Agricultural Sci. J. 53 : 3 (Suppl.) : 24-27 (2022) ว. วิทย. กษ. 53 : 3 (พิเศษ) : 24-27 (2565)

การควบคุมด้วงงวงข้าวโพดและมอดแป้งด้วยก๊าซไนโตรเจน
Controlling Maize Weevil and Red Flour Beetle by Nitrogen Gas

ใจทิพย์ อุไรชื่น[1] พณัญญา พบสุข[1] และศรุตา สิทธิไชยากุล[1]
Jaitip Uraichuen[1], Pananya Pobsuk[1] and Saruta Sitthichaiyakul[1]

Abstract

The experiments, controlling maize weevil and red flour beetle with nitrogen, were carried out to determine the effectiveness of 99.5% nitrogen gas treatment on the survival of post-harvest insect pests and obtain information on the appropriate exposure time for eliminating both species of insects. Nitrogen gas (N_2) at 99.5% was applied for 5, 8, 11, 13 and 15 days. In 250 g of rice, in 0.1-mm.-thick plastic bag with valve and heating sealed, almost insects died within 5 days, except larval and pupal stages of maize weevil which developed inside rice grains, that N_2 could control, for 80.88% and 83.25%, respectively. 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 red flour beetle in 5 days. In conclusion, N_2 was effective to control maize weevil and red flout beetle. The optimal time would vary depending on the species and developmental stage of insect. The maize weevil was more tolerant to N_2 than the red flour beetle. The adult was the weakest stage. Nitrogen gas was frequently measured and topped it up to maintain the concentration nearly 100% for minimizing the oxygen level. In order to provide good insect control efficiency, the ability to maintain gas or gas leak prevention were important factors and had a great effect on the efficiency of N_2 for insect control.

Keywords: nitrogen, controlling insect pests, stored product insects

บทคัดย่อ

การควบคุมด้วงงวงข้าวโพดและมอดแป้งด้วยก๊าซไนโตรเจน ได้ดำเนินการทดสอบเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของการใช้ก๊าซไนโตรเจน 99.5% ที่มีต่อการอยู่รอดของด้วงงวงข้าวโพดและมอดแป้ง และได้ข้อมูลระยะเวลาที่เหมาะสมในการกำจัดแมลงทั้งสองชนิด โดยทดสอบประสิทธิภาพก๊าซไนโตรเจน 99.5% ที่ระยะเวลา 5, 8, 11, 13 และ 15 วัน ในข้าวกล้อง 250 กรัม บรรจุในถุงพลาสติกหนา 0.1 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งวาล์วเปิด-ปิด และปิดผนึกด้วยความร้อน พบว่า แมลงส่วนใหญ่ตายหมดตั้งแต่ 5 วันแรกของการรม มีเพียงด้วงงวงข้าวโพด ที่ควบคุมระยะหนอนและดักแด้ ซึ่งเป็นระยะที่อาศัยอยู่ในเมล็ดข้าวสาร ได้ 80.88 และ 83.25% ตามลำดับ เมื่อเพิ่มเวลาเป็น 8 วัน สามารถควบคุมระยะดักแด้ได้ แต่สำหรับระยะหนอนต้องเพิ่มเวลาเป็น 11 วัน จึงควบคุมได้อย่างสมบูรณ์ เมื่อทดสอบในข้าวสาร 10 กิโลกรัม พบว่า ต้องใช้เวลา 11 วัน จึงควบคุมระยะหนอนและดักแด้ของด้วงงวงข้าวโพดได้หมด ในขณะที่ก๊าซไนโตรเจนสามารถควบคุมมอดแป้งได้ที่ระยะเวลา 5 วัน สรุปได้ว่า ก๊าซไนโตรเจนมีประสิทธิภาพดีในการควบคุมด้วงงวงข้าวโพดและมอดแป้ง ระยะเวลาที่เหมาะสมในการควบคุมขึ้นอยู่กับชนิดและระยะการเจริญเติบโตของแมลง ด้วงงวงข้าวโพดมีความทนทานต่อก๊าซไนโตรเจนมากกว่ามอดแป้ง ระยะหนอนและระยะดักแด้ เป็นระยะที่มีความทนทาน การใช้ก๊าซไนโตรเจนในการควบคุมแมลงศัตรูผลิตผลเกษตร จำเป็นต้องวัดความเข้มข้นของก๊าซตลอดการรม เติมก๊าซไนโตรเจนเมื่อจำเป็น เพื่อรักษาระดับความเข้มข้นของก๊าซให้ใกล้เคียง 100% ซึ่งจะเป็นการลดระดับก๊าซออกซิเจนให้ต่ำที่สุด ทั้งนี้ นอกจากชนิดและระยะการเจริญเติบโตของแมลงแล้ว ความเข้มข้นของก๊าซที่ใช้และระยะเวลาการรม รวมถึงประสิทธิภาพในการกักเก็บก๊าซ การป้องกันการรั่วไหลของก๊าซ เป็นปัจจัยสำคัญและมีผลต่อประสิทธิภาพการใช้ก๊าซไนโตรเจนในการควบคุมแมลง

