รายงานผลงานเรื่องเต็มการทดลองที่สิ้นสุด

---

1. **แผนงานวิจัย** วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวเพื่อเพิ่มมูลค่าผลิตผลเกษตร
2. **ชุดโครงการวิจัย** การลดความสูญเสียในผลิตผลเกษตรจากศัตรูพืชหลังการเก็บเกี่ยวและสารพิษจากเชื้อรา
   โครงการวิจัย การลดความสูญเสียผลิตผลเกษตรจากแมลงศัตรู
   กิจกรรม การควบคุมแมลงศัตรูผลิตผลเกษตรโดยวิธีทางกายภาพ
3. **ชื่อการทดลอง (ภาษาไทย)** การใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไนโตรเจนในภาชนะปิดเพื่อควบคุมแมลงศัตรูผลิตผลเกษตรในระดับการค้า
   ชื่อการทดลอง (ภาษาอังกฤษ) The use of carbon dioxide and nitrogen in enclosure to control stored-product insects in commercial scale
4. **คณะผู้ดำเนินงาน**

หัวหน้าการทดลอง	ใจทิพย์ อุไรชื่น	กวป.
ผู้ร่วมงาน	พนัญญา พบสุข	กวป.
	ศรุตา สิทธิไชยากุล	กวป.

5. **บทคัดย่อ**

การทดสอบประสิทธิภาพการรมแมลงศัตรูผลิตผลเกษตรที่สำคัญ ด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไนโตรเจน ได้ดำเนินการทดสอบระหว่างเดือนตุลาคม 2558 ถึงเดือนกันยายน 2563 ในห้องปฏิบัติการกองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร กรมวิชาการเกษตร และโรงสีข้าวโชคฉัตรชัย อ. เฉลิมพระเกียรติ จ. สระบุรี โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อทราบถึงผลของการใช้ก๊าซแต่ละชนิดที่ระยะเวลาต่าง ๆ ที่มีต่อการตายของแมลงที่เป็นศัตรูผลิตผลเกษตรหลังเก็บเกี่ยว โดยได้ทดสอบประสิทธิภาพ**ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์** ความเข้มข้น 60 80 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ใน**ข้าวสาร 250 กรัม** กับแมลงศัตรู 4 ชนิด ได้แก่ ด้วงงวงข้าวโพด มอดแป้ง มอดฟันเลื่อย และมอดหนวดยาว ที่ทุกระยะการเจริญเติบโต พบว่า คาร์บอนไดออกไซด์ 60 เปอร์เซ็นต์ ที่ระยะเวลา 30 และ 36 ชั่วโมงสามารถควบคุมด้วงงวงข้าวโพดระยะตัวเต็มวัยได้หมด แต่ไม่ได้ผลสำหรับระยะอื่น ความเข้มข้น 80 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ให้ผลการควบคุมด้วงงวงข้าวโพดไม่ได้เช่นกันเนื่องจากระยะเวลาที่ใช้สั้นเกินไป ที่ทุกความเข้มข้นสามารถควบคุมตัวเต็มวัยของมอดแป้งได้ดี แต่ไม่สามารถควบคุมระยะตัวอ่อนได้ ในขณะที่ความเข้มข้น 60 เปอร์เซ็นต์ ระยะเวลา 30 ชั่วโมงขึ้นไป ให้ผลดีในการควบคุมมอดฟันเลื่อยทุกระยะ ยกเว้นระยะดักแด้ และควบคุมมอดหนวดยาวระยะหนอนและตัวเต็มวัยได้ดี ยกเว้นระยะไข่และระยะดักแด้ เมื่อทดสอบกับด้วงงวงข้าวโพดใน**ข้าวสาร 10 กิโลกรัม** ระยะเวลาการรม 5, 8, 11 และ 15 วัน พบว่า ระยะตัวเต็มวัยของด้วงงวงข้าวโพดเป็นระยะที่อ่อนแอต่อก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่สุด ที่ทุกความเข้มข้นใช้เวลาในการรม 5 วัน สามารถควบคุมตัวเต็มวัยได้หมด คาร์บอนไดออกไซด์ 60 เปอร์เซ็นต์ สามารถควบคุมระยะหนอนและดักแด้ได้หมดที่เวลา 11

กรมวิชาการเกษตร

และ 8 วันตามลำดับ ความเข้มข้น 80 เปอร์เซ็นต์ ให้ผลการควบคุมระยะไข่ และหนอนได้ดี ตั้งแต่การรมที่ 5 วัน แต่ต้องใช้เวลาเพิ่มขึ้นเป็น 11 วันสำหรับระยะดักแด้ ที่ความเข้มข้น 100 เปอร์เซ็นต์ ให้ผลการควบคุมระยะไข่ หนอน และดักแด้ได้ดีที่ระยะเวลา 11 วัน เมื่อทดสอบกับ**ข้าวสาร 1 ตัน** พบว่า เมื่อรักษาระดับความเข้มข้นไม่ต่ำกว่า 60 เปอร์เซ็นต์ตลอดระยะเวลาการรม สามารถควบคุม ด้วงงวงข้าวโพด มอดแป้ง มอดฟันเลื่อย และมอดหนวดยาว ทุกระยะได้ที่เวลา 8, 5, 8 และ 11 วัน ตามลำดับ หลังจากนั้นได้ทดสอบประสิทธิภาพ**ก๊าซไนโตรเจน** 99.5 เปอร์เซ็นต์ ที่ระยะเวลา 5, 8, 11, 13 และ 15 วัน ใน**ข้าวสาร 250 กรัม** พบว่า ให้ผลการควบคุมที่ดี แมลงส่วนใหญ่ตายหมดทุกระยะตั้งแต่ 5 วันแรกของการรม มีเพียงด้วงงวงข้าวโพด ที่ควบคุมระยะหนอนและดักแด้ได้ 80.88 และ 83.25 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ เมื่อเพิ่มระยะเวลาเป็น 8 วัน สามารถควบคุมระยะดักแด้ได้หมด แต่สำหรับระยะหนอนต้องเพิ่มเวลาเป็น 11 วัน จึงควบคุมได้อย่างสมบูรณ์ เมื่อทดสอบใน**ข้าวสาร 10 กิโลกรัม** พบว่า ต้องใช้เวลา 11 วัน จึงควบคุมระยะหนอนและดักแด้ของด้วงงวงข้าวโพดได้หมด ในขณะที่ก๊าซไนโตรเจนสามารถควบคุมแมลงชนิดอื่น ๆ ได้ที่ระยะเวลา 5 วัน สรุปได้ว่า ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซไนโตรเจน ต่างมีประสิทธิภาพในการควบคุมแมลงศัตรูผลิตผลเกษตร ถ้ารักษาระดับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ให้ไม่ต่ำกว่า 60 เปอร์เซ็นต์ตลอดระยะเวลาการรม 11 วัน สามารถควบคุมด้วงงวงข้าวโพด มอดแป้ง มอดฟันเลื่อย และมอดหนวดยาว ได้ทุกระยะการเจริญเติบโต แต่การใช้ก๊าซไนโตรเจนเพื่อควบคุมแมลง จำเป็นต้องรักษาความเข้มข้นให้ใกล้เคียง 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นการลดระดับก๊าซออกซิเจนให้ต่ำที่สุด การทดสอบในห้องปฏิบัติการ เพื่อให้การควบคุมมอดแป้ง มอดฟันเลื่อย มอดหนวดยาว และด้วงงวงข้าวโพดซึ่งเป็นแมลงที่มีความทนทานต่อก๊าซไนโตรเจนที่สุด ต้องใช้เวลา 11 วัน ทั้งนี้ ชนิดและระยะการเจริญเติบโตของแมลง ความเข้มข้นของก๊าซที่ใช้และระยะเวลาการรม รวมถึงประสิทธิภาพในการเก็บก๊าซ มีผลต่อประสิทธิภาพการควบคุมแมลง

Using carbon dioxide (CO_2) and nitrogen (N_2) for the control of stored product pests has been developed and situated from October, 2015 to September, 2020 at Post-harvest and Processing Research and Development Office, Department of Agriculture and at Chok Chatchai Rice mill, Chaloemphrakiat district, Saraburi. The aim of our research was to study the effect of CO_2 and N_2, at various exposure time, to mortality percentage of stored product insects. In 1st study, three concentrations of **CO_2** were chosen to apply in 250 g, 10 kg and 1 tonnes of rice: 60%, 80% and 100%. Four species tested in the first experiment were *Sitophilus zeamais*, *Tribolium castaneum*, *Oryzaephilus surinamensis* and *Cryptolestes* sp., at all developmental stages. In **250 g of rice**, the control efficiency of 60% CO_2 for 30 and 36 h showed good result in control adult of *Sitophilus zeamais*, but not be effective to other stages. 80% and 100% CO_2 could not kill all maize weevil because of too short exposure time. Each concentration could control adult of *Tribolium castaneum,* but not for immature stage. 60% CO_2 for >30 h gave good control for *Oryzaephilus surinamensis* except pupal stage and for *Cryptolestes* sp. excluding egg and pupal stage. In **10 kg of rice**, testing

กรมวิชาการเกษตร

with maize weevil for 5, 8, 11 and 15 days, adult of this sp. was the most susceptible stage to CO_2. All concentration was effective to maize weevil adult in 5 days. 60% CO_2 could control larval and pupal stage at 11 and 8 days, respectively. 80% CO_2 could control egg and larval stage in 5 days, but extension to 11 days was needed to kill pupal stage. 100% CO_2 could control egg, larva and pupa in 11 days. Testing in **1 tonne of rice**, the result showed that, while the air space was maintained at >60% CO_2. *Sitophilus zeamais*, *Tribolium castaneum*, *Oryzaephilus surinamensis* and *Cryptolestes* sp., could be completely killed in 8, 5, 8 and 11 days, respectively. **N_2** at 99.5% was applied in 2nd testing for 5, 8, 11, 13 and 15 days. In **250 g of rice**, almost insects died for 5 days, except maize weevil that N_2 could control larval stage for 80.88% and 83.25% for pupal stage. The exposure time had to be 8 days for completely control pupal stage and 11 days for larval stage. In **10 kg of rice**, we needed 11 days for larval and pupal stage of maize weevil, whereas N_2 could control the other insects in 5 days. In conclusion, either CO_2 or N_2 are effective to control insect pest of stored products. If CO_2 level can be maintained >60% for 11 days, these four species of insects will be completely controlled. On the other side, large quantities of N_2 are necessary to maintain the concentration nearly 100%. In laboratory, maize weevil, the most tolerant to N_2, required 11 days of exposure to attain 100% mortality. However, species and developmental stages of insects, concentration of gas and the exposure time, including sealing efficacy have the effect on the control efficiency.

