

ประสิทธิภาพของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในการกำจัดมอดหนวดยาว (*Cryptolestes pusillus*) ในข้าวและสัณฐานวิทยาของไข่มอดหนวดยาว

Efficacy of Carbon Dioxide for Controlling Flat Grain Beetle (*Cryptolestes pusillus*) in Rice and Its Egg Morphology

พุฒิพัฒน์ คุณะปัญญาดิลก¹ ปิยะวรรณ สุทธิประพันธ์¹ และ เยาวลักษณ์ จันทรบ่าง^{1*, 2}

Putipat Kunapanyadilok¹, Piyawan Suttiapran¹ and Yaowaluk Chانبang^{1*, 2}

¹สาขาวิชาโรคพืช ภาควิชากีฏวิทยาและโรคพืช คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่ 50200

¹Division of Plant Pathology, Department of Entomology and Plant Pathology, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand

²ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา กรุงเทพฯ 10400

²Postharvest Technology Innovation Center Office of the Higher Education Commission, Bangkok 10400, Thailand

*Corresponding author: Email: lukksu@hotmail.com

(Received: 3 April 2017; Accepted: 9 June 2017)

Abstract: All developmental stages of flat grain beetles (*Cryptolestes pusillus*) coexisting with rice grains in LDPE packaging bag (16x18 cm) were exposed to 50% CO₂ and found that the mortality rate of larval and adult stages were 100% and significantly different to those of pupal stage (90.11 ± 2.46%) and egg stage (78.95 ± 8.58%) ($P \leq 0.05$). For using 70% CO₂ treated on the tolerant stages, pupal and egg stages, the mortality rate were 80.00 ± 8.43 and 87.91 ± 10.57%, respectively, and not significantly different to those treated with 50% CO₂ ($P > 0.05$). Eggs of flat grain beetle were studied using scanning electron microscope. The results revealed that average length and width of the eggs were 541.73 ± 12.25 and 155.25 ± 6.24 µm, respectively. The eggs were smooth surface, and aeropyle and micropyle were not found at 12,000x.

Keywords: *Cryptolestes pusillus*, carbon dioxide, rice, flat grain beetle egg

บทคัดย่อ: การใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 50 รมมอดหนวดยาวทุกระยะการเจริญเติบโตที่อยู่ในข้าวบรรจุถุงชนิด LDPE ขนาด 16x18 เซนติเมตร พบว่าระยะหนอนและตัวเต็มวัยมีการตายสูงสุดที่ร้อยละ 100 ระยะดักแด้และระยะไข่มีอัตราการตายร้อยละ 90.11 ± 2.46 และร้อยละ 78.95 ± 8.58 ตามลำดับ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) สำหรับการใช้ก๊าซ CO_2 ที่ความเข้มข้นอัตรา 70 รมมอดหนวดยาวในระยะที่ทนทานคือระยะไข่และระยะดักแด้ พบว่าทั้ง 2 ระยะ มีร้อยละการตายร้อยละ 80.00 ± 8.43 และ 87.91 ± 10.57 ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) กับการใช้ก๊าซ CO_2 ที่ความเข้มข้นร้อยละ 50 การศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาของไข่มอดหนวดยาวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่ามีความยาวเฉลี่ย $541.73 \pm 12.25 \mu\text{m}$ และมีความกว้างเฉลี่ย $155.25 \pm 6.24 \mu\text{m}$ พื้นผิวเปลือกไข่มีลักษณะเรียบ ไม่พบรูปเปิดของ aeropyle และ micropyle ที่กำลังขยาย 12,000 เท่า

คำสำคัญ: มอดหนวดยาว ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ข้าว ไข่มอดหนวดยาว

คำนำ

ข้าวเป็นพืชอาหารและเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญสำหรับในการพัฒนาด้านเศรษฐกิจและด้านสังคม ในปี พ.ศ. 2558-2559 ประเทศไทยมีพื้นที่เพาะปลูกข้าวประมาณ 58 ล้านไร่ ผลผลิตคิดโดยรวมประมาณ 24.311 ล้านตัน และผลผลิตเฉลี่ย 419 กิโลกรัมต่อไร่ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2560) การผลิตข้าวมีปัญหาที่สำคัญหลายประการทั้งระหว่างการผลิตและการเก็บรักษาโดยเฉพาะอย่างยิ่งหลังการเก็บเกี่ยวเนื่องจากได้รับความเสียหายจากการเข้าทำลายของแมลงศัตรูโรงเก็บหลายชนิด เช่น ตัวงวงข้าวโพด และมอดหัวบ่อม เป็นต้น อีกทั้งแมลงที่เป็นปัญหาสำคัญไปไม่น้อยกว่าอีกชนิดคือ มอดหนวดยาว (*Cryptolestes* spp.) ซึ่งเป็นแมลงที่ไม่เข้าทำลายเมล็ดข้าวโดยตรง แต่กัดกินส่วนที่เป็นฝุ่น ผง หรือเข้าทำลายหลังจากแมลงชนิดอื่น ๆ เข้าทำลายมาก่อน มอดหนวดยาวสามารถเข้าทำลายระหว่างการเก็บข้าวที่ผ่านการแปรรูป เช่น ข้าวขาว ข้าวกล้อง ข้าวที่รอการนำไปผ่านกระบวนการขัด หรือติดไปกับข้าวสารบรรจุถุง มีรายงานพบการปนเปื้อนของแมลงชนิดนี้ติดไปกับผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองที่มีการส่งออกไปยังประเทศจีน (ศูนย์ข้อมูลเพื่อธุรกิจไทยในจีน, 2555) ลงทำลายข้าวโพดซึ่งเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตอาหารสัตว์ เมล็ดข้าวเปลือกที่ใช้ทำพันธุ์และธัญพืชอื่น ๆ เสียหาย (กัญญา และคณะ, 2550; ภรณ์ธิดา, 2553)

