

ผลของพลาสมาเย็นต่อการตายของด้วงงวงข้าว (*Sitophilus oryzae*) ในระยะตัวเต็มวัย Effects of Cold Plasma on Mortality of Adult of Rice Weevil (*Sitophilus oryzae*)

สุภาพร มอญจันทร์¹ ทินนากรณ์ หล้าชู¹ จีรพงศ์ ศรศักดิ์นาภาพ² และ เอกอาทิตย์ ฤทธิเดชยง^{1*}
Supaphorn Morncharn¹, Tinnakorn Lamchoo¹, Jirapong Sornsakdanuphap² and Eak-artit Ritdachyeng^{1*}

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของพลาสมาเย็นต่อการตายของด้วงงวงข้าว (*Sitophilus oryzae*) ระยะตัวเต็มวัย โดยวางแผนการทดลองแบบ factorial in Completely randomized design (CRD) มี 2 ปัจจัยคือ ระยะห่างและระยะเวลาในการให้พลาสมาเย็น โดยในแต่ละ ทรีตเมนต์จะใช้แมลงจำนวน 30 ตัว ทรีตเมนต์ละ 3 ซ้ำ บันทึกผลการตายของด้วงงวงข้าวภายหลังจากได้รับพลาสมา ผลการทดลองพบว่าพลาสมาเย็นมีผลต่อการควบคุมด้วงงวงข้าวในระยะตัวเต็มวัย โดยส่งผลให้เกิดอัตราการตายที่มากกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ผลการทดลองพบว่าเมื่อด้วงงวงข้าวที่ไม่มีข้าวสารได้รับพลาสมาเย็นโดยตรงที่ระยะห่าง 4 เซนติเมตร เป็นเวลา 30, 60, 90 และ 120 วินาที และระยะห่าง 8 เซนติเมตร เป็นเวลา 120 วินาทีนั้น ทำให้เกิดการตายของด้วงงวงข้าวสูงที่สุดคือ 100 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่หลังจากให้พลาสมาเย็นกับด้วงงวงข้าวในข้าวสาร ที่ระยะห่าง 4 เซนติเมตร เป็นเวลา 30, 60, 90 และ 120 วินาทีนั้น พบอัตราการตายของด้วงงวงข้าวเฉลี่ยเท่ากับ 10.0 ± 3.33 , 8.89 ± 1.92 , 11.11 ± 1.92 และ 17.78 ± 5.09 เปอร์เซ็นต์ และที่ระยะห่าง 8 เซนติเมตร พบอัตราการตายของด้วงงวงข้าวเฉลี่ยเท่ากับ 1.11 ± 1.92 , 5.86 ± 1.92 และ 6.67 ± 0.00 เปอร์เซ็นต์ภายหลังจากที่ได้รับพลาสมาเย็นเป็นเวลา 60, 90 และ 120 วินาทีตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าการตายของด้วงงวงข้าวเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการให้พลาสมาเย็นเพิ่มขึ้น ในทางกลับกันการตายของด้วงงวงข้าวลดลงเมื่อระยะห่างระหว่างหัวเจ็ทและแมลงเพิ่มขึ้น จากการเปรียบเทียบชนิดของก๊าซที่ใช้ในการผลิตพลาสมาเย็น 2 ชนิด ได้แก่ อาร์กอน และ ฮีเลียม พบการตายภายหลังจากได้รับพลาสมาเย็นที่ผลิตจากก๊าซฮีเลียมสูงกว่าก๊าซอาร์กอน

คำสำคัญ: ด้วงงวงข้าว พลาสมาเย็น อาร์กอน ฮีเลียม การตาย

Abstract

The objective was to study the effects of cold plasma on mortality of adult of *S. oryzae*. The treatments were arranged in a factorial in completely randomized design (CRD) with 2 factors as distance between the nozzle of discharge plasma and the insects, and exposure time. For each treatment, 30 adult insects were used and 3 replicas were performed. The mortality rates were collected after exposure to the plasma. The results showed that cold plasma affected this insect in the adult stage by way of the existence of mortality in experimental groups which showed significantly higher rates ($P < 0.05$) when compared with control group. After the treatment of the cold plasma directly to the insects with rice grains at a distance of 4 cm for 30, 60, 90 and 120 second and at 8 cm distance for 120 second, the results showed the highest mortality rate with 100%. Whereas, after the treatment of cold plasma directly to insects with rice grains at a distance of 4 cm for 30, 60, 90 and 120 second, the mortality found 10.00 ± 3.33 , 8.89 ± 1.92 , 11.11 ± 1.92 and $17.78 \pm 5.09\%$. At a distance of 8 cm, the mortality was found at 1.11 ± 1.92 , 5.86 ± 1.92 and $6.67 \pm 0.00\%$ after exposed to

¹สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพทางอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ แพร่-เฉลิมพระเกียรติ อ.ร้องกวาง จ.แพร่ 54140

²สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พื้นฐาน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ แพร่-เฉลิมพระเกียรติ อ.ร้องกวาง จ.แพร่ 54140

¹Program in Agro-industrial Biotechnology, Maejo University Phrae Campus, Rongkwang, Phrae 54140

²Program in Basic Science, Maejo University Phrae Campus, Rongkwang, Phrae 54140

*Corresponding author, Email: eakartit@mju.ac.th

cold plasma for 60, 90 and 120 second, respectively. Moreover, the results indicated that the mortality rates increased when exposed to longer time. However, mortality rates decreased when the distance between the nozzle of discharge plasma and the insects was no longer. Regarding the comparison of argon/helium-generated cold plasma, the higher mortality rate after the exposure to the plasma was observed in helium plasma than argon plasma.

