

ชุดโครงการวิจัย:	การลดการใช้สารเคมีเพื่อป้องกันกำจัดศัตรูพืชหลังเก็บเกี่ยว		
โครงการวิจัย:	การพัฒนาการจัดการศัตรูผลิตผลเกษตรเพื่อรักษาคุณภาพ		
กิจกรรมที่ :	การใช้สารรมอย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ		
ชื่อการทดลอง:	การศึกษาระดับความเข้มข้นของสารรมฟอสฟีนที่มีประสิทธิภาพในการป้องกันกำจัดแมลงศัตรูผลิตผลเกษตร		
หัวหน้าการทดลอง:	รังสิมา เก่งการพานิช	สังกัด	สวป.
ผู้ร่วมงาน:	พรทิพย์ วิสารทานนท์	สังกัด	สวป.
	ดวงสมร สุทธิสุทธิ์	สังกัด	สวป.
	ภาวิณี หนูชนะภัย	สังกัด	สวป.

Abstract

The study of phosphine concentrations to control stored product insect pests was determined using phosphine concentrations and exposure times against all stages of *Sitophilus zeamais* Motschulky, *Rhyzopertha dominica* (Fabricius), *Tribolium castaneum* (Herbst), *Oryzaephilus surinamensis* Linnaeus and *Lasioderma serricorne* Fabricius. All five species are major pests of stored grain in Thailand. The experiment was carried out in laboratory of Postharvest Technology Research and Development Group, Postharvest and Processing Research and Development Office during the year 2010-2013. The cultures of insect were collected from grain storages all around Thailand and mass rearing in laboratory. Tests were conducted with concentrations ranging from 0.03-0.78 mg/l (25-650 ppm) and exposure times 1, 3, 5 and 7 days at $30\pm 5^{\circ}\text{C}$. In 1-day exposures, all species were tolerant, especially eggs and pupae, they survived by the highest dosage used. On extending the exposure time to 3 day, *S. zeamais*, *T. castaneum* and *O. surinamensis* were all killed by the 0.54, 0.3 and 0.42 mg/l respectively and the highest dosage used did not killed *R. dominica* and *L. serricorne*. However the dosage rate tests of *L. serricorne* was lower than other species. In 5-day exposures all species were susceptible to phosphine. *R. dominica*, *S. zeamais*, *T. castaneum*, *O. surinamensis* and *L. serricorne* were all killed by the 0.66, 0.24, 0.30, 0.09 and 0.12 mg/l respectively and in 7-day exposures all species were all killed by the 0.18, 0.06, 0.12, 0.06 and 0.09 mg/l respectively. It is clear that throughout the present tests, exposure time is very importance. Longer exposures were much more effective in achieving control insects than shorter one. The results on toxicity of phosphine concentration and exposure time of all species showed that stored product insect

pests vary in their tolerance to phoshine. *R. dominica* proved the most tolerant in all species. In the same species, the most tolerant stages are eggs and pupae.

บทคัดย่อ

การศึกษาระดับความเข้มข้นของสารรมฟอสฟีนที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดแมลงศัตรูผลิตผลเกษตรที่สำคัญ 5 ชนิด ได้แก่ ตัวงวงข้าวโพด (*S. zeamais* Motschulky) มอดหัวป้อมหรือมอดข้าวเปลือก (*R. dominica* (Fabricius)) มอดแป้ง (*T. castaneum* (Herbst)) มอดพินเลื้อย (*O. surinamensis* Linnaeus) และมอดยาสูบ (*L. serricornis* Fabricius) ดำเนินการทดลองระหว่างเดือน ตุลาคม 2553 - กันยายน 2556 ที่ห้องปฏิบัติการกลุ่มวิจัยพัฒนาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร โดยเก็บตัวอย่างแมลงจากโรงสีข้าว และโรงเก็บข้าวโพด จากจังหวัดต่างๆ ทั่วประเทศ นำมาเลี้ยงขยายพันธุ์ในห้องปฏิบัติการ จากนั้นรมด้วยก๊าซฟอสฟีนอัตรา 0.03-0.78 mg/l (25-650 ppm) ใช้ระยะเวลาในการรม 1, 3, 5 และ 7 วัน ที่อุณหภูมิ $30\pm 5^{\circ}\text{C}$ การรมที่ระยะเวลา 1 วัน พบว่าทุกความเข้มข้นที่ทดสอบไม่สามารถฆ่าระยะไข่และดักแด้ของแมลงทั้ง 5 ชนิดได้ แม้ที่ความเข้มข้นสูงสุด เมื่อเพิ่มระยะเวลาการรมเป็น 3 วัน ความเข้มข้นที่สามารถฆ่าตัวงวงข้าวโพด มอดพินเลื้อย และมอดแป้ง ได้ทุกระยะการเจริญเติบโต ได้แก่ 0.54, 0.3 และ 0.42 mg/l ตามลำดับ สำหรับมอดหัวป้อมความเข้มข้นสูงสุดที่ทดสอบไม่สามารถฆ่าระยะดักแด้ได้ และมอดยาสูบไม่สามารถฆ่าระยะไข่ได้ อย่างไรก็ตามระดับความเข้มข้นที่ใช้ทดสอบของมอดยาสูบต่ำกว่าแมลงชนิดอื่นๆ เมื่อเพิ่มระยะเวลาการรมเป็นระยะเวลา 5 วัน ความเข้มข้นที่สามารถฆ่ามอดหัวป้อม ตัวงวงข้าวโพด มอดพินเลื้อย มอดแป้ง และมอดยาสูบ ได้ทุกระยะการเจริญเติบโต ได้แก่ 0.66, 0.24, 0.30, 0.09 และ 0.12 mg/l ตามลำดับ และเมื่อเพิ่มระยะเวลาเป็น 7 วัน ได้แก่ 0.18, 0.06, 0.12, 0.06 และ 0.09 mg/l ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่าระยะเวลาในการรมมีความสำคัญอย่างยิ่ง หากใช้ระยะเวลาในการรมสั้นเกินไป เช่น 1 หรือ 3 วัน อาจจะไม่สามารถกำจัดแมลงได้ทุกระยะการเจริญเติบโต จึงทำให้การรมไม่มีประสิทธิภาพ แต่ถ้ายืดระยะเวลาในการรมให้นานขึ้น เช่น ที่ 5 หรือ 7 วัน ความเข้มข้นของก๊าซฟอสฟีนที่ใช้ก็จะลดลงอย่างมากแต่ก็มีประสิทธิภาพในการกำจัดแมลงเช่นเดียวกัน ดังนั้นการใช้ฟอสฟีนควรเพิ่มระยะเวลาในการรมโดยไม่จำเป็นต้องเพิ่มปริมาณสารรม นอกจากนี้พบว่าแมลงแต่ละชนิดมีความทนทานต่อก๊าซฟอสฟีนได้ไม่เท่ากัน โดยมอดหัวป้อมมีความทนทานต่อก๊าซฟอสฟีนมากที่สุด ส่วนแมลงชนิดอื่นๆ มีความทนทานต่อฟอสฟีนไม่แตกต่างกันมากนัก ในแมลงชนิดเดียวกันพบว่าแต่ละระยะการเจริญเติบโตมีความทนทานต่อก๊าซฟอสฟีนได้ไม่เท่ากัน โดยระยะการเจริญเติบโตที่ทนทานต่อก๊าซฟอสฟีนมากที่สุด ได้แก่ ไข่ และดักแด้

