานปานกลาง (มีอัตราความต้านทานอยู่ระหว่าง 273.0263672-410.3515625 เท่า) จำนวน 2 สายพันธุ์ และระดับความต้านทานสูง 2 สายพันธุ์ (มีอัตราความต้านทานอยู่ระหว่าง 13577.38281-4.9563E+28 เท่า)

สำหรับสายพันธุ์ NKR_m1 ซึ่งเป็นสายพันธุ์ที่มีความต้านทานสูงสุด มีค่า LC50 และ LC95 สูงถึง 5.08E+26 และ 4.82E+48 $\mu\text{g/l}$ หรือ 5.08e+23 และ 4.82e+45 ppm ซึ่งจากผลดังกล่าวแสดงว่ามอดหนวดยาวสายพันธุ์นี้ไม่สามารถใช้ฟอสฟีนในการกำจัดได้ทั้งหมด สาเหตุเพราะไม่ปลอดภัย เนื่องจากความเข้มข้นต่ำสุดของฟอสฟีนที่สามารถระเบิดและติดไฟได้ คือ 1.8% หรือ 17,900 ppm หรือ 27.3 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร (นิรนาม, 2553)

8.2 การทดสอบระดับความเข้มข้นและระยะเวลาที่เหมาะสมของการรมฟอสฟีนต่อมอดหนวดยาวสายพันธุ์ ต้านทานในสภาพโรงเก็บ (2561)

ทดลองรมฟอสฟีนครั้งที่ 1

คัดเลือกแมลงที่ระดับความต้านทานต่างๆ กันใน ข้อ 8.1 จำนวน 5 สายพันธุ์ นำมาเลี้ยงขยายพันธุ์ ให้ได้ปริมาณที่เพียงพอสำหรับการทดสอบในสภาพกองขนาด 1 ตัน โดยทุกสายพันธุ์ต้องได้ 4 ระยะการเจริญเติบโต คือ ระยะตัวเต็มวัย ดักแด้ หนอนและไข่

Table 2-5 แสดงผลการรมฟอสฟีนครั้งที่ 1 กับแมลง 5 สายพันธุ์ คือ สายพันธุ์อ่อนแอ (susceptible) และ NKS_hs1 สายพันธุ์ต้านทานต่ำ (low (PCB_np1)) สายพันธุ์ต้านทานปานกลาง (medium (PCB_np2)) และสายพันธุ์ต้านทานสูง (high (NBR_m)) ในระยะตัวเต็มวัย (Table 2) พบเพียงสายพันธุ์ต้านทานสูง (NBR_m) ที่ยังมีแมลงรอดชีวิตหลังการรมในกรรมวิธี รมอัตรา 2 เม็ดต่อตัน ระยะเวลารม 7 วัน ที่เหลือไม่พบแมลงรอดชีวิตในระยะดักแด้ (Table 3) พบแมลงมีความต้านทานต่อการรมมากกว่าระยะตัวเต็มวัย โดยพบ แมลงสายพันธุ์ต้านทานปานกลาง (PCB_np2) และสายพันธุ์ต้านทานสูง (NBR_m) รอดชีวิตหลังการรมที่อัตรา 2 เม็ดต่อตัน โดยที่ระยะเวลารม 7 วัน มีอัตราการตาย 72.7 และ 30.90 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนระยะเวลารม 14 วัน พบสายพันธุ์ต้านทานสูง มีอัตราการตาย 98.4 เปอร์เซ็นต์ ในระยะหนอน (Table 4) พบเป็นระยะที่มีความทนทานต่อการรมสูงสุด โดยที่อัตรา 2 เม็ดต่อตัน โดยที่ระยะเวลารม 7 วัน สายพันธุ์ต้านทานปานกลางมีอัตราการตาย 42.7 เปอร์เซ็นต์ ส่วนสายพันธุ์ต้านทานสูง พบแมลงรอดชีวิตที่อัตรา 2 และ 3 เม็ดต่อตัน ที่ระยะเวลารม 7 และ 14 วัน ส่วนระยะไข่ (Table 5) ผลใกล้เคียงกับระยะตัวเต็มวัย โดยพบสายพันธุ์ต้านทานสูง มีแมลงรอดชีวิต 50 เปอร์เซ็นต์ ที่กรรมวิธีรมอัตรา 2 เม็ดต่อตัน ระยะเวลารม 7 วัน ส่วนกรรมวิธีอื่นไม่พบแมลงรอดชีวิต

สำหรับจำนวนแมลงในตัวอย่างข้าวที่ใช้รมก่อนการรม พบแมลงมีชีวิตในตัวอย่างข้าวที่สุ่มขนาด 250 กรัม หลายชนิด โดยแมลงที่พบในปริมาณมาก ได้แก่ มอดพื้นเลื้อย มอดแป้ง เหาหนังสือ และพบมวนหอม ผีเสื้อข้าวสาร มอดหัวป้อม ในปริมาณเล็กน้อย (Table 6) ส่วนหลังรมไม่พบแมลงรอดชีวิตในทุกกรรมวิธีที่ใช้สารรม (Table 7)

