

ชีววิทยาและการเพาะเลี้ยงหนอนเจาะกระทู้ข้าวโพดลายจุดด้วย อาหารเทียมจากถั่วเขียวในห้องปฏิบัติการ

Biology and Culture of the Fall Armyworm *Spodoptera frugiperda* with Mung Bean-Based Artificial Diet in Laboratory Conditions

เกษม คงนรินทร์สุข¹ และ นคร ประดิษฐ์^{2*}

Kasem Kongnirundonsuk¹ and Nakorn Pradit^{2*}

¹ สาขาวิชาชีววิทยาการแพทย์ คณะสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏ บ้านสมเด็จเจ้าพระยา ประเทศไทย

² สถาบันวิจัยวลัยรุกขเวช มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ประเทศไทย

¹Medical Biology Program, Faculty of Allied Health Sciences, Bansomdejchaopraya Rajabhat University, Thailand

²Walai Rukhavej Botanical Research Institute, Mahasarakham University, Thailand

Received: 2 February 2026, Received in revised form: 5 May 2026, Accepted: 8 May 2026

Available online: 20 May 2026

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์และที่มา: หนอนเจาะกระทู้ข้าวโพดลายจุด (*Spodoptera frugiperda* J.E. Smith) เป็นศัตรูพืชสำคัญที่เป็นภัยคุกคามต่อข้าวโพดและพืชเศรษฐกิจหลายชนิด เช่น ข้าว อ้อย ฝ้าย และถั่วลิสง เนื่องจากสามารถกินอาหารได้หลากหลายและมีการแพร่กระจายทั่วโลก รวมทั้งประเทศไทย ปัจจุบันการวิจัยทั่วโลกมุ่งเน้นไปที่การจัดการศัตรูพืชชนิดนี้ผ่านการควบคุมด้วยสารเคมี การควบคุมทางชีววิธีโดยใช้ศัตรูธรรมชาติ ได้แก่ ไวรัสเอ็นพีวี (NPV) และเชื้อแบคทีเรียบีที (*Bacillus thuringiensis*) รวมทั้งความต้องการทางโภชนาการเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตและพฤติกรรมในสภาวะธรรมชาติและภายใต้ห้องปฏิบัติการ ซึ่งการศึกษาดังกล่าวจำเป็นต้องใช้แมลงทดสอบจำนวนมากที่มีการควบคุมในด้านอายุและสุขภาพ เพื่อให้ได้ผลการทดลองที่แม่นยำ อาหารเทียมจึงมีบทบาทสำคัญในระบบเพาะเลี้ยงภายในห้องปฏิบัติการ เพื่อให้ได้องค์ประกอบทางโภชนาการที่ได้มาตรฐานและมีความสม่ำเสมอ ขจัดความแปรปรวนที่เกี่ยวข้องกับพืชอาหารธรรมชาติและสามารถผลิตแมลงได้เป็นจำนวนมากตลอดทั้งปี ปัจจุบันการพัฒนาอาหารเทียมของหนอนเจาะกระทู้ข้าวโพดลายจุดได้มีการเลือกใช้แหล่งโปรตีนจากถั่วหลากหลายชนิด ซึ่งถั่วบางชนิดมีราคาแพง และไม่มีจำหน่ายในประเทศไทย จึงเกิดข้อจำกัดในการนำไปใช้ในทางปฏิบัติ ดังนั้นวัตถุประสงค์ในการศึกษานี้เพื่อประเมินประสิทธิภาพของสูตรอาหารเทียมจากถั่วเขียว (*Vigna radiate* (L.) R. Wilczek) ต่อการเจริญเติบโตและการสืบพันธุ์ของหนอนเจาะกระทู้ข้าวโพดลายจุดภายใต้ภาวะในห้องปฏิบัติการ เพื่อหาโปรตีนทดแทนแหล่งโปรตีนที่มีราคาแพง เนื่องจากถั่วเขียวมีปริมาณโปรตีนสูง มีราคาถูกและหาได้ง่ายในประเทศไทย

วิธีดำเนินการวิจัย: ทำการศึกษาชีววิทยาการเจริญเติบโตและการสืบพันธุ์ของหนอนเจาะกระทู้ข้าวโพดลายจุดที่เพาะเลี้ยงด้วยอาหารเทียมจากถั่วเขียว ที่อุณหภูมิ 25 ± 2 องศาเซลเซียสและมีความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 80-90 เปอร์เซ็นต์ โดยเก็บไข่อายุ 1 วัน จำนวน 100 ฟอง มาศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์สเตอริโอ เพื่อตรวจหาระยะเวลาในการฟักของไข่ หลังจากฟักแล้ว

ตัวหนอนแต่ละตัวจะถูกย้ายไปยังถ้วยพลาสติกใสขนาด 59.14 มิลลิเมตร โดยใส่ตัวหนอนหนึ่งตัวต่อถ้วยเพื่อป้องกันการกินกันเอง ให้อาหารเทียมจากถั่วเขียวและเปลี่ยนอาหารทุก ๆ 3 วัน จนตัวหนอนเข้าสู่ระยะดักแด้ ทำการบันทึกระยะเวลาในการเจริญและการตายทุกวัน เมื่อเข้าสู่ระยะดักแด้จะทำการวัดความกว้างและความยาวของดักแด้เพื่อเปรียบเทียบขนาดดักแด้ระหว่างเพศผู้และเพศเมีย สำหรับระยะตัวเต็มวัยจะนำผีเสื้อหนอนเจาะกระทู้ข้าวโพดลายจุดเพศผู้และเพศเมียที่เพิ่งฟักออกมาจับคู่กัน และนำคู่ผสมพันธุ์จำนวน 20 คู่ใส่ในกล่องพลาสติกใส (กว้าง 13.5 x ยาว 20.5 x สูง 7 เซนติเมตร) โดยใส่หนึ่งคู่ต่อกล่อง เพื่อหาจำนวนไข่ที่เพศเมียวางต่อตัว ทำการสังเกตทุกวันจนกระทั่งตัวเต็มวัยสิ้นอายุขัย ข้อมูลที่รวบรวมทั้งหมดจะประกอบด้วยระยะเวลาการพัฒนาและอัตราการตายของหนอนเจาะกระทู้ข้าวโพดลายจุดในแต่ละระยะ ขนาดของดักแด้ อายุขัยของตัวเต็มวัยและการวางไข่รายวัน ไข่ที่วางบนกระดาษไข่และถ้วยพลาสติกจะถูกนับทุกวันเพื่อหาผลผลิตการสืบพันธุ์ ค่าพารามิเตอร์จากตารางความอุดมพันธุ์ประกอบด้วยค่าอัตราการขยายพันธุ์สุทธิ (R_0) ค่าสัมประสิทธิ์การเพิ่มทางพันธุกรรมของประชากร (r_0) อัตราการเพิ่มที่แท้จริงของประชากร (λ) และชั่วอายุขัยของรุ่น (T_0) จะถูกคำนวณด้วยวิธีทางประชากรศาสตร์ ความแตกต่างของขนาดของดักแด้ และอายุของระยะตัวเต็มวัยระหว่างเพศผู้และเพศเมียจะถูกวิเคราะห์ด้วย Student's t-test

