

ผลของอาหารต่อการเจริญเติบโต การวางไข่ และคุณภาพของแมลงโปรตีน, *Hermetia illucens* L. (Diptera: Stratiomyidae)

Effect of diets on growth, oviposition and quality of the black soldier fly, *Hermetia illucens* L. (Diptera: Stratiomyidae)

บวรทัช สิงห์เดช¹ และ ยุพา หาญบุญทรง^{1*}

Boworntuch Singdet¹ and Yupa Hanboonsong^{1*}

¹สาขาวิชาภูมิวิทยาและโรคพืชวิทยา คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จ.ขอนแก่น 40002

¹Department of Entomology and Plant Pathology, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University, Khon Kaen 40002, Thailand

บทคัดย่อ: แมลงโปรตีนมีประสิทธิภาพในการกินและเปลี่ยนเศษเหลือทิ้งอินทรีย์ที่กินให้เป็นมวลชีวภาพที่มีโปรตีนและไขมันสูง สามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของเศษเหลือทิ้งอินทรีย์ต่อการเจริญเติบโต การวางไข่ของแมลงโปรตีน และคุณภาพของระยะก่อนเข้าดักแด้ (prepupa) วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์โดยใช้อาหารเลี้ยงแมลงมี 4 กรรมวิธีๆ ละ 5 ซ้ำ แต่ละซ้ำใช้แมลง 200 ตัว ได้แก่ 1) กลุ่มควบคุม คือ กากเบียร์ผสมกากเนื้อในปาล์ม 2) กลุ่มโปรตีน คือ เศษอาหารผสมผักผลไม้ผสมกากเบียร์ 3) กลุ่มไขมัน คือ เศษอาหารผสมผักผลไม้ผสมหนังไก่ และ 4) กลุ่มเยื่อใย คือ เศษอาหารผสมผักผลไม้ผสมขานอ้อยหมัก ผลการศึกษาพบว่า อาหารทั้ง 4 กลุ่ม มีผลต่อระยะ prepupa มีค่าโภชนาการ ที่มีโปรตีนร้อยละ 44-46 และไขมันร้อยละ 21-26 โดยอาหารกลุ่มโปรตีนให้ระยะ prepupa ที่มีโปรตีนมากที่สุดร้อยละ 46 มีน้ำหนัก prepupa 0.17 กรัม/ตัว มากกว่าที่เลี้ยงด้วยกลุ่มเยื่อใย (0.15 กรัม/ตัว) ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.01$) ระยะตัวหนอนมีการเจริญเติบโตรวดเร็ว ใช้เวลาสั้น 16.73 วัน การรอดชีวิตของตัวหนอนสูงร้อยละ 95.50 สัดส่วนเพศผู้ต่อเพศเมีย 0.85 : 1 ส่วนกลุ่มอาหารที่ไม่เหมาะสม คือกลุ่มไขมัน ถึงแม้ว่าจะได้น้ำหนัก prepupa สูงที่สุด 0.18 กรัม/ตัว แต่การรอดชีวิตของระยะตัวหนอนน้อยที่สุดร้อยละ 63.80 และตัวหนอนใช้ระยะเวลาในการเจริญเติบโตนานที่สุด 22.45 วัน แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.01$) กับกลุ่มอื่น ๆ สรุปได้ว่าอาหารที่เหมาะสมในการเลี้ยงแมลงโปรตีน คืออาหารกลุ่มโปรตีน ซึ่งพิจารณาจากระยะตัวหนอนมีการเจริญเติบโตรวดเร็ว การรอดชีวิตของตัวหนอนมากที่สุด มีผลผลิตน้ำหนักรวม prepupa มาก ได้สัดส่วนเพศเมียมากกว่าเพศผู้ และมีต้นทุนการผลิตต่ำเพียง 1.80 บาทต่อการผลิต prepupa 1 กิโลกรัม

คำสำคัญ : แมลงวันลาย; ขยะอินทรีย์; เศษอาหาร; แมลงสำหรับอาหารสัตว์; โปรตีนจากแมลง

ABSTRACT: The black soldier fly, *Hermetia illucens* L. is efficient at consuming and converting organic wastes into biomass with high protein and fat which can be used in the animal feed industry. The objective of this research was to study the effect of different organic waste diets on growth performance, oviposition, and quality of the black soldier fly prepupa. The experiment was performed using a completely randomized design with four treatments, five replications per treatment, and 200 insects per replication. Treatments were four different diet groups. 1) Control group: a mixture of brewer's grain and palm kernel meal 2) Protein group: a mixture of food waste, fruit + vegetable waste and brewer's spent grain 3) Fat group: a mixture of food waste, fruit + vegetable waste and chicken skin, and 4) Fiber group: a mixture of food waste, fruit + vegetable waste and

* Corresponding author: yupa_han@kku.ac.th

Received: date; April 1, 2022 Accepted: date; May 19, 2022 Published: date; , 2022

fermented bagasse. The results of proximate analysis showed that nutrient content of prepupa reared on four diet groups yielded 44-46 % crude protein and 21-26 % ether extract. The protein diet group gave the highest crude protein content of 46 % in prepupa and a prepupa weighed 0.17 grams, statistically significantly ($P \leq 0.01$) higher than that of groups fed by fiber (0.15 grams/prepupa). The larvae grew rapidly, taking a short development time of 16.73 days and the survival rate of the larva was high at 95.50%. The sex ratio of males to females was 0.85:1.00. The fat diet was not a suitable diet for insect rearing. Although the weight of the prepupa fed on fat diet was as high as 0.183 grams/one prepupa, the larval survival rate was the lowest at 63.80 %, statistically significantly ($P \leq 0.01$) different from the other 3 diet groups. The larvae took the longest growth development time at 22.45 days. In conclusion, the protein diet is the most suitable diet for rearing black soldier fly considering faster larval development time, the highest larval survival rate, the high total yield of prepupa, greater female proportion, and the low production cost of 1.80 baht per one kg of prepupa.

Keywords: black soldier fly; organic waste; food waste; insect for animals feed; insect protein

