Content List Available at ThaiJo

Khon Kaen Agriculture Journal

Journal Home Page : https://li01.tci-thaijo.org/index.php/agkasetkaj

อิทธิพลของกรงและแหล่งของแสง ต่อการผสมพันธุ์และการวางไข่ของแมลงโปรตีน *Hermetia illucens* L. (Diptera: Stratiomyidae)

The influence of cage and source of light on mating and oviposition of the black soldier fly (*Hermetia illucens* L.)

บวรทัช สิงห์เดช[1] และ ยุพา หาญบุญทรง[1]*

Boworntuch Singdet[1] and Yupa Hanboonsong[1]*

[1] *สาขาวิชากีฏวิทยาและโรคพืชวิทยา คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จ.ขอนแก่น 40002*
[1] *Department of Entomology and Plant Pathology, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University, Khon Kaen 40002, Thailand*

บทคัดย่อ: แมลงโปรตีน (BSF: *Hermetia illucens* L.) เป็นแมลงที่มีความสำคัญในโมเดลระบบเศรษฐกิจทางชีวภาพ-หมุนเวียน-สีเขียว (BCG economy model) โดยตัวหนอนสามารถกินเศษเหลือทิ้งอินทรีย์ และเปลี่ยนเป็นชีวมวลที่มีโปรตีนที่ดีสามารถใช้เป็นโปรตีนทางเลือกที่สำคัญในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ การผลิตแมลงโปรตีนที่มีประสิทธิภาพจะต้องได้ไข่คุณภาพดี มีปริมาณสม่ำเสมอและต่อเนื่องตลอดปี ซึ่งควรมีกรงผสมพันธุ์ที่เหมาะสมและแสงที่เป็นปัจจัยสำคัญต่อการผสมพันธุ์และวางไข่ของแมลง ดังนั้นวัตถุประสงค์ของการศึกษานี้ คือ เพื่อเปรียบเทียบกรงผสมพันธุ์และวางไข่ของแมลง 2 รูปแบบ ระหว่างการใช้มุ้งตาข่ายกันแมลงสำเร็จรูป (1.8x2x1.5 ม.) และกรงท่อพีวีซี (1x1x1.8 ม.) และการเปรียบเทียบระหว่างการใช้แสงอาทิตย์และแสงจากหลอดไฟ UVA ผลการทดลองพบว่ากรงท่อพีวีซีได้น้ำหนักไข่ทั้งหมด 12.16 ก. มากกว่ามุ้งสำเร็จรูป (7.58 ก.) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) จำนวนเพศเมียที่วางไข่ของกรงท่อพีวีซี 37.13% มากกว่าของมุ้งตาข่ายกันแมลงสำเร็จรูป (24.85%) อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P<0.01$) การเปรียบเทียบผลของการใช้แสงอาทิตย์และแสงจากหลอดไฟ UVA พบว่า แสงจากหลอดไฟ UVA ให้น้ำหนักไข่ทั้งหมด 0.27 ก. มากกว่าการใช้แสงอาทิตย์ (0.09 ก.) อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P<0.01$) อย่างไรก็ตามผู้เลี้ยงสามารถใช้กรงผสมพันธุ์และวางไข่ได้ทั้งสองรูปแบบ โดยปรับความหนาแน่นของตัวเต็มวัย 1,000 ตัว/ลบ.ม.
คำสำคัญ : อาหารสัตว์; ขยะอินทรีย์; แมลงโปรตีน; เศรษฐกิจชีวภาพ; เศรษฐกิจหมุนเวียน; เศรษฐกิจสีเขียว

ABSTRACT: The black soldier fly, (BSF: *Hermetia illucens* L.), is an important insect in the Bio-Circular-Green (BCG) economy model. BSF larvae consume various kinds of organic waste and turn it into biomass rich in protein, which can be used as an important alternative protein source in the feed industry. An efficient production of BSF requires both high quantity and quality of eggs as well as regular BSF egg production throughout the year. Thus, consideration of the optimum mating cage used and lighting source that are important for breeding and laying eggs of insects. Therefore, the objectives of this study were to study mating and oviposition of BSF adults comparing capture using two types of cage between the ready-made insect net cage (1.8x2x1.5 m) and PVC cage (1x1x1.8 m) and also comparing light sources from sunlight and UVA light. Total egg weight yield obtained from PVC cage (12.16 gm) was significantly higher than that of the ready-made insect net cage (7.98 gm) ($P<0.05$). A 40-watt UVA light source with turning on the light 8 hours a day gave significantly higher total egg weight (0.27 gm) than that of sunlight source (0.09 gm) ($P<0.01$). However, both cage sizes can be used under the density of 1,000 BSF adults per cubic meter.
Keywords: animal feed; organic waste; black soldier fly; Bio Economy; Circular Economy; Green Economy

* Corresponding author: yupa_han@kku.ac.th

Received: date; June 12, 2023 Accepted: date; August 24, 2023 Published: date;