ผลการวิจัย: จากการศึกษาแสดงให้เห็นว่าหนอนเจาะกระทู้ข้าวโพดลายจุดสามารถเจริญเติบโตและมีการเพิ่มจำนวนประชากรได้อย่างรวดเร็วเมื่อเลี้ยงด้วยอาหารเทียมจากถั่วเขียวภายในภาวะห้องปฏิบัติการ โดยวงจรชีวิตประกอบด้วย 4 ระยะ ได้แก่ ระยะไข่ ระยะตัวหนอน ระยะดักแด้และระยะตัวเต็ม มีระยะการเจริญเติบโตเฉลี่ยจากไข่ถึงตัวเต็มวัยคือ 37.22 ± 0.16 วัน การวิเคราะห์ตารางความอุดมพันธุ์เผยให้เห็นศักยภาพในการสืบพันธุ์สูงเมื่อเลี้ยงด้วยอาหารเทียมจากถั่วเขียว ค่าอัตราการขยายพันธุ์สุทธิ (R_0) เท่ากับ 384.86 ตัวต่อตัวเมียหนึ่งตัว ค่าสัมประสิทธิ์การเพิ่มทางพันธุกรรมของประชากร (r_0) เท่ากับ 0.13 วัน อัตราการเพิ่มที่แท้จริงของประชากร (λ) เท่ากับ 1.14 วัน แสดงให้เห็นถึงอัตราการเติบโตของประชากรที่รวดเร็วภายใต้ภาวะห้องปฏิบัติการ และชั่วอายุขัยของรุ่น (T_0) เท่ากับ 45.77 วัน เมื่อเปรียบเทียบความกว้างและความยาวของดักแด้ระหว่างเพศผู้และเพศเมียพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ขณะที่อายุขัยของระยะตัวเต็มวัยเพศผู้จะน้อยกว่าเพศเมียอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

สรุปผลการวิจัย: จากการเพาะเลี้ยงหนอนเจาะกระทู้ข้าวโพดลายจุดด้วยอาหารเทียมจากถั่วเขียวมีประสิทธิภาพในการสนับสนุนการเจริญเติบโต การพัฒนาและการสืบพันธุ์ของหนอนเจาะกระทู้ข้าวโพดลายจุดภายในภาวะห้องปฏิบัติการ ถึงแม้ว่าระยะเวลาในการเพาะเลี้ยงหนอนเจาะกระทู้ข้าวโพดลายจุดด้วยอาหารเทียมถั่วเขียวจะนานกว่าสูตรอาหารเทียมจากถั่วขาวและถั่วป็นโต แต่ผลผลิตลูกที่ได้มากกว่า นอกจากนี้ถั่วเขียวยังมีราคาถูก หาได้ง่ายและมีจำหน่ายอย่างแพร่หลายในประเทศไทย ทำให้เป็นแหล่งโปรตีนที่เหมาะสมและประหยัดสำหรับสูตรอาหารเทียม ดังนั้นอาหารเทียมจากถั่วเขียวจึงเป็นทางเลือกที่เหมาะสมและคุ้มค่าสำหรับเลี้ยงหนอนเจาะกระทู้ข้าวโพดลายจุดในปริมาณมากเพื่อการวิจัยในห้องปฏิบัติการและลดการพึ่งพาแหล่งโปรตีนราคาแพงหรือนำเข้า

คำสำคัญ: หนอนเจาะกระทู้ข้าวโพดลายจุด; ตารางความอุดมพันธุ์; การเพาะเลี้ยง; อาหารเทียม

Abstract

Background and Objectives: The fall armyworm (FAW), *Spodoptera frugiperda*, is an important pest that poses a significant threat to maize and other economic crops, including rice, sugarcane, cotton, and peanuts, due to its polyphagous feeding habits and widespread global distribution, including Thailand. Currently, global research focuses on management of this pest through chemical and biological control methods, including the use of natural enemies such as nucleopolyhedrovirus (NPV) and Bt (*Bacillus thuringiensis*), as well as on studies of its nutritional requirements for growth and behavior under natural and laboratory conditions. Such studies require large numbers of test insects with controlled variability in age and health to ensure accurate experimental results. Thus, artificial diets play a critical role in laboratory rearing systems by providing standardized and consistent nutritional composition, eliminating the variability associated with natural host plants, and enabling mass production of insects throughout the year. At present, artificial diets for *S. frugiperda* commonly utilize protein sources derived from various legumes. However, some of these legumes are expensive and not readily available in Thailand, limiting their practical application. Therefore, this study aimed to evaluate the effectiveness of a mung bean (*Vigna radiata* (L.) R. Wilczek) -based artificial diet on the growth and reproduction of *S. frugiperda* under laboratory conditions in order to identify a cost-effective alternative protein source with high protein content, low cost, and wide availability in Thailand.

Methodology: The biological development and reproductive performance of *S. frugiperda* reared on a mung bean-based artificial diet were investigated under laboratory conditions at 25 ± 2 °C and 80–90% relative humidity. One-day-old eggs ($n = 100$) were collected and observed under a stereomicroscope to determine the egg incubation period. After hatching, individual larvae were transferred to 59.14 ml transparent plastic cups, with one larva per cup to prevent cannibalism. Larvae were fed a mung bean-based artificial diet, which was replaced every three days until the larvae reached the pupal stage. Developmental duration and mortality were recorded daily. Upon pupation, pupal width and length were measured to compare the sizes of male and female pupae. During the adult stage, newly emerged male and female moths were paired, and a total of 20 mating pairs were placed in transparent plastic boxes ($13.5 \times 20.5 \times 7$ cm), with one pair per box, to determine the number of eggs laid by each female. Daily observations were conducted until adult mortality. All Data collected included developmental duration and mortality rate of each life stage of *S. frugiperda*, pupal size, adult longevity, and daily fecundity. Eggs laid on wax paper and plastic containers were counted daily to determine reproductive output. Fertility table parameters, including the net reproductive rate (R_0), intrinsic rate of increase (r_m), finite rate of increase (λ), and mean generation

time (T_c), were calculated using demographic methods. Differences in pupal size and adult longevity between males and females were analyzed using Student's t-test.

Main Results: The results indicated that *S. frugiperda* successfully completed its life cycle and exhibited rapid population growth when reared on the mung bean-based artificial diet under laboratory conditions. The life cycle consisted of four stages: egg, larva, pupa, and adult. The mean developmental duration from egg to adult emergence was 37.22 ± 0.16 days. Fertility table analysis revealed a high reproductive potential of *S. frugiperda* reared on the mung bean diet. The net reproductive rate (R_0) was 384.86 offspring per individual female. The intrinsic rate of increase (r_m) was 0.13 day^{-1} , while the finite rate of increase (λ) was 1.14 day^{-1} , indicating a rapid daily population growth rate under laboratory conditions. The generation time (T_c) was 45.77 days. Comparisons of pupal width and length between males and females revealed no statistically significant differences, whereas the adult lifespan of males was significantly shorter than that of females ($p < 0.05$).