6. คำนำ

แมลงเป็นศัตรูที่สำคัญและทำความเสียหายให้แก่ผลิตผลเกษตรหลังการเก็บเกี่ยวมากที่สุด แมลงศัตรูผลิตผลเกษตรหลังเก็บเกี่ยวที่สำคัญมีหลายชนิด โดยด้วงงวงข้าวโพด, *Sitophilus*. *zeamais* Motschulsky; มอดแป้ง, *Tribolium castaneum* (Herbst); มอดฟันเลื่อย, *Oryzaephilus surinamensis* (Linnaeus); และมอดหนวดยาว, *Cryptolestes* sp. เป็นแมลงที่พบได้มากในผลิตผลเกษตรหลังเก็บเกี่ยวของประเทศไทย แมลงเหล่านี้กัดกินผลิตผลเกษตรโดยตรงทำให้สูญเสียน้ำหนัก และปล่อยมูลออกมาทำให้ผลิตผลสกปรก มีผลต่อการซื้อขายและการส่งออก และส่งผลต่อการแปรรูปอาหารที่ใช้ผลิตผลเหล่านี้เป็นวัตถุดิบ วิธีการป้องกันและกำจัดแมลงศัตรูผลิตผลเกษตรที่เหมาะสม สามารถทำได้ทั้งการใช้สารเคมี และไม่ใช้สารเคมี ในปัจจุบันผู้บริโภคหันมาให้ความสำคัญกับการป้องกันกำจัดแมลงโดยไม่ใช้สารเคมีมากขึ้น เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของปัญหาแมลงสร้างความต้านทานต่อสารรม และสารตกค้างในผลิตผลเกษตรจากการใช้สารเคมี วิธีการทางกายภาพ (physical control) จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ การดัดแปลงหรือการควบคุมสภาพบรรยากาศเป็นการเปลี่ยนหรือดัดแปลงสภาพแวดล้อมของแมลง แทนที่อากาศที่มีอยู่ในภาชนะ ในบรรจุภัณฑ์ หรือในสภาพการเก็บรักษา ด้วยการเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซไนโตรเจน ทำให้ก๊าซออกซิเจนลดลงให้เหลือน้อย

กรมวิชาการเกษตร

ที่สุด ทำให้แมลงไม่สามารถเจริญเติบโตได้ตามปกติ ทั้งนี้นอกจากจะควบคุมแมลงแล้ว วิธีนี้ยังสามารถลด หรือป้องกันการเจริญเติบโตของเชื้อรา ซึ่งมีผลดีในการจำกัดการสร้างไมโคทอกซิน (mycotoxin) เช่น อะฟลาทอกซิน (aflatoxin) ได้ (Jay, 1984) การใช้ก๊าซต่าง ๆ ในสภาพการเก็บรักษาปิด เป็นวิธีการที่มีศักยภาพในการป้องกันผลิตผลเกษตรจากการเข้าทำลายของแมลงศัตรู เมื่อสินค้าหรือผลิตผลเกษตรอยู่ในสภาพที่อากาศไม่สามารถผ่านเข้า-ออกได้ (airtight storage) การหายใจของผลิตผลเกษตรและแมลงที่เข้าทำลาย ทำให้ปริมาณก๊าซออกซิเจนลดลงและปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น และผลของอากาศที่เปลี่ยนไปนี้มีผลทำให้แมลงไม่สามารถมีชีวิตรอดได้ (Press and Harein, 1967) ซึ่งต้องใช้เวลาระยะหนึ่งในการทำให้ก๊าซออกซิเจนหมดไปหรือเหลือน้อยที่สุดจนกระทั่งแมลงตาย

อากาศประกอบด้วยก๊าซไนโตรเจน 78 เปอร์เซ็นต์ ก๊าซออกซิเจน 21 เปอร์เซ็นต์ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 0.04 เปอร์เซ็นต์ ก๊าซไนโตรเจนจะเป็นอันตรายก็ต่อเมื่อก๊าซไนโตรเจนไปแทนที่ก๊าซออกซิเจนเท่านั้น ในขณะที่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะเป็นพิษที่ความเข้มข้น 7-10 เปอร์เซ็นต์ ก๊าซไนโตรเจนเป็นก๊าซเฉื่อย (inert gas) ไม่ติดไฟ มีน้ำหนักเบากว่าอากาศเล็กน้อย เนื่องจากเป็นก๊าซที่ไม่ว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยา จึงนิยมใช้เป็นก๊าซสำหรับป้องกันการทำปฏิกิริยาของสารเคมีกับอากาศ(การเกิดออกซิเดชัน) ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ทำให้ชิ้นงานไม่เกิดสนิม เช่น อุตสาหกรรมเหล็ก โลหะ อิเล็กทรอนิกส์ ปิโตรเคมี ยานยนต์ และเป็นก๊าซที่นิยมใช้กันมากที่สุดในอุตสาหกรรมอาหาร เพราะว่าเป็นก๊าซที่ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส ละลายในน้ำและไขมันได้น้อยมาก (นิรนาม, 2562) ได้มีการนำก๊าซไนโตรเจน เข้าไปแทนที่อากาศภายในภาชนะบรรจุสำหรับไล่ก๊าซออกซิเจนในภาชนะบรรจุผลิตภัณฑ์ที่ไวต่อปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation Reaction) เช่น อาหารที่มีไขมันมาก น้ำผลไม้ เป็นต้น ไนโตรเจนเป็นก๊าซที่นิยมใช้กันมากที่สุดในระบบ Gas Flushing ในอุตสาหกรรมอาหาร (Lehman, 2020) จึงเป็นเหตุผลหนึ่งในการนำก๊าซไนโตรเจนมาใช้กับผลิตผลเกษตรได้โดยไม่เกิดผลกระทบต่อคุณภาพ คาร์บอนไดออกไซด์ เป็นก๊าซอีกชนิดหนึ่งที่สามารถนำมาใช้เพื่อควบคุมแมลงศัตรูผลิตผลเกษตร การแทนที่อากาศปกติด้วยอากาศที่ประกอบด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ความเข้มข้นสูงและก๊าซออกซิเจนความเข้มข้นต่ำ เข้าไปในโครงสร้างที่จะทำการรม เป็นเทคโนโลยีที่สามารถเก็บรักษาเมล็ดพืชได้เป็นอย่างดี โดยเฉพาะเพื่อเป็นวิธีควบคุมแมลงศัตรูซึ่งไม่ต้องพึ่งพาสารเคมีที่มีพิษ (Shejbal, 1980)

Press และ Harein (1967) ศึกษาการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ หรือก๊าซไนโตรเจนเข้าไปแทนที่อากาศปกติอย่างต่อเนื่อง พบว่าที่อัตราการไหลของก๊าซสูงสุดคือ 200 มิลลิลิตรต่อนาที ก๊าซทั้งสองชนิดใช้เวลา 1 วันในการทำให้ก๊าซออกซิเจนลดลงเหลือศูนย์ และที่อัตราเดียวกันนี้ ก๊าซทั้งสองชนิดทำให้มอดแป้ง (*Tribolium castaneum*) ตายหมด 100 เปอร์เซ็นต์ภายใน 2 วัน และที่อัตราการไหลของก๊าซต่ำกว่า การตายของมอดแป้งก็แตกต่างกันไป การดัดแปลงสภาพบรรยากาศให้เปลี่ยนไปจากปกติ โดยมีปริมาณก๊าซออกซิเจนต่ำ (0.5 เปอร์เซ็นต์ หรือต่ำกว่า) และ/หรือ มีปริมาณก๊าซออกซิเจนสูง (40 เปอร์เซ็นต์หรือสูงกว่า) ให้ผลการควบคุมแมลงในผลไม้แห้ง ผลไม้เปลือกแข็ง และผัก ได้ดี มีประสิทธิภาพสำหรับการนำไปใช้เป็นวิธีการทดแทนการรมด้วยเมทิลโบรไมด์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ระยะเวลาในการรม และระยะการเจริญเติบโตของแมลง (Kitinoja and Kader, 1995) Delate (1990) ได้ศึกษาการเก็บรักษามันเทศที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสในสภาพบรรยากาศที่มีก๊าซออกซิเจน 2-4 เปอร์เซ็นต์ และก๊าซ

คาร์บอนไดออกไซด์ 40-60 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ควบคุมด้วงงวงมันเทศ (*Cylas formicarius elegantulus*) ได้ภายใน 2-7 วัน ในขณะที่ Soderstrom *et al.* (1990) พบว่าที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส การเก็บรักษา stone fruits โดยใช้สภาพบรรยากาศที่มีก๊าซออกซิเจน 0.5 เปอร์เซ็นต์ และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 10 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 2-3 วันสามารถควบคุมตัวเต็มวัยและไข่ของ codling moth (*Cydia pomonella*) ได้ และใช้เวลา 6-12 วันสำหรับระยะดักแด้โดยไม่มีผลต่อการเปลี่ยนของสีผลและความแน่นเนื้อขณะสุก Newton (1993) ศึกษาไว้ว่า เมื่อใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้น 60 เปอร์เซ็นต์ สามารถควบคุมมอดแป้ง *Tribolium castaneum* ได้ภายใน 7 วัน แต่สำหรับด้วงงวงข้าว *Sitophilus oryzae* ต้องใช้เวลา 14 วัน Carvalho *et al*. (2012) รายงานถึงประสิทธิภาพของการใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในการควบคุมแมลงศัตรูพืช 2 ชนิด ได้แก่ *Sitophilus zeamais* และ *Sitophilus oryzae* โดยรมข้าวที่เก็บไว้ในโรงสีข้าว ที่อุณหภูมิและเวลาแตกต่างกัน คือ ในไซโล (29.6± 0.1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 26 วัน, 34.1 ± 0.2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 วัน) และในถุงใหญ่ (22 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 26 วัน) พบว่า ในบรรยากาศดัดแปลง ระยะตัวเต็มวัยของ S. *zeamais* และระยะไข่ของ S. *oryzae* และ S. *zeamais* มีอัตราการตายใกล้เคียง 100 เปอร์เซ็นต์ และไม่มีอัตราการเกิดเพิ่มขึ้น