คำนำ

ปัญหาสำคัญของการเก็บรักษาผลิตผลเกษตรทุกชนิด คือ การเข้าทำลายของแมลงศัตรูผลิตผลเกษตรในระหว่างการเก็บรักษา แมลงศัตรูผลิตผลเกษตรที่สำคัญ ได้แก่ ตัวงวงข้าวโพด (*S. zeamais* Motschulky) มอดหัวป้อมหรือมอดข้าวเปลือก (*R. dominica* (Fabricius)) มอดแป้ง (*T. castaneum* (Herbst)) มอดฟันเลื่อย (*O. surinamensis* Linnaeus) มอดหนวดยาว *Cryptolestes ferrugineus* (Stephens) ตัวงั่ว (*Callosobruchus* spp.) มอดยาสูบ (*L. serricornis* Fabricius) มอดสมุนไพรมอด (*Stegobium paniceum* Linnaeus) และผีเสื้อข้าวเปลือก (*Sitotroga cerealella* (Olivier)) (พรทิพย์, 2548) ซึ่งแมลงเหล่านี้จะพบทำลายข้าวเปลือก ข้าวสาร ข้าวโพด และผลิตผลเกษตรชนิดอื่นๆ ดังนั้นมีความจำเป็นต้องทำการป้องกันกำจัดเพื่อป้องกันผลิตผลเกษตรจากการปนเปื้อน สูญเสียคุณภาพ สูญเสียน้ำหนัก นอกจากนี้หากเป็นสินค้าที่ส่งออกไปจำหน่ายยังต่างประเทศอาจถูกส่งกลับ ทำให้ประเทศสูญเสียรายได้และชื่อเสียง