ความเข้มข้นแก๊สฟอสฟีน แสดงใน Table 9 ที่อัตรา 2 เม็ดต่อตัน ในวันที่ 1 พบความเข้มข้นแก๊สมากกว่า 2000 ppm ในวันที่ 2-5 ความเข้มข้นยังสูงกว่า 1000 ppm จากนั้นปริมาณลดลง จนวันที่ 7 เหลือ 823.7 ppm และในวันที่ 14 เหลือความเข้มข้นแก๊ส 343 ppm ซึ่งเป็นปริมาณที่ยังมีประสิทธิภาพ ซึ่งตามคำแนะนำการรมด้วยสารรมฟอสฟีนกำหนดว่า ความเข้มข้นต่ำสุดของสารรมที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดแมลงต้องอยู่ที่ระดับ 100 ppm ที่ระยะเวลารม 7 วัน (Jan Van S. and Annis P.C,1994) ส่วนอัตรา 3 เม็ดต่อตัน พบความเข้มข้นแก๊สมากกว่า 2000 ppm ในช่วงวันที่ 1-4 และในวันที่ 14 ของการรมเหลือความเข้มข้นแก๊ส 436.0 ppm สำหรับอัตรา 5 เม็ดต่อตัน พบความเข้มข้นแก๊สมากกว่า 2000 ppm ในช่วงวันที่ 1-6 และในวันที่ 14 ของการรมเหลือความเข้มข้นแก๊ส 859.5 ppm ส่วนที่อัตรา 7 เม็ดต่อตัน พบความเข้มข้นแก๊สมากกว่า 2000 ppm เกือบตลอดการรม

ทดลองรมฟอสฟีนครั้งที่ 2

จากการทดลองรมสภาพกองขนาด 1 ตัน ครั้งที่ 1 พบว่า ที่อัตราตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตร ที่การรมข้าวสารใช้อัตรา 2-3 เม็ดต่อตัน ระยะเวลา 7 วัน ไม่สามารถกำจัดมอดหนวดยาวสายพันธุ์ที่มีความต้านทานต่อสารรมฟอสฟีนสูงได้ทุกกระยะการเจริญเติบโต แม้จะเพิ่มระยะเวลาการรมเป็น 14 วันและก็ตาม แต่ที่อัตรา 5 เม็ดต่อตัน ระยะเวลา 7 วันสามารถกำจัดได้ทุกการเจริญเติบโต จึงทำการทดลองครั้งที่ 2 กับมอดหนวดยาวสายพันธุ์ที่มีความต้านทานต่อสารรมฟอสฟีนสูง โดยเพิ่มกรรมวิธีที่อัตรา 4 เม็ดต่อตัน ระยะเวลา 7 10 และ 14 วัน ซึ่งได้ผลการทดลองดัง Table 10 ผลการทดลองพบว่า ฟอสฟีนอัตรา 3 และ 4 เม็ดต่อตัน ทุกระยะเวลา รม สามารถกำจัดมอดหนวดยาวสายพันธุ์ต้านทานสูงระยะไข่ หนอน และตัวเต็มวัย ได้ทั้งหมด ยกเว้นระยะดักแด้ที่พบอัตราการตายไม่ 100 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าอัตราแนะนำสำหรับการรมมอดหนวดยาวสายพันธุ์ต้านทานสูง คือ 5 เม็ดต่อตัน ที่ระยะเวลา 7 วัน แตกต่างจากการทดลองของพรทิพย์ และคณะ (2553) ซึ่งทดลองรมฟอสฟีนกำจัดด้วงหนวดยาว (*C. ferrugineus*) ในข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ พบว่ามอดหนวดยาวมีการสร้างความต้านทานต่อสารรมฟอสฟีน และพบว่าการรมด้วยฟอสฟีนอัตรา 5 เม็ดต่อตัน ที่ระยะเวลา 7 วัน ยังพบมอดระยะดักแด้และตัวเต็มวัยรอดชีวิต แต่ที่อัตรา 5 เม็ดต่อตัน ที่ระยะเวลา 15 วันสามารถกำจัดมอดได้ทุกกระยะการเจริญเติบโต สาเหตุที่ทำให้ผลการทดลองแตกต่างเนื่องมาจากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เป็นผลิตผลเกษตรที่ดูดซับแก๊สฟอสฟีนได้มากกว่าข้าวสาร ทำให้ความเข้มข้นของแก๊สฟอสฟีนอิสระน้อยกว่าในข้าวสารจึงต้องใช้เวลาในการรมมากกว่า โดยรังสิมาและคณะ (2550) รายงานว่า การรมข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่อัตรา 1-3 เม็ดต่อ 1 ตัน ข้าวโพด พบความเข้มข้นสูงสุดของแก๊สฟอสฟีนหลังการรม 1 วันลดลงอย่างรวดเร็วทั้ง 3 อัตรา และเมื่อรมครบ 7 วัน พบที่อัตรา 3 เม็ดต่อ 1 ตันข้าวโพด ความเข้มข้นแก๊สเหลือเพียง 150.0 ppm ส่วนอัตรา 1 และ 2 เม็ดต่อตัน ความเข้มข้นลงเหลือ 0.0 และ 37.5 ppm ตามลำดับ ซึ่งผลการวัดความเข้มข้นของแก๊สฟอสฟีนในการทดลองครั้งที่ 2 แสดงไว้ใน Table 14 พบที่อัตรา 3 และ 4 เม็ดต่อตัน ระยะเวลา 7 วัน วัดความเข้มข้นแก๊สได้ 1,240.3 และ 1,678.3 ppm ตามลำดับ และที่ระยะเวลา 14 วัน วัดความเข้มข้นแก๊สได้ 554.0 และ 758.0 ppm ตามลำดับ ซึ่งเป็นความเข้มข้นที่สูงกว่าความเข้มข้นแก๊สที่วัดได้ในข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มาก

สำหรับจำนวนแมลงในตัวอย่างข้าวที่สุ่มขนาด 250 กรัม หลายชนิด โดยแมลงที่พบ ได้แก่ มอดพื้นเลื้อย มอดแป้ง เหาหนังสือ มวนหอม และผีเสื้อข้าวสาร (Table 11) ส่วนหลังรมไม่พบแมลงรอดชีวิตในทุกกรรมวิธีที่ใช้สารรม (Table 12)

9. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

การคัดเลือกแมลงที่มีความต้านทานต่อสารรมฟอสฟีนระดับต่างๆกัน สำหรับใช้ในการทดลองได้ทั้งหมด 15 สายพันธุ์ แต่คัดเลือกมาเลี้ยงเพื่อใช้ทดสอบการรมในสภาพโรงเก็บขนาดกอง 1 ตัน เพียง 5 สายพันธุ์ ผลการทดสอบพบว่าแมลงอ่อนแอ ($RR \leq 1$ เท่า) และแมลงที่มีความต้านทานต่ำ ($RR 15$ เท่า) สามารถกำจัดด้วยการรมฟอสฟีนอัตรา 2 เม็ดต่อตัน ระยะเวลา 7 วัน แมลงที่มีความต้านทานปานกลาง ($RR 410$ เท่า) สามารถกำจัดด้วยการรมฟอสฟีนอัตรา 2 เม็ดต่อตัน ระยะเวลา 14 วัน หรืออัตรา 3 เม็ดต่อตัน ระยะเวลา 7 วัน ส่วนแมลงที่มีความต้านทานสูง ($RR 13,577$ เท่า) สามารถกำจัดด้วยการรมฟอสฟีนอัตรา 5 เม็ดต่อตัน ระยะเวลา 7 วัน การใช้สารรมฟอสฟีนเพื่อกำจัดแมลงจำเป็นต้องทำให้แมลงตาย 100 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจึงควรเลือกอัตราของสารให้

เหมาะสมกับความต้านทานของแมลง และควรกำจัดแมลงที่อยู่ในสภาพแวดล้อมภายในโรงเก็บให้หมดไปพร้อมๆกัน เพื่อป้องกันการกลับเข้าทำลายซ้ำของแมลง

10. การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

อัตราการใช้สารรมฟอสฟีนสามารถนำไปใช้ในคำแนะนำการรมฟอสฟีนเพื่อกำจัดแมลง สำหรับพื้นที่ที่มีประวัติแมลงที่มีความต้านทานสูง

11. คำขอขอบคุณ

ขอขอบคุณห้างหุ้นส่วนจำกัด โชคฉัตรไชยไรซ์มิล จังหวัดสระบุรี ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และให้ยืมข้าวสาร สำหรับใช้ในการทดลอง

12. เอกสารอ้างอิง

กรณีการ พึ่งคุ้ม ใจทิพย์ อุไรชื่น และณัฐวัฒน์ แยมยิ้ม. 2559. การตรวจสอบความต้านทานของมอดหนวดยาว *Crytolestes* spp. ต่อสารรมฟอสฟีนในประเทศไทย. รายงานผลงานวิจัยเรื่องเต็ม ประจำปี 2558 เล่ม 1, กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตรกรรมวิชาการเกษตร. 401-407.

นิรนาม. 2553. หลักเกณฑ์การปฏิบัติที่ดี การรมด้วยฟอสฟีน. เรียบเรียงโดย จำลอง ลภาสาธุกุล. สำนักบริหารโครงการลดและเลิกใช้สารรมเมทิลโบนไมด์ในประเทศไทย สำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร กรมวิชาการเกษตร. 24 หน้า.

พรทิพย์ วิสารทานนท์ ภาวินี หนูชนะภัย ณัฐวัฒน์ แยมยิ้ม กรณีการ พึ่งคุ้ม รังสิมา เก่งการพานิช และอัจฉรา เพชรโชติ. 2553. การควบคุมมอดหนวดยาวทำลายข้าวโพดโดยวิธีผสมผสาน. รายงานผลงานวิจัยเรื่องเต็มปี ประจำปี 2553 สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร กรมวิชาการเกษตร. น. 79-92.

รังสิมา เก่งการพานิช พรทิพย์ วิสารทานนท์ และ ดวงสมร สุทธิสุทธิ. 2550. การใช้สารรมฟอสฟีนในการป้องกันกำจัดแมลงศัตรูข้าวโพดเลี้ยงสัตว์หลังการเก็บเกี่ยว. รายงานผลงานวิจัยเรื่องเต็ม ปี 2550 สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร กรมวิชาการเกษตร. น. 64-70.

Anonymous, 1975. Recommended methods for the detection and measurement of resistance of agricultural pests to pesticides. Tentative method for adults of some major species of stored cereals with methyl bromide and phosphine. FAO Method No 16, FAO Plant Protection Bulletin 23, 12-25.

Collins, P.J., Daglish, G.J., Nayak, M.K., Ebert, P.R., Schlipalius, D.I., Chen, W., Pavic, J., Lambkin, T.A., Kopittke, R.A. and B. W. Bridgeman, B.W. (2000), Combating