จะเห็นว่าการปรับสภาพบรรยากาศให้แตกต่างจากสภาพบรรยากาศปกติด้วยการเพิ่มความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ ไนโตรเจน หรือ ลดปริมาณออกซิเจน สามารถฆ่าแมลงได้ การวิจัยนี้จึงศึกษาการใช้ก๊าซทั้งสองชนิดในการควบคุมด้วงงวงข้าวโพด มอดแป้ง มอดฟันเลื่อย และมอดหนวดยาว ที่เข้าทำลายผลิตผลเกษตร เพื่อให้ได้ข้อมูลความเข้มข้นของก๊าซที่มีประสิทธิภาพ และระยะเวลาที่เหมาะสมที่มีผลทำให้แมลงตายอย่างสมบูรณ์

7. วิธีดำเนินการ

อุปกรณ์

1. ข้าวกล้อง ข้าวโพด และรำข้าว
2. ขวดแก้วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7.5 เซนติเมตร สูง 18 เซนติเมตร
3. ถ้วยพลาสติกทรงกระบอกพร้อมฝา เส้นผ่านศูนย์กลาง 7.5 เซนติเมตร สูง 9 เซนติเมตร
4. กระดาษซับ ผ้าขาวบาง
5. ถุงพลาสติก vacuum ขนาด 30x45 เซนติเมตร, ถุงพลาสติกเคลือบ ขนาด 45x65 เซนติเมตร และ 130x130x130 เซนติเมตร.
6. อุปกรณ์สำหรับปล่อยก๊าซ ได้แก่ วาล์ว ข้อต่อ สายยาง
7. ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซไนโตรเจน
8. เครื่องปิดผนึกถุงพลาสติกด้วยความร้อน
9. ปั๊มดูดอากาศ
10. เครื่องวัดความเข้มข้นก๊าซออกซิเจน

กรมวิชาการเกษตร

วิธีการ

ทดสอบประสิทธิภาพของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไนโตรเจน กับแมลง 4 ชนิด ได้แก่ ด้วงงวงข้าวโพด มอดแป้ง มอดฟันเลื่อย และมอดหนวดยาว ที่ทุกระยะการเจริญเติบโต คือ ระยะไข่ หนอน ดักแด้ และตัวเต็มวัย โดยใช้ข้าวสาร 250 กรัม และ 10 กิโลกรัม ในห้องปฏิบัติการ และข้าวสาร 1 ตัน (ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์) ในสภาพโรงเก็บ โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานดังต่อไปนี้

<u>ขั้นตอนที่ 1</u> การเตรียมแมลง

1.1 การเตรียมอาหารสำหรับเลี้ยงแมลง

นำเมล็ดข้าวกล้อง และเมล็ดข้าวโพด เก็บไว้ในตู้แช่แข็งที่อุณหภูมิประมาณ -20±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 สัปดาห์ เพื่อกำจัดแมลงที่อาจปนเปื้อนมา หลังจากนั้นนำมาปรับอุณหภูมิในสภาพอุณหภูมิห้อง แล้วจึงนำมาใช้เลี้ยงแมลง และใช้ในการทดสอบ เมล็ดข้าวมีความชื้นระหว่าง 12-13 เปอร์เซ็นต์ ส่วนรำข้าวได้ผ่านการอบในตู้อบลมร้อนที่ความร้อนประมาณ 70-80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7-8 ชั่วโมง และนำมาร่อนก่อนใช้เป็นอาหารของมอดแป้ง

1.2 การเลี้ยงเพิ่มปริมาณแมลง

นำแมลงแต่ละชนิด ซึ่งเก็บรวบรวมจากโรงสีข้าวและโกดังต่าง ๆ เลี้ยงเพิ่มปริมาณในห้องปฏิบัติการ ที่อุณหภูมิ 30±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 65±5เปอร์เซ็นต์ โดยใช้เมล็ดข้าวกล้องที่เตรียมไว้ตามข้อ 1.1 เป็นอาหารสำหรับด้วงงวงข้าวโพด รำข้าวสำหรับมอดแป้ง ข้าวโพดปั่นหยาบสำหรับมอดฟันเลื่อยและมอดหนวดยาว ใส่อาหารของแมลงแต่ละชนิดปริมาณ 200 กรัม ในขวดแก้ว แล้วปล่อยตัวเต็มวัยของแมลงอายุ 2-3 สัปดาห์ จำนวน 300 ตัว ปิดปากขวดด้วยกระดาษซับ หลังจากปล่อยให้แมลงผสมพันธุ์และวางไข่เป็นเวลา 7 วัน นำแมลงตัวเต็มวัยออกให้หมด จะได้เมล็ดข้าวกล้อง รำ และข้าวโพดปั่นหยาบที่มีไข่ของด้วงงวงข้าวโพด มอดแป้ง มอดฟันเลื่อย และมอดหนวดยาว ตามลำดับ เลี้ยงขยายพันธุ์เช่นนี้ทุกสัปดาห์ เพื่อให้ได้มีตัวเต็มวัยของแมลงทั้ง 4 ชนิดจำนวนมาก และมีความสม่ำเสมอกัน ใช้เป็นแมลงตั้งต้นสำหรับขั้นตอนต่อไป

1.3 การเตรียมแมลงสำหรับทดสอบ

เพื่อให้ได้ตัวอย่างแมลงแต่ละชนิด ทุกระยะการเจริญเติบโตพร้อมกันในวันที่ทดสอบ เตรียมระยะไข่ก่อนวันทดสอบ 3 วัน ระยะหนอน 21 วัน และระยะดักแด้ 28 วัน เตรียมระยะไข่ด้วยการนับตัวเต็มวัยอายุประมาณ 2-3 สัปดาห์ จากข้อ 1.2 จำนวน 200 ตัว ใส่ลงในถ้วยพลาสติกที่บรรจุอาหารของแมลงที่ผ่านการทำความสะอาดแล้ว จำนวน 250 กรัม วางผ้าขาวบางและปิดด้วยฝาพลาสติกเจาะรูตรงกลาง นำไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง ปล่อยให้ตัวเต็มวัยวางไข่เป็นเวลา 72 ชั่วโมง แล้วจึงคัดเลือกตัวเต็มวัยออกให้หมด จะได้ตัวอย่างที่มีไข่ของแมลงแต่ละชนิด ดำเนินการเช่นเดียวกันนี้สำหรับการเตรียมตัวอย่างแมลงระยะหนอน และระยะดักแด้ ส่วนระยะตัวเต็มวัย ก่อนการทดสอบ 1 วัน นับตัวเต็มวัยจำนวน 200 ตัวต่อ 1 ตัวอย่าง ใส่ในถ้วยพลาสติกและปิดฝาสำหรับใช้ทดสอบ จำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบต่อแมลง 1 ชนิด ต่อ 1 ระยะการเจริญเติบโต คือ จำนวนกรรมวิธี x 4 ซ้ำ เช่น เตรียมตัวอย่างที่มีไข่ของด้วงงวงข้าวโพดจำนวน 64 ถ้วย

กรมวิชาการเกษตร

สำหรับทดสอบข้าวกล้อง 250 กรัม จำนวน 16 กรรมวิธี และเตรียมตัวอย่างที่มีไข่ของด้วงงวงข้าวโพด จำนวน 52 ถ้วย สำหรับทดสอบข้าวสาร 10 กิโลกรัม จำนวน 13 กรรมวิธี

<u>ขั้นตอนที่ 2</u> การเตรียมภาชนะบรรจุและอุปกรณ์การปล่อยก๊าซ

เตรียมถุงพลาสติก vacuum ขนาด 30x45 เซนติเมตร สำหรับใส่ตัวอย่างทดลอง โดยเจาะรูที่ด้านก้นถุงพลาสติก และเชื่อมต่อเข้ากับวาล์วปิด/เปิดเพื่อใช้สำหรับดูดอากาศออก และใช้เป็นทางเข้าของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์หรือก๊าซไนโตรเจน และเตรียมถุงพลาสติกเคลือบที่สามารถกักเก็บก๊าซได้ ขนาด 45x65 เซนติเมตร สำหรับทดสอบกับข้าวสาร 10 กิโลกรัม โดยเจาะรูและเชื่อมต่อเข้ากับวาล์วปิด/เปิดเช่นเดียวกัน สำหรับการทดสอบข้าวขนาด 1 ตันด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ใช้พลาสติกเคลือบสำหรับการรม ที่ขึ้นรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ ขนาด 130x130x130 เซนติเมตร สวมครอบถุงจัมโบ้ และเจาะรูด้านล่างเพื่อเชื่อมต่อวาล์วปิด/เปิด ด้านบนของถุงพลาสติก เปิดช่องเป็นปล่องสำหรับเป็นทางออกของอากาศในขณะที่เติมก๊าซ เมื่อเติมก๊าซแล้วจึงปิดปล่องให้สนิท

<u>ขั้นตอนที่ 3</u> การทดสอบประสิทธิภาพของก๊าซในการควบคุมแมลง

3.1 การใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อควบคุมแมลงศัตรูผลิตผลเกษตรในห้องปฏิบัติการและในสภาพโรงเก็บ

3.1.1 ข้าวกล้อง 250 กรัม

ทดสอบก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ กับแมลง 4 ชนิด 4 ระยะการเจริญเติบโต โดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 3 ความเข้มข้น คือ 60% 80% และ 100% ทดสอบในถุงพลาสติก vacuum ขนาด 30x45 เซนติเมตร.วางแผนการทดลองแบบ CRD 16 กรรมวิธี จำนวน 4 ซ้ำ ดังนี้

1. ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 60% รมนาน 12 ชั่วโมง
2. ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 60% รมนาน 18 ชั่วโมง
3. ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 60% รมนาน 24 ชั่วโมง
4. ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 60% รมนาน 30 ชั่วโมง
5. ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 60% รมนาน 36 ชั่วโมง
6. ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 80% รมนาน 6 ชั่วโมง
7. ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 80% รมนาน 9 ชั่วโมง
8. ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 80% รมนาน 12 ชั่วโมง
9. ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 80% รมนาน 15 ชั่วโมง
10. ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 80% รมนาน 18 ชั่วโมง
11. ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 100% รมนาน 6 ชั่วโมง
12. ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 100% รมนาน 9 ชั่วโมง
13. ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 100% รมนาน 12 ชั่วโมง
14. ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 100% รมนาน 15 ชั่วโมง
15. ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 100% รมนาน 18 ชั่วโมง
16. กรรมวิธีควบคุม (ไม่ใส่ก๊าซ)

ศรีนครินทร์

นำถ้วยพลาสติกบรรจุข้าวกล้อง ข้าวโพดปั่นหยาบ และรำข้าว ที่มีแมลงแต่ละชนิด แต่ละระยะการเจริญเติบโตใส่ในถุงพลาสติก vacuum ที่เจาะรูและเชื่อมต่อวาล์วสำหรับเปิด/ปิดไว้แล้ว ปิดปากถุงด้วยเครื่องปิดผนึก เปิดวาล์วและดูดอากาศ (vacuum) ภายในถุงออกให้หมด แล้วปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เข้าไปให้เต็มถุง ดูดก๊าซออกให้หมดอีกครั้งหนึ่ง และปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แต่ละความเข้มข้นเข้าไปในถุงจนเต็มถุง ปิดวาล์ว นำไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง เมื่อครบกำหนดระยะเวลา นำถุงตัวอย่างมาตัดปากถุงด้านที่ปิดผนึกด้วยความร้อน และตรวจนับแมลงที่รอดชีวิต หรือตัวเต็มวัยที่เกิดขึ้นใหม่ในแต่ละกรรมวิธี

3.1.2 ข้าวสาร 10 กิโลกรัม

ทดสอบก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ กับด้วงงวงข้าวโพด 4 ระยะการเจริญเติบโต โดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 3 ความเข้มข้น คือ 60% 80% และ 100% เป็นเวลา 5, 8, 11 และ 15 วัน ทดสอบในถุงพลาสติกขนาด 45x65 เซนติเมตร.วางแผนการทดลองแบบ CRD 13 กรรมวิธี จำนวน 4 ซ้ำ ดังนี้

1. ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 60% รมนาน 5 วัน
2. ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 60% รมนาน 8 วัน
3. ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 60% รมนาน 11 วัน
4. ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 60% รมนาน 15 วัน
5. ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 80% รมนาน 5 วัน
6. ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 80% รมนาน 8 วัน
7. ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 80% รมนาน 11 วัน
8. ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 80% รมนาน 15 วัน
9. ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 100% รมนาน 5 วัน
10. ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 100% รมนาน 8 วัน
11. ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 100% รมนาน 11 วัน
12. ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 100% รมนาน 15 วัน
13. กรรมวิธีควบคุม (ไม่ใส่ก๊าซ)

เตรียมตัวอย่างด้วงงวงข้าวโพดให้ได้ครบทุกระยะการเจริญเติบโต โดยใช้ข้าวกล้อง 250 กรัมต่อระยะต่อซ้ำ นำไปใส่ลงในถุงผ้า มัดปากถุงให้แน่น ใส่ถุงผ้าที่มีแมลงแต่ละระยะลงในถุงพลาสติกเคลือบที่สามารถป้องกันการผ่านเข้า-ออกของก๊าซ ที่บรรจุข้าวสาร 10 กิโลกรัมต่อซ้ำไว้ โดยมีการเจาะรูและต่อวาล์วสำหรับเปิด-ปิดไว้แล้ว ปิดปากถุงด้วยเครื่องปิดผนึก ดูดอากาศภายในถุงออกให้หมด แล้วปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เข้าไปให้เต็มถุง ดูดก๊าซออกอีกครั้งหนึ่ง แล้วจึงปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เข้าไปในถุงเป็นครั้งที่สองจนเต็มถุง ปิดวาล์ว วางทุกถุงไว้ที่อุณหภูมิห้อง วัดความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนทุกวัน ถ้าความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนสูงขึ้น เติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มเข้าไป เมื่อครบกำหนดระยะเวลา นำถุงตัวอย่างมาเปิดปากถุง และตรวจนับแมลงที่รอดชีวิต หรือตัวเต็มวัยที่เกิดขึ้นใหม่ในแต่ละกรรมวิธี

กรมวิชาการเกษตร

3.1.3 ข้าวสาร 1 ตัน

ทดสอบประสิทธิภาพของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ กับแมลง 4 ชนิด 4 ระยะการเจริญเติบโต ในสภาพการรมจำลองปริมาตร 1 ตัน ที่สามารถปิดผนึกแน่นได้ (airtight storage) โดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 100% เป็นเวลา 5, 8, 11 และ 15 วัน วางแผนการทดลองแบบ CRD 5 กรรมวิธี จำนวน 4 ซ้ำ ดังนี้

1. ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 100% รมนาน 5 วัน
2. ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 100% รมนาน 8 วัน
3. ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 100% รมนาน 11 วัน
4. ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 100% รมนาน 15 วัน
5. กรรมวิธีควบคุม (ไม่ใส่ก๊าซ)

วางถุงจัมโบ้บรรจุข้าว 1 ตัน บนพื้นที่ปูด้วยพลาสติกหนา 0.5 มิลลิเมตร นำตัวอย่างข้าวที่มีแมลงแต่ละระยะการเจริญเติบโต ใส่เข้าไปในถุงจัมโบ้ และคลุมด้วยพลาสติกสำหรับการรมที่มีความหนา 0.2 มิลลิเมตร ที่ขึ้นรูปเป็นสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ และเจาะรูด้านล่างพร้อมทั้งเชื่อมต่อวาล์วเปิด/ปิดแล้ว ด้านบนเป็นปล่องสำหรับไล่อากาศออก ปิดผนึกชายผ้าพลาสติกกับพลาสติกปูพื้นด้วยเครื่องรีดความร้อนให้รอบกอง ปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เข้าไปในกองเพื่อไล่อากาศออก หลังจากนั้นจึงปิดปล่องด้านบนและเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จนเต็ม รักษาระดับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ไม่ต่ำกว่า 60 เปอร์เซ็นต์ ด้วยการวัดความเข้มข้นของก๊าซ และเติมก๊าซเมื่อพบความเข้มข้นต่ำกว่า 60 เปอร์เซ็นต์ เมื่อครบเวลาที่กำหนด 5, 8, 11 และ 15 วัน เปิดกองพลาสติกให้มีการระบายอากาศ นำแมลงออกมาไว้ในสภาพบรรยากาศปกติ ตรวจนับแมลงที่รอดชีวิต หรือตัวเต็มวัยที่เกิดขึ้นใหม่ในแต่ละกรรมวิธี

3.2 การใช้ก๊าซไนโตรเจนเพื่อควบคุมแมลงศัตรูผลิตผลเกษตรในห้องปฏิบัติการ

3.2.1 ข้าวกล้อง 250 กรัม

ทดสอบก๊าซไนโตรเจน กับแมลง 4 ชนิด 4 ระยะการเจริญเติบโต โดยใช้ก๊าซไนโตรเจนความเข้มข้น 99.5% ทดสอบในถุงพลาสติก vacuum ขนาด 30x45 เซนติเมตร.วางแผนการทดลองแบบ CRD 6 กรรมวิธี จำนวน 4 ซ้ำ ดังนี้

1. ก๊าซไนโตรเจน รมนาน 5 วัน
2. ก๊าซไนโตรเจน รมนาน 8 วัน
3. ก๊าซไนโตรเจน รมนาน 11 วัน
4. ก๊าซไนโตรเจน รมนาน 13 วัน
5. ก๊าซไนโตรเจน รมนาน 15 วัน
6. กรรมวิธีควบคุม (ไม่ใส่ก๊าซ)

นำถ้วยพลาสติกบรรจุข้าวกล้อง ข้าวโพดปั่นหยาบ และรำข้าว ที่มีแมลงแต่ละชนิด แต่ละระยะการเจริญเติบโตใส่ในถุงพลาสติก vacuum ที่เจาะรูและเชื่อมต่อวาล์วสำหรับเปิด/ปิดไว้แล้ว ปิดปากถุงด้วยเครื่องปิดผนึก เปิดวาล์วและดูดอากาศ (vacuum) ภายในถุงออกให้หมด แล้วปล่อยก๊าซไนโตรเจนเข้าไปให้เต็มถุง ดูดก๊าซออกให้หมดอีกครั้งหนึ่ง และปล่อยก๊าซไนโตรเจนเข้าไปในถุงจนเต็มถุง ปิดวาล์ว นำไปเก็บไว้ที่

อุณหภูมิห้อง เมื่อครบกำหนดระยะเวลา นำถุงตัวอย่างมาตัดปากถุงด้านที่ปิดผนึกด้วยความร้อน และตรวจนับแมลงที่รอดชีวิต หรือตัวเต็มวัยที่เกิดขึ้นใหม่ในแต่ละกรรมวิธี

3.2.2 ข้าวสาร 10 กิโลกรัม

ทดสอบประสิทธิภาพของก๊าซไนโตรเจน กับด้วงงวงข้าวโพดและมอดแป้ง 4 ระยะการเจริญเติบโต โดยใช้ก๊าซไนโตรเจนความเข้มข้น 99.5 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 5, 8, 11, 13 และ 15 วัน ทดสอบในถุงพลาสติกเคลือบ ขนาด 45x65 เซนติเมตร.วางแผนการทดลองแบบ CRD 6 กรรมวิธี จำนวน 4 ซ้ำ ดังนี้