บทนำ

แมลงโปรตีนหรือแมลงวันลาย (Black Soldier Fly) ชื่อวิทยาศาสตร์ *Hermetia illucens* L. วงศ์ Stratiomyidae อันดับ Diptera เป็นแมลงสองปีก มีถิ่นกำเนิดอยู่ที่ทวีปอเมริกา ปัจจุบันพบได้ทั่วไปในสภาพภูมิอากาศเขตร้อนและเขตอบอุ่น รวมทั้งประเทศไทย (Sheppard et al., 1994) ตัวเต็มวัยไม่กินอาหาร ไม่เป็นศัตรูพืชและไม่นำโรค (Newton et al., 2005) ตัวหนอนกินซากอินทรีย์ได้หลากหลายชนิด รวมทั้งเศษเหลือทิ้งทางการเกษตร ขยะอินทรีย์ในชุมชน ปุ๋ยคอก มูลสัตว์ต่างๆ และ อูจจาระมนุษย์ (Hem et al., 2008; Myers et al., 2008; Diener et al., 2011; Lalander et al., 2013; Banks et al., 2014; Nguyen et al., 2015) โดยระยะตัวหนอนสามารถกินเศษเหลือทิ้งอินทรีย์ได้อย่างน้อยร้อยละ 42-56 และเปลี่ยนเป็นมวลชีวภาพที่มีคุณภาพโภชนาการสูง (Newton et al., 2005 และ Gobbi et al., 2013) ซึ่งเมื่อตัวหนอนพัฒนาเป็นระยะก่อนเข้าดักแด้ (prepupa) เป็นระยะที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง โดยมีโปรตีนร้อยละ 42-50 และไขมันร้อยละ 29-35 เหมาะสำหรับนำไปเป็นอาหารสัตว์ (Wang and Shelomi, 2017) และระยะตัวหนอนสามารถนำมาใช้ในการกำจัดขยะอินทรีย์ที่เป็นปัญหาของสิ่งแวดล้อม แนวโน้มของปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นทั่วประเทศไทย มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นในทุกปี โดยในปี 2564 มีปริมาณขยะมูลฝอยเฉลี่ยที่ 16,946 กิโลกรัมต่อคนต่อปี (สำนักเลขาธิการคณะรัฐมนตรี, 2564) ส่วนในภาคเกษตรกรรมและโรงงานอุตสาหกรรมมีของเสียที่เป็นขยะอินทรีย์จากกระบวนการผลิตหลายชนิด เช่น ปาล์มน้ำมัน พืชเศรษฐกิจของประเทศไทยที่ปลูกกันมาก พื้นที่การเพาะปลูก ปาล์มน้ำมันในประเทศ ประมาณ 6,081,584 ไร่ และให้ผลผลิตปาล์มน้ำมันมากกว่า 16,372,396 ตัน/ปี (ศูนย์ข้อมูลเกษตรแห่งชาติ, 2564) และในกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์ม ทำให้เกิดเศษเหลือทิ้งอินทรีย์จากการผลิต คือ กากเนื้อในเมล็ดปาล์ม ประมาณร้อยละ 45-46 (Devendra and Muthurajah, 1976) อุตสาหกรรมการผลิตเบียร์ ในประเทศไทยมีโรงงานผลิตเบียร์อยู่ทุกภูมิภาค และมีแนวโน้มการผลิตเพิ่มขึ้น ซึ่งในกระบวนการผลิตเบียร์ปริมาณ 100 ลิตร มีเศษกากเบียร์เหลือทิ้ง ประมาณ 20 กิโลกรัม (Mohammed et al., 2019) ดังนั้นการนำแมลงโปรตีนมาใช้ในการกำจัดเศษเหลือทิ้งอินทรีย์เหล่านี้จึงเป็นทางเลือกที่ดี และตัวหนอนของแมลงโปรตีนสามารถใช้เศษเหลือทิ้งอินทรีย์ในการดำรงชีพและเจริญเติบโต และเปลี่ยนเป็นตัวหนอนที่มีองค์ประกอบทางเคมีโดยเฉพาะโปรตีนที่มีคุณค่าทางโภชนาการที่สูงใกล้เคียงกับปลาป่น ซึ่งปัจจุบันอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ทั้งในและต่างประเทศต้องใช้ปลาป่นเป็นวัตถุดิบโปรตีนในการผลิตอาหารสัตว์เป็นจำนวนมาก แต่ปริมาณการผลิตปลาป่นมีแนวโน้มลดลง ทำให้ราคาปลาป่นปรับสูงขึ้น ในปี 2564 ประเทศไทยนำเข้าปลาป่น 73,942 ตัน เพื่อเป็นวัตถุดิบในการผลิตอาหารสัตว์เพิ่มขึ้นร้อยละ 31 เนื่องจากปริมาณผลผลิตปลาป่นในประเทศลดลง (กรมการค้าภายใน, 2565) การใช้แมลงโปรตีนจึงเป็นทางเลือกที่มีศักยภาพในการนำมาใช้ทดแทนปลาป่นได้ ซึ่งแมลงโปรตีนสามารถเลี้ยงเพื่อผลิตเชิงอุตสาหกรรมได้ และเป็นที่ยอมรับในการใช้เป็นวัตถุดิบโปรตีนของการผลิตอาหารได้ โดยในปี 2560 สหภาพยุโรป มีการปรับปรุงกฎระเบียบฉบับที่ EU 2017/893 ให้ใช้โปรตีนจากแมลงในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์น้ำได้ และในเดือนสิงหาคม 2564 ได้เพิ่มกฎระเบียบฉบับที่ EU 2021/1372 ได้

อนุญาตให้ใช้โปรตีนจากแมลงในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ปีกและสุกรได้ อย่างไรก็ตามการผลิตแมลงให้ได้อย่างต่อเนื่องมีปริมาณมากและมีคุณภาพโภชนาการสูงอย่างสม่ำเสมอ จำเป็นต้องมีกระบวนการผลิตแมลงที่มีประสิทธิภาพโดยเฉพาะการจัดปัจจัยทางชีวภาพ เช่น อาหารที่ใช้เลี้ยงแมลง จากงานวิจัยต่างประเทศ Yurina and Karagodin (2018) รายงานการเลี้ยงหนอนแมลงโปรตีนด้วยเมล็ดข้าวโพดบด รำข้าวสาลี เศษหัวบีทและกากเบียร์ พบว่าอาหารที่มีปริมาณเซลลูโลสสูงทำให้อัตราการเจริญเติบโตและการพัฒนาของหนอนแมลงโปรตีนไม่ดี ดังนั้นอาหารที่ใช้เลี้ยงจำเป็นต้องมีการผสมวัตถุดิบหลายชนิดที่ทำให้มีสารอาหารที่ดีต่อการเจริญเติบโตของหนอนแมลงโปรตีนส่งผลให้ได้ผลผลิตเพิ่มมากขึ้น การศึกษาของ Tschirner and Simon (2015) พบว่าหนอนแมลงโปรตีน สามารถกินอาหารกลุ่มที่มีคาร์โบไฮเดรตและโปรตีนได้อย่างรวดเร็ว ทำให้มีอัตราการเจริญเติบโตดีและได้ผลผลิตมากกว่าอาหารกลุ่มที่มีเยื่อใยสูง สำหรับประเทศไทยมีเพียงรายงานการวิจัยชนิดอาหารที่ใช้เลี้ยงแมลงโปรตีน โดยกุลชาติ และ ทศนีย์ (2552) ที่ได้นำเศษสับประสมมาเลี้ยงหนอนแมลงโปรตีน ดังนั้นการศึกษาหาชนิดอาหารจากเศษเหลือทิ้งอินทรีย์ต่างๆ ภายในประเทศเพื่อการเพาะเลี้ยงและผลิตแมลงโปรตีนให้มีคุณค่าทางโภชนาการที่ดี เหมาะสมสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตอาหารสัตว์จึงมีความจำเป็น ดังนั้นวัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้เพื่อ ศึกษาชนิดอาหารจากเศษเหลือทิ้งอินทรีย์ต่างๆ ในท้องถิ่นที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและการวางไข่ ตลอดจนมีคุณภาพทางโภชนาการที่ดีของแมลงโปรตีน ที่จะสามารถนำไปใช้เป็นวัตถุดิบโปรตีนทางเลือกสำหรับอุตสาหกรรมการผลิตอาหารสัตว์อย่างยั่งยืนของประเทศ

วิธีการศึกษา

การเลี้ยงแมลงเพื่อการทดลอง

แมลงโปรตีนในระยะหนอนอายุ 5 วันได้รับจากโรงเรือนต้นแบบวิจัยผลิตแมลงอุตสาหกรรม คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น นำหนอนมาเลี้ยงเพื่อใช้เป็นพ่อแม่พันธุ์ด้วยส่วนผสมของอาหารไก่พื้นเมืองเบทาโกร 215 ที่มีโปรตีนร้อยละ 14 และกากเต้าหู้ ในห้องควบคุมอุณหภูมิ 28 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นร้อยละ 60 ถึง 70 ช่วงแสง (LD 12:12) เมื่อหนอนเข้าดักแด้ นำมาไว้ในที่อุณหภูมิห้อง 30 ถึง 32 องศาเซลเซียส จนดักแด้ออกเป็นตัวเต็มวัย ย้ายเข้าโรงเรือนตาข่าย (net house) เพื่อให้แมลงผสมพันธุ์และวางไข่ เก็บไข่ทุกวัน นำไข่มาฟักที่อุณหภูมิห้อง 30 ถึง 32 องศาเซลเซียส ความชื้นร้อยละ 70 ถึง 80 โดยนำกลุ่มไข่วางในภาชนะเลี้ยงที่มีอาหารขนาด กว้างxยาวxสูง เท่ากับ $33 \times 51 \times 11$ เซนติเมตร เลี้ยงหนอนจนมีอายุ 5 วัน จากนั้นนำหนอนอายุ 5 วันมาใช้ในการทดลอง