Conclusions: Rearing *S. frugiperda* on a mung bean-based artificial diet effectively supported its growth, development, and reproduction under laboratory conditions. Although the developmental period of insects reared on the mung bean diet was longer than that reported for artificial diets based on white beans and pinto beans, the overall reproductive yield was higher. In addition, mung bean is inexpensive, widely available, and easily accessible in Thailand, making it a practical and economical protein source for artificial diet formulation. Therefore, the mung bean-based artificial diet represents a suitable and cost-effective alternative for the mass rearing of *S. frugiperda* in laboratory research and reduces reliance on expensive or imported protein sources.

Keywords: fall armyworm; fecundity table; culture; artificial diet

*Corresponding author. E-mail : nakorn.p@msu.ac.th

Introduction

หนอนเจาะกระทู้ข้าวโพดลายจุด (*Spodoptera frugiperda* J.E. Smith) เป็นศัตรูพืชสำคัญที่ก่อให้เกิดความเสียหายทางเศรษฐกิจทางตอนเหนือและใต้ของอเมริกา เนื่องจากหนอนเจาะกระทู้ข้าวโพดลายจุดสามารถกินอาหารได้หลากหลาย ทำให้มีการเข้าทำลายพืชชนิดต่าง ๆ ได้แก่ ข้าวโพด ข้าว อ้อย ฝ้ายและถั่วลิสง (Montezano *et al.*, 2019) และเป็นแมลงศัตรูพืชที่ทั่วโลกให้ความสำคัญเนื่องจากมีการแพร่กระจายอย่างรวดเร็วและก่อให้เกิดความเสียหายต่อผลผลิตข้าวโพดและเศรษฐกิจอย่างรุนแรง โดยมีรายงานการระบาดครั้งแรกที่แอฟริกา พ.ศ. 2559 และแพร่กระจายเข้าเอเชียใต้ พ.ศ. 2561 (Goergen *et al.*, 2016; Sharanabasappa *et al.*, 2018) สำหรับประเทศไทยพบว่ามีรายงานการแพร่ระบาดของหนอนเจาะกระทู้ข้าวโพดลายจุดครั้งแรกในแปลงข้าวโพด จังหวัดกาญจนบุรีและตาก พ.ศ. 2561 (IPPC, 2018) จากผลกระทบทาง

เศรษฐกิจที่เกิดจากเข้าทำลายผลผลิตในแปลงเกษตร และการแพร่กระจายของหนอนเจาะกระทู้ข้าวโพดลายจุดที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้หลายประเทศทั่วโลกให้ความสำคัญและทำการวิจัย เพื่อควบคุมการระบาดและลดผลกระทบของหนอนเจาะกระทู้ข้าวโพดลายจุดต่อพืชผลทางการเกษตร เช่น การใช้สารเคมี (Paredes-Sánchez *et al.*, 2021) การควบคุมทางชีววิธีโดยใช้ศัตรูธรรมชาติ ไวรัสเอ็นพีวี (nuclear polyhedrosis virus) และเชื้อแบคทีเรียบีที (*Bacillus thuringiensis*) (Raghunandan *et al.*, 2019; Horikoshi *et al.*, 2021; Nawanich *et al.*, 2022) ซึ่งการศึกษาลักษณะทางชีววิทยา ความต้องการทางโภชนาการและพฤติกรรมของหนอนเจาะกระทู้ข้าวโพดลายจุดจำเป็นต้องใช้ตัวอย่างจำนวนมากและต้องมีการควบคุมความผันแปรของตัวอย่างทดลอง เช่น อายุและสุขภาพของตัวอย่าง เพื่อให้การทดสอบมีผลทดสอบที่แม่นยำและกำจัดปัจจัยที่อาจมีผลกระทบต่อผลการทดลอง ดังนั้นอาหารเทียมของหนอนเจาะกระทู้ข้าวโพดลายจุดจึงมีบทบาทสำคัญต่อการเพาะเลี้ยงและการเจริญของหนอนเจาะกระทู้ข้าวโพดลายจุด ทำให้หนอนเจาะกระทู้ข้าวโพดลายจุดได้รับสารอาหารที่สม่ำเสมอและลดความผันแปรที่อาจเกิดขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับเพาะเลี้ยงด้วยพืชในตามธรรมชาติ รวมทั้งยังช่วยให้นักวิจัยสามารถเพาะเลี้ยงหนอนเจาะกระทู้ข้าวโพดลายจุดได้เป็นจำนวนมากเพียงพอต่อการทดลอง

โดยทั่วไปในระยะแรกของการเพาะเลี้ยงหนอนเจาะกระทู้ข้าวโพดลายจุดจะใช้ใบพืชเป็นอาหาร ต่อมาได้นำอาหารเทียมที่ส่วนประกอบของเคซีน (casein) และจมูกข้าวสาลี (wheat germ) มาแทนพืชสดในการเพาะเลี้ยงแบบจำนวนมากในห้องปฏิบัติการ (Burton, 1967) นอกจากนี้ยังได้มีการพัฒนาสูตรอาหารเทียมโดยใช้แหล่งโปรตีนอื่นมาแทนที่เคซีน ได้แก่ ถั่วปิ่นโต (pinto bean) (Bowling, 1967; Lynch *et al.*, 1989) ข้าวโพด (Pinto *et al.*, 2019) และถั่วขาว (Truzzi *et al.*, 2021) ซึ่งส่วนประกอบบางชนิดอาจมีราคาสูง เช่น ถั่วบราซิล (carioca bean) เมื่อเปรียบเทียบปริมาณโปรตีนในถั่วที่จำหน่ายในประเทศ พบว่า ถั่วเขียว (*Vigna radiata* (L.) R. Wilczek) มีค่าปริมาณโปรตีนสูงใกล้เคียงกับถั่วปิ่นโตและถั่วขาว (USDA, 2019) และเป็นแหล่งโปรตีนที่หาได้ง่ายและมีราคาถูกกว่า ดังนั้นวัตถุประสงค์ในการศึกษานี้เพื่อประเมินประสิทธิภาพของสูตรอาหารเทียมจากถั่วเขียวต่อการเจริญเติบโตตั้งแต่ระยะตัวหนอนจนถึงตัวเต็มวัย และการสืบพันธุ์ของหนอนเจาะกระทู้ข้าวโพดลายจุดภายใต้ห้องปฏิบัติการ เพื่อหาโปรตีนทดแทนแหล่งโปรตีนที่มีราคาแพง