คำสำคัญ: ไนโตรเจน การควบคุมแมลง แมลงศัตรูผลิตผลเกษตร

[1] กลุ่มวิจัยพัฒนาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวพืชไร่ กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร กรมวิชาการเกษตร
[1] Post-harvest Technology Research and Development Group, Post-harvest and Processing Research and Development Division. Department of Agriculture.

คำนำ

ปัจจุบัน ผู้บริโภคให้ความสำคัญกับคุณภาพของสินค้าและอาหารมากขึ้น ผลิตผลเกษตรหรือผลิตภัณฑ์ต้องสะอาดปราศจากการปนเปื้อนใด ๆ การเก็บรักษาผลิตผลเกษตรภายใต้สภาพภูมิอากาศร้อนชื้น มักได้รับความเสียหายจากการเข้าทำลายของศัตรูชนิดต่าง ๆ เป็นที่ยอมรับว่าแมลงทำความเสียหายให้แก่ผลิตผลเกษตรหลังการเก็บเกี่ยวมากที่สุด แมลงศัตรูที่สำคัญมีหลายชนิด โดยด้วงงวงข้าวโพด (*Sitophilus zeamais* Motschulsky) และมอดแป้ง (*Tribolium castaneum* (Herbst)) เป็นแมลงที่พบได้มากในผลิตผลเกษตรหลังเก็บเกี่ยวของประเทศไทย ในกระบวนการผลิตข้าว แมลงกัดกินข้าวทำให้สูญเสียน้ำหนักและปล่อยมูลออกมาทำให้ข้าวสกปรก นอกจากทำความเสียหายโดยตรงแล้ว มอดแป้งยังทำให้เกิดกลิ่นจากการปล่อยฮอร์โมน benzoquinones กลิ่นนี้จะติดทนนานในแป้งแม้จะเอาแป้งไปทำอาหารแล้ว (สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร, 2551) มีผลต่อการซื้อขาย การส่งออก และการแปรรูปอาหาร ด้วงงวงข้าวโพดเป็นแมลงที่มีระยะตัวอ่อนอาศัยอยู่ภายในเมล็ด การป้องกันและกำจัดแมลงศัตรูผลิตผลเกษตรสามารถทำได้ทั้งการใช้และไม่ใช้สารเคมี การใช้สารรมฟอสฟีนเป็นวิธีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ทว่าแมลงหลายชนิดเริ่มสร้างความต้านทานต่อสารรมฟอสฟีน และมีแนวโน้มสร้างความต้านทานมากขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพการรมลดลง วิธีการทางกายภาพ (physical control) จึงมีความสำคัญมากขึ้น สามารถใช้เป็นวิธีทางเลือกได้ การดัดแปลงหรือการควบคุมสภาพบรรยากาศเป็นการเปลี่ยนสภาพแวดล้อมของแมลง แทนที่อากาศที่มีอยู่ในบรรจุภัณฑ์หรือในสภาพการเก็บรักษาด้วยการเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ หรือก๊าซไนโตรเจน ทำให้ก๊าซออกซิเจนลดลงให้เหลือน้อยที่สุด มีผลทำให้แมลงไม่สามารถเจริญเติบโตได้ตามปกติ (Jay, 1984) อากาศประกอบด้วยก๊าซไนโตรเจน 78% ไนโตรเจนจะเป็นอันตรายในกรณีไปแทนที่ก๊าซออกซิเจน ไนโตรเจนเป็นก๊าซเฉื่อย ไม่ติดไฟ ไม่ว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยา มีน้ำหนักเบากว่าอากาศเล็กน้อย เนื่องจากเป็นก๊าซที่ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส ละลายในน้ำและไขมันได้น้อยมาก จึงเป็นก๊าซที่นิยมใช้กันมากที่สุดในอุตสาหกรรมอาหาร (Lehman, 2020) สามารถนำมาใช้กับผลิตผลเกษตรได้โดยไม่เกิดผลกระทบต่อคุณภาพ การใช้ก๊าซในสภาพการเก็บรักษาปิดเป็นวิธีที่มีศักยภาพในการควบคุมแมลง เมื่อผลิตผลเกษตรอยู่ในสภาพที่อากาศไม่สามารถผ่านเข้า-ออกได้ (airtight storage) การหายใจของผลิตผลเกษตรและแมลง ทำให้ก๊าซออกซิเจนลดลงและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น และผลของอากาศที่เปลี่ยนไปนี้ทำให้แมลงไม่สามารถมีชีวิตรอดได้ (Press and Harein, 1967) ซึ่งต้องใช้เวลาระยะหนึ่งในการทำให้ก๊าซออกซิเจนหมดไปหรือเหลือน้อยที่สุดจนกระทั่งแมลงตาย โดยมีรายงานว่าแมลงที่อยู่ในภาชนะบรรจุจะตายทั้งหมดเมื่อออกซิเจนในภาชนะลดลงต่ำกว่า 2% (Oxley and Wickenden, 1963) การใช้ก๊าซไนโตรเจนร่วมกับก๊าซอาร์กอนป้องกันกำจัดแมลงด้วยการดัดแปลงสภาพบรรยากาศให้ออกซิเจนลดลงเหลือ 0.1-0.3% หรือน้อยกว่า 1,000 ppm การขาดออกซิเจนเป็นเวลานานทำให้แมลงสร้างกลูโคสลดลง เกิดการสูญเสียน้ำของร่างกาย น้ำหนักตัวลดลงและตายในที่สุด (Valentin, 1993) การศึกษาครั้งนี้ได้ทดสอบการใช้ก๊าซไนโตรเจนกับด้วงงวงข้าวโพดและมอดแป้งทุกระยะการเจริญเติบโตในห้องปฏิบัติการ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของการปรับสภาพบรรยากาศด้วยก๊าซไนโตรเจน 99.5% ต่อการอยู่รอดของแมลงที่เป็นศัตรูผลิตผลเกษตร และได้ข้อมูลระยะเวลาที่เหมาะสมในการกำจัดแมลงทั้งสองชนิด เพื่อเป็นทางเลือกทดแทนการใช้สารรมในการป้องกันกำจัดแมลงศัตรู