Keywords: rice weevil, cold plasma, argon, helium, mortality

คำนำ

ข้าวเป็นธัญพืชที่สำคัญมากสำหรับคนไทย โดยเฉพาะสำหรับคนไทยที่เกษตรกรรมปลูกเป็นอาชีพหลัก มีการบริโภคเป็นอาหารหลักและมีการส่งออกเป็นจำนวนมาก ซึ่งหลังจากที่เกษตรกรทำการเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวเสร็จแล้ว เกษตรกรจะมีการนำผลผลิตไปเก็บไว้ในโรงเก็บ ยุ้งฉางหรือโกดังก็ตาม สิ่งที่จะเกิดขึ้นเสมอในระหว่างการเก็บรักษาผลผลิต ก็คือแมลงศัตรูโรงเก็บ ได้แก่ ตัวงวงข้าว มอดข้าวเปลือก ฝีเสื้อข้าวสาร มอดแป้ง มอดพื้นเลื้อย และมอดสยาม ฯลฯ (Visarathanonth et al., 2005)

ตัวงวงข้าว (rice weevil) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Sitophilus oryzae* L. จัดอยู่ในวงศ์ Curculionidae อันดับ Coleoptera เป็นแมลงศัตรูโรงเก็บที่พบมากในข้าวสารและข้าวเปลือก โดยที่ตัวเต็มวัยเพศเมียจะแทะเล็มเมล็ดข้าวให้เป็นรูและวางไข่ในเมล็ดข้าว 3-5 ฟอง ไข่จะฟักเป็นตัวอ่อนหรือตัวหนอน ใช้เวลา 3-5 วัน ตัวอ่อนจะกัดกินและลอกคราบอยู่ภายในเมล็ดข้าว ทำให้เมล็ดข้าวมีลักษณะกลวง ตัวอ่อนใช้เวลา 25-28 วัน เข้าสู่ระยะดักแด้และใช้เวลา 5-7 วัน ฟักเป็นตัวเต็มวัยออกมาจากเมล็ดข้าว ซึ่งทำให้เมล็ดข้าวเหล่านั้นเกิดความเสียหายทั้งคุณภาพและปริมาณ การสูญเสียน้ำหนักของผลผลิตและไม่สามารถนำเมล็ดข้าวเหล่านั้นไปใช้ประโยชน์ได้อีก (Nualvatna et al., 2005) การควบคุม ป้องกัน และกำจัดแมลงศัตรูโรงเก็บ มีด้วยกันหลายวิธี เช่น การรักษาความสะอาดของข้าวและโรงเก็บ การใช้สารหรือวัสดุคลุมเมล็ด การตากหรือการอบลดความชื้นของข้าว เพราะถ้าหากข้าวมีความชื้นสูงจะส่งผลให้แมลงศัตรูโรงเก็บเจริญเติบโตได้ง่ายขึ้น จึงต้องทำการลดความชื้นของเมล็ดข้าวให้เหลือประมาณ 14 เปอร์เซ็นต์ (Division of Rice Research and Development, 2016) การใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซไนโตรเจนเพื่อควบคุม และกำจัดแมลง แต่วิธีที่เป็นที่นิยม คือ การใช้สารเคมี เช่น สารฟอสฟีน และเมธิลโบรไมด์ ในการรมผลผลิต เนื่องจากสามารถจัดการแมลงศัตรูโรงเก็บได้ทีละมาก ๆ (Rajendran, 2001; Collin et al., 2005; Ukeh et al., 2012; Singh & Sharma, 2015) แต่การใช้สารเคมี มีข้อเสียหลายประการ เช่น มีฤทธิ์ตกค้าง ทำให้แมลงสร้างความต้านทานต่อสารเคมี และยังเกิดการปนเปื้อนสารเคมีในผลผลิตทางการเกษตร และสิ่งแวดล้อมด้วย

พลาสมา คือ ก๊าซที่เกิดการแตกตัวเป็นไอออน ซึ่งเกิดขึ้นในห้องปฏิบัติการที่มีอุณหภูมิสูง พลาสมาประกอบด้วยอิเล็กตรอน ไอออน และอนุภาคของก๊าซในสัดส่วนที่ทำให้ประจุสุทธิเป็นศูนย์หรือก็คือมีสถานะเป็นกลางทางไฟฟ้า ส่วนพลาสมาเย็นนั้น คือก๊าซที่ถูกแยกด้วยความต่างศักย์สูง ณ ความดันบรรยากาศจึงทำให้อุณหภูมิของพลาสมาที่ออกมาเท่ากับอุณหภูมิห้อง (Laroussi, 2002) นอกจากนี้ยังมีศักยภาพในการรักษา ปรับปรุงหรือเพิ่มคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ เพิ่มอัตราการเจริญเติบโตและอัตราการงอก รวมถึงกำจัดเชื้อราบางชนิดที่ติดมากับเมล็ดพันธุ์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับผลผลิตตั้งแต่การผลิต การเก็บรักษาผลผลิตภายหลังการเก็บเกี่ยว จนถึงการขายส่งไปจำหน่ายให้ผู้บริโภค ทำให้ได้ผลผลิตเพิ่มขึ้นทั้งปริมาณและคุณภาพ ลดการระบาดของเชื้อราและโรคที่มากับเชื้อราที่จะทำให้ข้าวมีคุณภาพต่ำหรือมีปัญหาจากข้อกำหนดของการส่งออก ทำให้ผลผลิตข้าวที่มีคุณภาพและส่งออกได้ตรงตามความต้องการ (Limsangouan, 2020) จนถึงปัจจุบันได้มีการประยุกต์ใช้พลาสมาเย็นเพื่อเป็นเทคโนโลยีทางเลือกในการควบคุมแมลงศัตรูแล้วหลายชนิดได้แก่ เพลี้ยไฟดอกไม้ฝรั่ง (western flower thrips) (Donohue et al., 2006) เพลี้ยอ่อนยาสูบ (green peach aphids) (Bures et al., 2005) ฝีเสื้อกลางคืน (Indian meal moth) (Abd El-Aziz et al., 2014) และมอดแป้ง (confused flour beetle) (Sutar et al., 2021) Sayed et al. (2021) ทำการศึกษา