การใช้สารรมเป็นวิธีการหนึ่งที่ยอมรับใช้กันอย่างกว้างขวางทั่วโลก เนื่องจากสามารถทำลายแมลงศัตรูผลิตผลเกษตรได้เกือบทุกชนิดและทุกระยะการเจริญเติบโต ไม่มีพิษตกค้างเมื่อเทียบกับวิธีการใช้สารฆ่าแมลง สารรมที่ยอมรับใช้กันอยู่ในปัจจุบันมีเพียง 2 ชนิด คือ เมทิลโบรไมด์ (methylbromide) และฟอสฟีน (phosphine) แม้ว่าสารรมเมทิลโบรไมด์จะเป็นที่ยอมรับใช้กันอย่างกว้างขวางแต่เนื่องจากถูกระบุว่าเป็นตัวการทำลายชั้นโอโซนในบรรยากาศ ทำให้แสงอาทิตย์ส่องผ่านมายังโลกได้โดยตรงมีผลทำให้โลกร้อนขึ้น และแสงอุตราไวโอเลตที่มากกว่าปกติก็จะทำให้เกิดอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต ดังนั้นจึงมีมาตรการลดการใช้จนถึงยกเลิกการใช้ในที่สุด ยกเว้นเฉพาะการรมเพื่อการส่งออก (Banks, 1994) ดังนั้นสารรมฟอสฟีนซึ่งนิยมใช้รองจากเมทิลโบรไมด์ จึงมีความสำคัญเพิ่มมากขึ้นทั้งในปัจจุบันและอนาคต คุณสมบัติของสารรมฟอสฟีน เป็นก๊าซที่ไม่มีสี มีกลิ่นเล็กน้อยคล้ายกระเทียม สูตรเคมี คือ PH_3 มีน้ำหนักโมเลกุล 34.1 น้อยกว่าอากาศ 1.18 เท่า ละลายน้ำได้ประมาณ 26 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนัก/ปริมาตรที่อุณหภูมิ 17 องศาเซลเซียส) จุดเดือด -87.4 องศาเซลเซียส ก๊าซฟอสฟีนที่เข้มข้นมากจะระเบิดลุกเป็นไฟได้ ทำปฏิกิริยากับโลหะ เช่น ทองแดง และเงิน มีพิษต่อสัตว์เลือดอุ่นสูงมาก ไม่มีพิษตกค้าง (Bond, 1984) ดังนั้นจึงควรศึกษาระดับความเข้มข้นของสารรมฟอสฟีนและระยะเวลาที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพในการป้องกันกำจัดแมลงศัตรูผลิตผลเกษตร เพื่อกำหนดระดับความเข้มข้นและระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับการรมสารรมฟอสฟีนในประเทศไทย

วิธีดำเนินการ

อุปกรณ์

1. ข้าวกล้อง ข้าวโอ๊ต ข้าวโพด ข้าวสาลี แป้งสาลี
2. ตัวงวงข้าวโพด มอดหัวป้อม มอดฟันเลื่อย มอดยาสูบ และมอดแป้ง
3. โหลสุญญากาศ (desiccator)
4. ขวดแก้ว กระจกซับ กระจกกรอง ถาด และฟู่กัน
5. ปีกเกอร์ หลอดแก้วปลายเปิด กรวยแก้ว กระจกพลาสติก

6. กระบอกฉีดยา (Hamilton gas-tight syring)
7. กรดซัลฟูริก (H₂SO₄)
8. สารรมฟอสฟีน

วิธีการ

1. การเลี้ยงขยายพันธุ์แมลง

การทดลองครั้งนี้ใช้แมลงศัตรูผลิตผลเกษตรที่สำคัญ 5 ชนิด ได้แก่ ตัวงวงข้าวโพด (*Sitophilus zeamais*) มอดหัวป้อมหรือมอดข้าวเปลือก (*Rhyzopertha dominica*) มอดแป้ง (*Tribolium castaneum*) มอดพื้นเลื้อย (*Oryzaephilus surinamensis*) และมอดยาสูบ (*Lasioderma serricorne* Fabricius) สุ่มเก็บตัวอย่างแมลงศัตรูผลิตผลเกษตรในโรงสีข้าว และโรงเก็บข้าวโพด จากจังหวัดต่างๆ ทั่วประเทศ นำมาเลี้ยงขยายพันธุ์ในห้องปฏิบัติการที่อุณหภูมิ 30±5°C ความชื้นสัมพัทธ์ 65±5% โดยปล่อยตัวเต็มวัยอายุ 2-3 สัปดาห์ จำนวน 100 ตัว ในอาหารที่เหมาะสมกับแมลงแต่ละชนิด อาหารจะบรรจุในขวดแก้วขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 7.5 ซม. สูง 18 ซม. ปิดฝาขวดด้วยกระดาษซับ ปล่อยให้แมลงวางไข่ 72 ชั่วโมงร่อนตัวเต็มวัยออก แมลงที่เกิดใหม่จะมีความสม่ำเสมอขึ้น เลี้ยงขยายพันธุ์เช่นนี้ทุกสัปดาห์เพื่อใช้เป็นพ่อแม่พันธุ์สำหรับแมลงทดสอบ

2. การเตรียมแมลงทดสอบ

แมลงทดสอบบรรจุในขวดแก้วขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 ซม. สูง 12 ซม. ประกอบด้วย ระยะเวลา ไข่ หนอน ดักแด้ และตัวเต็มวัย อย่างละ 1 ขวด (แมลง 3 ชนิดๆ ละ 4 ระยะเวลาการเจริญเติบโต การทดลอง 1 ซ้ำประกอบด้วยแมลง 12 ขวด)

2.1 การเตรียมมอดหัวป้อม ระยะเวลา ไข่ สามวันก่อนการทดลองปล่อยตัวเต็มวัยมอดหัวป้อมอายุ 2-3 สัปดาห์ จำนวน 300 ตัว ในข้าวสาลี 200 กรัม ปล่อยให้วางไข่ 72 ชั่วโมง เพื่อให้ตัวเต็มวัยวางไข่ จากนั้นร่อนตัวเต็มวัยออก จะได้ระยะไข่ที่มีความสม่ำเสมอสำหรับนำไปทดสอบ **ระยะเวลาหนอนและดักแด้** เตรียมเช่นเดียวกับไข่แต่ปล่อยตัวเต็มวัยก่อนการทดลอง 25 และ 34 วัน ตามลำดับ **ระยะตัวเต็มวัย** หนึ่งวันก่อนการทดลองปล่อยตัวเต็มวัยอายุ 2-3 สัปดาห์ จำนวน 100 ตัว ในข้าวสาลี 200 กรัม