- resistance to phosphine in Australia. In E. J. Donahaye, S. Navarro and J. G. Leesch (Eds.), Proceedings of the International Conference for Controlled Atmosphere and Fumigation in Stored Products, Fresno CA, 593–607.
- Daglish, G.J. and M. Bengston. 1998. Phosphine resistance in Asia. *In*: Banks, H.J. and Damcevski, K.A., ed., Stored grain in Australia. Canberra, CSIRO Stored Grain Research Laboratory, 58-60.
- Jan Van S. and Annis P.C.1994. Suggested Recommendations for the Fumigation of Grain in the ASEAN Region Part 3 Phosphine Fumigation of Bag-Stacks Sealed in Plastic Enclosures: An Operations Manual. ASEAN Food Handling Bureau, Kuala Lumpur and Australian Centre for International Agricultural Research, Canberra, Australia. 79 pp.
- Konemann, E.C., G.P. Opit, S.G. Gautam, N.S. Bajracharya and K. Shakya. 2014. Level of phosphine resistance in rusty grain beetles, *Cryptolestes ferrugineus* (Stephens) (Coleoptera: Laemophloeidae), from stored wheat in Oklahoma. *In*: proceeding of the Entomological Society of America Annual Meeting 2014. 461-467.
- Nayak, M.K, J. Holloway, H. Pavic, M. Head, R. Reid, and C. Patrick. 2010. Developing strategies to manage highly phosphine resistant populations of flat grain beetles in large bulk storages in Australia. *In*: the 10th International Working Conference on Stored Product Protection. 396-401.
- Nayak M.K., J.C. Holloway, R.N. Emery, H. Pavic, J. Bartlet, and P.J. Collins, 2013. Strong resistance to phosphine in the rusty grain beetle, *Cryptolestes ferrugineus* (Stephens) (Coleoptera: Laemophloeidae): its characterization, a rapid assay for diagnosis and its distribution in Australia. *Pest Management Science* 69: 48-53.
- Salehi A., H. Vatandoost, T. Hazratian, A. Sanei-Dehkordi, H.Hooshyar, M Arbabi, Y. Salim-Abadi, R. Sharafati-Chaleshtori, M. A. Gorouhi and A. Paksa. 2016. Detection of Bendiocarb and Carbaryl Resistance Mechanism among German Cockroach *Blattella germanica* (Blattaria: Blattellidae) Collected from Tabriz Hospitals, East Azerbaijan Province, Iran in 2013. *J Arthropod-Borne Dis.* 10(3): 403-412.

13. ภาคผนวก

Table 1 Probit analysis of results of exposure of flat grain beetle (*Cryptolestes* spp.) adults to phosphine for 20 h at room temperature.

| No. | strains | LC50 (µg/l) | LC95 (µg/l) | Resistance Ratio | resistance level |
|-----|--|------------------------------------|--------------------------------|------------------|------------------|
| | | (95% Confidence Limits (µg/l)) | (95% Confidence Limits (µg/l)) | | |
| 1 | susceptible | 0.01024 (0.00945-0.01095) | 0.01886 (0.01710-0.02164) | 1 | susceptible |
| 2 | Nakhon Si Thammarat, Hua Sai (NKS_hs1) | 0.0095 (0.00432-0.01341) | 0.03349 (0.02450-0.06399) | 0.927734375 | susceptible |
| 3 | Phetchaboon, Nong Phai (PCB_np1) | 0.16029 (0.04757-0.29274) | 7.59695 (3.39646-45.11393) | 15.65332031 | low |
| 4 | Ubon Ratchathani, Warin Chamrap (UBN_wr) | 0.0000107 (0.0000026-0.0007720) | 0.05388 (0.0006999-0.16593) | 0.001044922 | Non resistance |
| 5 | Phetchaboon, Nong Phai (PCB_np2) | 4.202 - | 68914 - | 410.3515625 | medium |
| 6 | Kamphaeng Phet, Khanu Worakabsaburi (KPP_kn1) | 0.00298 (2.61221E-6-0.01790) | 0.70762 (0.41740-2.96247) | 0.291015625 | susceptible |
| 7 | Nakhon Ratchasima, Mueang Nakhon Ratchasima (NKR_m1) | 5.08E+26 - | 4.82E+48 - | 4.9563E+28 | High |
| 8 | Kamphaeng Phet, Khanu Worakabsaburi (KPP_kn2) | 2.79579 (1.38511-34.49222) | 0.12852 (0.01845-0.22607) | 273.0263672 | medium |
| 9 | Nonthaburi, Mueang (NBR_m) | 139.0324 - | 339473 - | 13577.38281 | High |
| 10 | Surin, Prasat | 0.01577 | 1.94687 | 1.540039063 | low |

| | | | | | |
|----|--|-----------------------------------|-------------------------------------|-------------|-------------|
| | (SR_ps) | (0.00244 - 0.03873) | (1.18235 - 5.14605) | | |
| 11 | Nakhon Ratchasima, Mueang Nakhon Ratchasima (NKR_m2) | 0.08218 (0.01063 - 0.16087) | 4.87571 (1.88554-106.89598) | 8.025390625 | low |
| 12 | Nakhon Si Thammarat, Hua Sai (NKS_hs2) | 0.00762 - | 0.87224 - | 0.744140625 | susceptible |
| 13 | Buri Ram, Chaloeam Phra Kiat (BRM_clk) | 0.00544 - | 5.16939 - | 0.53125 | susceptible |
| 14 | Kamphaeng Phet, Khanu Worakabsaburi (KPP_kn2) | 0.0006152 (1.22237E-6-0.00489) | 0.09967 (0.03012-0.16656) | 0.060078125 | susceptible |
| 15 | Udon Thani, Mueang Udon Thani (UDT_m) | 0.13145 (0.00566-0.22992) | 12.32525 (1.74916 - 5.85357E+12) | 12.83691406 | low |

Resistance Ratio: LD50 of resistant strain/ LD50 of susceptible strain

Table 2 Corrected percent mortality in adult stage of resistance strains of *Cryptolestes* spp. after fumigated with Phosphine 1st experiment.

| Dose (tablets/ton) | Fumigation period (days) | Insect resistance strains | | | | |
|--------------------|--------------------------|---------------------------|-----------------------|---------------|------------------|--------------|
| | | susceptible | susceptible (NKS_hs1) | Low (PCB_np1) | Medium (PCB_np2) | High (NBR_m) |
| 2 | 7 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 92.5 |
| | 14 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 |
| 3 | 7 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 |
| | 14 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 |
| 5 | 7 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 |
| | 14 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 |
| 7 | 7 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 |

| | | | | | | |
|---------|----|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 14 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 |
| control | 7 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | 14 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |

Table 3 Corrected percent mortality in pupa stage of resistance strains of *Cryptolestes* spp. after fumigated with Phosphine 1st experiment.

| Dose (tablets/ton) | Fumigation period (days) | Insect resistance strains | | | | |
|--------------------|--------------------------|---------------------------|-----------------------|---------------|------------------|--------------|
| | | susceptible | susceptible (NKS_hs1) | Low (PCB_np1) | medium (PCB_np2) | High (NBR_m) |
| 2 | 7 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 72.7 | 30.9 |
| | 14 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 98.4 |
| 3 | 7 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 |
| | 14 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 |
| 5 | 7 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 |
| | 14 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 |
| 7 | 7 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 |
| | 14 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 |
| control | 7 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | 14 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |

Table 4 Corrected percent mortality in larva stage of resistance strains of *Cryptolestes* spp. after fumigated with Phosphine 1st experiment.

| Dose (tablets/ton) | Fumigation period (days) | Insect resistance strains | | | | |
|--------------------|--------------------------|---------------------------|-----------------------|---------------|------------------|--------------|
| | | susceptible | susceptible (NKS_hs1) | Low (PCB_np1) | medium (PCB_np2) | High (NBR_m) |
| 2 | 7 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 42.7 | 3.2 |
| | 14 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 6.3 |
| 3 | 7 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 16.7 |
| | 14 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 75.0 |
| 5 | 7 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 |
| | 14 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 |

| | | | | | | |
|---------|----|-------|-------|-------|-------|-------|
| 7 | 7 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 |
| | 14 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 |
| control | 7 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | 14 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |

Table 5 Corrected percent mortality in egg stage of resistance strains of *Cryptolestes* spp. after fumigated with Phosphine on 1st experiment.

| Dose (tablets/ton) | Fumigation period (days) | Insect resistance strains | | | | |
|-----------------------|--------------------------------|---------------------------|--------------------------|------------------|---------------------|-----------------|
| | | susceptible | susceptible (NKS_hs1) | Low (PCB_np1) | medium (PCB_np2) | High (NBR_m) |
| 2 | 7 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100 | 50 |
| | 14 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100 | 100 |
| 3 | 7 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100 | 100 |
| | 14 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100 | 100 |
| 5 | 7 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100 | 100 |
| | 14 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100 | 100 |
| 7 | 7 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100 | 100 |
| | 14 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100 | 100 |
| control | 7 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0 |
| | 14 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0 |

Table 6 Average (\pm SD) number of alive and dead insects in 250 gm rice sample before fumigation on 1st experiment.

| Dose (tablets/ton) | Fumigation period (days) | Saw-toothed grain beetle | | Rust red flour beetle | | Psocids | |
|-----------------------|-----------------------------|--------------------------|---------------|-----------------------|---------------|---------------|---------------|
| | | Alive | Dead | Alive | Dead | Alive | Dead |
| 2 | 7 | 1.3 \pm 1.0 | 5.3 \pm 4.3 | 0.0 \pm 0.0 | 0.5 \pm 0.3 | 4.8 \pm 0.6 | 0.0 \pm 0.0 |
| | 14 | 3.3 \pm 2.1 | 2.8 \pm 2.1 | 0.3 \pm 0.5 | 0.0 \pm 0.0 | 5.0 \pm 2.8 | 0.0 \pm 0.0 |
| 3 | 7 | 2.0 \pm 1.4 | 3.0 \pm 2.3 | 0.5 \pm 0.2 | 1.3 \pm 1.0 | 2.3 \pm 1.0 | 0.0 \pm 0.0 |
| | 14 | 3.0 \pm 2.7 | 3.5 \pm 2.5 | 0.8 \pm 0.5 | 2.5 \pm 1.7 | 0.0 \pm 0.0 | 0.0 \pm 0.0 |
| 5 | 7 | 6.0 \pm 4.3 | 6.5 \pm 3.4 | 0.8 \pm 0.5 | 3.8 \pm 2.6 | 0.0 \pm 0.0 | 0.0 \pm 0.0 |
| | 14 | 2.3 \pm 1.5 | 3.5 \pm 2.6 | 0.0 \pm 0.0 | 0.5 \pm 0.3 | 0.0 \pm 0.0 | 0.0 \pm 0.0 |
| 7 | 7 | 7.5 \pm 4.9 | 8.5 \pm 5.9 | 0.3 \pm 0.1 | 0.3 \pm 0.2 | 2.3 \pm 2.6 | 0.0 \pm 0.0 |
| | 14 | 3.8 \pm 3.0 | 2.8 \pm 2.9 | 0.0 \pm 0.0 | 0.8 \pm 0.5 | 0.5 \pm 0.3 | 0.0 \pm 0.0 |
| control | 7 | 0.5 \pm 0.2 | 2.0 \pm 0.0 | 0.0 \pm 0.0 | 0.0 \pm 0.0 | 1.5 \pm 1.1 | 0.0 \pm 0.0 |
| | 14 | 0.0 \pm 0.0 | 1.5 \pm 0.7 | 0.0 \pm 0.0 | 1.0 \pm 0.4 | 0.0 \pm 0.0 | 0.0 \pm 0.0 |