1. ก๊าซไนโตรเจน รมนาน 5 วัน
2. ก๊าซไนโตรเจน รมนาน 8 วัน
3. ก๊าซไนโตรเจน รมนาน 11 วัน
4. ก๊าซไนโตรเจน รมนาน 13 วัน
5. ก๊าซไนโตรเจน รมนาน 15 วัน
6. กรรมวิธีควบคุม (ไม่ใส่ก๊าซ)

เตรียมตัวอย่างแมลงแต่ละชนิด ให้ได้ครบทุกระยะการเจริญเติบโต โดยใช้อาหารของแมลง 250 กรัมต่อระยะต่อซ้ำ นำไปใส่ลงในถุงผ้า มัดปากถุงให้แน่น ใส่ถุงผ้าที่มีแมลงแต่ละระยะลงในถุงพลาสติกเคลือบ ที่สามารถป้องกันการผ่านเข้า/ออกของก๊าซ ที่บรรจุข้าวสาร 10 กิโลกรัมต่อซ้ำไว้ โดยมีการเจาะรูและต่อวาล์วสำหรับเปิด-ปิดไว้แล้ว ปิดปากถุงด้วยเครื่องปิดผนึก ดูดอากาศภายในถุงออกให้หมด แล้วปล่อยก๊าซไนโตรเจนเข้าไปให้เต็มถุง ดูดก๊าซออกอีกครั้งหนึ่ง แล้วจึงปล่อยก๊าซไนโตรเจนเข้าไปในถุงเป็นครั้งที่สองจนเต็มถุง ปิดวาล์ว วางทุกถุงไว้ที่อุณหภูมิห้อง รักษาระดับของความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจน ด้วยการวัดความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนทุกวัน ถ้าความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนสูงขึ้น เติมก๊าซไนโตรเจนเพิ่มเข้าไป เมื่อครบกำหนดระยะเวลา นำถุงตัวอย่างมาเปิดปากถุง และตรวจนับแมลงที่รอดชีวิต หรือตัวเต็มวัยที่เกิดขึ้นใหม่ในแต่ละกรรมวิธี

การตรวจวัดผล

หลังจากทดสอบประสิทธิภาพของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซไนโตรเจน และนำตัวอย่างเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง เพื่อให้แมลงแต่ละชนิด แต่ละระยะการเจริญเติบโตได้พัฒนาเป็นตัวเต็มวัย แล้วจึงนำมาตรวจนับจำนวนแมลงที่รอดชีวิต หรือที่เกิดขึ้นใหม่ในแต่ละกรรมวิธี โดย

1. ระยะตัวเต็มวัย ตรวจนับจำนวนแมลงที่รอดชีวิตหลังทำการทดสอบ 1 วัน
2. ระยะดักแด้ ตรวจนับจำนวนแมลงที่เกิดขึ้น หลังทำการทดสอบ 14 วัน
3. ระยะหนอน ตรวจนับจำนวนแมลงที่เกิดขึ้น หลังทำการทดสอบ 21 วัน
4. ระยะไข่ ตรวจนับจำนวนแมลงที่เกิดขึ้น หลังทำการทดสอบ 45 วัน

หลังจากนั้นนำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณเปอร์เซ็นต์การควบคุม (control efficiency percentage) ตามสูตรที่รายงานโดย Püntener (1981) ดังต่อไปนี้

กรมวิชาการเกษตร

Control efficiency percentage (%) = [1- (Ta/Ca x Cb/Tb)] 100

Tb = จำนวนของแมลงก่อนทำการทดลองในแต่ละกรรมวิธี (Treatment)

Ta = จำนวนของแมลงหลังจากทำการทดลองในแต่ละกรรมวิธี (Treatment)

Cb = จำนวนของแมลงก่อนทำการทดลองในกรรมวิธีที่ควบคุม (Control)

Ca = จำนวนของแมลงหลังทำการทดลองในกรรมวิธีที่ควบคุม (Control)

และนำข้อมูลเปอร์เซ็นต์การควบคุม มาวิเคราะห์ทางสถิติ

การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และใช้ Duncan Multiple Range Test (DMRT) และ Least Significant Difference (LSD) วิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยแต่ละค่า โดยใช้ค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อ $P < 0.05$

8. ผลการทดลองและวิจารณ์

1 การใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อควบคุมแมลงศัตรูผลิตผลเกษตรในห้องปฏิบัติการและในสภาพโรงเก็บ

1.1 ข้าวกล้อง 250 กรัม

จากการทดสอบประสิทธิภาพของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในการควบคุมแมลงศัตรูผลิตผลเกษตร 4 ชนิด ทุกระยะการเจริญเติบโต โดยใช้ข้าวกล้อง 250 กรัม พบว่า

ด้วงงวงข้าวโพด (Table 1) คาร์บอนไดออกไซด์ 60 เปอร์เซ็นต์ สามารถควบคุมตัวเต็มวัยด้วงงวงข้าวโพดได้หมดที่ระยะเวลาการรม 30 และ 36 ชั่วโมง แต่ไม่สามารถควบคุมระยะไข่ ระยะหนอน และระยะดักแด้ได้ เปอร์เซ็นต์การควบคุมที่ระยะเวลา 36 ชั่วโมง อยู่ระหว่าง 33.26-57.50 เมื่อใช้ความเข้มข้นสูงขึ้นเป็น 80 และ 100 เปอร์เซ็นต์ และลดระยะเวลาลง พบว่า ที่เวลา 18 ชั่วโมง สามารถควบคุมตัวเต็มวัยได้มากกว่าระยะอื่น แต่ยังไม่สามารถควบคุมได้ทั้งหมด ผลการควบคุมเท่ากับ 97.25 และ 99.00 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ตัวเต็มวัยของด้วงงวงข้าวโพดเป็นระยะที่อ่อนแอต่อก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่สุด

มอดแป้ง (Table 1) คาร์บอนไดออกไซด์ 60 เปอร์เซ็นต์ สามารถควบคุมตัวเต็มวัยมอดแป้งได้หมดโดยใช้เวลา 12 ชั่วโมง ผลการควบคุมระยะไข่ หนอน และดักแด้ เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการรมที่นานขึ้น แต่ยังไม่สามารถควบคุมได้ทั้งหมด เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็น 80 และ 100 เปอร์เซ็นต์ การใช้ระยะเวลาเท่ากัน ที่ 12 และ 18 ชั่วโมง ให้ผลการควบคุมมอดแป้งระยะตัวเต็มวัยได้ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ตัวเต็มวัยของมอดแป้งเป็นระยะที่อ่อนแอต่อก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่สุด สอดคล้องกับการศึกษาของ Aliniazee (1971)

มอดฟันเลื่อย (Table 2) คาร์บอนไดออกไซด์ 60 เปอร์เซ็นต์ สามารถควบคุมตัวเต็มวัยมอดฟันเลื่อยได้หมด โดยใช้เวลา 18 ชั่วโมง ควบคุมระยะหนอนโดยใช้เวลา 24 ชั่วโมง และควบคุมระยะไข่ โดยใช้เวลา 30 ชั่วโมง แต่ไม่สามารถควบคุมระยะดักแด้ได้หมดถึงแม้ว่าจะใช้เวลา 36 ชั่วโมง

เมื่อใช้เวลาน้อย ที่ 12 ชั่วโมง ทุกระดับความเข้มข้นสามารถควบคุมระยะหนอนและตัวเต็มวัยได้มากกว่าระยะไข่ และดักแด้ โดยคาร์บอนไดออกไซด์ 80 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ให้ผลการควบคุมระยะไข่

กรมวิชาการเกษตร

หนอน และตัวเต็มวัย สูงกว่าคาร์บอนไดออกไซด์ 60 เปอร์เซ็นต์ แต่ที่เวลา 18 ชั่วโมง ทุกความเข้มข้นให้ผลการควบคุมมอดฟันเลื่อยทุกระยะไม่แตกต่างกัน โดยให้ผลการควบคุมระยะไข่ หนอน และตัวเต็มวัยได้ดี มีเพียงระยะดักแด้ที่ควบคุมได้น้อยที่สุด ระหว่าง 83.60-88.86 เปอร์เซ็นต์ ระยะไข่และระยะดักแด้ของมอดฟันเลื่อยเป็นระยะที่มีความทนทานต่อก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่สุด

มอดหนวดยาว (Table 2) คาร์บอนไดออกไซด์ 60 เปอร์เซ็นต์ สามารถควบคุมระยะหนอนและระยะตัวเต็มวัยของมอดฟันเลื่อยได้หมด โดยใช้เวลา 30 ชั่วโมง แต่ควบคุมระยะไข่และระยะดักแด้ได้ 87.76 และ 83.33 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเพิ่มเวลาเป็น 36 ชั่วโมง สามารถควบคุมได้ 72.96 และ 99.24 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เป็น 80 และ 100 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ที่เวลาเดียวกัน 12 และ 18 ชั่วโมง ความเข้มข้นของก๊าซทั้ง 3 ระดับให้ผลการควบคุมระยะตัวเต็มวัยมอดหนวดยาวไม่แตกต่างกัน ประมาณ 97-99 เปอร์เซ็นต์ และให้ผลการควบคุมระยะหนอนและตัวเต็มวัยมากกว่าระยะไข่และดักแด้ ระยะไข่และระยะดักแด้ของมอดหนวดยาวจึงเป็นระยะที่มีความทนทานต่อก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่สุด

1.2 ข้าวสาร 10 กิโลกรัม

จากการทดสอบประสิทธิภาพของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับข้าวกล้องขนาด 250 กรัม ด้วงงวงข้าวโพดเป็นแมลงที่มีความทนทานมากที่สุด สอดคล้องกับการศึกษาของใจทิพย์ (2556) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของก๊าซไนโตรเจนความเข้มข้น 99.9 เปอร์เซ็นต์ และก๊าซผสมระหว่างคาร์บอนไดออกไซด์ และไนโตรเจน ในอัตราส่วนต่าง ๆ กับแมลง 4 ชนิด พบว่า ด้วงงวงข้าวโพดมีความทนทานที่สุด ในขณะที่ Navarro (2012) ได้รายงานว่า ด้วงงวงข้าว ซึ่งเป็นแมลงสกุลเดียวกันกับด้วงงวงข้าวโพด มีความทนทานต่อสภาพอากาศที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงมากที่สุด