ประสิทธิภาพของพลาสมาต่อการตายของมอดแป้ง (*Tribolium castaneum*) 3 ระยะ ได้แก่ ระยะตัวอ่อนหรือตัวหนอน ระยะดักแด้ และระยะตัวเต็มวัย โดยจะใช้กำลังไฟที่ 100 วัตต์ เป็นเวลา 0, 20, 60 และ 90 วินาที ใช้ก๊าซอาร์กอนและฮีเลียมในการสังเคราะห์พลาสมา จากการศึกษาทั้งหมดพบว่าก๊าซฮีเลียมให้ประสิทธิภาพดีกว่าก๊าซอาร์กอน สังเกตได้จากเปอร์เซ็นต์การตายของมอดแป้ง โดยระยะเวลาที่เหมาะสมในการให้พลาสมาดีที่สุดที่ 90 วินาที ให้ผลลัพธ์ที่ 71.4, 65.3 และ 36.7 เปอร์เซ็นต์ ในระยะดักแด้ ตัวอ่อนและตัวเต็มวัย ตามลำดับ งานวิจัยของ Nasr et al. (2020) ทำการศึกษาประสิทธิภาพของพลาสมาเย็นต่อแมลงศัตรูโรงเก็บ 3 ชนิดคือ มอดข้าวแป้งสาลี (*Sitophilus granaries*) มอดข้าวเปลือก (*Rhizopertha dominica*) และมอดแป้ง (*Tribolium castaneum*) ให้ความต่างศักย์ในการสร้างพลาสมาเย็น 3 ระดับ คือ 150, 200 และ 250 โวลต์ กำหนดระยะเวลาการให้พลาสมาเย็นนาน 1-25 นาที จากการศึกษาพบว่าในระยะตัวเต็มวัยของแมลงทั้ง 3 ชนิดนี้จะถูกกำจัดโดยพลาสมาที่ความต่างศักย์ 250 โวลต์ นาน 25 นาทีทั้งหมด แต่ในระยะดักแด้ของแมลงทั้ง 3 ชนิดกลับพบว่า มีความทนต่อพลาสมามากที่สุด ในการศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของพลาสมาเย็นต่อการตายของด้วงงวงข้าวระยะตัวเต็มวัย โดยจะศึกษาถึงปัจจัยของระยะห่าง ระยะเวลา และชนิดของก๊าซในการสร้างพลาสมาเย็นต่อการควบคุมด้วงงวงข้าวในระยะตัวเต็มวัย

วิธีการศึกษา

การเลี้ยงแมลง

เลี้ยงด้วงงวงข้าวเพื่อเพิ่มปริมาณ โดยเริ่มจากการเก็บรวบรวมด้วงงวงข้าวในระยะตัวเต็มวัยจากข้าวสารในโรงเก็บข้าว สหกรณ์การเกษตร อำเภอร่องขวาง จังหวัดแพร่ มาเพาะเลี้ยงเพิ่มจำนวนในโหลพลาสติกขนาด 250 มิลลิลิตร โดยจะเลี้ยงด้วงงวงข้าวในระยะตัวเต็มวัย 400 ตัว ในข้าว 200 กรัม จำนวน 2 ถัง ตั้งไว้ประมาณ 14 วัน จากนั้นนำด้วงงวงข้าวในระยะตัวเต็มวัยออก นำถึงบรรจุข้าวสารที่มีไซของด้วงงวงข้าวไปวางไว้บนชั้นที่กั้นมดและแมลงชนิดอื่น ๆ ในห้องปฏิบัติการที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลาประมาณ 25-30 วัน ก็จะได้ด้วงงวงข้าวในระยะตัวเต็มวัย รุ่นที่ 1 (F1) โดยจะใช้ด้วงงวงข้าวในระยะตัวเต็มวัยอายุประมาณ 7 วัน เพื่อทำการทดลองต่อไป

ลักษณะของการกำเนิดพลาสมา

สำหรับในการทดลองนี้จะใช้พลาสมาเจ็ตแบบชนิด DBD (Dielectric Barrier Discharge) สร้างนอนเทอร์มอลพลาสมาที่ระดับความดันบรรยากาศ (Non-thermal Atmospheric Pressure Plasma) โดยก๊าซตั้งต้นในการทดลองเพื่อสร้างพลาสมา คือ ก๊าซอาร์กอนหรือฮีเลียมที่อัตราการไหลประมาณ 300 Standard Cubic Centimeters per Minute (SCCM) ก๊าซตั้งต้นจะถูกไอออไนซ์กลายเป็นพลาสมาภายใต้อิทธิพลของความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ถูกสร้างโดยแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ ความต่างศักย์ไฟฟ้าสูงประมาณ 1 kV ขั้วไฟฟ้ากำลัง (powered electrode) ซึ่งทำจากโลหะสแตนเลสจะถูกต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับตามแผนผังติดตั้งการทดลองดังแสดงใน figure 1 (a) สำหรับระบบพลาสมาเจ็ต ในขณะหนึ่งที่ประจุไฟฟ้าสะสมตัวจนมากพอที่ปลายของขั้วไฟฟ้าโลหะ จะทำให้เกิดบริเวณที่มีสนามไฟฟ้าแรงสูงซึ่งเกิดขึ้นมาจากกลุ่มของประจุไฟฟ้าเอง ด้วยสภาพเช่นนี้จึงสามารถทำให้เกิดพลาสมาขึ้นได้และต่อมาพลาสมาจะถูกส่งถ่ายพลังงานออกไปในรูปแบบคลื่นพลาสมาโดยคลื่นพลาสมานี้จะเคลื่อนที่ไปตามช่องทางการไหลของแก๊สตั้งต้นทำให้เห็นเป็นลำแสงของพลาสมา