บทนำ

แมลงโปรตีน (Black soldier fly; BSF) ชื่อวิทยาศาสตร์ (*Hermetia illucens* L.) วงศ์ Stratiomyidae อันดับ Diptera เป็นแมลงสองปีก **(Figure 1)** มีถิ่นกำเนิดอยู่ที่ทวีปอเมริกา พบทั่วไปในสภาพภูมิอากาศเขตร้อนและเขตอบอุ่น รวมทั้งประเทศไทย (Sheppard et al., 1994) ตัวเต็มวัยไม่เป็นศัตรูพืชและไม่เป็นพาหะนำโรค (Sheppard et al., 2002) ตัวหนอนสามารถกินอินทรีย์วัตถุได้หลากหลายรวมทั้งขยะอินทรีย์จากครัวเรือน ชุมชน และเศษเหลือทิ้งจากการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรและอุตสาหกรรมอาหาร (Diener et al., 2011; Martínez-Sánchez et al., 2011; Lalander et al., 2013; Banks et al., 2014 และ Nguyen et al., 2015) เป็นแมลงที่มีความสำคัญในโมเดลระบบเศรษฐกิจทางชีวภาพ-หมุนเวียน-สีเขียว (BCG economy model) ตัวหนอนแมลงโปรตีนมีประสิทธิภาพสูงในการกินเศษเหลือทิ้งอินทรีย์ได้ 55-80 % ทำให้ปัจจุบันมีการใช้ตัวหนอนแมลงโปรตีน ในการขจัดขยะอินทรีย์ซึ่งเป็นการใช้เทคโนโลยีที่มีราคาถูกและมีประสิทธิภาพที่ดี (Beesigamukama et al., 2021) เมื่อตัวหนอนพัฒนาเป็นระยะก่อนเข้าดักแด้ (prepupa) มีคุณค่าทางโภชนสารสูง คือ มีโปรตีน 42-50 % และไขมัน 29-35 % เหมาะสำหรับนำไปเป็นอาหารสัตว์ (Wang and Shelomi, 2017) และมีกรดอะมิโน (amino acids) และ กรดไขมัน ที่มีคุณค่าทางโภชนะใกล้เคียงกับปลาป่น ซึ่งเป็นวัตถุดิบสำคัญในการผลิตอาหารสัตว์ที่ปัจจุบันปลาป่นมีราคาเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง แมลงโปรตีนมีศักยภาพในการผลิตเชิงอุตสาหกรรมสามารถใช้เป็นโปรตีนทางเลือกที่ช่วยลดต้นทุนค่าอาหารสัตว์ รวมทั้งมูลที่ขับถ่ายจากตัวหนอนแมลงโปรตีน มีปริมาณสารอาหารสูง ทำให้เหมาะสำหรับใช้เป็นปุ๋ยชีวภาพหรือสารบำรุงดิน ช่วยกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืช (Trinh et al., 2020)