จึงได้ทดสอบด้วงงวงข้าวโพดระยะไข่ หนอน และดักแด้ ด้วยการเพิ่มระยะเวลาการรมให้นานขึ้น พบว่า ที่ 72 ชั่วโมง ยังไม่สามารถควบคุมระยะหนอน และระยะดักแด้ได้หมด โดยระยะดักแด้มีความทนทานที่สุด (ใจทิพย์, ข้อมูลไม่ได้ตีพิมพ์) ดังนั้น เมื่อทดสอบประสิทธิภาพของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับด้วงงวงข้าวโพด โดยใช้ข้าวสารปริมาณมากขึ้นเป็น 10 กิโลกรัม จึงได้เพิ่มระยะเวลาการรม เป็น 5, 8, 11 และ 15 วัน พบว่า ระยะตัวเต็มวัยของด้วงงวงข้าวโพดเป็นระยะที่อ่อนแอต่อก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่สุด ที่ทุกความเข้มข้นใช้เวลาในการรม 5 วัน สามารถควบคุมตัวเต็มวัยได้หมด (Table 3) การใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 60 เปอร์เซ็นต์ในการควบคุมระยะไข่ ยังพบแมลงรอดชีวิตบ้างเล็กน้อย แต่สามารถควบคุมระยะหนอนและดักแด้ได้หมดที่เวลา 11 และ 8 วันตามลำดับ ความเข้มข้น 80 เปอร์เซ็นต์ ให้ผลการควบคุมระยะไข่ และหนอนได้ดีตั้งแต่การรมที่ 5 วัน แต่ต้องใช้เวลาเพิ่มขึ้นเป็น 11 วันสำหรับระยะดักแด้ ที่ความเข้มข้น 100 เปอร์เซ็นต์ ให้ผลการควบคุมระยะไข่ และหนอนได้ดีที่ระยะเวลา 11 วัน แต่ที่ 8 วัน สามารถควบคุมระยะดักแด้ได้หมด

1.3 ข้าวสาร 1 ตัน

ประสิทธิภาพของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในการรมข้าวสาร 1 ตัน พบว่า เมื่อรักษาระดับความเข้มข้นไม่ต่ำกว่า 60 เปอร์เซ็นต์ตลอดระยะเวลาการรม สามารถควบคุม ด้วงงวงข้าวโพด มอดแป้ง มอดฟันเลื่อย และมอดหนวดยาว ทุกระยะได้ที่เวลา 8, 5, 8 และ 11 วัน ตามลำดับ (Table 4) ทั้งนี้ ระยะตัวเต็มวัยของแมลง

ศูนย์วิทยทรัพยากร

ทุกชนิดมีความอ่อนแอต่อก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่สุด มอดหนวดยาวมีแนวโน้มทนทานที่สุด แต่ทั้งนี้ ที่ 8 วัน เปอร์เซ็นต์การควบคุมระยะไข่และดักแด้ของมอดหนวดยาว เท่ากับ 93.15 และ 99.62 ตามลำดับ

จากการศึกษาประสิทธิภาพของการก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในการควบคุมแมลง ซึ่งดำเนินการในภาชนะบรรจุ 3 ขนาด ขนาดเล็ก (ข้าวกล้อง 250 กรัม) ขนาดกลาง (ข้าว 10 กิโลกรัม) และขนาดใหญ่ (ข้าว 1 ตัน) พบว่า ในภาชนะบรรจุขนาดเล็ก ระยะเวลาที่ใช้ในการควบคุมแมลงแต่ละชนิดสั้น ถึงแม้ว่าบางกรรมวิธียังไม่สามารถควบคุมแมลงได้ทั้งหมด แต่**ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นเดียวกัน เมื่อเพิ่มระยะเวลาการรมนานขึ้น มีผลให้การควบคุมแมลงมีประสิทธิภาพมากขึ้นด้วย** จึงมีแนวโน้มว่า ถ้าเพิ่มระยะเวลาการรมให้นานขึ้นอีก จะสามารถควบคุมแมลงที่เหลือได้หมด เห็นได้จากการศึกษาของ Aliniazee (1971) ที่พบการตายของมอดแป้ง (*T. castaneum*) 95 เปอร์เซ็นต์ เมื่อใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 62 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 60 ชั่วโมง และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 80 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 44 ชั่วโมง และเนื่องจากระยะเวลาที่ใช้ในการศึกษานี้ ไม่นานเพียงพอที่จะทำให้แมลงตายได้หมด จึงไม่เห็นความแตกต่างของการใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน

เมื่อทดสอบในภาชนะบรรจุขนาดกลาง (ข้าวสาร 10 กิโลกรัม) กับด้วงงวงข้าวโพด ที่มีความทนทานกว่าแมลงชนิดอื่น และเพิ่มระยะเวลาให้นานขึ้น พบว่า การรมคาร์บอนไดออกไซด์ทั้ง 3 ระดับความเข้มข้น เป็นเวลา 5 หรือ 8 วัน ทำให้ด้วงงวงข้าวโพดบางระยะการเจริญเติบโตตายหมด แต่ในสภาพการเก็บรักษาทั่วไป เมื่อมีแมลงเข้าทำลาย มักจะมีแมลงหลายระยะอาศัยอยู่ร่วมกัน เพื่อให้การควบคุมด้วงงวงข้าวโพดได้อย่างสมบูรณ์ ต้องใช้เวลาอย่างน้อย 11 วัน

สำหรับการทดสอบกับข้าวสารขนาด 1 ตันในสภาพปิด ซึ่งไม่สามารถรักษาระดับความเข้มข้นให้คงที่เท่ากับตอนเริ่มต้นได้ เนื่องจากมีการรั่วไหลของก๊าซ แต่จากการวัดความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจน พบว่า ก๊าซออกซิเจนมีค่าระหว่าง 2.1-11.1 เปอร์เซ็นต์ โดยรักษาระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้สูงกว่า 60 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ให้ผลการควบคุมแมลงทั้ง 4 ชนิดได้ดี เวลาที่ใช้สูงสุดอยู่ที่ 11 วันสำหรับมอดหนวดยาว ระยะเวลาที่เหมาะสมจะแตกต่างไปตามชนิดของแมลง Jay and Pearman (1973) ได้ควบคุมการเข้าทำลายข้าวโพดของด้วงงวงข้าว และผีเสื้อข้าวเปลือก ในไซโลคอนกรีต ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ประมาณ 60% เวลา 96 ชั่วโมง ให้ผลการควบคุมที่ดี โดยหลังเก็บรักษาข้าวโพดไว้นาน 1 และ 2 เดือน สามารถลดปริมาณแมลงทุกชนิดได้ 99.9% ทำให้ลดความเสียหายของเมล็ดได้ ในขณะที่ Newton (1993) พบว่า การควบคุมมอดแป้งในการรมแป้งขนาด 1 ตันด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 60 เปอร์เซ็นต์ ต้องใช้เวลา 7 วันสำหรับมอดแป้ง (*T. castaneum*) และใช้เวลา 14 วันสำหรับด้วงงวงข้าว (*S. oryzae*)

ระยะการเจริญเติบโตของแมลงมีผลต่อระยะเวลาที่เหมาะสมเช่นกัน ซึ่ง Storey (1980) รายงานว่า ระยะดักแด้และหนอนวัยปลายของแมลงที่อาศัยอยู่ในเมล็ด มีความทนทานที่สุด เมื่อดัดแปลงสภาพอากาศให้มีก๊าซออกซิเจนน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 9-9.5 เปอร์เซ็นต์ จึงต้องใช้เวลา 10 วันในการควบคุมแมลงและระยะที่ทนทาน

ศรีวิชัยการเกษตร

2 การใช้ก๊าซไนโตรเจนเพื่อควบคุมแมลงศัตรูผลิตผลเกษตรในห้องปฏิบัติการ

2.1 ข้าวกล้อง 250 กรัม

ผลการทดสอบประสิทธิภาพของก๊าซไนโตรเจน 99.5 เปอร์เซ็นต์ ในการควบคุมแมลงทั้ง 4 ชนิด 4 ระยะการเจริญเติบโต ในข้าวกล้อง 250 กรัม พบว่า ให้ผลการควบคุมที่ดี แมลงส่วนใหญ่ตายหมดทุกระยะตั้งแต่ 5 วันแรกของการรม มีเพียงด้วงงวงข้าวโพด ที่ควบคุมระยะหนอนและดักแด้ได้ 80.88 และ 83.25 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเพิ่มระยะเวลาเป็น 8 วัน สามารถควบคุมระยะดักแด้ได้หมด แต่สำหรับระยะหนอนต้องเพิ่มเวลาเป็น 11 วัน จึงควบคุมได้อย่างสมบูรณ์

2.2 ข้าวสาร 10 กิโลกรัม

เมื่อทดสอบกับข้าวสาร 10 กิโลกรัม พบว่า ก๊าซไนโตรเจนให้ผลการควบคุมมอดแป้งได้ดี สามารถควบคุมมอดแป้งได้หมดที่ระยะเวลา 5 วัน แต่สำหรับด้วงงวงข้าวโพด ที่ระยะเวลา 8 วัน สามารถควบคุมระยะไข่ และตัวเต็มวัยได้ แต่ต้องเพิ่มเวลาเป็น 11 วัน จึงให้ผลการควบคุมที่สมบูรณ์สำหรับระยะหนอนและระยะดักแด้ เห็นได้ว่า ด้วงงวงข้าวโพดมีความทนทานต่อก๊าซไนโตรเจนมากกว่ามอดแป้ง และระยะตัวเต็มวัยเป็นระยะที่อ่อนแอที่สุด สอดคล้องกับที่ Navarro (2012) สรุปว่า โดยทั่วไปแล้ว ระยะตัวเต็มวัยเป็นระยะที่อ่อนแอที่สุดกับวิธีการที่ใช้ก๊าซไนโตรเจน และด้วงงวงข้าว (*Sitophilus oryzae*) หรือมอดหัวป้อม (*Rhyzopertha dominica*) มีความทนทานต่อก๊าซไนโตรเจนมากกว่ามอดแป้ง