Methodology

1. การเตรียมอาหารเทียม

อาหารเทียมที่ใช้สำหรับเลี้ยงตัวหนอนของหนอนเจาะกระทู้ข้าวโพดลายจุดในการทดลองได้ดัดแปลงจากสูตรอาหารเทียมของ Lynch *et al.* (1989) ดัง Table 1 ทำการผสมวุ้นและกรดซอร์บิก (sorbic acid) ในน้ำเดือด เมื่ออุณหภูมิเย็นลงถึง 70 องศาเซลเซียสจึงเติมถั่วเขียวบด จมูกข้าวสาลีและยีสต์ ผสมให้เข้ากัน เมื่ออุณหภูมิลดลงถึง 50-55 องศาเซลเซียสใส่กรดแอสคอร์บิก (ascorbic acid) 40 % ฟอรัมาดีไฮด์และ 0.1% amoxicillin trihydrate ผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน เทใส่กล่องพลาสติกที่มีฝาปิดและเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

Table 1 Comparison of ingredients between Lynch's and mung bean-based artificial diets

Ingredient	Artificial diet	
	Lynch et al. (1989)	Mung bean
Pinto bean	111 g	-
Mung bean	-	120 g
Yeast	33.8 g	10.0 g
Wheat germ	52.8 g	7.5 g
Agar	3.5 g	12.5 g
Ascorbic acid	3.4 g	2.5 g
Sorbic acid	1.1 g	1.5 g
Formaldehyde (%conc.)	8.4 ml (10%)	2 ml (40%)
Methy p-hydroxybenzoate	2.1 ml	-
0.1 % Amoxicillin trihydrate	-	20 ml
Distilled water	828 ml	700 ml

2. การเตรียมหนอนเจาะกระทุ้งข้าวโพดลายจุดสำหรับการทดลอง

หนอนเจาะกระทุ้งข้าวโพดลายจุดถูกเลี้ยงที่ห้องปฏิบัติการชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา ที่อุณหภูมิ 25 ± 2 องศาเซลเซียสและมีความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 80-90 เปอร์เซ็นต์ โดยนำระยะตัวหนอนของหนอนเจาะกระทุ้งข้าวโพดลายจุดจากศูนย์พันธุ์วิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ (ไบโอเทค) มาเลี้ยงในกล่องพลาสติกใส (กว้าง 8 x ยาว 13.5 x สูง 3.6 เซนติเมตร) พร้อมให้อาหารเทียมที่ทำจากถั่วเขียวเป็นอาหารแก่ตัวหนอนเมื่อตัวหนอนเข้าสู่ระยะที่ 3 ให้ทำการแยกใส่ถ้วยพลาสติกใสขนาด 59.14 มิลลิลิตร (2 ออนซ์) ถ้วยละ 1 ตัว เพื่อหลีกเลี่ยงการกินกันเอง เมื่อหนอนเจาะกระทุ้งข้าวโพดลายจุดเจริญเข้าสู่ระยะดักแด้จะถูกย้ายไปยังกรงโพลีเอสเตอร์ (กว้าง 30 x ยาว 30 x สูง 30 เซนติเมตร) เพื่อรอให้ฟักเป็นระยะตัวเต็มวัย (ผีเสื้อ) ภายในกรงจะถูกบุด้วยกระดาษไขสำหรับเป็นที่วางไข่ของผีเสื้อ หนอนเจาะกระทุ้งข้าวโพดลายจุด พร้อมวางถ้วยพลาสติกที่บรรจุน้ำเชื่อมเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์เพื่อเป็นอาหารสำหรับผีเสื้อเมื่อผีเสื้อหนอนเจาะกระทุ้งข้าวโพดลายจุดเพศเมียวางไข่ให้ทำการเก็บไข่บนกระดาษเพื่อนำไปใช้ในการศึกษาต่อไป

3. การศึกษาวงจรชีวิตของหนอนเจาะกระทุ้งข้าวโพดลายจุด

การศึกษาดังนี้ได้รับการอนุมัติการใช้สัตว์ทดลองในงานวิจัยจากคณะกรรมการกำกับดูแลการดำเนินการต่อสัตว์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม เลขที่ IACUC-MSU-25/2022 วันที่ 27 ตุลาคม 2565

ระยะไข่: ทำการสุ่มไข่ของหนอนเจาะกระทุ้งข้าวโพดลายจุดจากกลุ่มไข่จากกรงเพาะพันธุ์จำนวน 100 ฟอง มาศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์สเตอริโอทุกวันเป็นเวลา 1 สัปดาห์ เพื่อตรวจหาระยะเวลาในการฟักและอัตราการรอดชีวิต

ระยะตัวหนอน: นำตัวหนอนมาเลี้ยงในถ้วยพลาสติกใสขนาด 59.14 มิลลิตร ถ้วยละ 1 ตัว ให้อาหารเทียมปริมาณ 2 กรัมและเปลี่ยนอาหารทุกๆ 3 วัน นำตัวหนอนมาศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์สเตอริโอทุกวันจนตัวหนอนพัฒนาเป็นดักแด้ และตรวจสอบอัตราการรอดชีวิตของตัวหนอน

ระยะดักแด้: ทำการสุ่มตรวจช่องเปิดอวัยวะเพศของดักแด้ของหนอนเจาะกระทู้ข้าวโพดลายจุดจำนวน 50 ตัวพร้อมวัดขนาดความกว้างและความยาวของดักแด้ เพื่อหาอัตราส่วนเพศและเปรียบเทียบขนาดระหว่างเพศผู้และเพศเมีย ทำการตรวจการฟักเป็นผีเสื้อทุกวัน เพื่อหาระยะเวลาในการฟักเป็นระยะตัวเต็มวัยของดักแด้

ระยะตัวเต็มวัย: นำผีเสื้อหนอนเจาะกระทู้ข้าวโพดลายจุดเพศผู้และเพศเมียจำนวน 20 คู่มาเลี้ยงในกล่องพลาสติกใส (กว้าง 13.5 x ยาว 20.5 x สูง 7 เซนติเมตร) กล่องละ 1 คู่ ภายในกล่องบุด้วยกระดาษไขพร้อมทั้งวางถ้วยพลาสติกที่บรรจุน้ำเชื่อมเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์เพื่อเป็นอาหารแก่ตัวเต็มวัย ทำการตรวจหาและนับจำนวนไข่ที่วางบนกระดาษและถ้วยพลาสติกทุกวัน จนกระทั่งผีเสื้อเสียชีวิต

4. ค่าพารามิเตอร์จากตารางความอุดมพันธุ์ (fertility table)