อุปกรณ์และวิธีการ

ทดสอบประสิทธิภาพของก๊าซไนโตรเจนกับด้วงงวงข้าวโพดและมอดแป้ง ระยะไข่ หนอน ดักแด้ และตัวเต็มวัย โดยใช้ข้าวสาร 250 กรัม และ 10 กิโลกรัม ทำความสะอาดพืชอาหารก่อนนำไปใช้เลี้ยงแมลง โดยใช้ข้าวกล้องที่ใส่ในตู้แช่แข็งที่อุณหภูมิ -20±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 สัปดาห์สำหรับด้วงงวงข้าวโพด และใช้รำข้าวที่ผ่านการอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 70-80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7-8 ชั่วโมงสำหรับมอดแป้ง เลี้ยงเพิ่มปริมาณแมลงแต่ละชนิด ที่อุณหภูมิ 30±2°C ความชื้นสัมพัทธ์ 65±5% ปล่อยตัวเต็มวัยคละเพศของแมลง จำนวน 300 ตัว ลงในอาหารของแมลงแต่ละชนิด 200 กรัมในขวดแก้วเส้นผ่านศูนย์กลาง 7.5 ซม. สูง 18 ซม. ปิดปากขวด หลังจากปล่อยให้แมลงผสมพันธุ์และวางไข่เป็นเวลา 7 วัน นำแมลงตัวเต็มวัยออก จะได้แมลงทั้ง 2 ชนิดจำนวนมากและมีความสม่ำเสมอกัน ใช้เป็นแมลงตั้งต้นในการเตรียมแมลงสำหรับทดสอบ เพื่อให้ได้ตัวอย่างแมลงแต่ละชนิดทุกระยะการเจริญเติบโตพร้อมกันในวันที่ทดสอบ เตรียมแมลงล่วงหน้าก่อนวันทดสอบ 3 วันสำหรับระยะไข่ ระยะหนอน 21 วัน และระยะดักแด้ 28 วัน เตรียมระยะไข่ด้วยการใส่ตัวเต็มวัย 200 ตัว ลงในถ้วยพลาสติกที่บรรจุอาหารของแมลง 250 กรัม วางผ้าขาวบางและปิดด้วยฝาพลาสติกเจาะรู เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง ปล่อยให้วางไข่เป็นเวลา 72 ชั่วโมง คัดเลือกตัวเต็มวัยออกให้หมด จะได้ตัวอย่างที่มีไข่ของแมลงแต่ละชนิด ดำเนินการเช่นเดียวกันนี้สำหรับการเตรียมตัวอย่างระยะหนอนและดักแด้ ส่วนระยะตัวเต็มวัยก่อนการทดสอบ 1 วัน นับตัวเต็มวัย 200 ตัว ใส่ในถ้วยพลาสติกเส้นผ่านศูนย์กลาง 7.5 ซม. สูง 9 ซม.และปิดฝา