การรวมผลผลิตทางการเกษตรด้วยสารเคมีเป็นวิธีการที่นิยมใช้ในการกำจัดแมลงระหว่างการเก็บรักษาและก่อนการส่งออก ปัจจุบันผู้ประกอบการที่เก็บรักษาข้าวสาร และข้าวโพดให้ข้อสังเกตว่าการรมข้าวสารข้าวโพดและเมล็ดธัญพืชต่าง ๆ ด้วยฟอสฟีนเพื่อกำจัดแมลงมักประสบปัญหาย่างคงเหลือมอดหนวดยาวที่มีชีวิต ในสภาพโรงเก็บหรือไซโลเก็บผลผลิตไม่ได้มีเฉพาะตัวเต็มวัยของมอดหนวดยาวที่สร้างความเสียหายให้กับผลผลิตเพียงเท่านั้น ยังมีมอดหนวดยาวในระยะไข่ที่สามารถติดไปกับผลผลิตได้ และพัฒนาไปเป็นตัวเต็มวัยที่สมบูรณ์ ปรากฏอยู่ในผลผลิตในเวลาต่อมา ในสถานการณ์ปัจจุบันคาดว่าแนวโน้มที่มอดหนวดยาวโดยเฉพาะอย่างยิ่งในระยะไข่ที่ติดไปกับผลผลิต อาจสร้างความต้านทานต่อการรมสารฟอสฟีนทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มเพื่อจัดการแมลงดังกล่าวและผลของสารรมอาจมีสารตกค้างในผลผลิตได้ ซึ่งปัจจุบันข้อมูลของมอดหนวดยาวเกี่ยวกับชีววิทยา การเข้าทำลาย และการป้องกันกำจัดในประเทศไทยยังมีไม่เพียงพอจึงจำเป็นต้องมีการศึกษาถึงชีววิทยาของมอดหนวดยาวในผลผลิตต่าง ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งชีววิทยาของผลผลิตข้าวรูปแบบต่าง ๆ และทางเลือกในการป้องกันกำจัดเพื่อหลีกเลี่ยงการใช้สารเคมี ในการศึกษาครั้งนี้ได้นำก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นก๊าซที่มีผลในการกำจัดแมลงและยังสามารถใช้กำจัดแมลงในระบบเกษตรอินทรีย์ได้ (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2552) มีผลกระทบต่อคุณภาพของผลผลิตต่ำ และไม่มีพิษตกค้างหลังการรม

โดยนำมาใช้กับผลผลิตข้าวชนิดต่าง ๆ เพื่อเป็นทางเลือกในการป้องกันกำจัดมอดหนวดยาวต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

1. การประเมินความทนทานของมอดหนวดยาวทุกระยะการเจริญเติบโตเมื่อได้รับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความทนทานของมอดหนวดยาวในระยะไข่ หนอน ดักแด และตัวเต็มวัย ที่ได้รับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในข้าวสารปริมาณ 200 กรัม ที่บรรจุในถุงบรรจุข้าวชนิด LDPE (low-density poly ethylene) ซึ่งมีคุณสมบัติที่มีความเหนียว ความคงทน ลักษณะค่อนข้างใส ยืดหยุ่นได้พอสมควร (ขนาด 16x18 เซนติเมตร) ปลอยมอดหนวดยาวทุกระยะการเจริญเติบโตที่ได้จากการเลี้ยงเพิ่มปริมาณจำนวน 20 ตัว ลงในถุง แล้วปิดผนึกปากถุงด้วยเครื่องปิดปากถุงบรรจุข้าวโดยใช้ความร้อน ซึ่งวิธีการปล่อยก๊าซ CO_2 เข้าภายในถุงบรรจุข้าวจะใช้หัวเข็มฉีดยาเบอร์ 16 ความยาว 1 นิ้ว ต่อเข้ากับสายก๊าซแรงดันสูงแล้วใช้พาราฟิล์มพันทับ