Table 6 (continue)

| Dose (tablets/ton) | Fumigation period (days) | <i>Xylocoris</i> spp. | | Rice moth | | Lesser grain borer | |
|-----------------------|-----------------------------|-----------------------|---------------|---------------|---------------|--------------------|---------------|
| | | Alive | Dead | Alive | Dead | Alive | Dead |
| 2 | 7 | 1.5 \pm 0.7 | 6.3 \pm 4.5 | 0.0 \pm 0.0 | 0.0 \pm 0.0 | 0.3 \pm 0.1 | 0.8 \pm 0.5 |
| | 14 | 0.0 \pm 0.0 | 0.0 \pm 0.0 | 0.0 \pm 0.0 | 0.0 \pm 0.0 | 0.0 \pm 0.0 | 0.0 \pm 0.0 |
| 3 | 7 | 0.0 \pm 0.0 | 0.8 \pm 0.5 | 0.0 \pm 0.0 | 0.0 \pm 0.0 | 0.0 \pm 0.0 | 0.0 \pm 0.0 |

| | | | | | | | |
|---------|----|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | 14 | 0.0 ±0.0 | 0.0 ±0.0 | 0.8 ±0.5 | 0.0 ±0.0 | 0.0 ±0.0 | 0.0 ±0.0 |
| 5 | 7 | 0.0 ±0.0 | 0.0 ±0.0 | 0.0 ±0.0 | 0.0 ±0.0 | 0.0 ±0.0 | 0.0 ±0.0 |
| | 14 | 0.0 ±0.0 | 0.0 ±0.0 | 0.0 ±0.0 | 0.0 ±0.0 | 0.0 ±0.0 | 0.0 ±0.0 |
| 7 | 7 | 0.5 ±1.0 | 6.8 ±2.6 | 0.0 ±0.0 | 0.0 ±0.0 | 0.0 ±0.0 | 0.0 ±0.0 |
| | 14 | 0.0 ±0.0 | 0.0 ±0.0 | 0.3 ±0.2 | 0.0 ±0.0 | 0.3 ±0.5 | 0.0 ±0.0 |
| control | 7 | 0.0 ±0.0 | 0.0 ±0.0 | 0.0 ±0.0 | 0.0 ±0.0 | 0.0 ±0.0 | 0.0 ±0.0 |
| | 14 | 0.0 ±0.0 | 0.0 ±0.0 | 0.0 ±0.0 | 0.0 ±0.0 | 0.0 ±0.0 | 0.0 ±0.0 |

Table 7 Average (\pm SD) number of alive and dead insects in 250 gm rice sample after fumigation on 1st experiment.

| Dose (tablets/ton) | Fumigation period (days) | Saw-toothed grain beetle | | Rust red flour beetle | | Psocids | | <i>Xylocoris</i> spp. | |
|-----------------------|-----------------------------|--------------------------|------------|-----------------------|---------|------------|-----------|-----------------------|------------|
| | | alive | Dead | alive | Dead | alive | Dead | alive | Dead |
| 2 | 7 | 0.0 ±0.0 | 13.0 ±2.8 | 0.0 ±0.0 | 0.0±0.0 | 0.0 ±0.0 | 0.0 ±0.0 | 0.0±0.0 | 3.5 ±2.9 |
| | 14 | 0.0 ±0.0 | 13.0 ±8.5 | 0.0 ±0.0 | 0.5±0.7 | 0.0 ±0.0 | 13.0 ±4.2 | 0.0±0.0 | 0.0 ±0.0 |
| 3 | 7 | 0.0 ±0.0 | 21.5 ±12.0 | 0.0 ±0.0 | 2.0±2.8 | 0.0 ±0.0 | 0.0 ±0.0 | 0.0±0.0 | 12.0 ±10.7 |
| | 14 | 0.0 ±0.0 | 9.0 ±2.8 | 0.0 ±0.0 | 4.0±1.4 | 0.0 ±0.0 | 12.5 ±3.5 | 0.0±0.0 | 0.0 ±0.0 |
| 5 | 7 | 0.0 ±0.0 | 6.0 ±2.8 | 0.0 ±0.0 | 1.0±0.4 | 0.0 ±0.0 | 0.0 ±0.0 | 0.0±0.0 | 2.0 ±1.4 |
| | 14 | 0.0 ±0.0 | 5.5 ±3.5 | 0.0 ±0.0 | 0.5±0.7 | 0.0 ±0.0 | 14.0 ±4.2 | 0.0±0.0 | 0.0 ±0.0 |
| 7 | 7 | 0.0 ±0.0 | 17.0 ±14.0 | 0.0 ±0.0 | 1.0±0.0 | 0.0 ±0.0 | 0.0 ±0.0 | 0.0±0.0 | 1.0 ±0.4 |
| | 14 | 0.0 ±0.0 | 13.0 ±4.2 | 0.0 ±0.0 | 2.5±1.1 | 0.0 ±0.0 | 15.5 ±6.4 | 0.0±0.0 | 0.0 ±0.0 |
| control | | 7.0 ±4.2 | 4.0 ±1.4 | 2.5 ±2.1 | 0.5±0.7 | 24.0 ±12.6 | 0.0 ±0.0 | 3.0±2.2 | 1.5 ±1.1 |

Table 7 (continue)