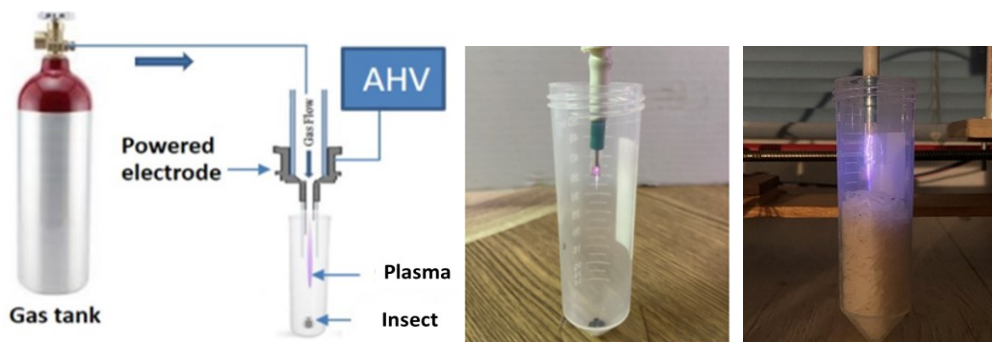


Figure 1 Diagram shown atmospheric pressure cold plasma device (a) exposes directly to insects in container without rice (b) and with rice (c).

การทดสอบผลของพลาสมาเย็นต่อการตายของด้วงงวงข้าวที่ไม่มีข้าวสาร (without rice)

นำแมลงในระยะตัวเต็มวัยที่อายุประมาณ 7 วัน มาใช้สำหรับการทดลอง โดยในการทดสอบผลของพลาสมาเย็นต่อด้วงงวงข้าวนี้วางแผนการทดลองแบบ Factorial in Completely Randomized Design (CRD) มีสองปัจจัย คือ ระยะระหว่างปลายหัวฉีดพลาสมาเย็นที่ปล่อยออกมาสัมผัสกับแมลง (3 ระดับได้แก่ 4, 8 และ 12 เซนติเมตร) และระยะเวลาที่แมลงได้รับพลาสมาเย็น (4 ระดับได้แก่ 30, 60, 90 และ 120 วินาที) โดยจะนำแมลงใส่ในหลอดพลาสติก ขนาด 50 มิลลิลิตร ในแต่ละทรีตเมนต์จะใช้แมลงจำนวน 30 ตัว ทรีตเมนต์ละ 3 ซ้ำ แล้วนำไปทดสอบกับพลาสมาเย็น โดยก๊าซตั้งต้นในการทดลองเพื่อสร้างพลาสมา คือ ก๊าซอาร์กอน ที่ระยะห่าง และระยะเวลาดังกล่าว (Figure 1 (b)) จากนั้นนำแมลงเลี้ยงในกล่องพลาสติก แล้วบันทึกจำนวนแมลงที่ตายเมื่อผ่านไป 0, 24 และ 48 ชั่วโมงภายหลังจากที่ได้รับพลาสมาเย็น นำข้อมูลที่ได้มาคำนวณหาอัตราการตายเปรียบเทียบกับชุดควบคุมซึ่งเป็นแมลงระยะตัวเต็มวัยที่ไม่ได้รับพลาสมาเย็น

การทดสอบผลของพลาสมาเย็นต่อการตายของด้วงงวงข้าวในข้าวสาร (with rice)

นำด้วงงวงข้าวในระยะตัวเต็มวัยที่อายุประมาณ 7 วัน มาใช้สำหรับการทดลอง โดยในการทดสอบผลของพลาสมาเย็นต่อการตายของด้วงงวงข้าวในระยะตัวเต็มวัยนั้น มีการควบคุม 2 ปัจจัย คือ ระยะระหว่างปลายหัวฉีดพลาสมาเย็นที่ปล่อยออกมาสัมผัสกับแมลงและข้าวสาร (3 ระดับได้แก่ 4, 8 และ 12 เซนติเมตร) และระยะเวลาที่แมลงได้รับพลาสมาเย็น (4 ระดับได้แก่ 30, 60, 90 และ 120 วินาที) ตามการทดลองข้างต้น โดยจะนำแมลงใส่ในหลอดเซนตริฟิวส์ขนาด 50 มิลลิลิตร ในแต่ละทรีตเมนต์จะใช้ด้วงงวงข้าวในระยะตัวเต็มวัยจำนวน 30 ตัว ที่เติมข้าวสาร 20 กรัม ทรีตเมนต์ละ 3 ซ้ำ แล้วนำไปทดสอบกับพลาสมาเย็นโดยก๊าซตั้งต้นในการทดลองเพื่อสร้างพลาสมา คือ ก๊าซอาร์กอน ที่ระยะห่าง และระยะเวลาดังกล่าว (Figure 1 (c)) จากนั้นทำการบันทึกจำนวนด้วงงวงข้าวในระยะตัวเต็มวัยที่ตายเมื่อผ่านไป 0, 24 และ 48 ชั่วโมงภายหลังจากการให้พลาสมาเย็น นำข้อมูลที่ได้มาคำนวณหาอัตราการตายเปรียบเทียบกับชุดควบคุมซึ่งเป็นแมลงระยะตัวเต็มวัยที่ไม่ได้รับพลาสมาเย็น