การเตรียมอาหารที่ใช้ในการทดลอง

การศึกษามูลของอาหารต่อการเจริญเติบโตของแมลงโปรตีน ใช้อาหาร 4 กลุ่ม ได้แก่ 1) กลุ่มควบคุม (ใช้สูตรการเลี้ยงแมลงโปรตีนจากโรงเรือนต้นแบบวิจัยผลิตแมลงอุตสาหกรรม คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น) คือ กากเบียร์ผสมกากเนื้อในปาล์ม อัตราส่วน 1:1 2) กลุ่มโปรตีน คือ เศษอาหารผสมผักผลไม้ และกากเบียร์ อัตราส่วน 1:1:2 3) กลุ่มไขมัน คือ เศษอาหารผสมผักผลไม้ และหนังไก่ อัตราส่วน 1:1:2 และ 4) กลุ่มเยื่อใย คือ เศษอาหารผสมผักผลไม้ และขานอ้อยหมัก อัตราส่วน 1:2:1 ซึ่งลักษณะของเนื้ออาหารที่ใช้ ได้แก่ กากเบียร์แห้งนำมาเติมน้ำเพื่อให้ได้ความชื้นประมาณร้อยละ 70 กากปาล์มในเนื้อมีลักษณะเป็นผงร่วนซุย อ่อน สีนํ้าตาล เศษอาหารจากโรงอาหารของมหาวิทยาลัยขอนแก่น ประกอบด้วย ข้าว เศษชิ้นเนื้อ ไข่ไก่ เส้นก๋วยเตี๋ยว เศษผลไม้ประกอบด้วย สับประต แคนตาลูป เศษผักประกอบด้วย กะหล่ำปลี คื่นช่าย ผักบุ้ง แครอท แตงกวา ฟักทอง ส่วนขานอ้อยหมักโดยใช้ยูเรียและกากนํ้าตาล สัดส่วนเท่ากันใช้เวลาหมัก 21 วัน ก่อนนำอาหารมาทดลอง นำอาหารแต่ละชนิดมาหั่นเป็นชิ้นขนาดเล็กและวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีของอาหารที่ใช้ทดลองดังแสดงใน Table 1

Table 1 Nutrient content in four different diets tested

Rearing diets	Percentage							Gross energy (kcal/kg)
	Dry matter	Moisture	Crude protein	Crude fat	Crude fiber	Ash	Carbohydrate	
1.Control group (brewer's grain + palm kernel meal (1:1))	97.02	2.98	21.27	8.25	14.58	3.94	48.98	4494
2.Protein group (food waste + mixture of fruit and vegetable waste + brewer's grain (1:1:2))	95.43	4.57	24.37	5.51	10.26	3.47	51.82	4658
3.Fat group (food waste + mixture of fruit and vegetable waste + chicken skin (1:1:2))	97.5	2.5	22.72	56.35	2.71	1.47	13.80	6656
4.Fiber group (food waste + mixture of fruit and vegetable waste + fermented bagasse (1:2:1))	94.94	5.06	18.07	4.18	15.03	5.13	52.53	4264

การทดสอบการเลี้ยงหนอนแมลงโปรตีนด้วยอาหารต่าง ๆ

การศึกษาผลของกลุ่มอาหาร 4 ต่อการเจริญเติบโตของแมลงโปรตีน ทำการวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design; CRD) จำนวน 5 ซ้ำ กรรมวิธี คือกลุ่มอาหาร 4 ชนิด ในข้อ 2 ซึ่งน้ำหนักอาหารเริ่มต้นแต่ละชนิดจำนวน 60 กรัม ใส่ลงในกล่องพลาสติกขนาด 16x28x8 เซนติเมตร ปิดฝากล่องที่เจาะรูด้วยผ้าใยบัว เพื่อระบายอากาศ แต่ละใส่หนอนแมลงโปรตีน อายุ 5 วัน จำนวน 200 ตัว เติมน้ำอาหารทุก 2-3 วันตามความเหมาะสม ทดสอบการเลี้ยงหนอนในช่วงเดือนมกราคม ถึง มีนาคม 2564 ในสภาพควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 28 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นร้อยละ 60 ถึง 70 ช่วงแสง (L:D 12:12)

บันทึกผลการทดลอง บันทึกระยะเวลาการเจริญเติบโตของตัวหนอน ระยะก่อนเข้าดักแด้ (prepupa) ตัวเต็มวัย การรอดชีวิต น้ำหนักของ prepupa การฟักเป็นตัวเต็มวัย สัดส่วนเพศของตัวเต็มวัย จำนวนและน้ำหนักไข่ ปริมาณอาหารที่ตัวหนอนกิน อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (Feed Conversion Ratio) (โดยคำนวณจากปริมาณอาหารที่กิน/น้ำหนักรวมของ prepupa) และต้นทุนค่าอาหาร

การตรวจวิเคราะห์หาค่าโภชนาการ (proximate analysis)

นำอาหารที่ใช้เลี้ยงหนอนจากข้อ 2 และระยะก่อนเข้าดักแด้ (prepupa) นำมาวิเคราะห์ทางเคมีเพื่อหาค่าทางโภชนาการ (proximate analysis) ได้แก่ โปรตีน เยื่อใย ไขมัน คาร์โบไฮเดรต เถ้า ความชื้น และ พลังงาน โดยเก็บตัวอย่างหนอนเมื่อตัวหนอนเริ่มเป็นระยะก่อนเข้าดักแด้ ไม่เกิน 1 วัน หลังจากนั้นทำให้แมลงระยะ prepupa ตายโดยเก็บในตู้แช่แข็งที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส

การวิเคราะห์หาค่าโภชนาการของอาหารที่ใช้เลี้ยงหนอนและระยะก่อนเข้าดักแด้ โดยชั่งน้ำหนักตัวอย่างสดชนิดละ 300-500 กรัม ใส่ถาดอลูมิเนียม เคลือบให้ทั่วถาด นำเข้าตู้อบ (Hot Air Oven) อบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3-4 วัน หรือจนกว่าจะแห้ง แล้วมาบดละเอียดให้เป็นผง ให้น้ำหนักแห้ง 50 กรัม ต่อดัวย่าง และนำไปวิเคราะห์ทางเคมี ด้วยวิธีดังนี้ วัตถุแห้ง (dry matter) และ ความชื้น (moisture) โดยวิธีการ AOAC official method 934.01 เถ้า (ash) โดยวิธีการ AOAC official method 942.05 ไขมันหยาบ (crude fat) โดยวิธีการ AOAC official method 2003.05 (Soxhlet extraction) โปรตีนหยาบ (crude protein) โดยวิธีการ AOAC official method 990.03 (combustion method) เยื่อใยหยาบ (crude fiber) โดยวิธีการ Fibretherm method (Gerhart Fibretherm, C.Gerhart GmbH & Co. KG, Germany) พลังงานรวม (gross energy) โดยวิธีการ Automatic dynamic bomb calorimeter (IKA® Werke, C5000, Germany)