ในการผลิตแมลงโปรตีนนอกจากอาหารที่ใช้เลี้ยงแมลง อุณหภูมิ และความชื้น ที่เหมาะสมแล้ว รูปแบบและขนาดของกรงผสมพันธุ์และแสง ก็เป็นปัจจัยสำคัญในการผลิตแมลงให้มีปริมาณมากอย่างต่อเนื่อง จากรายงานการวิจัยที่ผ่านมามีการทดลองใช้กรงผสมพันธุ์หลายขนาดในการให้แมลงวางไข่ แต่ไม่มีการเปรียบเทียบรูปแบบและขนาดของกรงที่มีผลต่อปริมาณไข่ เช่น Sheppard et al. (2002) รายงานการใช้กรงขนาด 2.0x2.0x4.0 ม. Tomberlin and Sheppard (2002) ใช้กรงขนาด 1.5x1.5x2.5 ม. ในขณะที่ Jucker et al. (2019) ใช้กรงเล็กขนาด 0.6x0.4x0.4 ม. ส่วนการทดลองของ Park et al. (2016) ได้ศึกษาขนาดของกรงแต่ไม่ได้ศึกษารูปแบบกรงที่แตกต่างกัน พบว่าขนาดของกรงที่ได้น้ำหนักไข่มากที่สุดคือ ขนาด 1.5 × 1.5 × 2.5 ม. และขนาด 2.5x2.5x2.5 ม. ปัจจุบันการใช้กรงผสมพันธุ์เพื่อเก็บไข่ มีหลายรูปแบบส่วนใหญ่ใช้วัสดุ เช่น ท่อพีวีซี ไม้ เหล็ก ทำเป็นโครงและคลุมด้วยตาข่ายไนล่อน มุ้งลวดกันแมลง ซึ่งมีค่าใช้จ่ายในการสร้างกรงค่อนของสูงและยุ่งยาก ในขณะที่มุ้งตาข่ายกันแมลงสำเร็จรูป ราคาถูกและหาได้ง่าย มีจำหน่ายในท้องตลาด จึงควรนำมาทดลองเพื่อใช้ในการผสมพันธุ์และเก็บไข่แมลง ส่วนแสงอาทิตย์มีความสำคัญและจำเป็นเช่นกันต่อการผสมพันธุ์ของแมลงโปรตีน เพราะแสงในช่วงแสงและความเข้มที่เหมาะสมเป็นตัวกระตุ้นให้แมลงตัวเต็มวัยจับคู่ผสมพันธุ์กัน Julita et al. (2020) พบว่าแมลงตัวเต็มวัยหรือตัวบินมีการผสมพันธุ์กันมากที่สุดในช่วงเวลา 11:00-12:00 น. ซึ่งเป็นช่วงที่มีความเข้มของแสงอาทิตย์มากที่สุด โดยเฉพาะช่วงแสง UVA (ultraviolet A) อย่างไรก็ตามในช่วงฤดูหนาวพบปัญหาแมลงวางไข่น้อย จึงต้องตั้งกรงผสมพันธุ์ภายในอาคารและต้องใช้แสงทดแทนแสงอาทิตย์ Heussler et al. (2018) ได้ทดสอบการผสมพันธุ์และวางไข่ โดยใช้แสงเทียม 3 ชนิด คือ แสงจากหลอดไฟ LED (Light Emitting Diode) แสงจากหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ (fluorescent) 2 หลอด และหลอดไฟฮาโลเจน (halogen) ทำการทดลองในสภาพโรงเรือนปิดที่ควบคุมอุณหภูมิและความชื้น พบว่าแสงจากหลอดไฟ LED ดีที่สุดในส่วนของการวางไข่และการประหยัดพลังงาน Liu et al. (2020) ที่ได้ศึกษาชนิดของแสง 4 ชนิด ได้แก่ หลอดไฟฮาโลเจน หลอดไฟ LED แสงสีขาวคู่กับหลอดไฟ UV หลอดไฟเมทัลฮาไลด์ (metal halide) และหลอดไฟ LED (BSFLED) ที่ออกแบบให้มีความยาวของคลื่นแสงเหมาะกับการมองเห็นของตัวเต็มวัยแมลงโปรตีน พบว่าหลอดไฟ LED (BSFLED) ให้น้ำหนักไข่มากที่สุด จะเห็นได้ว่ายังไม่มีข้อมูลการทดลองเปรียบเทียบระหว่างแสงอาทิตย์กับแสงจากหลอดไฟ UVA หรือ ที่เรียกอีกชื่อว่า หลอดไฟแบล็คไลท์ (black light) ซึ่งเป็นหลอดไฟผลิตรังสี UVA (ultraviolet A) ที่มีความยาวคลื่น 320-400 nm ดังนั้นวัตถุประสงค์ของการทดลองคือ การเปรียบเทียบการผสมพันธุ์และวางไข่ระหว่างการใช้มุ้งตาข่ายกันแมลงสำเร็จรูป (1.8x2x1.5 ม.) และกรงท่อพีวีซี (1x1x1.8 ม.) และการเปรียบเทียบระหว่างการใช้แสงอาทิตย์และแสงจากหลอดไฟ UVA เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการผลิตไข่

Figure 1 Life cycle of black soldier fly (*Hermetia illucens* L.)

วิธีการศึกษา

การเลี้ยงหนอนแมลงโปรตีน

หนอนแมลงโปรตีนอายุ 5 วัน ได้รับความอนุเคราะห์จากโรงเรือนต้นแบบวิจัยและผลิตแมลงเพื่ออุตสาหกรรม คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น นำหนอนมาเลี้ยงต่อด้วยส่วนผสมของเศษอาหารและเปลือกผลไม้ อัตราส่วน 1:1 โดยเศษอาหารได้จากศูนย์อาหารของมหาวิทยาลัยขอนแก่น ส่วนใหญ่เป็นข้าว เศษผักและเนื้อสัตว์ ส่วนเปลือกผลไม้ประกอบด้วย สับปะรด แคนตาลูป มะละกอ แตงโม เป็นต้น เลี้ยงในห้องควบคุมอุณหภูมิ 28 ± 2 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 60 ถึง 70 % ใช้ช่วงแสง สว่าง:มืด 12:12 ชม. เมื่อหนอนเข้าสู่ระยะก่อนเข้าดักแด้แยกออกจากอาหาร สำหรับการทดลองที่ 1 นับจำนวน 2,000 ตัวต่อกล่อง โดย ใส่ในกล่องขนาดกว้างxยาวxสูง 20X31X8 ซม. ที่มีซังข้าวโพดบดละเอียดและมีความชื้น 50-60 % ให้แมลงเข้าดักแด้ จำนวน 8 กล่อง ส่วนการทดลองที่ 2 เตรียมระยะก่อนเข้าดักแด้ไว้ประมาณ 4,000 ตัว ใส่ในกล่องขนาดกว้างxยาวxสูง 20X31X8 ซม. นำมาไว้ที่อุณหภูมิห้อง 30 ถึง 32 °C จนดักแด้ออกเป็นตัวเต็มวัย ย้ายเข้ากรงทดลอง