นำข้อมูลจำนวนการรอดชีวิตและจำนวนไข่ของหนอนเจาะกระทู้ข้าวโพดลายจุดเพศเมียมาสร้างตารางความอุดมพันธุ์ (fertility table) เพื่อคำนวณหาอัตราการขยายพันธุ์สุทธิ (R_0 , net reproductive rate) ค่าสัมประสิทธิ์การเพิ่มทางพันธุกรรมของประชากร (r_c , capacity for increase of population) อัตราการเพิ่มที่แท้จริงของประชากร (λ , finite rate for increase of population) และชั่วอายุขัยของรุ่น (T_c , cohort generation time) ตามวิธีของ Neal (2004) ดังสมการต่อไปนี้

$$R_0 = \sum l_x m_x \quad (1)$$

$$T_c = \sum x l_x m_x / \sum l_x m_x \quad (2)$$

$$r_c = \ln R_0 / T_c \quad (3)$$

$$\lambda = e^{r_c} \quad (4)$$

โดย x คือ อายุของเพศเมีย (วัน)

l_x คือ สัดส่วนของจำนวนตัวที่มีชีวิตรอดที่อายุ x เมื่อเทียบกับช่วงเริ่มต้น

m_x คือ จำนวนไข่ที่จะฟักเป็นเพศเมียต่อเพศเมีย 1 ตัว

5. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ทำการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยโปรแกรม Excel เพื่อเปรียบเทียบขนาดของดักแด้และอายุของระยะตัวเต็มวัยระหว่างเพศผู้และเพศเมีย โดยตรวจสอบการแจกแจงแบบปกติ (normality) และความแปรปรวน (homogeneity of variance) ของข้อมูลด้วย Shapiro-Wilk test และ Levene's test จากนั้นทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วย Student's t-test

Results

วงชีวิตของหนอนเจาะกระทู้ข้าวโพดลายจุด

วงชีวิตของหนอนเจาะกระทู้ข้าวโพดลายจุดจะแบ่งออกเป็น 4 ระยะได้แก่ ระยะไข่ ระยะตัวหนอน ระยะดักแด้และระยะตัวเต็ม (Table 2)

Table 2 Life table of the *Spodoptera frugiperda* reared on a mung bean-based artificial diet

Stage		days (mean±SE)
Egg		4.04±0.10
Larvae	Instar I	3.45±0.05
	Instar II	3.00±0.00
	Instar III	2.97±0.02
	Instar IV	3.03±0.02
	Instar V	2.56±0.05
	Instar VI	2.41±0.05
	Instar VII	5.43±0.05
	Total	22.85±0.10
Pupae	Male	9.97±0.11
	Female	11.06±0.15
Adult	Male	11.06±0.15
	Female	16.84±1.14

ระยะไข่ ผีเสื้อหนอนเจาะกระทู้ข้าวโพดลายจุดเพศเมียจะเริ่มวางไข่ประมาณ 3-4 วัน หลังจากฟักออกจากดักแด้ โดยส่วนใหญ่พบวางไข่เป็นกลุ่มอยู่บนถ้วยพลาสติก อาจพบมีการวางไข่อยู่บนกระดาษ ไข่มีลักษณะกลม สีขาวและถูกปกคลุมด้วยเกล็ดที่มาจากส่วนท้องของผู้เสื้อเพศเมีย (Figure 1) ภายในภาวะห้องปฏิบัติการ ไข่จะใช้เวลาในการฟักเฉลี่ย 4.04 ± 0.10 วัน โดยระยะเวลาที่ใช้ในการฟักไข่น้อยที่สุด 3 วันและมากที่สุด 6 วัน

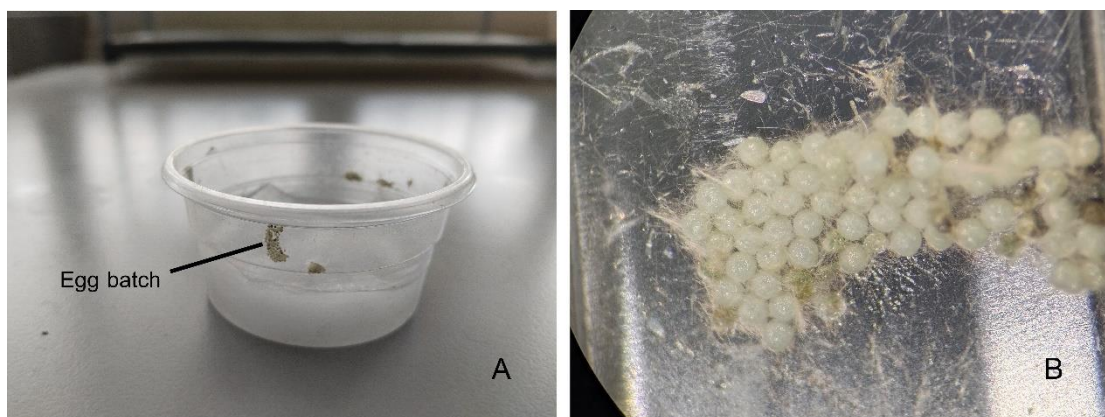


Figure 1 Egg stage of *Spodoptera frugiperda*: (A) egg batch on a plastic cup; (B) egg batch covered with scales

ตัวหนอนที่ฟักออกจากไข่จะมีส่วนหัวสีดำ ลำตัวสีขาว บริเวณลำตัวจะมีจุดสีดำด้านหลังและขนสั้นเล็ก ๆ เรียงตัวตลอดความยาวของลำตัว เมื่อตัวหนอนเจริญเติบโต ลำตัวจะค่อย ๆ มีสีเข้มขึ้นโดยจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลและมีเส้นสีขาวหรือเหลืองอ่อนบริเวณกึ่งกลางและด้านข้างลำตัว (Figure 2) ตัวหนอนจะลอกคราบทั้งหมด 7 ครั้งก่อนที่จะเข้าสู่ระยะดักแด้ ($n = 100$) ซึ่งจะสังเกตได้จากคราบของร่างกายและคราบหัวกะโหลกที่พบอยู่ในถ้วย (Figure 3) ระยะเวลาในการเจริญช่วงระยะตัวหนอนของหนอนเจาะกระทู้ข้าวโพดลายจุดจะใช้เวลาเฉลี่ย 22.85 ± 0.10 วัน (Table 2) ลักษณะที่เด่นชัดของตัวหนอนของหนอนเจาะกระทู้ข้าวโพดลายจุดคือ บริเวณด้านหลังของส่วนท้องปล้องที่ 1-7 จะพบจุดเรียงตัวเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมูและปล้องที่ 8 จะเรียงตัวเป็นรูปสี่เหลี่ยม ส่วนหัวจะมีสีน้ำตาลแดงและแถบสีขาวที่เป็นรูปตัวอักษร Y กลับหัว ซึ่งลักษณะดังกล่าวนี้จะเริ่มเด่นชัดในตัวหนอนระยะที่ 3 และเป็นระยะที่เริ่มมีพฤติกรรมการกินกันเอง (cannibalism)