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลแต่ละการศึกษา คือ น้ำหนัก prepupa ต่อตัว น้ำหนักรวม prepupa ระยะเวลาการพัฒนาดังแต่ระยะหนอนถึงระยะ prepupa อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (Feed Conversion Ratio) โดยคำนวณจากน้ำหนักอาหารทั้งหมดที่หนอนกิน/น้ำหนักผลผลิตของระยะ prepupa ร้อยละการกินอาหารคิดเป็นน้ำหนักแห้ง คำนวณจาก $(W1-W2)/W1 \times 100\%$ ซึ่ง W1 หมายถึง น้ำหนักของอาหารเริ่มทดลอง W2 หมายถึง น้ำหนักอาหารที่เหลือ น้ำหนักไขรวม คำนวณจากน้ำหนักไขของเพศเมียทุกตัว ส่วนจำนวนฟองและน้ำหนักไขต่อเพศเมีย ได้จากการผสมพันธุ์เพศผู้และเพศเมียแต่ละคู่ในกรง แล้วนำไขมาชั่งน้ำหนักและนับจำนวนไขภายใต้กล้องจุลทรรศน์สเตอริโอ นำมาวิเคราะห์ความแปรปรวนตามการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มด้วยวิธี Tukey's HSD test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยใช้โปรแกรม Statistix 10 (Analytical Software, 2013)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

อาหารทั้ง 4 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มโปรตีน กลุ่มไขมัน กลุ่มเยื่อใย และกลุ่มควบคุม ที่นำมาทดลองเลี้ยงหนอนแมลงโปรตีน ทำให้แมลงสามารถเจริญเติบโตเป็นตัวเต็มวัยโดยมีความแตกต่างตามตัวชี้วัดดังนี้

ปริมาณอาหารที่หนอนกิน

หนอนที่เลี้ยงด้วยอาหารกลุ่มเยื่อใย (ร้อยละ 15 เยื่อใย) กินอาหารปริมาณมากที่สุดร้อยละ 79.34 แตกต่างจากอาหารทุกกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P \leq 0.01$) (Figure 1) เนื่องจากคุณค่าทางโภชนาการของอาหารไม่สมดุล หนอนจึงต้องกินอาหารปริมาณมากขึ้น ซึ่งผลการศึกษาไปในทิศทางเดียวกับงานทดลองของ Tschirmer and Simon (2015) ที่เลี้ยงหนอนด้วยอาหารกลุ่มเยื่อใยแต่ใช้ กากผักกาดหวาน (sugar beet pulp) อย่างเดียว ระยะหนอนกินมากที่สุดร้อยละ 60.5

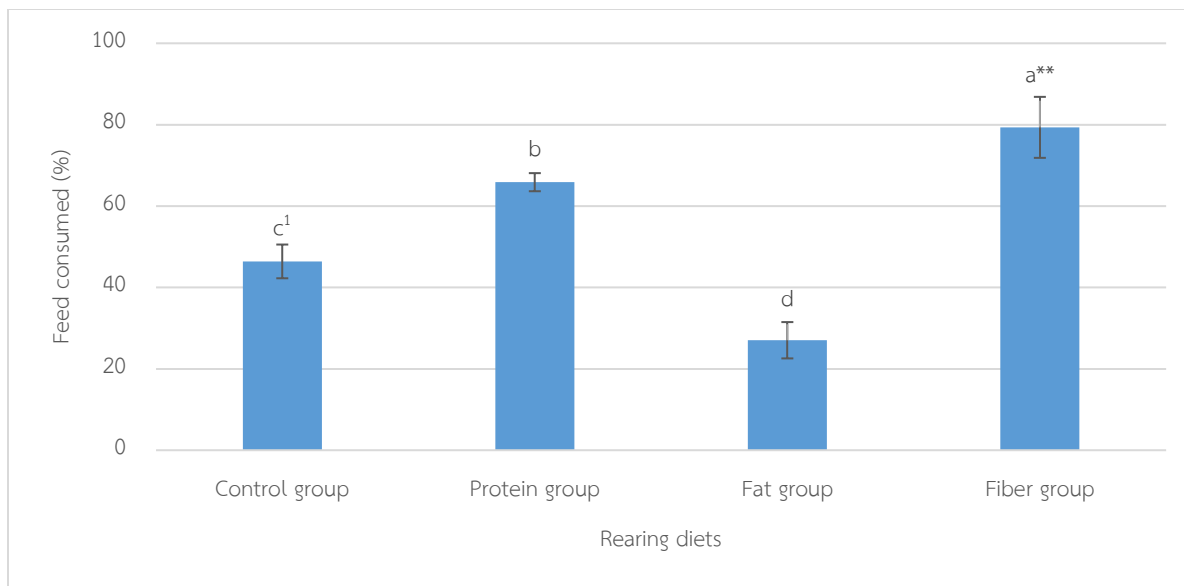


Figure 1 Percentage (mean±SEM) of feed consumed by black soldier fly larvae reared on four different diets

¹ Mean values with the same letter are not significantly different by Tukey's HSD test ($P > 0.05$), ^{ns} non-significant, *significant at $P \leq 0.05$, **significant at $P \leq 0.01$

ระยะเวลาเจริญเติบโตของระยะหนอนถึงระยะก่อนเข้าดักแด้

หนอนที่เลี้ยงด้วยอาหารกลุ่มไขมันใช้ระยะเวลาในการเจริญเติบโตจากระยะตัวหนอนจนถึงระยะก่อนเข้าดักแด้ยาวนานที่สุดเฉลี่ย 22.45 วัน แตกต่างจากกลุ่มอาหารอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.01$) โดยหนอนที่เลี้ยงด้วยอาหารกลุ่มควบคุม กลุ่มโปรตีนและกลุ่มเยื่อใย จะใช้ระยะเวลาในการเจริญเติบโตเฉลี่ย 15.13 -16.73 วัน (Figure 2) เนื่องจากอาหารกลุ่มไขมันมีปริมาณไขมันสูง (ร้อยละ 56) เนื้ออาหารมีความมัน คุณค่าทางโภชนาการไม่สอดคล้องต่อการใช้ในการเจริญเติบโตของแมลง เช่นเดียวกับงานทดลองของ Jucker et al. (2020) รายงานว่า หนอนแมลงโปรตีนที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีไขมันสูงร้อยละ 8.38 จะใช้ระยะเวลาในการเจริญเติบโตนานที่สุด 23 วัน นอกจากนี้จากการทดลองนี้ยังพบว่าการเลี้ยงหนอนเริ่มจากอายุ 5 วัน ด้วยอาหารกลุ่มโปรตีนที่มีส่วนผสมของเศษอาหารหลากหลาย ที่มีโปรตีนร้อยละ 24.37 (Table 1) หนอนใช้ระยะเวลาเฉลี่ย 16.73 วัน ในการเจริญเติบโตจนเข้าเป็น prepupa เร็วกว่าการทดลองของ Spranghers et al. (2017) ที่เลี้ยงหนอนเริ่มจากอายุ 8-10 วัน ด้วยเศษอาหารจากภัตตาคารอย่างเดียวมีโปรตีนร้อยละ 15.7 หนอนใช้เวลา 19 วัน ในการเจริญเติบโตจนเข้าเป็น prepupa แสดงว่าอาหารโปรตีนมีผลทำให้ระยะเวลาการเจริญเติบโตของหนอนแมลงโปรตีนเร็วขึ้น