การเปรียบเทียบรูปแบบของกรงต่อการผสมพันธุ์และการวางไข่

ใช้มุ้งตาข่ายกันแมลงหรือมุ้งสำเร็จรูปขนาด 1.8X2X1.5 ม. พื้นที่ขนาด 5.4 ลบ.ม. ลักษณะเป็นเต็นท์นอน และกรงที่ใช้ท่อพีวีซี (PVC) ทำโครงขนาด 1X1X1.8 ม. พื้นที่ขนาด 1.8 ลบ.ม. หุ้มด้วยตาข่ายกันแมลงสีขาว ติดซิปด้านหน้า ภายในกรงจัดวางต้นไม้ ถาดให้น้ำสำหรับตัวเต็มวัย อาหารดึงดูดเพศเมียเพื่อมาวางไข่ และไม้สำหรับวางไข่ ด้านบนกรงคลุมด้วยแผ่นพลาสติกลูกฟูกเพื่อป้องกันฝน **(Figure 2)** กรงแต่ละรูปแบบมี 4 ซ้ำๆ ละ 2,000 ตัว โดยนำกล่องดักแด้จากข้อ 1 ที่เริ่มออกเป็นตัวเต็มวัย เข้าในกรงที่เตรียมไว้ พ่นน้ำในกรง 1-2 ครั้ง/วัน เพื่อให้ความชื้น

การเก็บข้อมูล แต่ละวันขูดไข่ออกจากไม้วางไข่ 1 ตลับ (ซึ่งประกอบด้วยแผ่นไม้ขนาด 5 x 30 ซม. จำนวน 5 แผ่น ไม้แต่ละแผ่นตอกหมุดตะปูทั้งสี่มุม เมื่อนำมามัดซ้อนกันจะทำให้เกิดช่องว่างระหว่างชั้นประมาณ 1-2 มม.) **(Figure 3)** และนำไข่มาชั่งน้ำหนัก เปลี่ยนไม้วางไข่ใหม่ทุกวัน บันทึกอัตราการออกเป็นตัวเต็มวัยจากเปลือกดักแด้เพื่อนำมาคำนวณปอร์เซ็นต์การออกเป็นตัวเต็มวัย พร้อมกับสุ่มนับตัวเต็มวัยเพื่อแยกเพศผู้และเพศเมียจำนวน 50 ตัว/กรง นำมาคำนวณสัดส่วนเพศ และเฝ้าสังเกตเมื่อเห็นแมลงมีการจับคู่ผสมพันธุ์ ให้จับคู่ตัวเต็มวัยที่ผสมพันธุ์แยกออกมาใส่กล่องพลาสติกขนาด 20X31X8 ซม. ที่มีฝาปิด ภายในกล่องมีอาหารดึงดูดเพศเมีย ซึ่งอาหารดึงดูดเพศเมียใช้ตามวิธีการของ บวรทัช (2566) และไม้สำหรับวางไข่กล่องละ 1 คู่ เมื่อแมลงวางไข่ขูดไข่มาชั่งน้ำหนักและนำไข่ที่ได้มานับจำนวนฟอง เพื่อหาจำนวนไข่เฉลี่ยต่อตัว ทำกรงละ 3 ซ้ำ ๆ ละ 1 คู่ และทำการบันทึกอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ด้วยเครื่อง Temperature data logger ทดลองในช่วงเดือน พฤษภาคม ถึง มิถุนายน พ.ศ. 2564 และคำนวณหาจำนวนและเปอร์เซ็นต์เพศเมียที่วางไข่ตามวิธีการคำนวณดังนี้

วิธีการคำนวณ

$$\text{จำนวนเพศเมียที่วางไข่ (ตัว)} = \frac{\text{ค่าเฉลี่ยน้ำหนักไข่ (กรัม) x 28000 ฟอง (จำนวนไข่ 1 กรัม)}}{\text{จำนวนไข่เฉลี่ยต่อตัว}}$$

$$\text{เพศเมียที่วางไข่ (\%)} = \frac{\text{จำนวนเพศเมียที่วางไข่}}{\text{จำนวนเพศเมียทั้งหมดของแต่ละกรรมวิธี}} \times 100$$

Figure 2 Type of mating cage

a. Ready-made insect net cage b. PVC cage

a b

Figure 3. Egg tarp of female black soldier fly
a. side view b. top view and egg masses