เตรียมถุงพลาสติกที่สามารถกักเก็บก๊าซ ขนาด 30x45 ซม. สำหรับทดสอบกับข้าวสาร 250 กรัม เจาะรูที่ด้านก้นถุง และเชื่อมต่อเข้ากับวาล์วเปิด/ปิด เพื่อใช้สำหรับดูดอากาศออกและใช้เป็นทางเข้าของก๊าซไนโตรเจน 99.5% วางแผนการทดลองแบบ

CRD 6 กรรมวิธี จำนวน 4 ซ้ำ รมด้วยก๊าซไนโตรเจนเป็นเวลา 5, 8, 11, 13 และ 15 วัน เปรียบเทียบกับการไม่ใส่ก๊าซ (กรรมวิธีควบคุม) นำถ้วยพลาสติกบรรจุข้าวกล้องและรำข้าวที่มีแมลงแต่ละชนิด แต่ละระยะการเจริญเติบโตใส่ในถุงพลาสติก ปิดปากถุงด้วยเครื่องปิดผนึกด้วยความร้อน เปิดวาล์วและดูดอากาศภายในถุงออกให้หมด ปล่อยก๊าซไนโตรเจนเข้าไปให้เต็มถุง ดูดก๊าซออกให้หมดอีกครั้งและปล่อยก๊าซไนโตรเจนเข้าไปในถุงจนเต็มถุง ปิดวาล์วและนำไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง เมื่อครบกำหนดระยะเวลา ตัดปากถุงตัวอย่าง ตรวจนับแมลงที่มีชีวิตในแต่ละกรรมวิธี ทำการทดสอบเช่นเดียวกันกับข้าวสาร 10 กิโลกรัม โดยใช้ถุงพลาสติกเคลือบ ขนาด 45x65 ซม. รักษาระดับของความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจน 99.5% ด้วยการวัดความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนทุกวัน ถ้าความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนสูงกว่า 0.5% เติมก๊าซไนโตรเจนเพิ่มเข้าไป ตรวจนับแมลงที่มีชีวิตในแต่ละกรรมวิธีเมื่อครบกำหนดระยะเวลาหลังจากทดสอบประสิทธิภาพของก๊าซไนโตรเจน และนำตัวอย่างเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง เพื่อให้แมลงแต่ละชนิด แต่ละระยะการเจริญเติบโตได้พัฒนาเป็นตัวเต็มวัย ตรวจนับจำนวนแมลงที่รอดชีวิต หรือที่เกิดขึ้นใหม่ในแต่ละกรรมวิธี โดยระยะตัวเต็มวัย ตรวจนับจำนวนแมลงที่รอดชีวิตหลังทำการทดสอบ 1 วัน ระยะดักแด้ ตรวจนับจำนวนแมลงหลังทำการทดสอบ 14 วัน ระยะหนอนตรวจนับจำนวนแมลงหลังทำการทดสอบ 21 วัน และระยะไข่ตรวจนับจำนวนแมลง หลังทำการทดสอบ 45 วัน นำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณเปอร์เซ็นต์การควบคุม (control efficiency percentage)

ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลการทดสอบประสิทธิภาพของก๊าซไนโตรเจน 99.5% ในการควบคุมแมลงทั้งสองชนิด 4 ระยะ ในข้าวกล้อง 250 กรัม พบว่า ให้ผลการควบคุมที่ดี แมลงส่วนใหญ่ตายหมดตั้งแต่ 5 วันแรกของการรม ซึ่งเป็นระยะเวลาที่สั้นที่สุดในการทดสอบ (Table 1) มีเพียงด้วงงวงข้าวโพด ที่ควบคุมระยะหนอนและดักแด้ได้ 80.88 และ 83.25% ตามลำดับ เมื่อเพิ่มระยะเวลาเป็น 8 วัน สามารถควบคุมระยะดักแด้ได้หมด แต่ควบคุมระยะหนอนได้ 96.31% ต้องเพิ่มเวลาเป็น 11 วัน จึงควบคุมระยะหนอนได้อย่างสมบูรณ์ เมื่อทดสอบกับข้าวสาร 10 กิโลกรัม พบว่า ก๊าซไนโตรเจนสามารถควบคุมมอดแป้งได้หมดที่ระยะเวลา 5 วัน (Table 1) แต่สำหรับด้วงงวงข้าวโพด ที่เวลา 5 วัน สามารถควบคุมระยะไข่ และตัวเต็มวัยได้ แต่ต้องเพิ่มเวลาเป็น 11 วัน จึงให้ผลการควบคุมที่สมบูรณ์สำหรับระยะหนอนและระยะดักแด้ เห็นได้ว่า ด้วงงวงข้าวโพดมีความทนทานต่อก๊าซไนโตรเจนมากกว่ามอดแป้ง และตัวเต็มวัยเป็นระยะที่อ่อนแอที่สุด สอดคล้องกับที่ Navarro (2012) สรุปว่า ตัวเต็มวัยเป็นระยะที่อ่อนแอที่สุดกับวิธีการใช้ก๊าซไนโตรเจน และด้วงงวงข้าว (*S. oryzae*) หรือมอดหัวป้อม (*Rhyzopertha dominica*) มีความทนทานต่อก๊าซไนโตรเจนมากกว่ามอดแป้ง

Table 1 Percentage of control efficiency of nitrogen 99.5% to stored product insects in 250 g and 10 kg of rice at various exposure time

250 g of rice									
	Insect sp.	*Sitophilus zeamais*				*Tribolium castaneum*			
	Stages	Egg	Larva	Pupa	Adult	Egg	Larva	Pupa	Adult
Exposure Time	5 days	100.00[1/]	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
10 kg of rice									
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	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.

จากผลการทดสอบ ระยะเวลาที่ใช้ในการควบคุมแมลงแตกต่างไปตามชนิดของแมลง ในการศึกษาครั้งนี้ พบว่า ด้วงงวงข้าวโพด มีความทนทานต่อก๊าซไนโตรเจนมากกว่ามอดแป้ง ต้องใช้เวลาในการควบคุมนานขึ้น นอกจากนี้ ระยะการเจริญเติบโตของแมลงมีผลต่อระยะเวลาที่เหมาะสมเช่นกัน ตัวเต็มวัยเป็นระยะที่อ่อนแอ ส่วนหนอนและดักแด้เป็นระยะที่มีความทนทาน ซึ่ง Storey (1980) รายงานว่า ระยะดักแด้และหนอนวัยปลายของแมลงที่อาศัยอยู่ในเมล็ดมีความทนทานที่สุด เมื่อดัดแปลงสภาพอากาศให้มีก๊าซออกซิเจนน้อยกว่า 1% ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 9-9.5% จึงต้องใช้เวลา 10 วันในการควบคุมแมลงและระยะที่ทนทาน ใจทิพย์และคณะ (2556) ได้ทดสอบก๊าซไนโตรเจน 99.9 % กับแมลง 4 ชนิด พบว่า เวลา 7 วันยังไม่สามารถควบคุมแมลงได้หมด แต่เมื่อเพิ่มเวลาเป็น 12 วันสามารถควบคุมแมลงได้อย่างสมบูรณ์ การทดสอบของ Haojie *et al.* (2014) ที่ได้ศึกษาการใช้ก๊าซไนโตรเจน 2 ระดับ คือ 96-98% และ 98-100% พบว่า ที่ความเข้มข้นต่ำกว่า (96-98%) ใช้เวลามากกว่าในการทำให้ตัวเต็มวัยของด้วงงวงข้าวโพด มอดหัวป้อม และมอดฟันเลื่อยตาย 99% แสดงให้เห็นว่า การใช้ก๊าซไนโตรเจน ซึ่งเป็นก๊าซเฉื่อย ไม่เป็นพิษ เมื่อนำก๊าซไนโตรเจนมาใช้เพื่อการควบคุมแมลงศัตรูผลิตผลเกษตร จำเป็นต้องรักษาความเข้มข้นให้สูง หรือใกล้เคียง 100% ที่สุด เพื่อทำให้ระดับก๊าซออกซิเจนต่ำที่สุด จึงให้ประสิทธิภาพในการควบคุมแมลงได้ดี ดังนั้นความสามารถในการกักเก็บก๊าซ การป้องกันการรั่วไหลของก๊าซในแต่ละการทดสอบ จึงเป็นปัจจัยสำคัญและมีผลอย่างมากต่อประสิทธิภาพของก๊าซไนโตรเจน