2.2 การเตรียมตัวงวงข้าวโพด ทำเช่นเดียวกับมอดหัวป้อม แต่ใช้ข้าวกล้องเป็นอาหาร การเลี้ยงขยายพันธุ์ระยะหนอนและดักแด้ให้ทำก่อนการทดลอง 21 และ 28 วัน ตามลำดับ

2.3 การเตรียมมอดพื้นเลื้อย ทำเช่นเดียวกับมอดหัวป้อม แต่ใช้ข้าวโพด+ข้าวโอ๊ตป่นเป็นอาหาร การเลี้ยงขยายพันธุ์ระยะหนอนและดักแด้ให้ทำก่อนการทดลอง 15 และ 23 วัน ตามลำดับ

2.4 การเตรียมมอดแป้ง ระยะเวลา ไข่ ทำเช่นเดียวกับมอดหัวป้อม แต่ใช้รำข้าวเป็นอาหาร **ระยะเวลาหนอน ดักแด้ และตัวเต็มวัย** หนึ่งวันก่อนการทดลองปล่อยหนอน ดักแด้ และตัวเต็มวัยจำนวน 100 ตัว ในรำข้าว 25 กรัม ขวดละ 1 ระยะเวลาการเจริญเติบโต

2.5 การเตรียมมอดยาสูบ ทำเช่นเดียวกับมอดหัวป้อม แต่ใช้ข้าวสาลีป่น+แป้งสาลีเป็นอาหาร การเลี้ยงขยายพันธุ์ระยะหนอนและดักแด้ให้ทำก่อนการทดลอง 21 และ 27 วัน ตามลำดับ

3. การเตรียมก๊าซฟอสฟีน

- เตรียมสารละลายกรด H_2SO_4 เข้มข้น 5% ในบีกเกอร์ขนาด 5,000 มล.
- จุ่มหลอดแก้วปลายเปิดในสารละลายกรด H_2SO_4 เข้มข้น 5% ปล่อยให้กรด H_2SO_4 เข้ามาแทนที่อากาศจนเต็มจากนั้นปิดฝาหลอดแก้วปลายเปิด
- นำเม็ดคอลลูมิเนียมฟอสไฟด์ ห่อด้วยกระดาษกรอง และหุ้มผ้าขาวบางพันชายด้วยสก็อตเทปใสในสารละลายกรด H_2SO_4 ดึงกรวยแก้วให้ครอบบนเม็ดฟอสฟีน แล้วดึงหลอดแก้วปลายเปิดครอบบนกรวยแก้ว
- หนีบลอดแก้วด้วยขาตั้ง และทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง จะได้ก๊าซฟอสฟีนที่นำมาใช้งานได้
- สารรวมฟอสฟีนที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ คือ phostoxin ชนิด tablet เป็นผลิตภัณฑ์ของบริษัท

Degesh ประเทศเยอรมัน

4. การรวมแมลงศัตรูผลิตผลเกษตรด้วยก๊าซฟอสฟีน

4.1 อัตราการใช้สารรวม

- มอดหัวป้อม รมด้วยก๊าซฟอสฟีน อัตรา 0.12-0.78 mg/l (100 - 650 ppm)
- ตัวงวงข้าวโพด รมด้วยก๊าซฟอสฟีน อัตรา 0.06-0.72 mg/l (50 - 600 ppm)
- มอดฟันเลื่อย รมด้วยก๊าซฟอสฟีน อัตรา 0.06-0.72 mg/l (50 - 600 ppm)
- มอดแป้ง รมด้วยก๊าซฟอสฟีน อัตรา 0.03-0.60 mg/l (25 - 500 ppm)
- มอดยาสูบ รมด้วยก๊าซฟอสฟีน อัตรา 0.03-0.36 mg/l (25 - 300 ppm)

4.2 การดำเนินการรวม

ฉีดก๊าซฟอสฟีนในโหลแก้วสุญญากาศขนาดความจุประมาณ 22 ลิตร ระยะเวลาในการรวม 1, 3, 5 และ 7 วัน ที่อุณหภูมิ $30 \pm 5^\circ C$ หลังสิ้นสุดการรวมเปิดฝาโหลแก้วสุญญากาศปล่อยให้ระบายอากาศ

5. การตรวจเช็คอัตราการตาย

- ตรวจเช็คอัตราการตายของแมลง โดยระยะตัวเต็มวัยตรวจเช็คหลังเสร็จสิ้นการรวม 1 วัน ส่วนแมลงระยะอื่นๆ ให้ตรวจเช็คหลังเสร็จสิ้นการรวมแล้ว 1-5 สัปดาห์ ขึ้นอยู่กับชนิดและระยะของแมลงทดสอบ
- ถ้ามีการตายใน control ต้องปรับเปอร์เซ็นต์การตายโดยใช้ Abbott's formula (Abbott, 1925)

$$\text{Corrected percentage mortality} = \left[\frac{\% \text{ test mortality} - \% \text{ control mortality} \times 100}{100 - \% \text{ control mortality}} \right]$$