บริเวณรอยต่อระหว่างเข็มฉีดยากับสายก๊าซให้แน่น จากนั้นใช้เซปตัม (septum) ติดกับถุงบรรจุข้าวตรงบริเวณกลางถุง แล้วใช้เข็มฉีดยาจิ้มเข้าถุงบรรจุข้าว ตรงบริเวณที่ติดเซปตัมไว้แล้วก่อนหน้านี้ (ภาพที่ 1b) หลังจากนั้นปล่อยก๊าซ CO_2 จากถังบรรจุก๊าซ CO_2 บริสุทธิ์ (ภาพที่ 1a) ที่ความเข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์ต่อปริมาณ (ถุงบรรจุข้าว) นำถุงที่ได้รับก๊าซแล้ว (ภาพที่ 1c) ใส่ในกล่องควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ที่ 75 เปอร์เซ็นต์ ทำการตรวจนับการตายของมอดหนวดยาวในแต่ละระยะโดยประเมินจากแมลงที่สามารถรอดและพัฒนาเป็นตัวเต็มวัยได้ วัดความเข้มข้นของก๊าซ CO_2 ด้วยเครื่อง Headspace Gas Analyzer (Bridge Analyzers, Inc.) ที่ 45, 30, 21 และ 14 วัน ตามลำดับ โดยเปรียบเทียบกับชุดควบคุมซึ่งภายในเป็นสภาพบรรยากาศปกติ (ปริมาณก๊าซ CO_2 เท่ากับ 0.03) ทำ 5 ซ้ำ

ตรวจนับการตายของมอดหนวดยาว

ตรวจนับจำนวนแมลงที่สามารถพัฒนาไปเป็นตัวเต็มวัยหลังจากการรมก๊าซ และคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การตาย ทำการปรับค่าเปอร์เซ็นต์การตายที่แท้จริง (corrected mortality) ด้วย Abbott's formula (Abbott, 1925)

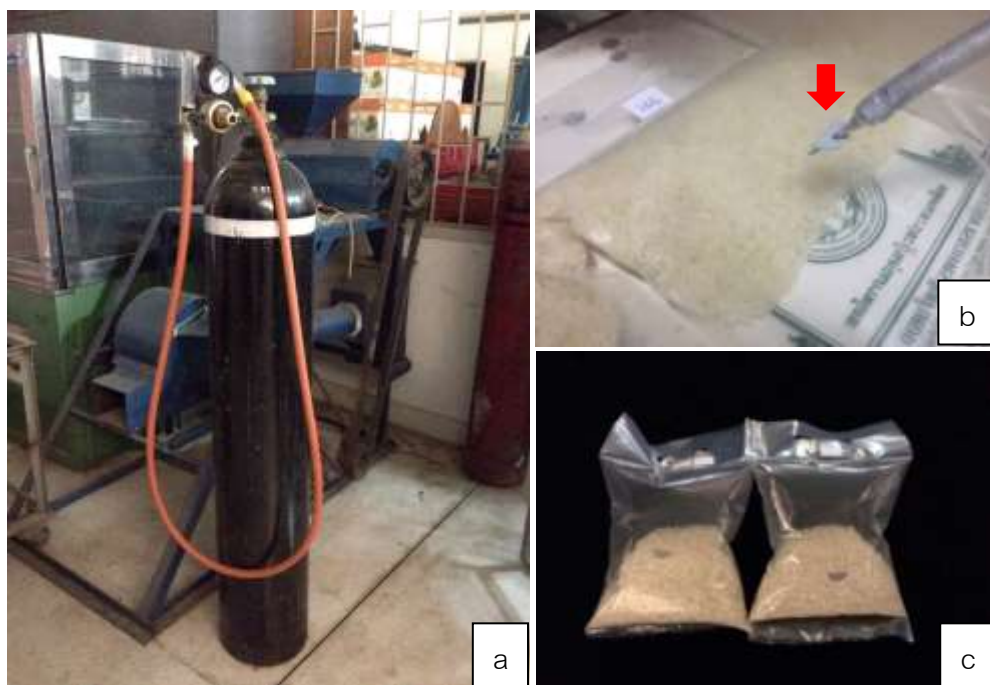


Figure 1. (a) CO_2 tank, (b) entering CO_2 through septum sheet indicated by arrow, and (c) LDPE bags after filling with CO_2

ในกรณีที่พบจำนวนแมลงตายในชุดควบคุม (ไม่ผ่านการรมก๊าซ) วิเคราะห์ความแปรปรวนแล้วเปรียบเทียบความแตกต่างเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การตายของแมลงโดยใช้วิธี least significant difference (LSD)

2. การประเมินความทนทานของมอดหนวดยาวในระยะที่ทนทาน เมื่อได้รับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ที่ความเข้มข้น 70 เปอร์เซ็นต์

นำมอดหนวดยาวในระยะที่ทนทานที่สุด ซึ่งเป็นผลที่ได้จากการทดลองก่อนหน้านี้คือระยะไข่ และระยะดักแด้ จำนวน 20 ตัว ใส่ลงในข้าวสาร 200 กรัม ที่บรรจุในถุงบรรจุข้าวชนิด LDPE ปล่องก๊าซจากถังบรรจุก๊าซ CO_2 บริสุทธิ์ ที่ความเข้มข้นร้อยละ 70 ต่อปริมาตร (ถุงบรรจุข้าว) ซึ่งเป็นความเข้มข้นของก๊าซ CO_2 สูงสุด ที่ถุงบรรจุข้าวสามารถบรรจุก๊าซ CO_2 ได้ ทำการทดสอบระยะละ 5 ชั่วโมง ตรวจนับแมลงในเวลา 21 และ 45 วัน ซึ่งแมลงพัฒนาไปเป็นตัวเต็มวัย ตามลำดับ โดยเปรียบเทียบกับชุดควบคุมซึ่งภายในเป็นสภาพบรรยากาศปกติ และคำนวณหาอัตราการตาย และวิเคราะห์ความแปรปรวนแล้วเปรียบเทียบความแตกต่างเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การตายของแมลงโดยใช้วิธี least significant difference (LSD)

3. การศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของไข่มอดหนวดยาว

จากการทดสอบก่อนหน้าพบว่าไข่มอดหนวดยาวเป็นระยะที่ทนต่อการรมก๊าซ CO_2 จึงมีสมมติฐานว่าลักษณะไข่ของมอดหนวดยาวอาจมีผลต่อการรมก๊าซ จึงตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (ภาพที่ 2) เพื่อตรวจสอบรู aeropyles และ micropyles และวัดขนาดไข่ของมอดหนวดยาวโดยใช้โปรแกรม Image J ตามวิธีการของ Gautam *et al.* (2014)

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. การประเมินความทนทานของมอดหนวดยาวเมื่อได้รับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่ความเข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์

ผลการทดสอบมอดหนวดยาวทุกระยะการเจริญเติบโตด้วยก๊าซ CO_2 ความเข้มข้นร้อยละ 50 ในถุงบรรจุข้าวชนิด LDPE ตรวจนับที่เวลา 45, 30, 21 และ 14 วัน ตามลำดับ พบว่าในระยะหนอนและตัวเต็มวัยมีอัตราการตายร้อยละ 100.00 รองลงมา คือระยะดักแด้ ร้อยละ 90.11 ± 2.46 ระยะไข่ร้อยละ 78.95 ± 8.58 (ตารางที่ 1) แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) สามารถสรุปได้ว่าระยะไข่ของมอดหนวดยาวมีความทนทานต่อก๊าซ CO_2 มากที่สุดสอดคล้องกับ

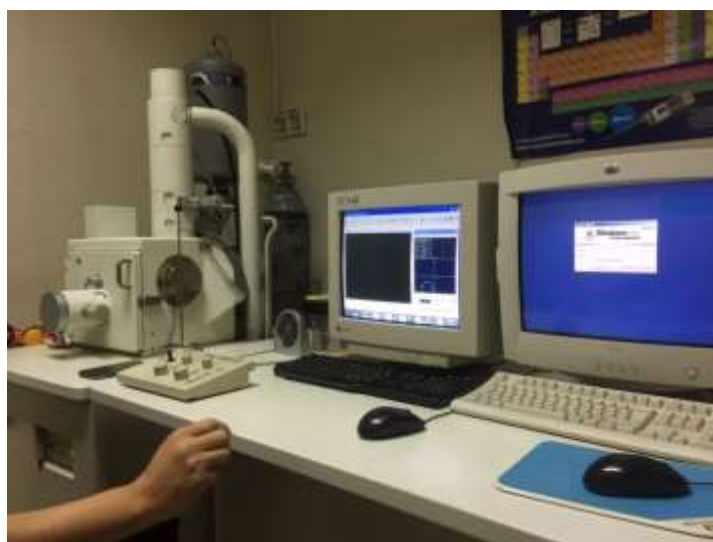


Figure 2. Scanning electron microscope (SEM)

Table 1. Average percent mortality of all stages of flat grain beetle at 45, 30, 21 and 14 days after fumigation with 50% CO₂

Developmental stages	Days after fumigation (days)	Percent mortality $\pm$ SD ¹
Egg	45	78.95 $\pm$ 8.58 c
Larva	30	100.00 $\pm$ 0.00 a
Pupa	21	90.11 $\pm$ 2.46 b
Adult	14	100.00 $\pm$ 0.00 a

¹ Means within a column followed by same letters are not significantly different (95% CI)

การศึกษาของรัตนานพร และปิยะวรรณ (2558) ที่รายงานว่าการใช้ก๊าซ CO₂ ที่ความเข้มข้นร้อยละ 35 รถมดแมลงดำหนวด (Araecerus fasciculatus) ทุกระยะการเจริญเติบโตในขนาดแก้วรูปทรงกลม (ปริมาตร 2,000 มิลลิลิตร) ที่ระยะเวลา 72 ชั่วโมง พบว่าระยะไข่มีความทนทานต่อก๊าซ CO₂ มากที่สุด มีอัตราการตายร้อยละ 0.50 และ Gbaye and Odeyemi (2005) ซึ่งทดสอบการใช้ก๊าซ CO₂ รถมดผลไม้แห้ง (Carpophilus hemipterus) กับทุกระยะการเจริญเติบโต พบว่า หลัง 8 ชั่วโมง ระยะไข่มีความทนทานต่อก๊าซ CO₂ มากที่สุด มีอัตราการตายร้อยละ 26.70

2. การประเมินความทนทานของมอดหนวดยาวในระยะที่ทนทาน เมื่อได้รับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่ความเข้มข้น 70 เปอร์เซ็นต์