การเปรียบเทียบผลของการใช้แสงอาทิตย์และแสงจากหลอดไฟ UVA ในการผสมพันธุ์และวางไข่

โครงสร้างของกรงเป็นท่อพีวีซีขนาด 0.5X0.5X0.5 ม. หุ้มด้วยตาข่ายกันแมลง ติดซิปด้านหน้า ภายในกรงจัดวาง ต้นไม้ ถาดให้น้ำตัวเต็มวัย อาหารดึงดูดเพศเมียเพื่อมาวางไข่ตามวิธีการของ บวรทัช (2566) และไม้สำหรับวางไข่ ด้านบนกรงคลุมด้วยแผ่นพลาสติกลูกฟูกเพื่อป้องกันฝน กรงที่ใช้แสงอาทิตย์ วางกรงบนโต๊ะนอกอาคาร ส่วนกรงที่ใช้แสงจากหลอดไฟ UVA ขนาด 40 วัตต์ วางบนโต๊ะในอาคาร ติดหลอดไฟ สูงจากกรง 10 ซม. เปิดไฟ 8 ชม./วัน แต่ละกรงปล่อยตัวเต็มวัยเพศผู้และเพศเมียอย่างละ 100 คู่ (รวมกรงละ 200 ตัว) แต่ละกรรมวิธีทำ 4 ซ้ำ พ่นน้ำในกรง 1-2 ครั้ง/วัน เพื่อให้ความชื้น

การเก็บข้อมูล แต่ละวันขูดไข่ออกจากไม้วางไข่ 1 ตลับ และนำไข่มาชั่งน้ำหนัก เปลี่ยนไม้วางไข่ใหม่ทุกวัน โดยเก็บข้อมูลทุกวันเป็นเวลา 7 วัน และคำนวณหาเปอร์เซ็นต์เพศเมียที่วางไข่ตามวิธีการคำนวณในข้อ 2 บันทึกอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ด้วยเครื่อง Temperature data logger ทำการทดลองวันที่ 17 ถึง 23 ธันวาคม พ.ศ. 2564

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลแต่ละการศึกษา คือ การออกจากดักแด้เป็นตัวเต็มวัย จำนวนเพศเมีย จำนวนไข่/เพศเมีย 1 ตัว น้ำหนักไข่ทั้งหมด น้ำหนักไข่/วัน จำนวนเพศเมียที่วางไข่ และสัดส่วนเพศ มาวิเคราะห์ค่าทางสถิติแบบ t-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยใช้โปรแกรม Statistics 10 (Analytical Software, 2013)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

การเปรียบเทียบรูปแบบของกรงต่อการผสมพันธุ์และการวางไข่

ในระหว่างการทดลองครั้งนี้ อุณหภูมิเฉลี่ย 30.74 °C และความชื้นเฉลี่ย 78.18 % ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 8.5 มม. ผลการศึกษาพบว่าการออกจากดักแด้เป็นตัวเต็มวัยของแมลงในกรงท่อพีวีซีมี 99.44% มากกว่าของมุ้งสำเร็จรูป (97.64%) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) จำนวนเพศเมียในกรงทั้งสองรูปแบบไม่แตกต่างกันทางสถิติ น้ำหนักไข่ทั้งหมดของกรงท่อพีวีซี 12.16 ก. มากกว่ามุ้งตาข่ายกันแมลงสำเร็จรูป (7.58 ก.) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) จำนวนเพศเมียที่วางไข่ของกรงท่อพีวีซี 37.13% มากกว่าของมุ้งตาข่ายกันแมลงสำเร็จรูป (24.85%) อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P<0.01$) **(Table 1)** จะเห็นได้ว่าขนาดของกรงท่อพีวีซี 1.8 ลบ.ม. มีผลต่อการผสมพันธุ์และวางไข่มากกว่ามุ้งสำเร็จรูป (5.4 ลบ.ม.) อธิบายได้ว่ารูปแบบของกรงมีผลต่อความหนาแน่นต่อจำนวนแมลงที่ปล่อย 2,000 ตัว เท่ากัน ทำให้กรงท่อพีวีซีมีความหนาแน่นของแมลง 1,111.11 ตัว/ลบ.ม. มากกว่าของมุ้งตาข่ายกันแมลงสำเร็จรูป (370.37

ตัว/ลบ.ม.) ถึง 3 เท่า แสดงว่าอัตราความหนาแน่นของแมลงในกรงท่อพีวีซีมีความเหมาะสมทำให้แมลงมีการผสมพันธุ์และวางไข่มากกว่า จากการนำข้อมูลจำนวนไข่ทั้งหมด จำนวนเพศเมีย และจำนวนไข่ต่อเพศเมีย มาคำนวเนวนเพศเมียที่วางไข่โดยใช้สมการที่ 2 ในวิธีการศึกษา พบว่ากรงท่อพีวีซีมีจำนวนเพศเมียที่วางไข่ 37.13% ซึ่งมากกว่าการทดลองของ Park et al. (2016) ที่ได้จำนวนเพศเมียที่วางไข่ 31.76% โดยปล่อยแมลงอัตราความหนาแน่น 6,500 ตัว/ลบ.ม. ในกรงขนาด 2.5x2.5x2.5 ม. ดังนั้นอัตราความหนาแน่นของตัวเต็มวัยในกรงควรมีความเหมาะสมกับพื้นที่ของกรง ส่วนความสูงที่พบการจับคู่ผสมพันธุ์นั้นจากการวัดและสังเกตพบว่า ในมุ้งสำเร็จรูป ความสูง 1.5 ม. มีการจับคู่ผสมพันธุ์ที่ความสูง 1.2 ม. ส่วนกรงพีวีซีความสูง 1.8 ม. พบการผสมพันธุ์ของแมลงที่ความสูงประมาณ 1.4-1.5 ม. ใกล้เคียงกับที่ Tomberlin and Sheppard (2001). ที่สังเกตพบว่าในสภาพธรรมชาติมีการจับคู่ผสมพันธุ์ที่ความสูง 1.5 ม. จากพื้นดิน