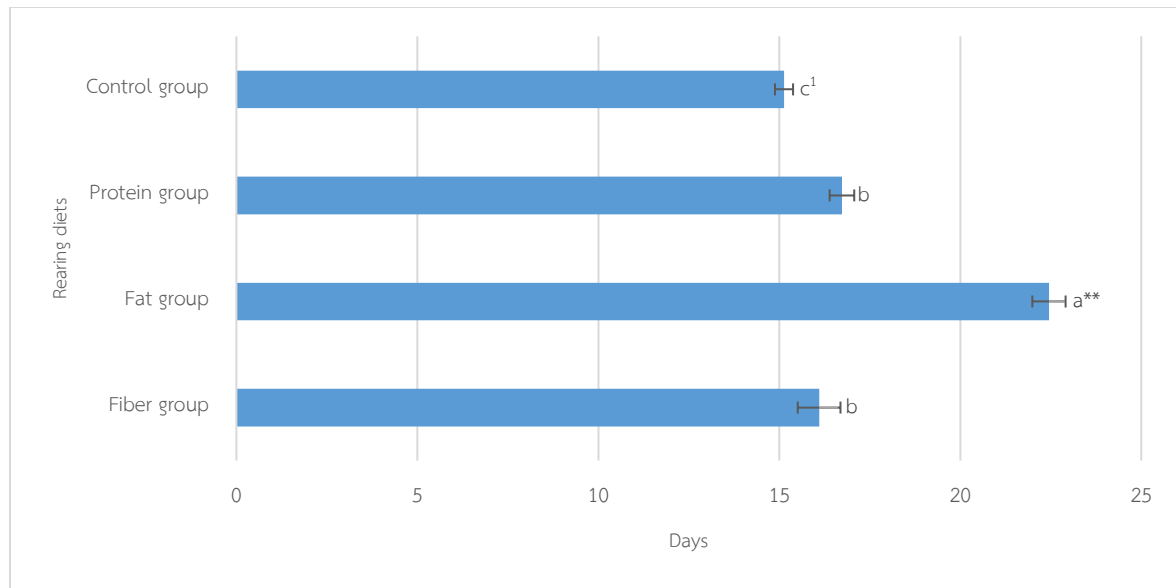


Figure 2 Mean development time (days) of black soldier fly larvae fed on four different diets

¹ Mean values with the same letter are not significantly different by Tukey's HSD test ($P > 0.05$), ^{ns} non-significant, *significant at $P \leq 0.05$, **significant at $P \leq 0.01$

การรอดชีวิต

การรอดชีวิตของระยะตัวหนอนที่เลี้ยงด้วยอาหารกลุ่มไขมัน (ร้อยละ 56 ไขมัน) มีอัตราการรอดชีวิตน้อยที่สุดคิดเป็นร้อยละ 63.80 แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.01$) กับอาหารอีก 3 กลุ่ม ที่มีค่าการรอดชีวิตสูงคิดเป็นร้อยละ 92.50 - 96.10 (Figure 3) ทั้งนี้เพราะอาหารที่มีไขมันสูงจะมีโปรตีนต่ำทำให้ไม่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของหนอน ซึ่งคล้ายกับงานทดลองของ Oonincx et al. (2015) ที่เลี้ยงหนอนด้วยอาหารที่มี ไขมันสูงร้อยละ 14.6 และมีโปรตีนต่ำร้อยละ 12.9 ทำให้มีอัตราการรอดชีวิตน้อยที่สุดร้อยละ 72 เมื่อเปรียบเทียบกับอาหารชนิดอื่น ดังนั้นอาหารชนิดที่มีไขมันสูง มีผลในทางลบต่อการรอดชีวิตของหนอนแมลงโปรตีน

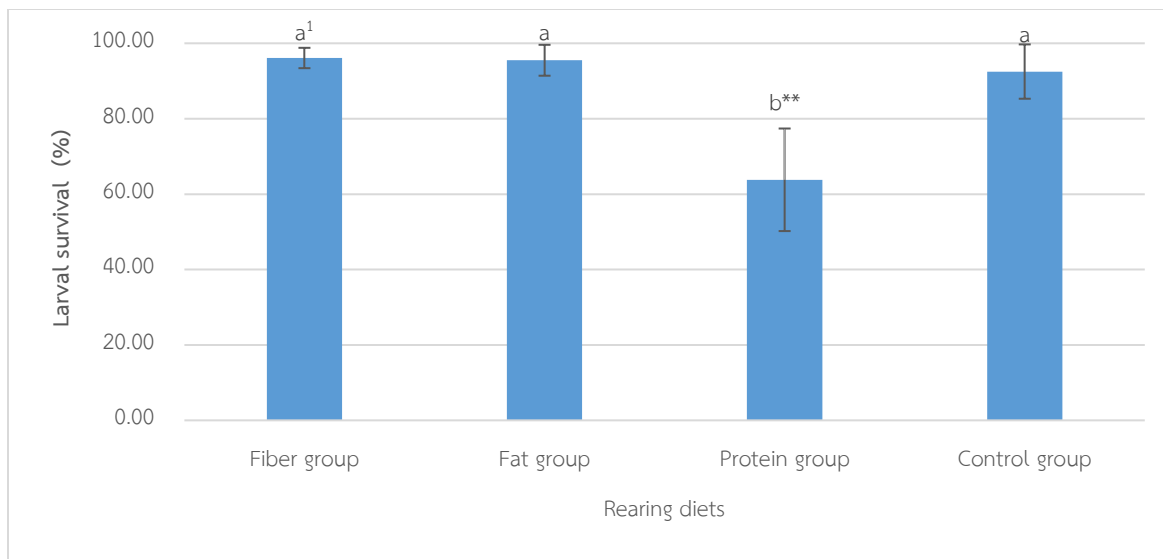


Figure 3 Percentage (Mean±SEM) of black soldier fly larvae survival fed on four different diets

¹ Mean values with the same letter are not significantly different by Tukey's HSD test ($P > 0.05$), ns non-significant, *significant at $P \leq 0.05$, **significant at $P \leq 0.01$

น้ำหนักระยะก่อนเข้าดักแด้ (prepupa)

หนอนแมลงโปรตีนที่เลี้ยงด้วยอาหารกลุ่มควบคุม กลุ่มโปรตีนและกลุ่มไขมัน ได้น้ำหนัก ในระยะ prepupa เฉลี่ย 0.18, 0.17 และ 0.18 กรัมต่อตัว ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.01$) กับอาหารกลุ่มเยื่อใย ที่มีน้ำหนักน้อยเฉลี่ย 0.15 กรัมต่อตัว (**Figure 4**) เนื่องจากอาหารทั้ง 3 กลุ่ม มีโปรตีนที่แมลงใช้ในการเจริญเติบโตสร้างมวลกล้ามเนื้อร้อยละ 21-24 ซึ่งสูงกว่ากลุ่มเยื่อใยที่มีโปรตีนในอาหารเพียงร้อยละ 18 (**Table 1**) และจากงานทดลอง Tschirmer and Simon (2015) พบว่าหนอนแมลงโปรตีนสามารถเจริญเติบโตดีเมื่อเลี้ยงด้วยอาหารกลุ่มโปรตีนและได้ผลผลิตน้ำหนัก prepupa (0.27 กรัม/ตัว) มากกว่าอาหารกลุ่มที่มีเยื่อใยสูง (0.03 กรัม/ตัว) นอกจากนี้ อาหารเลี้ยงหนอน ทั้ง 4 สูตรอาหารทดสอบมีส่วนผสมของอาหารที่มีเนื้อสัมผัสและมีชนิดหลากหลายทำให้มีสารอาหารอื่นๆ ที่แมลงใช้ในการเจริญเติบโตได้ดีกว่าอาหารอย่างเชิงเดี่ยวเพียงอย่างเดียว เช่น อาหารกลุ่มควบคุมมีส่วนผสมของกากเปียร์และกากเนื้อในปาล์มแตกต่างจากงานทดลองของ Bava et al. (2019) ที่เลี้ยงหนอนแมลงโปรตีนด้วยกากเปียร์เพียงอย่างเดียวได้น้ำหนัก prepupa น้อยโดยเฉลี่ยที่ 0.10 กรัม/ตัว เช่นเดียวกันผู้วิจัยเคยเลี้ยงหนอนแมลงโปรตีนด้วยกากอ้อยหมักซึ่งมีเยื่อใยเพียงอย่างเดียวหนอนเจริญเติบโตได้ไม่มีน้ำหนัก prepupa เฉลี่ยที่ 0.05 กรัม/ตัว น้อยกว่าที่เลี้ยงด้วยอาหารกลุ่มเยื่อใยที่มีส่วนผสมของอาหารหลายชนิด