ใจทิพย์ (2556) ได้ทดสอบก๊าซไนโตรเจน 99.9 เปอร์เซ็นต์ กับด้วงงวงข้าวโพด มอดแป้ง มอดข้าวเปลือก และมอดหนวดยาว ที่ทุกระยะการเจริญเติบโต ใช้เวลา 7 วัน และ 12 วัน พบว่า เวลา 7 วันยังไม่สามารถควบคุมแมลงได้หมด แต่เมื่อเพิ่มระยะเวลาเป็น 12 วันสามารถควบคุมแมลงได้อย่างสมบูรณ์ ชนิดและระยะการเจริญเติบโตต่างมีผลต่อประสิทธิภาพการควบคุม โดยด้วงงวงข้าวโพดเป็นแมลงที่มีความทนทานที่สุดและระยะหนอนเป็นระยะที่ควบคุมได้ยากที่สุด Haojie *et al*. (2014) ได้ศึกษาการใช้ก๊าซไนโตรเจนกับการเก็บรักษาเมล็ดพืชในประเทศจีน โดยใช้ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจน 2 ระดับ คือ 96-98 เปอร์เซ็นต์ และ 98-100 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ที่ความเข้มข้นต่ำกว่า (96-98 เปอร์เซ็นต์) ใช้เวลามากกว่าในการทำให้ตัวเต็มวัยของด้วงงวงข้าวโพด มอดหัวป้อม และมอดฟันเลื่อยตาย 99 เปอร์เซ็นต์ แสดงให้เห็นว่า การใช้ก๊าซไนโตรเจนจำเป็นต้องรักษาความเข้มข้นให้สูง หรือใกล้เคียง 100 เปอร์เซ็นต์ที่สุด เพื่อทำให้ระดับก๊าซออกซิเจนต่ำที่สุดและจะสามารถลดระยะเวลาในการรมลงได้

9. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซไนโตรเจน ต่างมีประสิทธิภาพในการควบคุมแมลงศัตรูผลิตผลเกษตร **ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์**ความเข้มข้นสูงจะมีความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต เมื่อนำมาใช้ในการควบคุมแมลงศัตรูผลิตผลเกษตร ถ้ารักษาระดับความเข้มข้นให้ไม่ต่ำกว่า 60 เปอร์เซ็นต์ตลอดระยะเวลาการรม 11 วัน สามารถควบคุมด้วงงวงข้าวโพด มอดแป้ง มอดฟันเลื่อย และมอดหนวดยาว ได้ทุกระยะการเจริญเติบโต ในขณะที่ คำแนะนำสำหรับการรมด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของ Annis and Graver (1990) ระบุว่า ต้องใช้ระยะเวลาการรม 15 วัน โดยที่ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ด้านบนของกองรมไม่น้อยกว่า 35 เปอร์เซ็นต์ สำหรับ**ก๊าซไนโตรเจน** ซึ่งเป็นก๊าซเฉื่อย ไม่เป็นพิษ การใช้ก๊าซไนโตรเจนเพื่อควบคุมแมลง

ศรีนครินทร์

จำเป็นต้องรักษาความเข้มข้นให้ใกล้เคียง 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นการลดระดับก๊าซออกซิเจนให้ต่ำที่สุด การทดสอบในห้องปฏิบัติการ เพื่อให้การควบคุม มอดแป้ง มอดฟันเลื่อย มอดหนวดยาว และด้วงงวงข้าวโพด ซึ่งเป็นแมลงที่มีความทนทานต่อก๊าซไนโตรเจนที่สุด ต้องใช้เวลา 11 วัน จึงควบคุมได้ทุกระยะการเจริญเติบโต ทั้งนี้ ชนิดและระยะการเจริญเติบโตของแมลง ความเข้มข้นของก๊าซที่ใช้และระยะเวลาการรม รวมถึงประสิทธิภาพในการเก็บก๊าซ มีผลต่อประสิทธิภาพการควบคุมแมลง ดังนั้นการนำวิธีการนี้ไปใช้ ต้องคำนึงถึงปัจจัยต่าง ๆ เหล่านี้ อย่างไรก็ดี การใช้ก๊าซไนโตรเจน ควรทำการทดสอบในสภาพโรงเก็บเพิ่มเติม เพื่อหาระยะเวลาการรมที่เหมาะสม ที่มีประสิทธิภาพในการควบคุมแมลงทุกชนิดทุกระยะการเจริญเติบโต โดยเฉพาะด้วงงวงข้าวโพด รวมถึงการขยายขนาดของการทดสอบในสภาพโรงเก็บให้ใหญ่ขึ้น เพื่อยืนยันประสิทธิภาพของก๊าซทั้งสองชนิดในการควบคุมแมลงศัตรูผลิตผลเกษตร และสามารถนำวิธีการนี้ไปใช้ได้จริงในทางการค้าต่อไป

10. การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

สามารถนำข้อมูลประสิทธิภาพของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไนโตรเจน จากการศึกษานี้ไปถ่ายทอดหรือเผยแพร่แก่ผู้ประกอบการ โรงสี ผู้ส่งออก และผู้ที่เกี่ยวข้องกับการเก็บรักษาผลิตผลเกษตร เพื่อใช้ในการควบคุมแมลงศัตรูผลิตผลเกษตร ซึ่งส่งผลต่อการค้า การส่งออก และการบริโภค โดยไม่ต้องใช้สารเคมี และใช้ข้อมูลนี้ในการตัดสินใจเลือกวิธีการและเวลาที่เหมาะสมในการควบคุมแมลง รวมถึงสามารถนำไปใช้ร่วมกับวิธีการอื่น ๆ ในการจัดการแมลงได้

11. คำขอบคุณ

ขอขอบคุณบริษัท สยาม วอเตอร์ เฟลม จำกัด อ. พุทธมณฑล จ. นครปฐม ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการติดตั้งอุปกรณ์และระบบการปล่อยก๊าซ จนสามารถใช้ทดสอบได้ตามวัตถุประสงค์ ทั้งในห้องปฏิบัติการและในสภาพโรงเก็บ และขอขอบคุณโรงสีโชคฉัตรชัย อ. เฉลิมพระเกียรติ จ. สระบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ในการทดสอบ

12. เอกสารอ้างอิง

ใจทิพย์ อุไรชื่น กรรณิการ์ เพ็งคุ้ม และ ณัฐวัฒน์ แย้มยิ้ม. 2556. การปรับสภาพบรรยากาศเพื่อการควบคุมแมลงศัตรูผลิตผลเกษตร. รายงานผลงานวิจัยเรื่องเต็ม ประจำปี 2556. สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวแปรรูปผลิตผลเกษตร. กรมวิชาการเกษตร. หน้า 31-47.

นิรนาม, 2562. ประโยชน์ของก๊าซไนโตรเจนในระบบอุตสาหกรรม. https://www.domnickhunterrl.com/knowledge/general-knowledge/benefit-of-nitrogen-in-industry)

Annis, P.C. and J.V.S. Graver. 1990. Suggested Recommendations for the Fumigation of Grain in the ASEAN Region. Part 2 Carbon dioxide fumigation of bag-stacks sealed in plastic enclosure: An operations manual. ACIAR., Canberra. 58 p.

Aliniazee, M. T. 1971. The effect of carbon dioxide gas alone or in combinations on the mortality of *Tribolium cantaneum* (Herbst) and *T. confusum* du Val (Coleoptera, Tenebrionidae). *J. Stored Prod. Res.,* Vol. 7, pp. 243-252.

กรมวิชาการเกษตร

Carvalho, M.O., I. Pires, A. Barbosa, G. Barros, J. Riudavets, A.C. Garcia, C. Brites, and S. Navarro. 2012. The use of modified atmospheres to control *Sitophilus zeamais* and *Sitophilus oryzae* on stored rice in Portugal. *J. Stored Prod. Res*., Vol. 50, pp.49-56.

Delate, K. 1990. Controlled atmosphere treatments for control of sweet potato weevil in stored tropical sweet potatoes. *J. Econ. Entomol.* 83: 461-465.

Haojie, L., Y. Jian, F. Pengcheng and Y. Xiaoping. 2014. Application of nitrogen controlled atmosphere in grain storage in China. *In* 11th International Working Conference on Stored Product Protection.

Jay E. 1984. Recent advances in the use of modified atmospheres for the control of stored-product insects. 241-254. *In* Insect Management for Food Storage and Processing. Edited by F. J. Baur. American Association of Cereal Chemists, Inc. St.Paul, Minnesota, USA. 384 p.

Jay, E.G. and G.C. Pearman. 1973. Carbon dioxide for control of an insect infestation in stored corn (maize). *J. Stored Prod. Res*. 9: 25-29.

Kitinoja, L. and A.A. Kader. 1995. Small-scale postharvest handling practices: a manual for horticultural crops. Univ. Calif. Postharvest Hort. Series No. 8. Third Edition. 231 p.

Lehman S., 2020. How Nitrogen Flushing Is Used for Food Preservation. https://www.verywellfit.com/nitrogen-flushing-protects-and-preserves-foods-2505948

Navarro, S. 2012. The use of modified and controlled atmospheres for the disinfestation of stored products. *J. Pest Sci.* September 2012, Vol.85, Issue 3, pp 301-322.

Newton, J. 1993. Carbon dioxide as a fumigant to replace methyl bromide in the control of insects and mites damaging stored products and artefacts. *In* Proceedings of 1st International Conference on Urban Pests. (edited by K.B. Wildey and W. H. Robinson) pp. 329-338.

Press, A.F. and P.K. Harein. 1967. Mortality of *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae) in simulated peanut storages purged with carbon dioxide and nitrogen. *J. Stored Prod. Res.,* Vol. 3, pp. 91-96.

Shejbal, J. 1980. Controlled Atmosphere Storage of Grains. Elsevier Scientific Publ. Co., New York, 608 pp.

Soderstrom, E.L., Brandl, D.G. and MacKey, B., 1990. Responses of codling moth (Lepidoptera: Torticidae) life stages to high carbon dioxide or low oxygen atmospheres. *J. Econ. Entomol*. 83: 472-475.