การศึกษานี้พบว่าแมลงเพศเมียจากกรงทั้ง 2 รูปแบบ มีระยะเวลาการวางไข่เป็นไปตามพฤติกรรมการวางไข่ของแมลง โดยมีการวางไข่ตั้งแต่อายุ 4 วัน จนถึงอายุ 12 วัน ช่วงที่วางไข่มากมี 2 ช่วง คือ เมื่ออายุ 6 วัน และ 8 วัน สอดคล้องกับการศึกษาที่ Tomberlin and Sheppard (2002) รายงานไว้ว่า ตัวเต็มวัยจะผสมพันธุ์เมื่ออายุ 2 วัน และเริ่มวางไข่เมื่ออายุ 4 วัน หรือหลังการผสมพันธุ์ 2 วัน **(Table 2)**

ดังนั้นจากการทดลองนี้จะเห็นได้ว่าแมลงโปรตีนวางไข่ในกรงท่อพีวีซีมากกว่ามุ้งตาข่ายกันแมลงสำเร็จรูป แต่ผู้เลี้ยงสามารถใช้กรงผสมพันธุ์และวางไข่ได้ทั้งสองรูปแบบ โดยอาจจะมีการปรับอัตราความหนาแน่นของตัวเต็มวัยในกรงให้มีความเหมาะสม คือ ประมาณ 1,000 ตัว/ลบ.ม. อย่างไรก็ตามโครงสร้างของกรงท่อพีวีซี 1X1X1.8 ม. มีความแข็งแรงกว่าโดยเฉพาะการรองรับน้ำฝนในช่วงฤดูฝน อายุการใช้งานประมาณ 5 ปี แต่มีราคาแพง 880 บาทต่อกรง (ตาข่ายกันแมลง 5 เมตร ราคา 180 บาท ค่าเย็บมุ้ง 300 บาท ท่อพีวีซี 400 บาท) ส่วนมุ้งตาข่ายกันแมลงสำเร็จรูป 1.8X2X1.5 ม. ราคา 189 บาทต่อกรง อายุการใช้งานประมาณ 2 ปี ส่วนกรงท่อพีวีซี อายุการใช้งาน 5 ปี ดังนั้นหากคิดช่วงเวลา 5 ปี การใช้กรงท่อพีวีซี จ่ายเงิน 880 บาท ส่วนการใช้มุ้งตาข่ายกันแมลงสำเร็จรูปต้องใช้มุ้ง 3 หลัง เท่ากับ 567 บาท การใช้กรงท่อพีวีซีจึงมีต้นทุนสูงกว่า 313 บาท

Table 1 Type and cage size, adult emergence, number of female, total egg weight, egg weight/day, number of females laying eggs and sex ratio

Type and cage size(m)	Adult emergence (%)	Number of females	Number of eggs/female	Total egg weight (g)	Egg weight/day (g)	Number of females laying eggs (%)	Sex ratio (male: female)
	(Mean±SD)						
Ready-made insect net cage (1.8X2X1.5)	97.64±2.20	981.39±46.89	919.33±64.81	7.98±3.05	1.09±0.50	24.85±1.99	1.03
PVC cage (1X1X1.8)	99.44±0.36	1004.31±35.32	914.25±97.90	12.16±3.07	1.75±0.76	37.13±7.98	0.99
T-test	*	ns	ns	*	ns	**	

ns non-significant, *,** significantly at P<0.05 and 0.01, respectively

Table 2 Daily egg weight of the black soldier fly from Ready-made insect net cage and PVC cage

Type and cage size(m)	egg weight (g)/female age (day) (Mean±SD)								
	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ready-made insect net cage (1.8X2X1.5)	0.18±0.17	0.72±0.52	1.99±0.56	1.60±0.88	2.62±0.73	0.73±0.48	0.33±0.25	0.44±0.38	0.06±0.06
PVC cage (1X1X1.8)	0.50±0.50	1.33±0.46	4.33±1.34	1.15±0.43	1.69±0.19	0.37±0.27	0.38±0.21	0.05±0.03	0.08±0.05

การศึกษาการใช้แสงจากหลอดไฟ UVA เปรียบเทียบกับแสงอาทิตย์ เพื่อการผสมพันธุ์และการวางไข่