จากการนำมอดหนวดยาวในระยะที่ทนทานคือในระยะไข่ และระยะดักแด้ ผลทดสอบรมไข่และดักแด้มอดหนวดยาวซึ่งทนทานต่อก๊าซ CO₂ สูงสุด ด้วยก๊าซ CO₂ ความเข้มข้นร้อยละ 70 พบว่าระยะไข่และระยะดักแด้มีอัตราการตายร้อยละ 80.00 $\pm$ 8.43 และ 87.9 $\pm$ 10.57 ตามลำดับ (ตารางที่ 2) ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับการศึกษาของ Riudavets et al. (2010) ที่ทดลองใช้ก๊าซ CO₂ ความเข้มข้นร้อยละ 100 ระดับความดัน 15 และ 20 บาร์ ที่ระยะเวลา 15, 30 และ 60 นาที เพื่อกำจัดมอดพื้นเลื้อย (*Oryzaephilus surinamensis*) มอดตัวแบน (*Cryptolestes ferrugineus*) มอดยาสูบ (*Lasioderma serricorne*) ตัวงวงข้าว (*Sitophilus oryzae*) มอดหัวบีบ (*Rhyzopertha dominica*)

ตัวงวงแดง (*Acanthoscelides obtectus*) ฝั่ข้าวโพด (*Ephestia kuehniella*) เหาหน้างสี (*Liposcelis bostrychophila*) และไรศัตรูในโรงเก็บ (*Tyrophagus putrescentiae*) ทดสอบทุกระยะการเจริญเติบโต พบว่าไข่ของเหาหน้างสี และมอดยาสูบสามารถทนทานต่อก๊าซ CO₂ ที่ระดับความดัน 15 บาร์ และการทดลองของ Gunasekaran and Rajendran (2005) ศึกษาความเป็นพิษของก๊าซ CO₂ ที่ความเข้มข้นร้อยละ 80 ในการรมมอดสมุนไพร (*Stegobium paniceum*) และมอดยาสูบ (*L. serricorne*) ทุกระยะการเจริญเติบโตของแมลงทั้ง 2 ชนิด พบว่าระยะดักแด้ทนทานต่อก๊าซ CO₂ มากที่สุด

3. ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของไข่มอดหนวดยาว

ไข่มอดหนวดยาวมีความยาวเฉลี่ย 541.73 $\pm$ 12.25 μ m และความกว้างเฉลี่ย 155.25 $\pm$ 6.24 μ m และพบพื้นผิวของเปลือกไข่มีลักษณะเรียบ (ภาพที่ 4a, b, c) โดยพบแผ่นบางอย่างเคลือบเปลือกไข่ไว้ (ภาพที่ 4d, e) มีเศษแบ่งและเศษของอาหารเกาะติดเคลือบอยู่บนเปลือกไข่ (ภาพที่ 3a, b) และไม่พบรู aeropyle และ micropyle (ภาพที่ 4f) Scheff (2016) รายงานว่าเมื่อมอดแป้ง (*Tribolium castaneum*) เพศเมียสร้างสารเหนียวหุ้มไข่หลังจากวางไข่เสร็จแล้ว ซึ่งสารนี้ส่งผลทำให้เศษแบ่งเศษอาหารติดเคลือบอยู่กับไข่ของมอดแป้ง และติดอยู่กับภาชนะ หรือถุงบรรจุภัณฑ์ของอาหารได้ และจากการรายงานของ Gautam et al. (2015) ไม่พบรู aeropyle และ micropyle บนบริเวณเปลือกไข่ของมอดแป้งไข่ของแมลง ได้แก่ มอดยาสูบ ฝั่ข้าวโพด ตัวงวงข้าว มีรูที่เรียกว่า micropyle ซึ่งเป็นรูเปิดเป็นทางเข้าของสเปิร์ม และ aeropyle ซึ่งเป็นอวัยวะที่ใช้ในการแลกเปลี่ยน

Table 2. Average percent mortality of egg and pupal stages of flat grain beetles at 45 and 21 days after fumigation with 70% CO₂

Developmental stages	Days after fumigation (Days)	Percent mortality $\pm$ SD ¹
Egg	45	80.00 $\pm$ 8.43 a
Pupa	21	87.91 $\pm$ 10.57 a

¹ Means within a column followed by same letters are not significantly different (95% CI)