ระยะดักแด้ ก่อนพัฒนาเข้าสู่ระยะดักแด้ หนอนจะหยุดกินอาหาร ดักแด้จะมีสีเขียวและเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลแดงภายใน 12-14 ชั่วโมง สามารถระบุเพศของหนอนเจาะกระทู้ข้าวโพดลายจุดได้จากช่องเปิดอวัยวะเพศบริเวณส่วนท้ายของปล้องท้อง การเคลื่อนย้ายดักแด้ควรรอให้ดักแด้มีอายุ 2-3 วันหรือให้มีสีน้ำตาลแดงเข้ม เนื่องจากในระยะแรกเปลือกของดักแด้จะอ่อนและแตกได้ง่าย ซึ่งช่องเปิดอวัยวะเพศของเพศเมียจะอยู่บนปล้องท้องปล้องที่ 7 ใกล้กับปล้องที่ 8 ส่วนช่องเปิดเพศผู้จะอยู่บนปล้องท้องปล้องที่ 9 (Figure 4) จากการตรวจเพศของดักแด้จำนวน 50 ตัว พบอัตราส่วนเพศผู้: เพศเมียเท่ากับ 1: 1.38

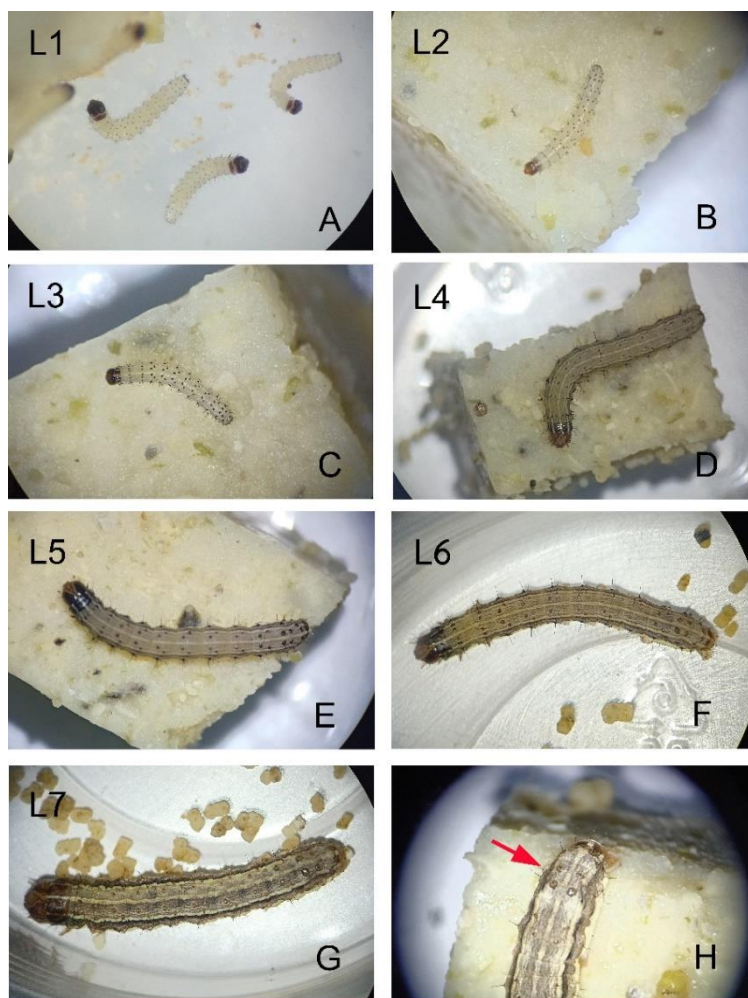


Figure 2 Larvae stage of *Spodoptera frugiperda*: (A) first instar (L1); (B) second instar (L2); (C) third instar (L3); (D) fourth instar (L4); (E) fifth instar (L5); (F) sixth instar (L6); (G) seventh instar (L7); and (H) arrow indicating the square-arranged spots on the dorsal side of the eighth abdominal segment



Figure 3 Inverted Y-shaped marking on the head capsule of the *Spodoptera frugiperda*



Figure 4 Genital openings of *Spodoptera frugiperda* pupae: male (left) and female (right)

การเปรียบเทียบขนาดดักแด้ระหว่างเพศผู้และเพศเมีย พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ความกว้าง, $t=1.546$, $p=0.129$; ความยาว, $t=-0.070$, $p=0.944$) โดยดักแด้เพศผู้จะกว้าง 3.93 ± 0.14 มิลลิเมตรและยาว 12.92 ± 0.23 มิลลิเมตร ขณะที่ดักแด้เพศเมียจะมีความกว้างและยาว 3.66 ± 0.10 มิลลิเมตรและ 12.96 ± 0.47 มิลลิเมตร ส่วนระยะเวลาในการฟักตัวของดักแด้ไปเป็นตัวเต็มวัยในภาวะห้องปฏิบัติการจะใช้เวลาเฉลี่ย 10.35 ± 0.11 วัน และดักแด้เพศผู้จะใช้เวลาฟักน้อยกว่าดักแด้เพศเมีย โดยเพศผู้จะใช้เวลาฟักตัวเฉลี่ย 9.97 ± 0.11 วัน ส่วนเพศเมียจะใช้เวลา 11.06 ± 0.15 วัน (Table 2) ระยะตัวเต็มวัย สามารถแยกเพศได้อย่างชัดเจน โดยดูลักษณะของปีกคู่หน้า ปีกคู่หน้าของผีเสื้อเพศผู้จะมีสีเทาและสีน้ำตาลอ่อน ตรงบริเวณปลายปีกจะมีแถบสีขาวรูปสามเหลี่ยมและจุดกลมตรงกลางปีก ส่วนปีกเพศเมียจะมีสีน้ำตาลแกมเทา ส่วนปีกคู่หลังของทั้งสองเพศจะมีเงินขาว (Figure 5) อายุขัยของเพศผู้จะน้อยกว่าเพศเมียอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($t=-3.136$, $p=0.003$) โดยเพศผู้จะมีอายุเฉลี่ย 12.06 ± 1.01 วัน ส่วนเพศเมียจะมีอายุเฉลี่ย 16.84 ± 1.14 วัน (Table 2)



Figure 5 Adult stage of *Spodoptera frugiperda*: male (left) and female (right). Arrow indicating male-specific characteristics, including a triangular white patch at the apical region and a circular spot at the center of the wing

ตารางความอุดมพันธุ์

จากการศึกษาโดยการจับคู่ผสมพันธุ์จำนวน 20 คู่และตรวจหาจำนวนไข่ที่ผลิตจนกระทั่งเสียชีวิต พบว่า ผีเสื้อเพดเมียจะเริ่มมีการวางไข่ประมาณ 4-5 วันหลังที่มีการจับคู่ โดยจะมีช่วงระยะเวลาวางไข่ 17 วันและวางไข่สูงสุดในวันที่ 6 (Figure 6) ในส่วนอัตราการรอดชีวิตของผีเสื้อเพดเมียจะเริ่มมีการตายในวันที่ 10 และมีอัตราการรอดชีวิตต่ำกว่า 50 เปอร์เซ็นต์หลังจากจับคู่ผสมพันธุ์ 2 สัปดาห์ ส่วนผลการผลการวิเคราะห์ค่าคุณลักษณะทางชีววิทยาจากตารางความอุดมพันธุ์จากผีเสื้อเพดเมีย 11 ตัว พบว่า ผีเสื้อหนอนเจาะกระทู้ข้าวโพดลายจุดมีค่าอัตราการขยายพันธุ์สุทธิ (R_0) เท่ากับ 384.86 เท่า (จำนวนลูกต่อตัวเมียหนึ่งตัว) ค่าสัมประสิทธิ์การเพิ่มทางพันธุกรรมของประชากร (r_0) เท่ากับ 0.13 ค่าอัตราการเพิ่มที่แท้จริงของประชากร (λ) เท่ากับ 1.14 และมีชั่วอายุขัยของรุ่น (T_0) เท่ากับ 45.77 วัน