การทดสอบผลของชนิดของก๊าซที่ใช้ในการสร้างพลาสมาเย็นต่อแมลง

ทำการทดลองเช่นเดียวกับการทดลองข้างต้นแต่ใช้ก๊าซในการสร้างพลาสมาเย็น 2 ชนิด ได้แก่ ก๊าซอาร์กอน และก๊าซฮีเลียมต่อการตายของด้วงงวงข้าวในระยะตัวเต็มวัยที่ไม่มีข้าวสาร และในข้าวสาร ที่ระยะห่าง และเวลาที่เหมาะสม นำข้อมูลที่ได้มาคำนวณหาอัตราการตาย เปรียบเทียบกับชุดควบคุมเมื่อผ่านไป 0, 24 และ 48 ชั่วโมงภายหลังจากที่ได้รับพลาสมาเย็น

การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลเพื่อทดสอบความแตกต่างทางสถิติโดยใช้ F-test และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอัตราการตายของแมลงในแต่ละทรีตเมนต์โดยใช้ The Least Significant Difference (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้โปรแกรม SPSS เวอร์ชัน 28

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ผลของพลาสมาเย็นต่อการตายของด้วงงวงข้าวที่ไม่มีข้าวสาร

จากการทดสอบผลของพลาสมาเย็นต่อการตายของด้วงงวงข้าวในระยะตัวเต็มวัย พบว่าพลาสมาเย็นมีผลต่อการตายของด้วงงวงข้าวในระยะตัวเต็มวัย โดยส่งผลให้เกิดอัตราการตายที่มากกว่าชุดควบคุมในทุกพรีตเมนต์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยเมื่อให้พลาสมาเย็นกับแมลงที่ระยะห่าง 4 เซนติเมตร ที่เวลา 30, 60, 90 และ 120 วินาที พบว่าภายหลังจากการทดลอง 24 ชั่วโมง ให้ค่าอัตราการตายของแมลงเท่ากับ 100.00 ± 0.00 เปอร์เซ็นต์ ทุกช่วงเวลา เมื่อให้พลาสมาเย็นกับแมลงที่ระยะห่าง 8 เซนติเมตร ที่เวลา 30, 60, 90 และ 120 วินาที พบว่าภายหลังจากการทดลอง 24 ชั่วโมง ให้ค่าอัตราการตายของแมลงเท่ากับ 83.33 ± 0.00 , 96.67 ± 0.00 , 97.78 ± 1.92 และ 100.00 ± 0.00 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อให้พลาสมาเย็นกับแมลงที่ระยะห่าง 12 เซนติเมตร ที่เวลา 30, 60, 90 และ 120 วินาที พบว่าภายหลังจากการทดลอง 24 ชั่วโมง ให้ค่าอัตราการตายของแมลงเท่ากับ 23.33 ± 0.00 , 32.22 ± 0.19 , 33.33 ± 0.00 และ 40.00 ± 0.00 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Table 1) ทั้งนี้จากการเก็บผลการทดลองที่ช่วงเวลา 24 และ 48 ชั่วโมงภายหลังการให้พลาสมาเย็นนั้นให้ผลอัตราการตายที่ไม่แตกต่างกัน

Table 1 Direct effect of argon-generated cold plasma on morality of adult *Sitophilus oryzae* without rice.

Distance (cm)	Mortality rate (%) $\pm$ S.D. after indicated exposure time (sec)			
	30	60	90	120
4	100.00 ± 0.00 g	100.00 ± 0.00 g	100.00 ± 0.00 g	100.00 ± 0.00 g
8	83.33 ± 0.00 e	96.67 ± 0.00 f	97.78 ± 1.92 fg	100.00 ± 0.00 g
12	23.33 ± 0.00 b	32.22 ± 0.19 c	33.33 ± 0.00 c	40.00 ± 0.00 d
Control	0 ± 0.00 a	0 ± 0.00 a	0 ± 0.00 a	0 ± 0.00 a

Means followed the same letter are not significantly different at $P > 0.05$ by LSD.

ผลของพลาสมาเย็นต่อการตายของด้วงงวงข้าวในข้าวสาร

จากการทดลองพบว่า พลาสมาเย็นมีผลต่อการตายของด้วงงวงข้าวในระยะตัวเต็มวัย โดยส่งผลให้เกิดการตายที่มากกว่าชุดควบคุมในบางพรีตเมนต์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยเมื่อให้พลาสมาเย็นกับด้วงงวงข้าวในระยะตัวเต็มวัย ที่ระยะห่าง 4 เซนติเมตร เป็นระยะเวลา 30, 60, 90 และ 120 วินาที พบว่า ภายหลังจากการให้พลาสมาเย็น มีอัตราการตายของด้วงงวงข้าวในระยะตัวเต็มวัย 10.0 ± 3.33 , 8.89 ± 1.92 , 11.11 ± 1.92 และ 17.78 ± 5.09 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อให้พลาสมาเย็นกับด้วงงวงข้าวในระยะตัวเต็มวัยที่ระยะห่าง 8 เซนติเมตร เป็นระยะเวลา 30, 60, 90 และ 120 วินาที พบว่า ภายหลังจากการให้พลาสมาเย็น เกิดอัตราการตายของด้วงงวงข้าวในระยะตัวเต็มวัย 0 ± 0.00 , 1.11 ± 1.92 , 5.86 ± 1.92 และ 6.67 ± 0.00 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ เมื่อให้พลาสมาเย็นกับด้วงงวงข้าวในระยะตัวเต็มวัยที่ระยะห่าง 12 เซนติเมตร เป็นระยะเวลา 30, 60, 90 และ 120 วินาที พบว่าภายหลังจากการให้พลาสมาเย็น ให้อัตราการตายของด้วงงวงข้าวในระยะตัวเต็มวัยเท่ากับ 0 ± 0.00 เปอร์เซ็นต์ทั้งหมด (Table 2) ทั้งนี้จากการเก็บผลการทดลองที่ช่วงเวลา 24 และ 48 ชั่วโมงภายหลังการให้พลาสมาเย็นนั้นให้ผลอัตราการตายที่ไม่แตกต่างกัน

Table 2 Direct Effect of argon-generated cold plasma on morality of adult *Sitophilus oryzae* with rice.