| Dose (tablets/ton) | Fumigation period (days) | <i>Theocolax elegans</i> | | Rice moth | | Lesser grain borer | |
|-----------------------|-----------------------------|--------------------------|---------|-----------|---------|--------------------|---------|
| | | alive | Dead | alive | Dead | alive | Dead |
| 2 | 7 | 0.0±0.0 | 0.0±0.0 | 0.0±0.0 | 0.0±0.0 | 0.0±0.0 | 1.0±0.4 |
| | 14 | 0.0±0.0 | 0.0±0.0 | 0.0±0.0 | 0.0±0.0 | 0.0±0.0 | 0.0±0.0 |
| 3 | 7 | 0.0±0.0 | 2.0±1.8 | 0.0±0.0 | 0.0±0.0 | 0.0±0.0 | 0.0±0.0 |
| | 14 | 0.0±0.0 | 0.0±0.0 | 0.0±0.0 | 9.0±2.7 | 0.0±0.0 | 0.0±0.0 |
| 5 | 7 | 0.0±0.0 | 0.0±0.0 | 0.0±0.0 | 0.0±0.0 | 0.0±0.0 | 0.0±0.0 |
| | 14 | 0.0±0.0 | 0.0±0.0 | 0.0±0.0 | 0.0±0.0 | 0.0±0.0 | 0.0±0.0 |
| 7 | 7 | 0.0±0.0 | 5.5±2.8 | 0.0±0.0 | 0.0±0.0 | 0.0±0.0 | 0.0±0.0 |
| | 14 | 0.0±0.0 | 0.0±0.0 | 0.0±0.0 | 0.0±0.0 | 0.0±0.0 | 0.0±0.0 |
| control | | 0.0±0.0 | 3.0±2.2 | 0.0±0.0 | 0.0±0.0 | 0.0±0.0 | 0.0±0.0 |

Table 8 Moisture content of milled rice samples on 1st experiment.

| Dose (tablets/ton) | Fumigation period (days) | Moisture content (Average±SD) | |
|-----------------------|-----------------------------|-------------------------------|------------------|
| | | Before fumigation | After fumigation |
| 2 | 7 | 11.8±0.6 | 11.4±0.8 |
| | 14 | 12.9±0.2 | 13.1±0.7 |

| | | | |
|---------|----|----------|----------|
| 3 | 7 | 12.7±0.9 | 11.0±0.6 |
| | 14 | 12.3±1.1 | 12.8±1.0 |
| 5 | 7 | 11.9±0.6 | 11.1±0.4 |
| | 14 | 12.3±0.5 | 13.3±0.2 |
| 7 | 7 | 12.8±0.5 | 10.8±0.6 |
| | 14 | 13.6±2.5 | 13.1±0.1 |
| control | 7 | 12.6±0.1 | 11.8±2.1 |
| | 14 | 13.5±0.3 | 12.0±0.2 |

Table 9 Average Phosphine concentration in difference rate and in the date of fumigation on 1st experiment.

| Fumigation days | concentration of Phosphine (ppm) | | | |
|--------------------|----------------------------------|-----------|-----------|-----------|
| | 2 tablets | 3 tablets | 5 tablets | 7 tablets |
| 1 | >2000 | >2000 | >2000 | >2000 |
| 2 | 1733.0 | >2000 | >2000 | >2000 |
| 3 | 1467.0 | >2000 | >2000 | >2000 |
| 4 | 1274.7 | >2000 | >2000 | >2000 |
| 5 | 1103.7 | 1657.7 | >2000 | >2000 |
| 6 | 943.7 | 1415.0 | >2000 | >2000 |

| | | | | | | | | | |
|--|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 14 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
|--|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|

Table 11 Average Phosphine concentration in difference rate and in the date of fumigation on 2nd experiment.

| Fumigation days | Phosphine concentration (Aver.±SD) | |
|-----------------|------------------------------------|--------------|
| | 3 tablets | 4 tables |
| 1 | >2000 | >2000 |
| 2 | >2000 | >2000 |
| 7 | 1240.3±76.2 | 1678.3±214.7 |
| 8 | 1029.2±81.8 | 1347.7±172.8 |
| 9 | 756.6±94.3 | 1073.7±157.9 |
| 14 | 554.0±102.2 | 758.0±154.4 |

Table 12 Average (±SD) number of alive and dead insects in 250 gm rice sample before fumigation on 2nd experiment.

| Dose (tablets /ton) | Fumigation period (days) | Saw-toothed grain beetle | | Rust red flour beetle | | Psocids | | <i>Xylocoris</i> spp. | | Rice moth | |
|---------------------|--------------------------|--------------------------|---------|-----------------------|----------|-------------|-----------|-----------------------|-----------|-----------|---------|
| | | Alive | Dead | Alive | Dead | Alive | Dead | Alive | Dead | Alive | Dead |
| 3 | 7 | 3.0±4.4 | 5.7±7.4 | 1.7±2.1 | 9.3±11.4 | 33.3±28.9 | 6.7±11.5 | 0.0±0.0 | 0.0±0.0 | 8.3±3.2 | 0.0±0.0 |
| | 10 | 3.3±5.8 | 4.3±4.0 | 0.0±0.0 | 4.7±4.6 | 0.7±1.2 | 16.7±28.9 | 0.7±1.2 | 12.0±15.9 | 2.0±3.5 | 0.0±0.0 |
| | 14 | 0.0±0.0 | 6.0±8.7 | 13.3±23.1 | 10.7±1.5 | 183.3±275.4 | 1.3±2.3 | 0.0±0.0 | 9.0±13.9 | 4.3±5.1 | 0.0±0.0 |
| 4 | 7 | 3.3±4.9 | 0.0±0.0 | 8.0±7.0 | 0.0±0.0 | 26.7±25.2 | 1.7±2.9 | 0.7±1.2 | 0.0±0.0 | 4.0±6.9 | 0.0±0.0 |

| | | | | | | | | | | | |
|---|----|---------|-----------|---------|-----------|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | 10 | 3.3±3.1 | 3.3±3.1 | 0.0±0.0 | 6.7±2.9 | 4.0±6.9 | 0.0±0.0 | 5.0±6.1 | 0.0±0.0 | 1.3±2.3 | 0.0±0.0 |
| | 14 | 2.3±4.0 | 4.0±2.0 | 1.0±1.7 | 5.0±2.6 | 0.0±0.0 | 0.0±0.0 | 0.0±0.0 | 0.7±1.2 | 1.7±2.9 | 0.0±0.0 |
| 0 | - | 5.0±4.4 | 10.7±11.0 | 0.0±0.0 | 17.7±13.7 | 22.0±24.3 | 0.0±0.0 | 3.0±3.0 | 0.0±0.0 | 0.0±0.0 | 2.7±2.5 |