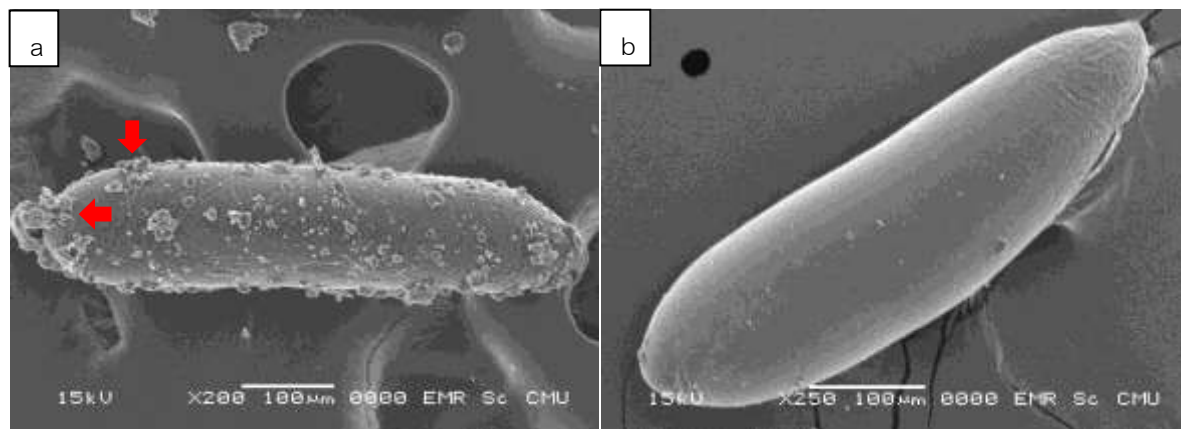


Figure 3. (a) SEM of flat grain beetle egg with flour fragments indicated by arrows, and (b) egg after removing flour fragments

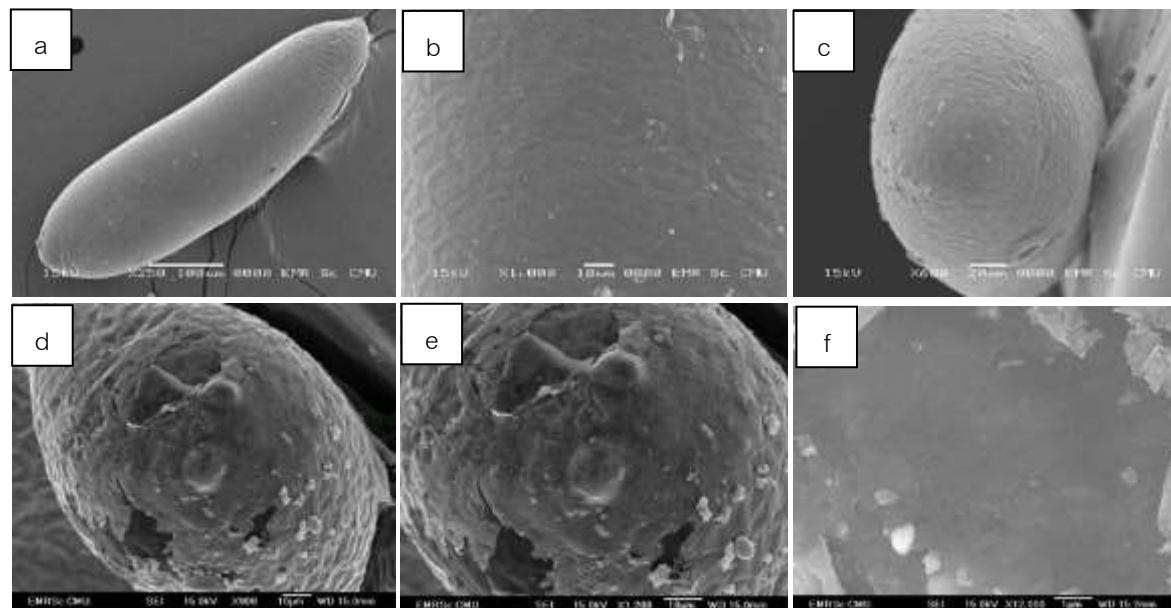


Figure 4. (a) SEM of flat grain beetle egg (250x), (b) smooth surface of the egg chorion (1,000x), (c) anterior end of the egg (600x), (d) anterior end of the egg with chorionic plate indicated by arrows (900x), (e) and at 1200x, and (f) magnified anterior end of the egg (12,000x)

ก๊าซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ ในไขแต่ละชนิดของแมลงเหล่านั้นมีจำนวนรูแตกต่างกัน ซึ่งรู micropyle และ aeropyle มีผลต่อการรวมและการดูดซึมของสารรวมเมื่อมีการใช้ในการเก็บรักษาผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยว (Gautam *et al.*, 2014)

โดยทั่วไปแมลงในระยะที่มีการเคลื่อนไหว เช่น ตัวเต็มวัยและระยะหนอน จะมีอัตราการหายใจเพื่อแลกเปลี่ยนก๊าซมากกว่าระยะที่ไม่เคลื่อนไหว เช่น ระยะดักแด้และไข่ (Wigglesworth, 1942) ทำให้รับสารเคมีในรูปของก๊าซเข้าไปทางการหายใจได้มากกว่า Emekci *et al.* (2004) ทำการวัดอัตราการหายใจของมอดหัวป้อมพบว่าอัตราการหายใจต่อน้ำหนักตัวของระยะไข่ หนอนวัยอ่อน หนอนวัยแก่ ดักแด้ และตัวเต็มวัย เท่ากับ 0.14, 4.83, 1.98, 0.64 และ 2.58 $\mu\text{l CO}_2/\text{mg}$ ระยะไข่มีอัตราการหายใจในน้อยที่สุด รองลงมาคือระยะดักแด้ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองที่ 1 ระยะหนอนและตัวเต็มวัยมีการเคลื่อนไหว และอัตราการหายใจมากกว่าระยะไข่และดักแด้จึงทำให้ก๊าซเข้าทำลายได้อย่างรวดเร็ว ในขณะที่ระยะไข่และดักแด้สามารถทนทานได้มากกว่าเช่นเดียวกับการรายงานของ รัตนพร และปิยะวรรณ (2558) ใช้ก๊าซ CO_2 รุมด้วงเมล็ดกาแฟ (*A. fasciculatus*) และพบว่าระยะไข่เป็นระยะที่ทนทานที่สุด Hole *et al.* (1976) ใช้สารฟอสฟีนซึ่งเป็นสารฆ่าแมลงในรูปของก๊าซกับแมลงศัตรูโรงเก็บประเภทด้วงจำนวน 13 ชนิด พบว่า ระยะไข่และดักแด้ของแมลงเกือบทุกชนิดที่ทนทานต่อสารมากที่สุด และ Bell (1976) พบว่าระยะไข่และดักแด้ของผีเสื้อซึ่งเป็นศัตรูในโรงเก็บ 4 ชนิดทนทานต่อสารฟอสฟีนมากที่สุด