สรุปผลการทดลอง

ก๊าซไนโตรเจน 99.5% มีประสิทธิภาพดีในการควบคุมแมลงศัตรูผลิตผลเกษตร โดยเฉพาะด้วงงวงข้าวโพดและมอดแป้ง ก๊าซไนโตรเจนสามารถควบคุมมอดแป้งได้หมดทุกระยะการเจริญเติบโตโดยใช้เวลา 5 วัน สำหรับด้วงงวงข้าวโพด ใช้เวลา 5 วันเช่นกันสำหรับระยะไข่ และระยะตัวเต็มวัย แต่สำหรับระยะหนอนและระยะดักแด้ของด้วงงวงข้าวโพด ซึ่งมีความทนทานต่อก๊าซไนโตรเจน ต้องใช้เวลาเพิ่มขึ้นเป็น 11 วัน ทั้งนี้การนำวิธีการนี้ไปใช้ ต้องคำนึงถึงปัจจัยต่าง ๆ อย่างรอบคอบ และถึงแม้ว่าระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับแมลงแต่ละชนิดจะแตกต่างกัน แต่ในสภาพการเก็บรักษาผลิตผลเกษตรอาจมีการเข้าทำลายของแมลงมากกว่า 1 ชนิด และมีหลายระยะอาศัยอยู่ร่วมกัน เพื่อให้การควบคุมแมลงได้ผลอย่างสมบูรณ์ ควรใช้ระยะเวลาที่มีประสิทธิภาพต่อแมลงที่ทนทานที่สุด อย่างไรก็ดี ควรทำการทดสอบเพิ่มเติมกับการรมผลิตผลเกษตรจำนวนมากขึ้น ขยายขนาดของการทดสอบในสภาพโรงเก็บให้ใหญ่ขึ้น เพื่อยืนยันระยะเวลาการรมที่เหมาะสม ที่มีประสิทธิภาพในการควบคุมแมลงทุกชนิดทุกระยะการเจริญเติบโต รวมถึงเทคนิคการกักเก็บก๊าซเพื่อป้องกันการรั่วไหลของก๊าซ จึงสามารถนำวิธีการนี้ไปใช้ได้จริงในทางการค้าต่อไป

เอกสารอ้างอิง

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

สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร. 2551. แมลงที่พบในผลิตผลเกษตรและการป้องกันกำจัด. กลุ่มวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว. สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร กรมวิชาการเกษตร. โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทยจำกัด. กรุงเทพ. 170 หน้า.

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. pp. 544-547.

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

Lehman, S. 2020. How nitrogen flushing is used for food preservation. Verywellfit. [Online]. Available source: https://www.verywellfit.com/nitrogen-flushing-protects-and-preserves-foods-2505948 (20 ตุลาคม 2563).

Navarro, S. 2012. The use of modified and controlled atmospheres for the disinfestation of stored products. J. Pest Sci. 85 (3): 301-322.

Oxley, T.A. and G. Wickenden. 1963. The effect of restricted air supply on some insects which infest grain. Ann. Appl. Biol. 51: 313-324.

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. 3 (2): 91-96.

Storey, C.L. 1980. Mortality of various stored product insects in low oxygen atmospheres produced by an exothermic inert atmosphere generator. pp. 85-92. *In* J. Shejba (eds.). Developments in Agricultural Engineering Volume 1: Controlled Atmosphere Storage of Grains. Elsevier.

Valentín, N. 1993. Comparative analysis of insect control by nitrogen, argon, and carbon dioxide in museum, archive, and herbarium collections. Int. Biodeterior. Biodegrad. 32: 263-278.