Figure 6 Average number of offspring per female (m_x) and survival rate (l_x) of *Spodoptera frugiperla* reared on mung bean-based artificial diet

Discussion

จากการเพาะเลี้ยงหนอนเจาะกระทู้ข้าวโพดลายจุดด้วยอาหารเทียมจากถั่วเขียวภายในภาวะห้องปฏิบัติการพบว่า หนอนเจาะกระทู้ข้าวโพดลายจุดสามารถเจริญเติบโตครบทั้ง 4 ระยะ (ไข่ ตัวหนอน ดักแด้และตัวเต็มวัย) เช่นเดียวกับการเลี้ยงด้วยอาหารเทียมชนิดอื่น (Jaba *et al.*, 2020; He *et al.*, 2021; Truzzi *et al.*, 2021) เมื่อเปรียบเทียบระยะเวลาในการเจริญเติบโตของตัวหนอนที่เลี้ยงด้วยอาหารเทียมที่ใช้โปรตีนจากถั่วเขียวกับโปรตีนจากพืชอื่น ๆ พบว่ามีความแตกต่างในด้านระยะเวลาในการเจริญเติบโตดัง Table 3 ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ He *et al.* (2021) พบว่าปริมาณของโปรตีนในอาหารเทียมที่แตกต่างกันจะส่งผลต่อระยะเวลาในการเจริญระยะตัวหนอนของหนอนเจาะกระทู้ข้าวโพดลายจุด จากผลการ

ทดสอบที่เลี้ยงด้วยอาหารเทียมถั่วเขียวที่มีปริมาณโปรตีนน้อยสุด พบว่าตัวหนอนมีระยะเวลาในการเจริญเติบโตนานที่สุดคือ 22.85 วัน ขณะที่ตัวหนอนของหนอนเจาะกระทู้ข้าวโพดลายจุดที่เลี้ยงด้วยอาหารเทียมที่ใช้โปรตีนจากพืชชนิดอื่นที่มีปริมาณโปรตีนสูงกว่าใช้ระยะเวลาในการเจริญเติบโตน้อยกว่า ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Sarate *et al.* (2012) ที่พบว่าโปรตีนเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อระยะเวลาในการเจริญเติบโตในระยะตัวอ่อนของแมลงและจากการทดสอบให้ตัวหนอนของหนอนเจาะสมอฝ้าย (*Helicoverpa armigera*) กินอาหารที่มีโปรตีนสูงจะส่งผลให้ตัวหนอนมีการเจริญเติบโตเร็วและมีระยะเวลาน้อยกว่าตัวหนอนที่กินอาหารที่มีโปรตีนต่ำ อย่างไรก็ตามจากการศึกษาของ Truzzi *et al.* (2021) ที่เปรียบเทียบระยะเวลาในการเจริญระยะตัวหนอนของหนอนเจาะกระทู้ข้าวโพดลายจุดที่เลี้ยงด้วยอาหารเทียมที่เพิ่มปริมาณโปรตีน 2 เท่าพบว่า ไม่มีความแตกต่างของระยะเวลาในการเจริญระยะตัวหนอนและจำนวนไข่ที่ผลิตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเลี้ยงด้วยอาหารเทียมที่มีการเพิ่มปริมาณโปรตีน นอกจากปริมาณโปรตีนในอาหารที่ส่งผลต่อระยะเวลาในการเจริญเติบโตของตัวหนอน ยังมีปัจจัยทางด้านคุณภาพของอาหารเทียม เช่น ความแข็ง ปริมาณน้ำในอาหาร รวมทั้งสารประกอบอื่นๆ ในพืช เช่น สารอัลคาลอยด์ กลูโคซิโนเลต สารยับยั้งโปรตีน กรดไขมันและกรดอะมิโนที่ส่งผลกระทบการกินและการย่อยอาหารของแมลง ทำให้แมลงเติบโตช้าและจำนวนไข่ที่ผลิตลดลง (Cunha *et al.*, 2008; Panizzi & Parra, 2009)

จากค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากตารางความอุดมพันธุ์ของหนอนเจาะกระทู้ข้าวโพดลายจุดที่เลี้ยงด้วยอาหารเทียมจากถั่วเขียว พบว่าค่า r_c มีค่ามากกว่า 0 และ λ มีค่ามากกว่า 1 แสดงให้เห็นว่ามีการเติบโตของประชากรที่เพาะเลี้ยง (Neal, 2004) และอาหารเทียมจากถั่วเขียวมีความเหมาะสมในการเลี้ยงหนอนเจาะกระทู้ข้าวโพดลายจุด เมื่อเปรียบค่า R_0 พบว่าอาหารเทียมจากถั่ว carioca ให้จำนวนลูกสูงสุดคือ 755.40 ตัวต่อเพศเมีย 1 ตัว ส่วนอาหารเทียมจากถั่วเขียวถึงแม้ว่าจะผลิตลูกน้อยกว่าถั่ว carioca แต่ก็สูงกว่าอาหารเทียมจากถั่วเหลือง 3.32 เท่าและอาหารเทียมจากถั่วขาว 1.50 เท่า ขณะที่ระยะเวลาที่ใช้เพิ่มประชากรของหนอนเจาะกระทู้ข้าวโพดลายจุดที่เลี้ยงด้วยอาหารเทียมจากถั่วเขียวนานที่สุด เนื่องจากมีระยะเจริญของตัวหนอนที่นานกว่า

Conclusions

จากการเพาะเลี้ยงหนอนเจาะกระทู้ข้าวโพดลายจุดด้วยอาหารเทียมจากถั่วเขียวภายในภาวะห้องปฏิบัติการพบว่า หนอนเจาะกระทู้ข้าวโพดลายจุดมีการเจริญเติบโตดีในห้องปฏิบัติการ สามารถสืบพันธุ์และวางไข่เป็นจำนวนมาก ถึงแม้ว่าระยะเวลาในการเพาะเลี้ยงหนอนเจาะกระทู้ข้าวโพดลายจุดด้วยอาหารเทียมจากถั่วเขียวจะนานกว่าสูตรอาหารเทียมจากถั่วขาวและถั่วป่นโต แต่ผลผลิตลูกที่ได้มากกว่า รวมทั้งถั่วเขียวเป็นวัสดุที่หาได้ง่าย ดังนั้นการเพาะเลี้ยงด้วยอาหารเทียมจากถั่วเขียวจึงสามารถนำมาใช้ทดแทนและเหมาะสมกว่าในการนำมาใช้เพาะเลี้ยงหนอนเจาะกระทู้ข้าวโพดลายจุดเพื่อใช้ในการทดลอง