Gautam *et al.* (2014) ศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาไข่ของแมลงศัตรูโรงเก็บ ได้แก่ มอดยาสูบ (*L. serricorne*) ผีเสื้อยาสูบ (*Ephestia elutella*) และด้วงผลไม้แห้ง (*C. hemipterus*) ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่าไข่มอดยาสูบและผีเสื้อยาสูบพบรู aeropyle จำนวนมาก ($291,200 \pm 13,145$ และ 17.4 ± 0.79 รูตามลำดับ) และมีพื้นที่แลกเปลี่ยนของอากาศมาก (990.10 ± 180.4 และ 20.71 ± 1.39 ตารางไมครอน ตามลำดับ) ทำให้อ่อนแอต่อการรวมด้วยก๊าซ sulfuryl fluoride ในขณะที่ไข่ของด้วงผลไม้แห้งพบรู aeropyle เพียง 2 ± 0.0 รูเท่านั้น และมีพื้นที่แลกเปลี่ยน

ของก๊าซ เท่ากับ 2.16 ± 0.19 ตารางไมครอน ซึ่งน้อยกว่าจึงต้องใช้ก๊าซ sulfuryl fluoride ที่เข้มข้นมากกว่าในการป้องกันและกำจัด ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองที่ 3 ที่ไม่พบรู micropyle และ aeropyle บริเวณผิวของเปลือกไข่ ส่งผลให้ระยะไข่ของมอดหนวดยาวได้รับก๊าซ CO_2 น้อยกว่าระยะอื่น ๆ และมีอัตราการตายน้อยที่สุด เมื่อรวมด้วย CO_2

Davidson and Peairs (1966) รายงานว่า ก๊าซ CO_2 มีผลไปกระตุ้นทำให้รูหายใจ (spiracle) ของแมลงเปิดกว้างและเกิดการแลกเปลี่ยนก๊าซเพิ่มมากขึ้นทำให้ก๊าซ CO_2 ที่สามารถเข้าไปแทนที่ก๊าซออกซิเจนทำให้ในร่างกายของแมลงมีก๊าซ CO_2 สูง แมลงขาดก๊าซออกซิเจนและตายในที่สุด กุลวิชญ์ (2553) รายงานการใช้ก๊าซ CO_2 ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 20 และ 30 สามารถกำจัดด้วงงวงข้าวในระยะตัวเต็มวัยได้ร้อยละ 100 ที่ระยะเวลา 5 และ 7 วัน ตามลำดับ เมื่อเพิ่มระดับความเข้มข้นของก๊าซ CO_2 ให้สูงขึ้นจนถึงที่ร้อยละ 40 พบว่าสามารถกำจัดด้วงงวงข้าวในระยะตัวเต็มวัยได้รวดเร็วขึ้น ส่งผลให้ด้วงงวงข้าวตายร้อยละ 100 ภายในระยะเวลาเพียง 2 วัน

อย่างไรก็ตามก๊าซ CO_2 อาจมีผลต่อคุณภาพการเก็บรักษาข้าวในระยะยาวจึงควรมีการศึกษาระดับก๊าซ CO_2 ที่เหมาะสมในการกำจัดแมลงและส่งผลต่อคุณภาพของข้าวให้น้อยที่สุด

สรุป

มอดหนวดยาวในระยะไข่มีความทนทานต่อก๊าซ CO_2 ที่ความเข้มข้นร้อยละ 50 มากที่สุดเนื่องจากระยะไข่มีอัตราการตายเพียงร้อยละ 78.95 ± 8.58 รองลงมาคือระยะดักแด้มีอัตราการตายร้อยละ 90.11 ± 2.46 ในขณะที่ระยะ หนอนและตัวเต็มวัยมีการตายอย่างสมบูรณ์ ร้อยละ 100.00 ส่วนการใช้ก๊าซ CO_2 ที่ความเข้มข้นร้อยละ 70 รุมมอดหนวดยาวในระยะที่ทนทาน คือ ระยะไข่ และระยะดักแด้ พบว่าทั้ง 2 ระยะ มีอัตราการตายร้อยละ 80.00 ± 8.43 และ 87.91 ± 10.57 ตามลำดับ และจากการนำไข่มอดหนวดยาวไปถ้ำยรูปด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ไม่พบรูเปิดของ aeropyle และ micropyle ที่กำลังขยาย 12,000 เท่า