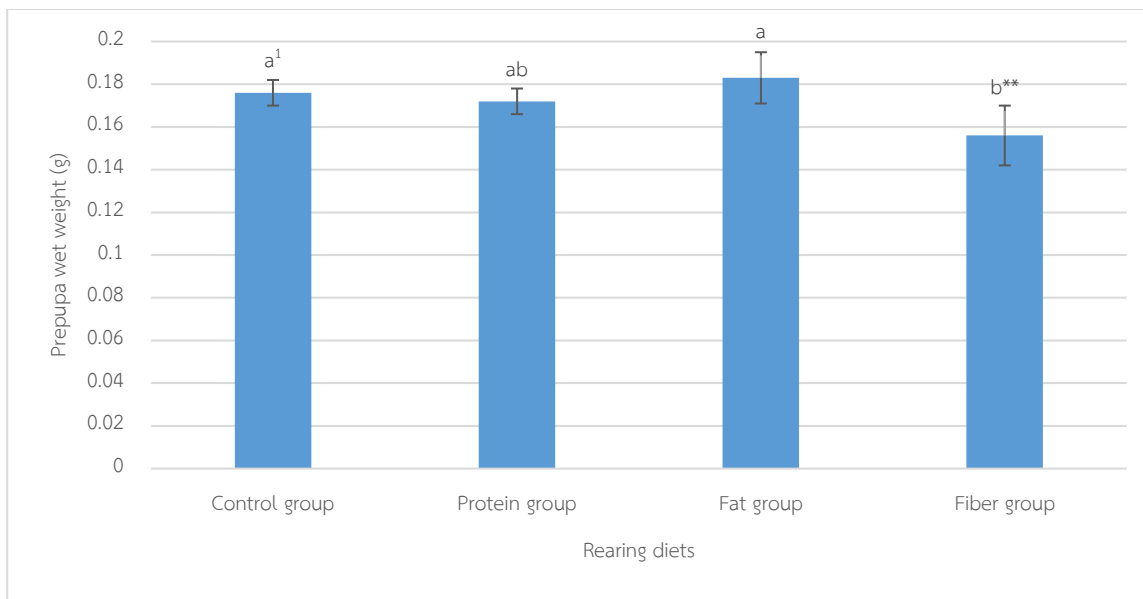


Figure 4 Mean prepupal wet weight fed on four different diets

¹Mean values with the same letter are not significantly different by Tukey's HSD test ($P > 0.05$), ns non-significant, *significant at $P \leq 0.05$, **significant at $P \leq 0.01$

ผลผลิตระยะก่อนเข้าดักแด้ (prepupa) อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (Feed conversion ratio) และต้นทุนการผลิต

น้ำหนักรวมเฉลี่ยของระยะ prepupa ที่เลี้ยงด้วยอาหารกลุ่มควบคุมและกลุ่มโปรตีนมีค่าใกล้เคียงกันได้แก่ 33.83 และ 32.94 กรัม ตามลำดับ โดยระยะ prepupa มีน้ำหนักมากกว่าเมื่อเลี้ยงด้วยอาหารกลุ่มเยื่อใยและกลุ่มไขมันที่ได้ 27.33 และ 23.39 กรัม ตามลำดับ หนอนที่เลี้ยงด้วยอาหารแต่ละกลุ่ม มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (Feed conversion ratio) ที่ 2.80 - 3.80 ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (Table 2) ส่วนต้นทุนการผลิต prepupa จากอาหารที่เลี้ยงกลุ่มอาหารเยื่อใยมีราคาถูกที่สุด 1.30 บาท/กิโลกรัม แต่น้ำหนักผลผลิต prepupa น้อย ส่วนกลุ่มอาหารโปรตีนมีต้นทุนการผลิตที่ถูกรองมาโดยมีราคา 1.80 บาท/กิโลกรัม ได้น้ำหนักผลผลิต prepupa ที่สูงไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุมที่มีราคาต้นทุนที่สูง (7.90 บาท/กิโลกรัม)

Table 2 Prepupal yield, feed conversion ratio and feed cost of black soldier fly reared on four different diets

Rearing diets	Prepupal yield (g)/200 prepupae	Feed conversion ratio (FCR)	Feed cost per kg prepupa (baht)
1.Control group (brewer's grain + palm kernel meal (1:1))	33.83 ± 1.69 ^{a1}	3.80±0.40	7.90
2.Protein group (food waste + mixture of fruit and vegetable waste + brewer's grain (1:1:2))	32.94 ± 2.38 ^{ab}	2.90±0.70	1.80
3.Fat group (food waste + mixture of fruit and vegetable waste + chicken skin (1:1:2))	23.39 ± 5.59 ^c	3.30±1.30	18.80
4.Fiber group (food waste + mixture of fruit and vegetable waste + fermented bagasse (1:2:1))	27.33 ± 2.18 ^{bc}	2.80±0.50	1.30
F-test	**	ns	
CV.(%)	12.05	25.45	

¹Mean values with the same letter within a column are not significantly different by Tukey's HSD test ($P > 0.05$), ns non-significant, *significant at $P \leq 0.05$, **significant at $P \leq 0.01$

² Measurements were done on wet weight basis

ระยะการเจริญเติบโตของระยะก่อนเข้าดักแด้ (prepupa) ระยะดักแด้ (pupa) และระยะหนอนถึงระยะตัวเต็มวัย

ระยะก่อนเข้าดักแด้ ที่เลี้ยงด้วยอาหารต่างๆ ใช้ระยะเวลาในการเจริญเติบโตอยู่ระหว่าง 7.33 - 8.86 วัน ระยะดักแด้ใช้ระยะเวลาในการเจริญเติบโตอยู่ระหว่าง 8.43 - 8.80 วัน และระยะหนอนถึงตัวเต็มวัยใช้ระยะเวลาในการเจริญเติบโตอยู่ระหว่าง 32.52 - 38.51 วัน โดยหนอนที่เลี้ยงด้วยอาหารกลุ่มไขมันใช้ระยะเวลายาวที่สุด 38.51 วัน ส่วนหนอนที่เลี้ยงด้วยอาหารกลุ่มควบคุม กลุ่มโปรตีนและ กลุ่มเยื่อใย ใช้ระยะเวลา 32.52 - 33.53 วัน (Table 3)

สัดส่วนเพศของตัวเต็มวัยและจำนวนไข่

อาหารมีผลต่อสัดส่วนเพศของตัวเต็มวัย กลุ่มอาหารโปรตีนให้สัดส่วนเพศผู้ต่อเพศเมีย (0.85 : 1) โดยมีสัดส่วนเพศเมียมากกว่าอาหารกลุ่มอื่นๆ (Table 3) เนื่องจากโปรตีนมีความสำคัญในการสร้างไข่ สอดคล้องกับงานทดลองของ Jucker et al. (2019) ที่เลี้ยงหนอนแมลงโปรตีนด้วยเศษเหลือทิ้งจากการผลิตเบียร์ทำให้ได้สัดส่วนเพศเมียมากกว่าเพศผู้ ซึ่งในการผสมพันธุ์เมื่อสัดส่วนเพศเมียมากกว่าเพศผู้ จะส่งผลให้มีอัตราการวางไข่ที่สูงกว่าสัดส่วนเพศผู้มากกว่าเพศเมีย (Barragán-Fonseca et al., 2018 และ Hoc et al., 2019)