ระยะเวลา เริ่มต้น ตุลาคม 2553 ถึง กันยายน 2556

สถานที่ กลุ่มวิจัยพัฒนาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร กรมวิชาการเกษตร

ผลการทดลองและวิจารณ์

จากการรมแมลงศัตรูผลิตผลเกษตรทั้ง 5 ชนิด ได้แก่ มอดหัวป้อม ดั่งวงงข้าวโพด มอดพินเลื้อย มอดแปง และมอดยาสูบ ด้วยก๊าซฟอสฟีนอัตรา 0.03-0.78 mg/l (25-650 ppm) ที่ระยะเวลา 1, 3, 5 และ 7 วัน ผลการทดลองพบว่า การรมที่ระยะเวลา 1 วัน ความเข้มข้นที่สามารถฆ่าหนอน ได้แก่ 0.12, 0.72, 0.42, 0.24 และ 0.15 mg/l ตามลำดับ ความเข้มข้นที่สามารถฆ่าตัวเต็มวัย ได้แก่ 0.48, 0.06, 0.54, 0.36 และ 0.15 mg/l ตามลำดับ แต่ทุกความเข้มข้นที่ทดสอบไม่สามารถฆ่าระยะไข่และดักแด้ได้แม้ที่ความเข้มข้นสูงสุด (ตารางที่ 1) การรมที่ระยะเวลา 3 วัน ความเข้มข้นที่สามารถฆ่าดั่งวงงข้าวโพด มอดพินเลื้อย และมอดแปง ได้ทุกระยะการเจริญเติบโต ได้แก่ 0.54, 0.3 และ 0.42 mg/l ตามลำดับ ส่วนมอดหัวป้อมความเข้มข้นสูงสุดที่ใช้ทดสอบ 0.78 mg/l ไม่สามารถฆ่าระยะดักแด้ได้ และมอดยาสูบความเข้มข้นสูงสุดที่ใช้ทดสอบ 0.36 mg/l ไม่สามารถฆ่าระยะไข่ได้ อย่างไรก็ตามระดับความเข้มข้นที่ใช้ทดสอบของมอดยาสูบต่ำกว่าแมลงชนิดอื่นๆ (ตารางที่ 2) เมื่อเพิ่มระยะเวลาการรมเป็นระยะเวลา 5 วัน ความเข้มข้นที่สามารถฆ่ามอดหัวป้อม ดั่งวงงข้าวโพด มอดพินเลื้อย มอดแปง และมอดยาสูบ ได้ทุกระยะการเจริญเติบโต ได้แก่ 0.66, 0.24, 0.30, 0.09 และ 0.12 mg/l ตามลำดับ (ตารางที่ 3) สำหรับการรมที่ระยะเวลา 7 วัน ความเข้มข้นที่สามารถฆ่าแมลงได้ทุกระยะการเจริญเติบโต ได้แก่ 0.18, 0.06, 0.12, 0.06 และ 0.09 mg/l ตามลำดับ (ตารางที่ 4)

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าระยะเวลาในการรมมีผลต่อความเข้มข้นที่ใช้ ถ้าเวลาในการรมสั้น เช่น 1 และ 3 วัน ความเข้มข้นของฟอสฟีนที่สามารถฆ่าระยะไข่และดักแด้จะสูงกว่าระยะหนอนและตัวเต็มวัยมาก ดังนั้นการรมที่ระยะเวลาสั้นถ้าต้องการฆ่าแมลงให้ได้ทุกระยะการเจริญเติบโตจำเป็นต้องใช้ความเข้มข้นที่สูงมาก แต่ Qureshi *et al.* (1965) รายงานว่าการใช้ฟอสฟีนความเข้มข้นสูงเกินไปจะทำให้แมลงลดความเป็นพิษของฟอสฟีนด้วยการลดอัตราการหายใจโดยเข้าสู่ภาวะสลบ (narcosis) แมลงจะหยุดการเคลื่อนไหวและหายใจช้าลงจึงรับออกซิเจนเข้าไปน้อยลง ซึ่งเป็นการป้องกันตัวเองจากพิษของฟอสฟีน โดยฟอสฟีนจะเป็นพิษกับแมลงในสภาพที่มีออกซิเจนเท่านั้น ถ้าไม่มีออกซิเจนฟอสฟีนจะไม่สามารถแทรกซึมเข้าสู่เซลล์เมมเบรนได้ และไม่สามารถทำปฏิกิริยาต่อฮีโมโกลบินได้ เมื่อไม่มีออกซิเจนฟอสฟีนจะเป็นพิษกับแมลงน้อยลง (Bond และ Monro, 1967; Bond, 1969; Nakakita, 1974) ถ้าใช้เวลาในการรมสั้นจำเป็นต้องใช้ความเข้มข้นของก๊าซฟอสฟีนสูงมาก อาจทำให้แมลงเข้าสู่ภาวะสลบ (narcosis) ทำให้ไม่สามารถฆ่าแมลงได้ทุกระยะการเจริญเติบโต การรมจึงไม่มีประสิทธิภาพ