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัย เชียงใหม่ ที่สนับสนุนทุนในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้และขอขอบคุณศูนย์วิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ในความอนุเคราะห์ห้องปฏิบัติการและอุปกรณ์การศึกษาก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในการวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2552. กำหนดมาตรฐานสินค้าเกษตร. (ระบบออนไลน์). แหล่งข้อมูล: www.fisheries.go.th/organic/GAP_organic_1_m_ksh_209000-2552.pdf (20 กันยายน 2557).
- กัญญา เชื้อพันธุ์ สุนันท์ วงศ์ปิยชน วาสนา พันธุ์เพ็ง วัชรวิวัฒน์ รุจี กุลประสูติ และ สุนันทา หมั่นพล. 2550. คุณภาพข้าวปทุมธานี 1 เมื่อเก็บรักษาในสภาพข้าวเปลือกและข้าวสาร. (ระบบออนไลน์). แหล่งข้อมูล: www.tnrr.in.th/rir/index.php?page=researching&nid=221716 (11 กันยายน 2557).
- กุลวิฑูรย์ พานิชกุล ยาวลักษณ์ จันทร์บาง และ พรชัย ราชตะนะพันธุ์. 2553. ผลของชนิดวัสดุบรรจุภัณฑ์ และปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ต่อการเจริญเติบโต และการทำลายของด้วงงวงข้าว (*Sitophilus oryzae* L.) ในข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 41(1) (พิเศษ): 215-218.
- ภรณ์ธิดา ปิงน้ำไท้ง ยาวลักษณ์ จันทร์บาง และ วิเชียร เสงส์สวัสดิ์. 2553. ผลของการทำลายข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ของมอดหนวดยาว. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 41(1)(พิเศษ): 337-340.
- รัตนพร ไชยศรี และ ปิยะวรรณ สุทธิประพันธ์. 2558. ชีววิทยาของด้วงเมล็ดกาแฟ *Araecerus fasciculatus* (De Geer) (Coleoptera: Anthribidae) ในกระเทียมและการควบคุมโดย

ใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์. วารสารเกษตร 31(1): 11-19.

- ศูนย์ข้อมูลเพื่อธุรกิจไทยในจีน. 2555. เกษตรกรรม. (ระบบออนไลน์). แหล่งข้อมูล: http://www.thaibizchina.com/thaibizchina/th/china-economic-business/result.php?SECTION_ID=469&ID=10381 (27 กรกฎาคม 2557).
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2560. ผลผลิตข้าว. (ระบบออนไลน์). แหล่งข้อมูล: <http://www.oae.go.th/economicdata/majorrice58-59.html> (29 มีนาคม 2560).
- Abbott, W. S. 1925. A Method of computing the effectiveness of an insecticide. *Journal of Economic Entomology* 18(2): 265-267.
- Bell, C.H. 1976. The tolerance of developmental stages of four stored product moths to phosphine. *Journal of Stored Products Research* 12(2): 77-86.
- Davidson, R.H. and L.M. Peairs. 1966. *Insect Pests of Farm Garden and Orchard*. John Wiley & Son, Inc., New York. 675 p.
- Emekci, M., S. Navarro, E. Donahaye, M. Rindner and A. Azrieli. 2004. Respiration of *Rhyzopertha dominica* (F.) at reduced oxygen concentrations. *Journal of Stored Products Research* 40(1): 27-38.
- Gautam, S.G., G.P. Opit, J.S. Tebbets, D. Margosan and S. Walse. 2014. Egg morphology of key stored-product insect pests of the United States. *Annals of the Entomological Society of America* 107: 1-10.
- Gautam, S.G., G.P. Opit, D. Margosan, D. Hoffmann, J.S. Tebbets and S. Walse. 2015. Comparative egg morphology and chorionic ultrastructure of key stored-product insect pests. *Annals of the Entomological Society of America* 108(1): 43-56.

- Gbaye, O.A. and O.O. Odeyemi. 2005. Evaluation of hypercarbia atmosphere on the mortality of dried-fruit beetle, *Carpophilus hemipterus* (Linnaeus). Journal of Food, Agriculture & Environment 34: 43-46.
- Gunasekaran, N. and S. Rajendran. 2005. Toxicity of carbon dioxide to drugstore beetle *Stegobium paniceum* and cigarette beetle *Lasioderma serricorne*. Journal of Stored Products Research 41(3): 283-294.
- Hole, B.D., C.H. Bell, K.A. Miller and G. Goodship. 1976. The toxicity of phosphine to all developmental stages of thirteen species of stored product beetles. Journal of Stored Products Research 12(4): 235-244.
- Riudavets, J., C. Castane, O. Alomar, M. J. Pons and R. Gabarra. 2010. The use of carbon dioxide at high pressure to control nine stored-product pests. Journal of Stored Products Research 46: 228-233.
- Scheff, D.S. 2016. Packaging technologies for the control of stored-product insects. Department of Grain Science and Industry, College of Agriculture, Kansas State University, Kansas. 141 p.
- Wigglesworth, V.B. 1942. The Principles of Insect Physiology. Metheun & Co. Ltd., London. 444 p.
-