จำนวนไข่ของเพศเมียแต่ละตัวที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมทั้ง 4 กลุ่ม มีค่าเฉลี่ยระหว่าง 761.10-1005.00 ฟอง/ตัว (Table 3) แตกต่างจากงานทดลองของ Jucker et al. (2019) ที่ทดสอบการเลี้ยงหนอนด้วยอาหารกากเปียกอย่างเดียวให้จำนวนไข่เฉลี่ยที่ 395 ฟอง/ตัว ส่วนน้ำหนักไข่ทั้งหมดของเพศเมียที่เลี้ยงด้วยอาหารกลุ่มควบคุมและกลุ่มโปรตีนใกล้เคียงกัน คือ 2.14 และ 2.12 กรัม มากกว่าที่เลี้ยงด้วยอาหารกลุ่มไขมันและกลุ่มเยื่อใย ดังนั้นจำนวนไข่ที่มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดอาหารที่หนอนกิน โดยอาหารที่มีโปรตีนสูงส่งผลให้การรอดชีวิตสูง และได้สัดส่วนเพศเมียมากกว่าเพศผู้ ส่งผลให้ได้ปริมาณไข่ที่มากกว่ากลุ่มอาหารไขมันและกลุ่มอาหารเยื่อใย

Table 3 Development time (days) of prepupal pupal and larval to adult, sex ratio, weight of eggs per female, number of eggs per female and total eggs weight of black soldier fly reared on four different diets

Rearing diets	days			Adult sex ratio (male: female) (n=200)	Weight of eggs per female (g)(n=10)	Number of eggs per female (n=10)	Total eggs weight(g)
	Prepupa	Pupa	Larva-adult				
1.Control group (brewer's grain + palm kernel meal (1:1))	8.86 ± 0.43 ^{a1}	8.80 ± 0.27	32.79 ± 0.49 ^a	1.04 : 1	0.022±0.009	761.10±230.40 ^{ab}	2.14
2.Protein group (food waste + mixture of fruit and vegetable waste + brewer's grain (1:1:2))	8.24 ± 0.34 ^{ab}	8.56 ± 0.12	33.53 ± 0.60 ^a	0.85 : 1	0.020±0.004	922.30±176.40 ^{ab}	2.12
3.Fat group (food waste + mixture of fruit and vegetable waste + chicken skin (1:1:2))	7.33 ± 0.60 ^b	8.73 ± 0.43	38.51 ± 0.63 ^b	0.91 : 1	0.020±0.004	1005.00±212.80 ^a	1.38
4. Fiber group (food waste + mixture of fruit and vegetable waste + fermented bagasse (1:2:1))	8.00 ± 0.62 ^{ab}	8.43 ± 0.25	32.52 ± 0.81 ^a	0.94 : 1	0.015±0.007	934.30±334.00 ^{ab}	1.40
F-test	**	ns	**		ns	*	
C.V. (%)	6.82	3.51	1.87		31.54	29.21	

¹Mean values with the same letter within a column are not significantly different by Tukey's HSD test (P> 0.05), ns non-significant, *significant at P≤0.05, **significant at P≤0.01

ค่าโภชนสาร (proximate analysis)

จากการเลี้ยงแมลงโปรตีนด้วยอาหารทั้ง 4 กลุ่มที่มีค่าโภชนสารแตกต่างกัน ทำให้ได้แมลงในระยะก่อนเข้าดักแด้ (prepupa) (เป็นระยะของแมลงที่ใช้ในการเป็นวัตถุดิบโปรตีนในการผลิตอาหารสัตว์) ที่มีโปรตีนร้อยละ 44.90-46.83 ไขมันร้อยละ 21.88-26.77 เยื่อใยร้อยละ 8.13-9.43 เถ้าร้อยละ 3.36-7.42 และมีพลังงาน 5713-6278 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม ซึ่งแมลงระยะ prepupa ที่เลี้ยงด้วยอาหารกลุ่มโปรตีนจะมีโปรตีนมากที่สุดร้อยละ 46.83 ไขมันร้อยละ 25.36 (Table 4) อย่างไรก็ตาม prepupa ที่ได้จากการเลี้ยงอาหารกลุ่มโปรตีนที่มีส่วนผสมของเศษอาหารที่หลากหลายของการศึกษานี้ ให้ผลแตกต่างจากงานทดลองของ Sprangers et al. (2017) ที่ใช้อาหารจากกัฏตาการอย่างเดียวในการเลี้ยงแมลง ทำให้ได้ prepupa ที่มีโปรตีนร้อยละ 43.10 ไขมันร้อยละ 38.60 แสดงว่าอาหารที่มีความหลากหลายชนิดและมีส่วนประกอบของโปรตีนที่สูงมีผลที่ดีต่อคุณภาพของแมลงโปรตีนในระยะ prepupa

Table 4 Dry matter and crude nutrient content of black soldier fly prepupae reared on four different diets

Rearing diets	Percentage							Gross energy (kcal/kg)
	Dry matter	Moisture	Crude protein	Crude fat	Crude fiber	Ash	Carbohydrate	
1.Control group (brewer's grain +palm kernel meal (1:1))	89.14	10.86	44.91	26.77	8.13	6.58	2.75	5734
2.Protein group (food waste + mixture of fruit and vegetable waste + brewer's grain (1:1:2))	95.93	4.07	46.83	25.36	9.43	6.08	8.23	5890
3.Fat group (food waste + mixture of fruit and vegetable waste + chicken skin (1:1:2))	95.27	4.73	45.30	25.18	8.98	3.36	12.44	6278
4.Fiber group (food waste + mixture of fruit and vegetable waste + fermented bagasse (1:2:1))	95.97	4.03	44.90	21.88	8.43	7.42	13.34	5713

จากการทดลองของผลของกลุ่มอาหารชนิดต่าง ๆ อาหารทั้ง 4 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มโปรตีน กลุ่มไขมัน กลุ่มเยื่อใย และกลุ่มควบคุม ที่มีต่อการเจริญเติบโตของแมลงโปรตีน จะเห็นได้ว่าอาหารกลุ่มโปรตีนมีความเหมาะสมมากที่สุดในการเลี้ยงหนอนแมลงโปรตีน โดยพิจารณาจากการที่หนอนมีการเจริญเติบโตรวดเร็วใช้เวลา 16.73 วัน น้ำหนักต่อตัวของระยะ prepupa สูงคิดเป็น 0.17 กรัม/ตัว การรอดชีวิตของตัวหนอนมีสูงถึงร้อยละ 95.50 ได้สัดส่วนเพศผู้ต่อเพศเมียเหมาะสม 0.85 : 1 สามารถผลิตไข่รวมได้ดี 2.12 กรัม/200 ตัว ที่สำคัญคือ มีต้นทุนต่ำในการผลิตระยะ prepupa 1 กิโลกรัม (สด) ราคา 1.80 บาท และได้ prepupa มีคุณค่าทางโภชนสารที่ดีโดย มีโปรตีนร้อยละ 46.83 ไขมันร้อยละ 25.36 มีคุณภาพโปรตีนสูงที่สามารถนำไปใช้เป็นวัตถุดิบโปรตีนทดแทนปลาป่นหรือกากถั่วเหลือง ในอุตสาหกรรมการผลิตอาหารสัตว์ได้ นอกจากนี้สูตรอาหารเลี้ยงหนอนกลุ่มโปรตีนที่ได้จากเศษอาหารผสมกับเศษผักผลไม้และกาก