Table 3 Comparison of developmental time and fertility table parameters of *Spodoptera frugiperda* reared on mung bean and other plant protein-based artificial diets

Plant protein in artificial diets (g)	Protein * (g/100g)	Total protein	Developmental time of larvae stage (days)	Fertility table parameters				References
				R_0	r_c	λ	T_c	
Mung bean (120)	7.02	8.42	22.85±0.10	384.86	0.13	1.14	45.77	This research
Sorghum (270)	8.27	22.33	18.00±0.00	-	-	-	-	Jaba <i>et al.</i> (2020)
Sorghum (75) + Chickpea (265)	8.27 8.86	29.68	17.00±0.00	-	-	-	-	Jaba <i>et al.</i> (2020)
Chickpea (75)	8.86	6.64	12.28±0.12	-	-	-	-	Kranthi <i>et al.</i> (2021)
Chickpea (100)	8.86	8.86	14.50±0.00	-	-	-	-	Lekha <i>et al.</i> (2020)
Soybean (100)	18.20	18.20	14.00±0.00	-	-	-	-	Lekha <i>et al.</i> (2020)
Soybean (250)	18.20	45.5	14.10±0.00	115.77	0.13	1.14	36.84	He <i>et al.</i> (2021)
White bean (120)	23.40	28.08	17.90±0.22	255.86	0.20	1.22	27.80	Truzzi <i>et al.</i> (2021)
Carioca bean (240)	25.2	60.48	15.6±0.16	755.40	0.23	1.26	29.10	Pinto <i>et al.</i> (2019)

* Data from USDA (2019)

Acknowledgments

ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและมหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยาที่ให้การสนับสนุนเครื่องมือและสถานที่ทำการวิจัย

References

- Bowling, C.C. (1967). Rearing of Two Lepidopterous Pests of Rice on a Common Artificial Diet. *Annals of the Entomological Society of America*, 60(6), 1215–1216.
- Burton, R.L. (1967). Mass rearing the fall armyworm in the laboratory. *Agricultural Research Service, U.S. Dept. of Agriculture*, 33-117.
- Cunha, U.S., Martins, J.F.S., Porto, P.M., Garcia, S.M., Bernardi, O., Trecha, O.C., Bernadi, D., Jardim, O.E., & Bac, U.C.E. (2008). Resistência de milho para cultivo em várzeas subtropicais à lagarta-do-cartucho *Spodoptera frugiperda*. *Ciência. Rural*, 38, 1125-1128.
- Goergen, G., Kumar, P.L., Sankung, S.B., Togola, A., & Tamò, M. (2016). First report of outbreaks of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (J E Smith) (Lepidoptera, Noctuidae), a new alien invasive pest in West and Central Africa. *PLoS ONE*, 11(10), 1-9.
- He, L., Wang, T., Chen, Y., Ge, S., Kris, A.G.W., & Wu, K. (2021). Larval diet affects development and reproduction of East Asian strain of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*. *Journal of Integrative Agriculture*, 20(3), 736–744.
- Horikoshi, R.J., Vertuan, H., de Castro, A.A., Morrell, K., Griffith, C., & Evans. A. (2021). A new generation of Bt maize for control of fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*). *Pest Management Science*, 77(8), 3727–3736.
- IPPC. (2018). *First detection of Fall Army Worm on the border of Thailand*. <https://www.ippc.int/en/countries/thailand/pestreports/2018/12/first-detection-of-fall-army-worm-on-the-border-of-thailand/>
- Jaba, J., Sathish, K., & Mishra, S.P. (2020). Biology of fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) on artificial diets. *Indian Journal of Entomology*, 82(3), 543-546.
- Kranthi, P., Devi, R.S., Rajanikanth, P., & Ramya, V. (2021). Biology of an invasive fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) on chickpea flour based artificial diet. *The Pharma Innovation Journal* 10(10), 1449-1452.

- Lekha, Mahla, M.K., Swami, H., Vyas, A.K., & Ahir, K.C. (2020). Biology of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) on different artificial diets. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 8(1), 584-586.
- Lynch, R.E., Nwanze, K.F., Wiseman, B.R., & Perkin, W.D. (1989). Fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) development and fecundity when reared as larvae on different meridic diets. *Journal of Agricultural Entomology*, 6(2), 101-111.
- Montezano, D.G., Specht, A., & Sosa-Gómez, D.R. (2019). Developmental Parameters of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) Immature Stages Under Controlled and Standardized Conditions. *Journal of Agricultural Science*, 11(8), 76-89.
- Nawanich, S., Junta-ud, N., Promnaret, A., & Uraichuen, S. (2022). Natural parasitism of egg parasitoid and biology of *Telenomus remus* Nixon (Hymenoptera: Scelionidae) on fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). *Agricultural Science Journal*, 53(3), 242-255.
- Neal, D. (2004). Introduction to Population Biology. United Kingdom: Cambridge University Press.
- Panizzi, A.R., & Parra, J.R.P. (2009). Bioecologia e a nutrição de insetos – Base para ao manejo integrado de pragas. Brazil: Embrapa.
- Paredes-Sánchez, F.A., Rivera, G., Bocanegra-García, V., Martínez-Padrón, H.Y., Berrones-Morales, M., & Niño-García, N. (2021). Advances in Control Strategies against *Spodoptera frugiperda*. *Molecules*, 26(18), 5587.
- Pinto, J.R.L., Torres, A.F., Truzzi, C.C., Vieira, N.F., Vacari, A.M., & De Bortoli, S.A. (2019). Artificial Corn-Based Diet for Rearing *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Insect Science*, 19(4), 1-8.
- RaghuNandan, B.L., Patel, N.M., Dave, H.J., & Mehta, D.M. (2019). Natural occurrence of nucleopolyhedrovirus infecting fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) in Gujarat, India. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 7(2), 1040-1043.

- Sarate, P.J., Tamhane, V.A., Kotkar, H.M., Ratnakaran, N., Susan, N., Gupta, V.S., & Giri, A.P. (2012). Developmental and digestive flexibilities in the midgut of a polyphagous pest, the cotton bollworm, *Helicoverpa armigera*. *Journal of Insect Science*, 12(1), 42.
- Sharanabasappa, Kalleshwaraswamy, C.M., Maruthi, M.S., & Pavithra, H.B. (2018). Biology of invasive fall army worm *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) on maize. *Indian Journal of Entomology*, 80(3), 540-543.
- Truzzi, C.C., Vieira, N.F., de Souza, J.M., & De Bortoli, S.A. (2021). Artificial diets with different protein Levels for rearing *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Insect Science*, 21(4), 1-7.
- USDA. (2019). *FoodData central*. <https://fdc.nal.usda.gov/index.html>