Distance (cm)	Mortality rate (%) $\pm$ S.D. after indicated exposure time (sec)			
	30	60	90	120
4	10.0 ± 3.33 c	8.89 ± 1.92 c	11.11 ± 1.92 c	17.78 ± 5.09 d

8	0±0.00 a	1.11±1.92 ab	5.86±1.92 abc	6.67±0.00 bc
12	0±0.00 a	0±0.00 a	0±0.00 a	0±0.00 a
Control	0±0.00 a	0±0.00 a	0±0.00 a	0±0.00 a

Means followed the same letter are not significantly different at $P > 0.05$ by LSD.

จากการทดลองผลของพลาสมาเย็นต่อการตายของด้วงงวงข้าวในระยะตัวเต็มวัย พบว่าพลาสมาเย็นส่งผลให้เกิดอัตราการตายของด้วงงวงข้าวในบางทรีตเมนต์ที่แตกต่างกับชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสอดคล้องกับ Nasr et al. (2020) ที่ทำการศึกษาประสิทธิภาพของพลาสมาเย็นต่อแมลงศัตรูโรงเก็บ 3 ชนิด คือ มอดข้าวแป้งสาลิ (*Sitophilus granaries*), มอดข้าวเปลือก (*Rhizopertha dominica*) และมอดแป้ง (*Tribolium castaneum*) พบว่าก่อให้เกิดอัตราการตายของแมลงทั้ง 3 ชนิดในระยะตัวเต็มวัยเช่นกัน เมื่อพิจารณาถึงปัจจัยของระยะเวลาการให้พลาสมาเย็นต่อด้วงงวงข้าวพบว่าระยะเวลามีผลต่อการตาย โดยเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการให้พลาสมาเย็นพบอัตราการตายของด้วงงวงข้าวเพิ่มขึ้น (Figure 2 (a)) ซึ่งสอดคล้องกับ Sayed et al. (2021) ที่ทำการศึกษาประสิทธิภาพของพลาสมาต่อมอดแป้ง (*Tribolium castaneum*) พบว่าพลาสมาส่งผลต่อการตายของมอดแป้งเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มระยะเวลาการให้พลาสมาเช่นกัน ซึ่งแสดงให้เห็นได้ว่าเมื่อแมลงได้รับผลกระทบจากอนุโมลอิสระจากพลาสมาเย็นเป็นระยะเวลานานขึ้น จะส่งผลต่อการตายที่เพิ่มมากขึ้น เมื่อศึกษาระยะห่างระหว่างปลายหัวเจ็ทกับด้วงงวงข้าวพบว่ามอดข้าวแป้งสาลิ (*Sitophilus granaries*) โดยอัตราการตายของด้วงงวงข้าวจะลดลงเมื่อระยะห่างระหว่างหัวเจ็ทกับด้วงงวงข้าวเพิ่มขึ้น (Figure 2 (b)) แสดงให้เห็นว่าการให้พลาสมาเย็นที่ระยะใกล้กับแมลงจะส่งผลให้แมลงได้รับผลกระทบโดยตรงจากอนุโมลอิสระที่เกิดขึ้นได้ดีกว่า ทั้งนี้เมื่อเลี้ยงแมลงในข้าวแล้วจึงด้วยพลาสมาเย็น จะส่งผลให้เกิดอัตราการตายที่ลดลงอย่างมากในทุกทรีตเมนต์เมื่อเทียบกับการระดมยิงแมลงที่ไม่มีข้าวด้วยพลาสมาเย็นโดยตรงซึ่งมีความเป็นไปได้ว่าการมีข้าวปะปนอยู่กับแมลงนั้นจะทำให้เกิดการบดบังพลาสมาเย็นต่อแมลงตลอดจนพบพฤติกรรมการหลบหนีของแมลงในข้าวเมื่อเลี้ยงด้วยพลาสมาเย็น การศึกษาครั้งนี้ถือว่าเป็นการศึกษาในขั้นต้นในระดับห้องปฏิบัติการเท่านั้น และนับว่าเป็นการศึกษาลงของพลาสมาเย็นต่อการตายของด้วงงวงข้าวเป็นครั้งแรกในประเทศไทยและโลก เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของพลาสมาเย็นต่อการกำจัดด้วงงวงข้าว นั้น จำเป็นที่จะต้องศึกษาเพิ่มเติมถึงปัจจัย และสภาวะที่เหมาะสมด้านอื่น ๆ เช่น จำนวนหัวเจ็ทของพลาสมา อัตราการไหลของก๊าซ เวลาที่ใช้ในการให้พลาสมา และรูปแบบของภาชนะที่ใช้บรรจุแมลงสำหรับการทดลอง เป็นต้น สภาวะที่เหมาะสมเหล่านี้จะถูกนำไปเป็นข้อมูลในการออกแบบเพื่อสร้างเครื่องยิงพลาสมาเย็นต้นแบบในการกำจัดด้วงงวงข้าวต่อไป