เปียร์ เมื่อคำนวณจากอัตราการกินอาหารของระยะตัวหนอนทำให้สามารถช่วยลดปริมาณขยะอินทรีย์ได้ถึงร้อยละ 65.87 และเปลี่ยนขยะอินทรีย์เหล่านี้เป็น prepupa ของแมลงโปรตีน ที่มีคุณค่าโภชนาการสูงดังกล่าว และการนำเศษเหลือทิ้งอินทรีย์มาเป็นอาหารเลี้ยงหนอนนั้นมีวิธีการเตรียมอาหารที่ไม่ยุ่งยาก และมีต้นทุนการผลิตที่ต่ำ ซึ่ง Spranghers et al. (2017) กล่าวว่า ร้อยละ 60-70 ของต้นทุนการผลิตปศุสัตว์เป็นค่าอาหารในการเลี้ยงสัตว์ ดังนั้นจากผลการศึกษา การใช้อาหารกลุ่มโปรตีนเลี้ยงหนอนแมลงโปรตีนจึงมีความเหมาะสมที่สามารถใช้เป็นวัตถุดิบโปรตีนในการผลิตอาหารสัตว์ได้ อย่างไรก็ตาม ในการผลิตหนอนในปริมาณมากสำหรับอุตสาหกรรม ให้ได้ prepupa ที่มีคุณภาพดีและให้ผลผลิตสม่ำเสมอ จำเป็นต้องตรวจสอบคุณภาพของวัตถุดิบหรืออาหารที่จะนำมาเลี้ยงแมลงด้วย

จากงานทดลองนี้ควรมีการศึกษาคุณภาพโภชนาการของ prepupa ในเชิงลึกขององค์ประกอบทางเคมีต่างๆ ของสารตั้งต้นโปรตีน (protein profile) และไขมัน (fat profile) เพื่อให้ทราบถึงชนิดและปริมาณของ กรดอะมิโนที่จำเป็น (essential amino acid) และ ปริมาณกรดลอริก (lauric acid) และกรดไขมัน (fatty acid) อื่นๆ เพื่อความเหมาะสมในการเลือกใช้ในการผลิตอาหารสัตว์สำหรับสัตว์แต่ละชนิด

สรุป

อาหารกลุ่มโปรตีนส่งผลให้หนอนเจริญเติบโตดี ตัวเต็มวัยให้ผลผลิตไข่สูง ต้นทุนการผลิตต่ำ ได้ prepupa ที่มีโปรตีนสูงเหมาะกับการใช้เป็นวัตถุดิบโปรตีนในการผลิตอาหารสัตว์ การเตรียมอาหารไม่ยุ่งยาก และประสิทธิภาพในการกำจัดขยะอินทรีย์ ต้นทุนการผลิตต่ำ ทำให้การเลี้ยงแมลงโปรตีนมีความยั่งยืน

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณสำนักงานการวิจัยแห่งชาติที่ให้ความอนุเคราะห์อุดหนุนทุนการทำกิจกรรมส่งเสริมและสนับสนุนการวิจัยและนวัตกรรม แผนงานพัฒนาบัณฑิตศึกษา ประจำปีงบประมาณ 2564

เอกสารอ้างอิง

- กรมการค้าภายใน กระทรวงพาณิชย์. 2565. ราคาปลาป่นและปริมาณนำเข้า-ส่งออก. แหล่งข้อมูล: <https://agri.dit.go.th/index.php/>. ค้นเมื่อ 18 มีนาคม 2565.
- กุลชาติ บุรณะ และทัศนีย์ แจ่มจรรยา. 2552. การแพร่กระจาย การเพาะเลี้ยงและคุณค่าทางโภชนาการของแมลงวันลาย (*Hermetia illucens* L.). น.603-609. ใน : การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 11 มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.
- ศูนย์ข้อมูลเกษตรแห่งชาติ. 2564. ข้อมูลปริมาณการผลิตปาล์มน้ำมัน ปี 2564. แหล่งข้อมูล: http://thaisdi.gistda.or.th/dataset/oa15_04/resource/4900a74b-279d-4cf2-bc39-270e546b61b5. ค้นเมื่อ 16 มีนาคม 2565.
- สำนักเลขาธิการคณะรัฐมนตรี. 2564. แผนปฏิบัติการลด และคัดแยกขยะมูลฝอย สำนักเลขาธิการคณะรัฐมนตรีประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2564. แหล่งข้อมูล: <https://www.soc.go.th/wp-content/uploads/2021/02/garbage2564.pdf>. ค้นเมื่อ 7 กุมภาพันธ์ 2565.
- 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.
- Barragán-Fonseca, K, J. Pineda-Mejia, M. Dicke, and J.J. Van Loon. 2018. Performance of the black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) on vegetable residue-based diets formulated based on protein and carbohydrate contents. *Journal of Economic Entomology*. 111(6): 2676-2683.

- Bava, L., G. Gislon, M. Zucali, S. Colombini, C. Jucker, D. Lupi, and S. Savoldelli. 2019. Rearing of *Hermetia illucens* on different organic by-products: Influence on growth, waste reduction, and environmental impact. *Journal Animals*. 289 (9): 1-16.
- Diener, S., C. Zurbrugg, 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*.
- Devendra, C., and R.N. Muthurajah. 1976. The utilization of palm oil by-products by sheep, pp 21. *International Symposium on Palm Oil Processing and Marketing 17-19 June 1976. Kuala Lumpur, Malaysia*.
- Gobbi, P., A. Martinez-Sanchez, and S. Rojo. 2013. The effects of larval diet on adult life-history traits of the black soldier fly, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae). *European Journal of Entomology*. 110(3): 461-468.
- Hem, S., S. Toure, C. Sagbla, and M. Legendre. 2008. Bioconversion of palm kernel meal for aquaculture: experiences from the forest region (Republic of Guinea). *African Journal of Biotechnology*. 7(8): 1192-1198.
- Hoc, B., G. Noël, J. Carpentier, F. Francis, and R.C. Megido. 2019. Optimization of BSF artificial reproduction. *PLoS One*. 14(4): 1-13.
- 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.
- Jucker, C., D. Lupi, C.D. Moore, M.G. Leonardi, and S. Savoldelli. 2020. Nutrient recapture from insect farm waste: Bioconversion with *Hermetia illucens* (L.) (Diptera: Stratiomyidae). *Journal Sustainability*. 362 (12): 1-14.
- Lalander, C., S. Diener, M.E. Magri, C. Zurbrugg, 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.
- Mohammed, D., D. Addis, T. Berhanu, and A. Vernooij. 2019. Mapping of spent brewers' grain supplychain in Ethiopia. *Wageningen Livestock Research. report No. 1210*.
- Myers, H.M., J.K. Tomberlin, B.D. Lambert, and K. David. 2008. Development of black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) larvae fed dairy manure. *Environmental Entomology*. 37: 11-15.
- Newton, L., C. Sheppard, D. W. Watson, G. Burtle, and R. Dove. 2005. Using the black soldier fly, *Hermetia illucens*, as a value-added tool for the management of swine manure. *Animal and Poultry Waste Management Center. North Carolina State University*. 17: 1-18.
- 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., S. Van Broekhoven, A. Van Huis, and J.J. Van Loon. 2015. Feed conversion, survival and development, and composition of four Insect species on diets composed of Food By-Products. *PLoS ONE*. 10 (12): 1-20.
- Sheppard, D.C., G.L. Newton, S.A. Thompson, and S. Savage. 1994. A value-added manure management-system using the black soldier fly. *Bioresource Technology*. 50: 275-279.

- Sprangers, T., M. Ottoboni, C. Klootwijk, A. Oryn, 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.
- Tschirner, M., and A. Simon. 2015. Influence of different growing substrates and processing on the nutrient composition of black soldier fly larvae destined for animal feed. *Journal of Insects as Food and Feed*. 1(4): 249-259.
- 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.
- Yurina, O.V., and V.P. Karagodin. 2018. Studying development of *Hermetia illucens* fly larvae cultivated on high cellulose plant substrates. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 24 (2): 279–284.