เมื่อเพิ่มระยะเวลาการรมเป็น 5 และ 7 วัน ความเข้มข้นของฟอสฟีนที่สามารถฆ่าแมลงได้จะลดลงอย่างมาก ยิ่งใช้ระยะเวลาในการรมนานความเข้มข้นที่มีประสิทธิภาพในการฆ่าแมลงยิ่งต่ำลง Hole *et al.* (1976) และ Winks (1986, 1987) รายงานว่าการใช้ฟอสฟีนความเข้มข้นต่ำแต่ระยะเวลานานมีประสิทธิภาพดีกว่าการรมด้วยความเข้มข้นสูงแต่ระยะเวลานั้น โดยความเข้มข้นต่ำจะมีประสิทธิภาพถ้าระยะเวลาในการรมนานเพียงพอ เนื่องจากเมื่อเพิ่มระยะเวลาการรมแมลงระยะไข่และดักแด้ซึ่งเป็นระยะที่ทนทานต่อฟอสฟีนจะพัฒนาเป็นระยะหนอนและตัวเต็มวัยซึ่งเป็นระยะที่อ่อนแอต่อฟอสฟีน van Graver และ Annis (1994) รายงานว่าแมลงสายพันธุ์ต้านทานรอดชีวิตจากฟอสฟีนความเข้มข้นสูงในระยะเวลาสั้นๆ แต่เมื่อเพิ่มระยะเวลาให้นานขึ้นแม้ว่าใช้ฟอสฟีนความเข้มข้นต่ำ

ก็มีประสิทธิภาพในการกำจัดแมลง ดังนั้นการรมที่ความเข้มข้นต่ำแต่ใช้เวลานานดีกว่าการรมที่ความเข้มข้นสูงแต่ระยะเวลาการรมสั้น การใช้ฟอสฟีนควรเพิ่มระยะเวลาในการรมโดยไม่จำเป็นต้องเพิ่มปริมาณสารรม

จากผลการทดลองพบว่าแมลงแต่ละชนิดมีความทนทานต่อก๊าซฟอสฟีนได้ไม่เท่ากัน โดยมอดหัวป้อมมีความทนทานต่อก๊าซฟอสฟีนมากที่สุด เพราะต้องใช้ความเข้มข้นสูงที่สุดในการทำให้แมลงตายทุกระยะการเจริญเติบโต ส่วนแมลงชนิดอื่นๆ มีความทนทานต่อฟอสฟีนไม่แตกต่างกันมากนัก ในแมลงชนิดเดียวกันพบว่าแต่ละระยะการเจริญเติบโตมีความทนทานต่อก๊าซฟอสฟีนได้ไม่เท่ากัน โดยระยะการเจริญเติบโตที่ทนทานต่อก๊าซฟอสฟีนมากที่สุด ได้แก่ ไข่ และดักแด้ สอดคล้องกับ van Graver (2009) ที่รายงานวาระยะไข่เป็นระยะที่ทนทานมากที่สุด หนอนอายุมากจะทนทานกว่าหนอนอายุน้อย ดักแด้อายุน้อยจะทนทานกว่าดักแด้อายุมาก ส่วนตัวเต็มวัยทั้งอายุน้อยและอายุมากจะมีความทนทานเท่าๆ กัน Winks (1987) รายงานว่าไข่และดักแด้ที่อายุน้อยๆ จะทนทานกว่าระยะหนอนและตัวเต็มวัยถึง 65 เท่า ความทนทานของแมลงต่อฟอสฟีนเกี่ยวข้องกับอัตราการหายใจเพราะเป็นตัวควบคุมปริมาณฟอสฟีนที่เข้าสู่ร่างกายและทำให้เกิดความเป็นพิษขึ้น ก๊าซฟอสฟีนจะเข้าสู่ร่างกายของแมลงระยะหนอน ดักแด้ และตัวเต็มวัยผ่านรู spiracle และระยะไข่จะเข้าไปทาง chorion (Monro, 1974) แมลงที่หายใจมากจะได้รับออกซิเจนมากจึงอ่อนแอกว่าแมลงที่หายใจน้อยและได้รับออกซิเจนน้อย แมลงที่มีเมตาโบลิซึมต่ำจะทนทานมากกว่าแมลงที่มีเมตาโบลิซึมสูง ดังนั้นไข่และดักแด้จึงทนทานมากกว่าหนอนและตัวเต็มวัย (Cotton, 1932; Bond และ Monro, 1967)

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

1. แมลงศัตรูผลิตผลเกษตรแต่ละชนิดมีความทนทานต่อก๊าซฟอสฟีนได้แตกต่างกัน โดยมอดหัวป้อมมีความทนทานต่อก๊าซฟอสฟีนมากที่สุด ส่วนแมลงชนิดอื่นๆ มีความทนทานต่อฟอสฟีนไม่แตกต่างกันมากนัก
2. ในแมลงชนิดเดียวกันถ้าระยะการเจริญเติบโตต่างกันก็จะมีผลความทนทานต่อก๊าซฟอสฟีนได้ต่างกัน ซึ่งระยะการเจริญเติบโตที่ทนทานต่อก๊าซฟอสฟีนมากที่สุด ได้แก่ ไข่ และดักแด้
3. การรมผลิตผลเกษตรด้วยสารรมฟอสฟีนควรรมที่ความเข้มข้นต่ำแต่ใช้ระยะเวลาานดีกว่าการรมที่ความเข้มข้นสูงแต่ใช้ระยะเวลาสั้น หากใช้ระยะเวลาในการรมสั้นเกินไป เช่น 1 หรือ 3 วัน อาจจะไม่สามารถกำจัดแมลงได้ทุกระยะการเจริญเติบโต แต่ถ้ายืดระยะเวลาในการรมให้นานขึ้น เช่น ที่ 5 หรือ 7 วัน ความเข้มข้นของก๊าซฟอสฟีนที่ใช้ก็จะลดลงอย่างมากแต่ก็มีประสิทธิภาพในการกำจัดแมลงเช่นเดียวกัน ดังนั้นควรเพิ่มเวลาในการรมโดยไม่จำเป็นต้องเพิ่มปริมาณสารรม

การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

ในประเทศไทยมีการใช้สารรมฟอสฟีนกันอย่างกว้างขวาง เนื่องจากเป็นวิธีการเดียวที่สามารถกำจัดแมลงศัตรูผลิตผลเกษตรได้ทุกระยะการเจริญเติบโตโดยไม่มีพิษตกค้าง แต่ผู้ปฏิบัติงานขาดความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับสารรมฟอสฟีน ยังมีการรมโดยใช้ระยะเวลาสั้นเกินไป ดังนั้นความรู้ที่ได้ในครั้งนี้สามารถนำไปเผยแพร่แก่เกษตรกร

ผู้ประกอบการและผู้ที่เกี่ยวข้อง เพื่อมีความเข้าใจการใช้สารรม เพื่อการรมอย่างถูกต้อง เหมาะสมและมีประสิทธิภาพ

เอกสารอ้างอิง

- พรทิพย์ วิสารทานนท์ กุสุมา นวลวัฒน์ บุชรา จันทรแก้วมณี ใจทิพย์ อุไรชื่น รังสิมา เก่งการพานิช กรรณิการ์ เพ็งคุ้ม จิราภรณ์ ทองพันธ์ ดวงสมร สุทธิสุทธิ์ ลักษณา ร่มเย็น และภาวิณี หนูชนะภัย. 2548. แมลงที่พบในผลิตภัณฑ์และการป้องกันกำจัด. กลุ่มวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว. สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตภัณฑ์เกษตร กรมวิชาการเกษตร. 156 หน้า
- Abbott, W.S. 1925. A method of computing the effectiveness of an insecticide. *J. Econ. Ento.* 18(2) : 265-267.
- Banks, H.J. 1994. Fumigation an endangered technology. In 6th International Working Conference on Stored-Product Protection: Proc. Int. Conf., Canberra, Australia, 17-23 April 1994, 1: 1-6.
- Bond, E.J. and H.A.U. Monro. 1967. The role of oxygen in the toxicity of fumigants to insects. *J. stored Prod. Res.* 3 : 295-310.
- Bond, E.J. and J.R. Robinson and C.T. Buckland. 1969. The toxic action of phosphine. *J. stored Prod. Res.* 5 : 289-298.
- Bond, E.J. 1984. Manual of Fumigation for Insect Control. *FAO Plant Production and Protection Paper No. 54.* 432 p.
- Cotton, R. T. 1932. The relation of respiratory metabolism of insects to their susceptibility to fumigants. *J. Econ. Ento.* 25 : 1088-1103.
- Hole, B.D., C.H., Bell, K.A. Mill and G. Goodship. 1976. The toxicity of phosphine to all developmental stages of thirteen species of stored-product beetles. *J. stored Prod. Res.* 12 : 235-244.
- Monro, H.A.U. 1974. Manual of Fumigation for Insect Control. *FAO Agricultural Studies No. 79.* 381 p.
- Nakakita, H., T. Saito and K. Iyatomi. 1974. Effect of phosphine on the respiration of adult *Sitophilus zeamais* Motsch. (Coleoptera : Curculionidae). *J. stored Prod. Res.* 10 : 87-92.
- Qureshi, A. H., E. J. Bond and H. A. U. Monro. 1965. Toxicity of hydrogen phosphide to the granary weevil *Sitophilus granaries* and other insects. *J. Econ. Ento.* 58 : 324-331.

- Van Someren Graver, J.E and P.C. Annis. 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.* Kuala Lumpur, AFHB/Canberra, ACIAR. 79 p.
- Van Someren Graver, J.E., 2009. Best fumigation practice. 12 p. *Seminar on Methyl bromide phase-out update and good practice for fumigation.* March 11, 2009. Bangkok, Thailand.
- Winks R.G. 1986. The biological efficacy of fumigants : Time/dose response phenomena. Pages 211-221. *In : Pesticides and Humid Tropical Grain Storage System Proc. Int. seminar, ACIAR Proceeding No 14.* Manila, Philippines.
- Winks, R.G. 1987. Strategies for effective use of phosphine as a grain fumigant and the implications of resistance. Pages 335-344. *In : Proceedings of the 4th International Working Conference on Stored-product Protection.* Tel Aviv, Israel.