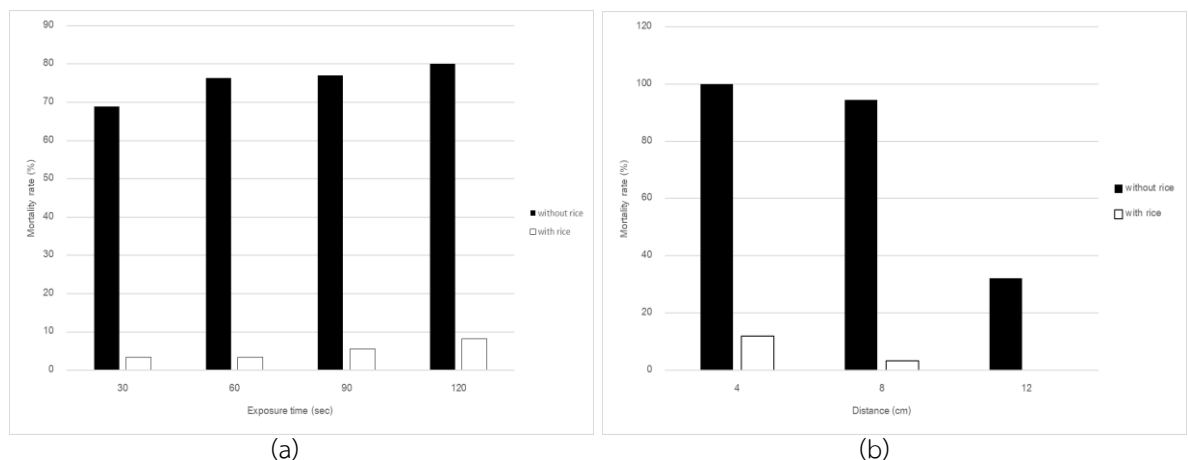


Figure 2 Relationship between exposure time (a)/distance (b) and mortality rate after insects exposed to cold plasma.

ผลของชนิดของก๊าซที่ใช้ในการสร้างพลาสมาเย็นต่อแมลง

เมื่อเปรียบเทียบชนิดของก๊าซที่ใช้ในการผลิตพลาสมาเย็น 2 ชนิด ได้แก่ อาร์กอนและฮีเลียม ในการควบคุมด้วงงวงข้าวที่ระยะห่าง 8 เซนติเมตร นาน 30 วินาที พบว่า ภายหลังจากการให้พลาสมาเย็นโดยตรง ให้ค่าอัตราการตายของด้วงงวงข้าวในระยะตัวเต็มวัยเฉลี่ยเท่ากับ 76.67 ± 3.33 และ 82.22 ± 1.92 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สำหรับการทดลองที่มีการเติมข้าวลงไปผสมกับแมลง แล้วระดมยิงด้วยพลาสมา ที่ระยะห่าง 4 เซนติเมตร นาน 120 วินาที พบว่าอัตราการตายของด้วงงวงข้าวในระยะตัวเต็มวัยเฉลี่ยเท่ากับ 11.11 ± 1.92 และ 15.56 ± 1.92 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Table 3) โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) เมื่อเทียบกับชุดควบคุม ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sayed et al. (2021) ที่ทำการศึกษาประสิทธิภาพของพลาสมาต่อการตายของมอดแป้ง (*Tribolium castaneum*) โดยมีการใช้ก๊าซอาร์กอนและฮีเลียมในการสังเคราะห์พลาสมา จากการศึกษาทั้งหมดพบว่าก๊าซฮีเลียมให้ประสิทธิภาพดีกว่าก๊าซอาร์กอนเช่นกัน Jaworek et al. (1996) ได้แสดงให้เห็นว่าพลาสมาที่ผลิตได้จากฮีเลียมสามารถเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีของวัตถุที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ เช่น พอลิเมอร์ และสารประกอบพวกไฮโดรคาร์บอน กลไกดังกล่าวนี้อาจจะเกิดขึ้นได้ที่บริเวณส่วนห่อหุ้มลำตัวของแมลง โดยมีรายงานพบว่าความเสียหายที่เกิดขึ้นบนสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ชั้นไขมันที่เป็นองค์ประกอบของชั้นคิวติเคิลที่ห่อหุ้มร่างกายแมลง อาจทำให้เกิดภาวะการสูญเสียน้ำ และทำให้เกิดการตายในแมลงได้ (Chapman, 1998) นอกจากนี้ยังพบว่าพลาสมามีผลต่อระบบประสาท และกล้ามเนื้อประสาทของแมลง โดยจะเกิดการกระตุ้นให้เกิดการตอบสนองของอวัยวะสองระบบนี้อย่างต่อเนื่อง (hyper excitability) ส่งผลให้เกิดอัตราเมตาบอลิซึม และการสูญเสียน้ำในแมลงเพิ่มสูงขึ้น แต่ไม่ส่งผลต่อปริมาณไฮโดรคาร์บอนในชั้นคิวติเคิล (Donohue et al., 2006) พลาสมาเย็นยังก่อให้เกิดภาวะเครียดออกซิเดชัน (oxidative damage) ในระยะตัวหนอนของผีเสื้อกลางคืนอินเดีย (Abd El-Aziz et al., 2014) อย่างไรก็ตามชนิดของก๊าซที่ใช้ในการสร้างพลาสมาเย็นนั้น ส่งผลต่อปริมาณของอนุมูลอิสระ (free radicals) ในรูปสารออกซิไดซ์แรงสูง (reactive oxygen species) ที่ถูกปลดปล่อยออกมาแตกต่างกัน จึงส่งผลให้เกิดการตายของแมลงที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ยังขึ้นอยู่กับชนิดและระยะการเจริญของแมลงที่นำมาทดสอบด้วย (Kwon et al., 2019; Sayed et al., 2021)

Table 3 Mortality percentage of *Sitophilus oryzae* caused by argon/helium-generated cold plasma.

Gas type	Mortality rate (%) (without rice)	Mortality rate (%) (with rice)
Argon	76.67 ± 3.33 b	11.11 ± 1.92 b
Helium	82.22 ± 1.92 b	15.56 ± 1.92 c
Control	0 ± 0.00 a	0 ± 0.00 a

Means followed the same letter are not significantly different at $P > 0.05$ by LSD.