Storey, C. L. 1980. Mortality of Various Stored Product Insects in Low Oxygen Atmospheres Produced by an Exothermic Inert Atmosphere Generator. *In* Developments in Agricultural Engineering Volume 1, Part of Volume: Controlled Atmosphere Storage of Grains (edited by J. Shejba). Pages 85-92.

กรมวิชาการเกษตร

Table 1 Control efficiency percentage of 60, 80 and 100% Carbon dioxide to *Sitophilus zeamais* and *Tribolium castaneum* in 250 g of rice at various exposure time[1/]

Concentration of CO_2	Insect sp.	*Sitophilus zeamais*				*Tribolium castaneum*			
	Stages	Egg	Larva	Pupa	Adult	Egg	Larva	Pupa	Adult
Carbon dioxide 60%	12 h	-39.73ab[2/]	35.63abc	29.31ab	95.88ab	29.18g	5.65ef	40.96c	100.00a
	18 h	-24.32ab	27.96c	51.35a	98.50a	56.59cde	23.21de	61.00b	100.00a
	24 h	5.48ab	51.52abc	11.02b	99.75a	82.95ab	61.28bc	96.86a	100.00a
	30 h	0.68ab	32.02ab	41.79ab	100.00a	88.13a	86.19ab	97.58a	100.00a
	36 h	39.73a	57.50abc	33.26ab	100.00a	91.21a	92.35a	97.33a	100.00a
Carbon dioxide 80%	6 h	-20.89ab	39.57abc	27.23ab	11.88e	36.56fg	-5.30ef	12.98b	43.57b
	9 h	-31.16ab	61.89ab	28.90ab	69.38c	41.44efg	17.36de	10.60b	54.68b
	12 h	-22.60ab	54.11abc	37.01ab	83.75b	40.72efg	37.57cd	40.59c	99.00a
	15 h	-13.70ab	27.73c	31.81ab	93.25ab	49.64def	59.43bc	41.86c	100.00a
	18 h	-6.16ab	51.52abc	31.39ab	97.25ab	69.25bc	73.54ab	56.69bc	100.00a
Carbon dioxide 100%	6 h	-59.25b	46.45abc	27.44ab	19.38e	28.89g	12.66def	11.78b	16.98c
	9 h	-18.49ab	62.01ab	7.28b	53.13d	68.36bc	-12.81f	-8.59e	81.77a
	12 h	5.48ab	66.74a	54.68a	93.38ab	56.98cde	21.71de	41.19c	100.00a
	15 h	-21.92ab	32.24ab	24.32ab	89.63ab	62.26cd	80.59ab	69.16b	100.00a
	18 h	1.03ab	24.80c	49.48a	99.00a	68.79bc	84.54ab	95.50a	100.00a
Means		-13.72	44.78	32.42	80.28	58.06	42.53	51.03	86.40
C.V. (%)		413.88	44.17	64.55	10.77	19.40	44.68	23.63	15.62

[1/] Means averaged from 4 replications.

[2/] Means followed by same letters in columns are not significantly different by DMRT ($P<0.05$)

ศูนย์วิทยทรัพยากร

Table 2 Control efficiency Percentage of 60, 80 and 100% Carbon dioxide to *Oryzaephilus surinamensis* and *Cryptolestes* sp.in 250 g of rice at various exposure time[1/]

Concentration of CO_2	Insect sp.	*Oryzaephilus surinamensis*				*Cryptolestes* sp.			
	Stages	Egg	Larva	Pupa	Adult	Egg	Larva	Pupa	Adult
Carbon dioxide 60%	12 h	46.61de[2/]	97.08b	63.49cde	92.35b	79.59[ns]	97.22ab	68.94ab	97.98a
	18 h	98.64a	99.87a	88.86ab	100.00a	60.71	93.52ab	92.42a	99.75a
	24 h	99.92a	100.00a	94.49a	100.00a	85.20	99.07a	76.52a	99.75a
	30 h	100.00a	100.00a	99.38a	100.00a	87.76	100.00a	83.33a	100.00a
	36 h	100.00a	100.00a	84.96ab	100.00a	72.96	100.00a	99.24a	100.00a
Carbon dioxide 80%	6 h	28.28fg	94.96c	31.31g	64.88c	84.69	65.74c	46.21abc	33.80d
	9 h	29.94fg	98.81a	53.22ef	89.31b	73.47	83.33abc	50.00abc	76.17b
	12 h	61.69bc	99.79a	67.14cde	99.03a	81.12	95.37ab	64.39ab	97.73a
	15 h	71.42b	99.87a	77.85bc	100.00a	72.96	89.81ab	90.15a	99.75a
	18 h	96.46a	99.96a	84.96ab	100.00a	81.63	95.37ab	59.85ab	99.75a
Carbon dioxide 100%	6 h	17.72g	98.69a	33.73g	93.92b	75.51	81.48abc	65.15ab	48.93c
	9 h	38.84ef	99.53a	45.42fg	98.78a	80.61	74.07bc	2.27c	86.38ab
	12 h	56.56cd	99.96a	60.77de	99.76a	69.39	94.44ab	14.39bc	97.23a
	15 h	73.76b	100.00a	69.00cd	100.00a	80.61	77.78abc	56.06abc	99.50a
	18 h	96.91a	100.00a	83.60ab	100.00a	86.73	100.00a	87.12a	99.75a
Means		67.78	99.23	70.21	95.87	78.20	89.82	63.74	89.10
C.V. (%)		13.32	0.98	13.84	3.53	20.45	15.81	55.03	9.34

[1/] Means averaged from 4 replications.

[2/] Means followed by same letters in columns are not significantly different by DMRT ($P<0.05$)

ศูนย์วิทยทรัพยากร

Table 3 Control efficiency Percentage of 60, 80 and 100% Carbon dioxide to *Sitophilus zeamais* in 10 kg of rice at various exposure time[1/]

Concentration of CO2	Exposure Time (days)	Stages of *Sitophilus zeamais*			
		Egg [ns]	Larva	Pupa	Adult [ns]
Carbon dioxide 60%	5	100.00	97.85b[2/]	99.82a	100.00
	8	99.14	99.50a	100.00a	100.00
	11	100.00	100.00a	100.00a	100.00
	15	100.00	100.00a	100.00a	100.00
Carbon dioxide 80%	5	100.00	100.00a	81.50b	100.00
	8	100.00	100.00a	97.80a	100.00
	11	100.00	100.00a	100.00a	100.00
	15	100.00	100.00a	100.00a	100.00
Carbon dioxide 100%	5	100.00	98.33ab	96.51a	100.00
	8	94.74	98.33ab	100.00a	100.00
	11	100.00	100.00a	100.00a	100.00
	15	100.00	100.00a	100.00a	100.00
Means		99.49	99.50	97.97	100
C.V. (%)		0.007	1.13	5.54	0

[1/] Means averaged from 4 replications.

[2/] Means followed by same letters in columns are not significantly different by DMRT ($P<0.05$)

[ns] Means non significance.

กรมวิชาการเกษตร

Table 4 Control efficiency percentage of Carbon dioxide >60% to stored product insects in 1 tonne of rice at various exposure time[1/]

	Insect sp.	*Sitophilus zeamais*				*Tribolium castaneum*			
	Stages	Egg	Larva	Pupa	Adult	Egg	Larva	Pupa	Adult
Exposure Time	5 days	100.00	99.38b[2/]	96.23b	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
	8 days	100.00	100.00a	100.00a	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
	11 days	100.00	100.00a	100.00a	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
	15 days	100.00	100.00a	100.00a	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
C.V. (%)		0	0.31	2.69	0	0	0	0	0
	Insect sp.	*Oryzaephilus surinamensis*				*Cryptolestes* sp.			
	Stages	Egg	Larva	Pupa	Adult	Egg	Larva	Pupa [ns]	Adult
Exposure Time	5 days	100.00	100.00	98.73 [ns]	100.00	98.63ab	99.33b	96.60 [ns]	100.00
	8 days	100.00	100.00	100.00	100.00	93.15b	100.00a	99.62	100.00
	11 days	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00a	100.00a	100.00	100.00
	15 days	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00a	100.00a	100.00	100.00
C.V. (%)		2.17	0	1.27	0	3.79	0.39	2.47	0

[1/] Means averaged from 4 replications.

[2/] Means followed by same letters in columns are not significantly different by DMRT (P<0.05)

[ns] Means non significance.

กรมวิชาการเกษตร

Table 5 Percentage of control efficiency of Nitrogen 99.5% to stored product insects in 250 g of rice at various exposure time[1/]

	Insect sp.	*Sitophilus zeamais*				*Tribolium castaneum*			
	Stages	Egg	Larva	Pupa	Adult	Egg	Larva	Pupa	Adult
Exposure Time	5 days	100.00	80.88	83.25	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
	8 days	100.00	96.31	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
	11 days	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
	13 days	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
	15 days	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

	Insect sp.	*Oryzaephilus surinamensis*				*Cryptolestes* sp.			
	Stages	Egg	Larva	Pupa	Adult	Egg	Larva	Pupa	Adult
Exposure Time	5 days	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
	8 days	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
	11 days	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
	13 days	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
	15 days	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

[1/] Means averaged from 4 replications.

กรมวิชาการเกษตร

Table 6 Percentage of control efficiency of Nitrogen 99.5% to stored product insects in 10 kg of rice at various exposure time[1/]

	Insect sp.	*Sitophilus zeamais*				*Tribolium castaneum*			
	Stages	Egg	Larva	Pupa	Adult	Egg	Larva	Pupa	Adult
Exposure Time	5 days	100.00	94.33	57.47	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
	8 days	100.00	99.40	95.06	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
	11 days	100.00	100.00	99.87	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
	13 days	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
	15 days	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

	Insect sp.	*Oryzaephilus surinamensis*				*Cryptolestes* sp.			
	Stages	Egg	Larva	Pupa	Adult	Egg	Larva	Pupa	Adult
Exposure Time	5 days	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	99.87
	8 days	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
	11 days	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
	13 days	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
	15 days	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

[1/] Means averaged from 4 replications.

ศูนย์วิทยทรัพยากร