ตารางที่ 1 อัตราการตายของแมลงเมื่อรมด้วยก๊าซฟอสฟีนที่อัตราๆ ที่ระยะเวลาในการรม 1 วัน

ชนิดแมลง	ความเข้มข้น (mg/l)	ระยะการเจริญเติบโต	ความเข้มข้นที่ทำให้ตาย 100%	
			mg/l	ppm
มอดหัวป้อม	0.12 - 0.78	ไข่	> 0.78	> 650
		หนอน	0.12	100
		ดักแด้	> 0.78	> 650
		ตัวเต็มวัย	0.48	400
ด้วงงวงข้าวโพด	0.06 - 0.72	ไข่	> 0.72	> 600
		หนอน	0.72	600
		ดักแด้	> 0.72	> 600
		ตัวเต็มวัย	0.06	50
มอดพื้นเลื้อย	0.06 - 0.72	ไข่	> 0.72	> 600
		หนอน	0.42	350
		ดักแด้	> 0.72	> 600
		ตัวเต็มวัย	0.54	450
มอดแป้ง	0.03 - 0.60	ไข่	> 0.60	> 500
		หนอน	0.24	200
		ดักแด้	> 0.60	> 500
		ตัวเต็มวัย	0.36	300

มอดยาสูบ	0.03 - 0.36	ไข่	> 0.36	> 300
		หนอน	0.15	125
		ดักแด้	> 0.36	> 300
		ตัวเต็มวัย	0.15	125

ตารางที่ 2 อัตราการตายของแมลงเมื่อรมด้วยก๊าซฟอสฟีนที่อัตราๆ ที่ระยะเวลาในการรม 3 วัน

ชนิดแมลง	ความเข้มข้น (mg/l)	ระยะการเจริญเติบโต	ความเข้มข้นที่ทำให้ตาย 100%	
			mg/l	ppm
มอดหัวป้อม	0.12 - 0.78	ไข่	0.72	600
		หนอน	0.72	650
		ดักแด้	> 0.78	> 650
		ตัวเต็มวัย	0.48	400
ด้วงวงข้าวโพด	0.06 - 0.72	ไข่	0.06	50
		หนอน	0.12	100
		ดักแด้	0.54	450
		ตัวเต็มวัย	0.06	50
มอดฟันเลื่อย	0.06 - 0.72	ไข่	0.30	250
		หนอน	0.30	250
		ดักแด้	0.15	150
		ตัวเต็มวัย	0.12	100
มอดแป้ง	0.03 - 0.60	ไข่	0.42	350
		หนอน	0.06	50
		ดักแด้	0.24	200
		ตัวเต็มวัย	0.06	50
มอดยาสูบ	0.03 - 0.36	ไข่	> 0.36	> 300
		หนอน	0.06	50
		ดักแด้	0.15	125
		ตัวเต็มวัย	0.03	25

ตารางที่ 3 อัตราการตายของแมลงเมื่อรมด้วยก๊าซฟอสฟีนที่อัตราฯ ที่ระยะเวลาในการรม 5 วัน

ชนิดแมลง	ความเข้มข้น (mg/l)	ระยะการเจริญเติบโต	ความเข้มข้นที่ทำให้ตาย 100%	
			mg/l	ppm
มอดหัวป้อม	0.12 - 0.78	ไข่	0.12	100
		หนอน	0.42	350
		ดักแด้	0.48	400
		ตัวเต็มวัย	0.66	550
ด้วงวงข้าวโพด	0.06 - 0.72	ไข่	0.12	100
		หนอน	0.12	100
		ดักแด้	0.24	200
		ตัวเต็มวัย	0.06	50
มอดพื้นเลื้อย	0.06 - 0.72	ไข่	0.30	250
		หนอน	0.12	100
		ดักแด้	0.12	100
		ตัวเต็มวัย	0.12	100
มอดแป้ง	0.03 - 0.60	ไข่	0.09	75
		หนอน	0.03	25
		ดักแด้	0.03	25
		ตัวเต็มวัย	0.06	50
มอดยาสูบ	0.03 - 0.36	ไข่	0.09	75
		หนอน	0.09	75
		ดักแด้	0.12	100
		ตัวเต็มวัย	0.03	25

ตารางที่ 4 อัตราการตายของแมลงเมื่อรมด้วยก๊าซฟอสฟีนที่อัตราฯ ที่ระยะเวลาในการรม 7 วัน

ชนิดแมลง	ความเข้มข้น (mg/l)	ระยะการเจริญเติบโต	ความเข้มข้นที่ทำให้ตาย 100%	
			mg/l	ppm
มอดหัวป้อม	0.12 - 0.78	ไข่	0.12	100
		หนอน	0.18	150
		ดักแด้	0.12	100
		ตัวเต็มวัย	0.12	100
ด้วงวงข้าวโพด	0.06 - 0.72	ไข่	0.06	50
		หนอน	0.06	50
		ดักแด้	0.06	50
		ตัวเต็มวัย	0.06	50
มอดฟันเลื่อย	0.06 - 0.72	ไข่	0.06	50
		หนอน	0.12	100
		ดักแด้	0.06	50
		ตัวเต็มวัย	0.12	100
มอดแป้ง	0.03 - 0.60	ไข่	0.06	50
		หนอน	0.03	25
		ดักแด้	0.03	25
		ตัวเต็มวัย	0.06	50
มอดยาสูบ	0.03 - 0.36	ไข่	0.09	75
		หนอน	0.09	75
		ดักแด้	0.06	50
		ตัวเต็มวัย	0.03	25