น้ำหนักไข่ทั้งหมดของกรงที่ได้จากการใช้หลอดไฟ UVA ได้น้ำหนักไข่รวม 0.27±0.03 ก. แตกต่างจากการใช้แสงอาทิตย์อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (0.09±0.04 ก.) (P<0.01) **(Table 3)** เมื่อคำนวณเพศเมียที่วางไข่ตามสมการที่ 2 ในวิธีการศึกษา โดยใช้จำนวนไข่เฉลี่ยต่อตัว 450 ฟอง ที่ได้จากข้อมูลการเลี้ยงแมลงโปรตีนจากโรงเรือนต้นแบบวิจัยและผลิตแมลงเพื่ออุตสาหกรรม คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น พบว่า หลอดไฟ UVA ที่ผลิตรังสี UVA มีความยาวคลื่นในช่วง 320-400 nm แมลงมีอัตราการวางไข่ 17.03±1.90 % มากกว่าการใช้แสงอาทิตย์อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ที่แมลงมีอัตราการวางไข่อยู่ที่ 5.79±2.25 % (P<0.01) แสงอาทิตย์มีความสำคัญต่อการผสมพันธุ์ของแมลง โดยในแสงอาทิตย์ประกอบด้วยรังสี Ultraviolet (UV) 2 ชนิดที่ส่องมายังผิวโลก ได้แก่ รังสี Ultraviolet A (UVA) ในแสงแดดจะมี UVA 95 % และ UVA เป็นรังสีที่มีความยาวคลื่น 320-400 nm ส่วน รังสี Ultraviolet B (UVB) มี 5% ในแสงแดด และมีความยาวคลื่น 290-320 nm (Myers, 2013) แมลงโปรตีนสามารถมองเห็นแสงที่เป็นรังสี UV ที่มีความยาวคลื่น 367-440 nm โดยมีตัวรับคือจอประสาทตา (retina) ที่ตารวม (Oonincx et al., 2016) ต่างจากการมองเห็นของคนทั่วไปที่มองเห็นแสงที่มีความยาวคลื่น 400-800 nm Julita et al. (2020) พบว่าแมลงมีการผสมพันธุ์กันมากที่สุดในช่วงเวลา 11:00-12:00 น. ซึ่งเป็นช่วงที่มีความเข้มของแสงอาทิตย์มากที่สุด โดยเฉพาะรังสี UVA เช่นเดียวกับของ บวรทัช (2566) ที่พบว่าแมลงเริ่มจับคู่ผสมพันธุ์กันมากตั้งแต่ช่วง 9.00 - 10.00 น. และช่วง 13.00-14.00 น. และแมลงเริ่มวางไข่ตั้งแต่ 9.00-10.00 น. และวางไข่มากที่สุดช่วง 12.00-13.00 น. อย่างไรก็ตาม หากสภาพอากาศไม่เหมาะสม เช่น ในช่วงฤดูหนาวและฝน เมื่อความเข้มแสงไม่เหมาะสม ทำให้แมลงผสมพันธุ์กันน้อย จึงควรใช้แสงจากหลอดไฟ UVA เพื่อเป็นตัวกระตุ้นให้แมลงจับคู่ผสมพันธุ์

Table 3 Total egg weight number of females laying eggs

Source of light	Total egg weight (g)	Number of females laying eggs (%)
	(Mean±SD)	
Sunlight	0.09±0.04	5.79±2.25
UVA light	0.27±0.03	17.03±1.90
T-test	**	**

** significantly significant at P<0.01

สรุป

กรงผสมพันธุ์แบบเป็นท่อพีวีซีได้จำนวนเพศเมียที่วางไข่และน้ำหนักไข่ทั้งหมดมากกว่ากรงมุ้งตาข่ายกันแมลงสำเร็จรูป ทั้งนี้สามารถใช้กรงผสมพันธุ์และวางไข่ได้ทั้งสองแบบ โดยปรับความหนาแน่นของตัวเต็มวัย 1000 ตัว/ลบ.ม. การเปรียบเทียบผลของการใช้แสงอาทิตย์และแสงจากหลอดไฟ UVA พบว่าแสงจากหลอดไฟ UVA ขนาด 40 วัตต์ เปิดไฟ 8 ชั่วโมงต่อวัน ให้น้ำหนักไข่ทั้งหมดมากกว่าการใช้แสงอาทิตย์

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณสำนักงานการวิจัยแห่งชาติที่ให้ความอนุเคราะห์อุดหนุนทุนการทำกิจกรรมส่งเสริมและสนับสนุนการวิจัยและนวัตกรรม แผนงานพัฒนาบัณฑิตศึกษา ประจำปีงบประมาณ 2564

เอกสารอ้างอิง

บวรทัช สิงห์เดช. 2566. ปัจจัยที่มีผลต่อการผสมพันธุ์และการวางไข่ของแมลงโปรตีน (black soldier fly: *Hermetia illucens* L.). วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ขอนแก่น.

Banks, I.J., W.T. Gibson, and M.M. Camero. 2014. Growth rates of black soldier fly larvae fed on fresh human faeces and their implication for improving sanitation. Tropical Medicine and International Health. 19:14-22.