สรุปผลการศึกษา

จากการทดลองจะเห็นได้ว่าเมื่อด้วงงวงข้าวที่ไม่มีข้าวสารได้รับพลาสมาเย็นโดยตรงที่ระยะห่าง 4 เซนติเมตร เป็นเวลา 30, 60, 90 และ 120 วินาที และระยะห่าง 8 เซนติเมตร เป็นเวลา 120 วินาทีนั้น ทำให้เกิดการตายของด้วงงวงข้าวสูงที่สุด คือทำให้เกิดการตาย 100 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่เมื่อปล่อยด้วงงวงข้าวในข้าวสาร แล้วให้พลาสมาเย็นที่ระยะห่าง 4 เซนติเมตร เป็นเวลา 30, 60, 90 และ 120 วินาทีนั้น ทำให้ด้วงงวงข้าวเกิดการตายที่สูงที่สุดเช่นกัน แต่ให้ค่าอัตราการตายของแมลงที่น้อยกว่า คือ 10.0, 8.89, 11.11 และ 17.78 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าการตายของด้วงงวงข้าวเพิ่มขึ้น เมื่อระยะเวลาการให้พลาสมาเย็นเพิ่มขึ้น ในทางกลับกันการตายของด้วงงวงข้าวลดลงเมื่อระยะห่างระหว่างหัวเจ็ทและแมลงเพิ่มขึ้น จากการเปรียบเทียบชนิดของก๊าซที่ใช้ในการผลิตพลาสมาเย็น 2 ชนิด ได้แก่ อาร์กอน และฮีเลียม พบการตายภายหลังจากได้รับพลาสมาเย็นที่ผลิตจากก๊าซฮีเลียมสูงกว่าก๊าซอาร์กอน

เอกสารอ้างอิง

- Abd El-Aziz, M. F., Mahmoud, E. A., & El-Aragi, G. M. (2014). Non thermal plasma for control of the Indian meal moth, *Plodia interpunctella* (Lepidoptera: pyralidae). **Journal of Stored Products Research**. 59, 215-221.
- Bures, B. L., Donohue, K. V., Roe, R. M., & Bourham, M. A. (2005). Visualization of helium dielectric barrier discharge treatment of green peach aphids on tobacco leaves. **IEEE Transactions on Plasma Science**. 33(2), 290-291.
- Chapman, R. F. (1998). **The insects-structure and function**. 4th ed. Cambridge: Cambridge University Press.
- Collins, C. L., Dunshea, F. R., Henman, D. J., McCauley, I., & King, R. H. (2005). The apparent ileal digestibility of amino acids in common vetch (*Vicia sativa* cv. Morava). **Australian Journal of Experimental Agriculture**. 45(6), 705-709.
- Division of Rice Research and Development, Rice Department. (2016). **Harvesting and proper post-harvest practices**. Retrieved from: <http://library.ricethailand.go.th> (in Thai).
- Donohue, K. V., Bures, B. L., Bourham, M. A., & Roe, R. M. (2006). Mode of action of a novel nonchemical method of insect control: atmospheric pressure plasma discharge. **Journal of Economic Entomology**. 99(1), 38-47.
- Jaworek, H. A. & Czech, T. (1996). Back-corona generated plasma for decomposition of hydrocarbon gaseous contaminants. **Journal of Physics D: Applied Physics**. 29(9), 2439-2446.
- Kwon, D. H., Seung K. H., & Park, M.R. (2019). Plasma-based organism evaluation equipment using atmospheric-pressure plasma jets: efficacy for controlling insect pests. **Journal of Asia-Pacific Entomology**. 22(3), 868-873.
- Laroussi, M. (2002). Nonthermal decontamination of biological media by atmospheric pressure plasmas: review, analysis, and prospects. **IEEE Transactions on Plasma Science**. 30(4), 1409-1415.
- Limsangouan, N. (2020). Neo technology for food processing and preservation: Cold plasma technology. **Food Journal**. 50(1), 13-21.
- Nasr, M. E. H., Zinhoum, R. A., & Lotfy, K. (2020). Efficacy of cold plasma against three of stored grain insects. **International Journal of Entomology Research**. 5(1), 113-117.
- Nualvatna, K., Visarathanonth, P., Chankaewmanee, B., Uraichuen, J., Kengkanpanich, R., Pengkum, K. & Tongpan, J. (2005). **Insect pests of paddy rice and control**. Bangkok: Postharvest and Processing Research and Development Division, Department of Agriculture.
- Rajendran, S. (2001). Alternatives to methyl bromide as fumigants for stored food commodities. **Pesticide Outlook**. 12(6), 249-253.
- Sayed, W. A. A., Hassan, R. S., Sileem, T., & Rumpold, B. (2021). Impact of plasma irradiation on *Tribolium castaneum*. **Journal of Pest Science**. 94(9), 1405-1414.
- Singh, G. & Sharma, R.K. (2015). Alternatives to phosphine fumigation of stored grains: The Indian perspective. **Himachal Journal of Agricultural Research**. 41(2), 104-113.
- Sutar, S. A., Thirumdas, R., Chaudhari, B. B., & Deshmukh, R. R. (2021). Effect of cold plasma on insect infestation and keeping quality of stored wheat flour. **Journal of Stored Products Research**. 92(6), 101774.
- Ukeh, D. A., Sylvia, B. A. U., Alan, S. B., Jennifer, M. L. A., John, A. P., & Michael, A. B. (2012). Alligator pepper, *Aframomum melegueta* and ginger, *Zingiber officinale*, reduce stored maize infestation by the maize weevil, *Sitophilus zeamais* in traditional African granaries. **Crop Protection**. 32, 99-103.
- Visarathanonth, P., Nualvatna, K., Chankaewmanee, B., Uraichuen, J., Kengkanpanich, R., Pengkum, K., Tongpan, J., Suthisut, D., Romyen, L., & Noochanapai, P. (2005). **Stored pest insect and control**. Bangkok: Postharvest and Processing Research and Development Division, Department of Agriculture.

วันรับบทความ (Received date) : 25 มี.ค. 65

วันแก้ไขบทความ (Revised date) : 20 ก.ค. 65

วันตอบรับบทความ (Accepted date) : 3 ต.ค. 65