Table 13 Average (\pm SD) number of alive and dead insects in 250 gm rice sample after fumigation on 2nd experiment.

| Dose (tablets /ton) | Fumigation period (days) | Saw-toothed grain beetle | | Rust red flour beetle | | Psocids | | <i>Xylocoris</i> spp. | |
|---------------------|--------------------------|--------------------------|-----------|-----------------------|-----------|---------|---------|-----------------------|---------|
| | | Alive | Dead | Alive | Dead | Alive | Dead | Alive | Dead |
| 3 | 7 | 0±0 | 2.0±2.0 | 0.0±0.0 | 10.7±8.6 | 0.0±0.0 | 0.0±0.0 | 0.0±0.0 | 1.7±1.5 |
| | 10 | 0±0 | 16.0±8.7 | 0.0±0.0 | 3.0±3.0 | 0.0±0.0 | 0.0±0.0 | 0.0±0.0 | 4.0±2.3 |
| | 14 | 0±0 | 16.0±12.0 | 0.0±0.0 | 14.3±11.5 | 0.0±0.0 | 0.0±0.0 | 0.0±0.0 | 0.0±0.0 |
| 4 | 7 | 0±0 | 0.0±0.0 | 0.0±0.0 | 6.3±5.7 | 0.0±0.0 | 0.0±0.0 | 0.0±0.0 | 0.0±0.0 |
| | 10 | 0±0 | 9.7±5.5 | 0.0±0.0 | 2.7±2.5 | 0.0±0.0 | 0.0±0.0 | 0.0±0.0 | 0.7±0.2 |
| | 14 | 0±0 | 6.7±2.3 | 0.0±0.0 | 4.7±2.5 | 0.0±0.0 | 0.0±0.0 | 0.0±0.0 | 0.0±0.0 |
| 0 | - | 0±0 | 15.0±12.4 | 7.0±5.4 | 25.5±4.9 | 6.7±5.5 | 0.0±0.0 | 1.0±0.7 | 0.0±0.0 |

Table 13 (Continue)

| Dose (tablets /ton) | Fumigation period (days) | Rice moth | | Lesser grain borer | | Darkling Beetle | | <i>Palorus subdepressus</i> | |
|---------------------|--------------------------|-----------|---------|--------------------|-----------|-----------------|---------|-----------------------------|---------|
| | | Alive | Dead | Alive | Dead | Alive | Dead | Alive | Dead |
| 3 | 7 | 0.0±0.0 | 0.0±0.0 | 0.0±0.0 | 12.0±10.9 | 0.0±0.0 | 0.0±0.0 | 0.0±0.0 | 0.0±0.0 |
| | 10 | 0.0±0.0 | 0.0±0.0 | 0.0±0.0 | 2.0±1.5 | 0.0±0.0 | 0.0±0.0 | 0.0±0.0 | 5.7±2.3 |

| | | | | | | | | | |
|---|----|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | 14 | 0.0±0.0 | 6.3±4.0 | 0.0±0.0 | 2.7±2.5 | 0.0±0.0 | 2.0±1.5 | 0.0±0.0 | 0.0±0.0 |
| 4 | 7 | 0.0±0.0 | 4.0±2.1 | 0.0±0.0 | 5.7±3.7 | 0.0±0.0 | 0.0±0.0 | 0.0±0.0 | 0.0±0.0 |
| | 10 | 0.0±0.0 | 0.0±0.0 | 0.0±0.0 | 7.0±6.1 | 0.0±0.0 | 0.0±0.0 | 0.0±0.0 | 1.0±0.7 |
| | 14 | 0.0±0.0 | 4.3±2.5 | 0.0±0.0 | 3.0±2.0 | 0.0±0.0 | 0.0±0.0 | 0.0±0.0 | 0.0±0.0 |
| 0 | - | 0.0±0.0 | 0.3±0.2 | 8.7±5.0 | 6.0±4.4 | 0.7±0.2 | 1.0±0.7 | 0.7±0.2 | 2.3±2.0 |

Table 14 Moisture content of milled rice samples on 1st experiment.

| Dose (tablets/ton) | Fumigation period (days) | Moisture content (Average±SD) | |
|-----------------------|--------------------------------|-------------------------------|------------------|
| | | Before fumigation | After fumigation |
| 3 | 7 | 11.70±0.90 | 11.47±0.81 |
| | 10 | 12.20±0.87 | 12.17±0.86 |
| | 14 | 13.03±1.45 | 12.07±1.04 |
| 4 | 7 | 12.57±1.07 | 13.20±1.55 |
| | 10 | 12.23±0.59 | 12.50±0.44 |
| | 14 | 13.90±0.69 | 12.63±0.86 |
| 0 | | 11.50±0.10 | 11.90±0.66 |

Table 15 Room temperature and moisture on 2nd experiment.

| Date | Room Temperature (°C) | (%RH) |
|------------|-----------------------|-------|
| 0 (3/8/61) | 34.4 | 46.3 |

| | | |
|--------------|------|------|
| 1 (4/8/61) | 33.3 | 48.8 |
| 3 (6/8/61) | 34.6 | 49.3 |
| 5 (8/8/61) | 35.4 | 42.6 |
| 8 (11/8/61) | 32.2 | 57.5 |
| 11 (14/8/61) | 31.4 | 62.1 |
| 12 (15/8/61) | 33.4 | 48.3 |
| 13 (16/8/61) | 32.3 | 58.9 |
| 16 (19/8/61) | 34.2 | 57.5 |