Beesigamukama, D., B. Mochoge, N.K Korir, K.M.F. Nakimbugwe, D. Khamis, F.M. Subramanian, S. Wangu, M.M. Dubois, T. Ekesi, S. and C.M. Tanga. 2021. Low-cost technology for recycling agro-industrial waste into nutrient-rich organic fertilizer using black soldier fly. Waste Management. 119(1): 183–194.

Diener, S., C. Zurbrügg, F. Roa Gutiérrez, D.H. Nguyen, A. Morel, T. Koottatep, and K. Tockner. 2011. Black soldier fly larvae for organic waste treatment – prospects and constraints, pp. 52(1-8). Proceedings of the Waste Safe 2011 – 2nd International Conference on Solid Waste Management in the Developing Countries 13-15 February 2011, Khulna, Bangladesh.

Heussler, C. D., A. Walter, H. Oberkofler, H. Insam, W. Arthofer, B.C. Schlick-Steiner, and F.M. Steiner. 2018. Influence of three artificial light sources on oviposition and half-life of the Black Soldier Fly, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae): Improving small-scale indoor rearing. PLoS One. 13(5): 1-10.

Jucker, C., M.G. Leonardi, I. Rigamonti, D. Lupi, and S. Savoldelli. 2019. Brewery's waste streams as a valuable substrate for black soldier fly *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae). Journal of Entomological and Acarological Research. 8876(51): 87-94.

Julita, U., L.L. Fitri, R.E. Putra, and A.D. Permana. 2020. Research Article Mating Success and Reproductive Behavior of Black Soldier Fly *Hermetia illucens* L.(Diptera, Stratiomyidae) in Tropics. Journal of Entomology. 17(3): 117-127.

Lalander, C., S. Diener, M.E. Magri, C. Zurbrügg, A. Lindström, and B. Vinnerås. 2013. Faecal sludge management with the larvae of the black soldier fly (*Hermetia illucens*) from a hygiene aspect. Science of the Total Environment. 458: 312-318.

Liu, Z., A.J. Najar-Rodriguez, M.A. Minor, D.I. Hedderley, and P.C. Morel. 2020. Mating success of the black soldier fly, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae), under four artificial light sources. Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology. 205: 1-8.

Martínez-Sánchez, A., C. Magaña, M. Saloña, and S. Rojo. 2011. First record of *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) on human corpses in Iberian Peninsula. Forensic Science International. 206: 76-78.

Myers, D.R. 2013. Solar Radiation Practical Modeling for Renewable Energy Applications. CRC Press. 212 p. https://doi.org/10.1201/b13898.

Nguyen, T.T.X., J.K. Tomberlin, and S. Vanlaerhoven. 2015. Ability of black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) larvae to recycle food waste. Environmental Entomology. 44(2): 406–410.

Oonincx, D. G. A. B., N. Volk, J.J.E. Diehl, J.J.A. Van Loon, and G. Belušič. 2016. Photoreceptor spectral sensitivity of the compound eyes of black soldier fly (*Hermetia illucens*) informing the design of LED-based illumination to enhance indoor reproduction. Journal of insect physiology. 95: 133-139.

Park, K., W. Kim, E. Kim, K.W. Kwak, J.Y. Choi, and S. Lee. 2016b. Oviposition site preference in Black Soldier Fly, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae), in Artificial Rearing System. International Journal of Industrial Entomology. 33(2): 54–8.

Sheppard, D.C., G.L. Newton, S.A. Thompson, and S. Savage. 1994. A value-added manure management-systemusing the black soldier fly. Bioresource Technology. 50: 275–279.

Sheppard, D.C., J.K. Tomberlin, J.A. Joyce, B.C. Kiser, and S.M. Sumner. 2002. Rearing methods for the black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae). Journal of Medical Entomology. 39(4): 695-698.

Spranghers, T., M. Ottoboni, C. Klootwijk, A. Ovyn, S. Deboosere, B. Meulenaer, J. De Michiels, M. Eeckhout, P. De Clercq, and S.De Smet. 2017. Nutritional composition of black soldier fly (*Hermetia illucens*) prepupae reared on different organic waste substrates. Journal of the Science of Food and Agriculture. 97(8): 2594-2600.

Tomberlin J.K., and D.C. Sheppard. 2001. Lekking behavior of the black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae). Florida Entomologist. 84: 729-730.

Tomberlin, J.K., and D.C. Sheppard. 2002. Factors influencing mating and oviposition of black soldier flies (Diptera: Stratiomyidae) in a colony. Journal of Entomological Science. 37(4): 345-352.

Trinh, T.Q., H.T.H. Nguyen, T.T.H. Nguyen, T.T.L. Tran, H.T.T. Nguyen, and T.T.X. Nguyen. 2020. Production of biofertilizer from black soldier fly larvae and its impact on soil nutrients, enzyme activities, and rice growth. Journal of Soil Science and Plant Nutrition. 20(3): 795-807.

Wang, Y.S., and M. Shelomi. 2017. Review of black soldier fly (*Hermetia illucens*) as animal feed and human food. Foods. 91(6): 1-23.