

บทความวิจัย

วันที่รับบทความ:

27 มีนาคม 2567

วันที่แก้ไขบทความ:

1 มิถุนายน 2567

วันที่ตอบรับบทความ:

5 มิถุนายน 2567

ยุทธนา พิมลศิริมล^{1,2,*} พินพนิต บุญช่วย¹ ปิยะนุช รสเครือ³ จิราพร กุลสาริน¹
ชลธิชา อุทัยศรีมดุงกุล¹ ปิยะฉัตร สาหัสชาติ¹ กมลพร สิทธิไตรย์¹ สุวิทย์ โชติพันธ์⁴
และ มนตรี เชี่ยวสุวรรณ⁵

¹ศูนย์นวัตกรรมอาหารและบรรจุภัณฑ์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50100

²คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50100

³คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา น่าน
อำเภอภูเพียง จังหวัดน่าน 55000

⁴คณะสัตวแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50100

⁵ศูนย์เรียนรู้การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตสินค้าเกษตร บ้านรัชดา อำเภอยางตลาด จังหวัดน่าน 55160

*ผู้เขียนหลัก อีเมล: yuthana.p@cmu.ac.th



บทคัดย่อ

อำเภอยางตลาด จังหวัดน่าน ประสบปัญหาการจัดการขยะอินทรีย์ เนื่องจากขาดความร่วมมือในการคัดแยกขยะ งบประมาณและบุคลากรไม่เพียงพอ และระบบการจัดเก็บขยะไม่ครอบคลุมทุกพื้นที่ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อถ่ายทอดองค์ความรู้และขยายผลระบบการเลี้ยงตัวอ่อนแมลงทหารเลื้อเพื่อกำจัดขยะอินทรีย์ในชุมชนอำเภอยางตลาด จังหวัดน่าน ด้วยการสร้างกระบวนการเรียนรู้และจัดการความรู้ และการเพิ่มขีดความสามารถในการหาความรู้ของชุมชน โดยสร้างพื้นที่ต้นแบบเรียนรู้นวัตกรรมกับนวัตกรรมชุมชนที่ผ่านการคัดเลือก จำนวน 50 คน ด้วยกระบวนการดังนี้ 1) การถ่ายทอดองค์ความรู้ด้านโภชนาการสำหรับการเลี้ยงตัวอ่อนแมลงทหารเลื้อ การเพาะเลี้ยง การจัดการโรงเรือนและอุปกรณ์ การเก็บเกี่ยว และการใช้ตัวอ่อนแมลงทหารเลื้อเป็นส่วนผสมในอาหารสัตว์ผ่านการบรรยายจากผู้เชี่ยวชาญ ศึกษาดูงาน ปฏิบัติจริง และวิดีโอสื่อการสอน 2) การวิเคราะห์คุณค่าด้านโภชนาการของตัวอ่อนแมลงทหารเลื้อที่ผลิตในชุมชน เพื่อผลิตอาหารสัตว์ 3) การวางแผนผังระบบจัดการขยะอินทรีย์ ณ ฟาร์มต้นแบบ จังหวัดน่าน และ 4) การปรับปรุงโรงเรือนฟาร์มต้นแบบตามหลักสุขอนามัย ส่งผลให้มีวิดีโอสื่อการสอน 5 หลักสูตร ตัวอ่อนแมลงทหารเลื้อมีคุณภาพตามเกณฑ์มาตรฐานของอาหารเสริมโปรตีน สำหรับเป็นวัตถุดิบอาหารเลี้ยงไก่พันธุ์และไก่พันธุ์พื้นเมือง ทำให้ลดต้นทุนการผลิต 3.13 บาทต่อฟอง และ 30.12 บาทต่อการผลิตไข่ 1 กิโลกรัม และรายรับจากการปลูกผักเพิ่มขึ้นร้อยละ 61 นอกจากนี้ชุมชนร่วมวางแผนโครงสร้างพื้นฐานที่สอดคล้องกับบริบทของพื้นที่ มีฟาร์มต้นแบบ จำนวน 10 แห่ง ซึ่งเป็นการขยายผลและสร้างเครือข่ายการเรียนรู้ในพื้นที่ การจัดทำข้อเสนอแนะเชิงนโยบายร่วมกับเทศบาลตำบลยางตลาด เพื่อให้เกิดความยั่งยืนและการคงอยู่ของระบบการจัดการขยะอินทรีย์ด้วยตัวอ่อนแมลงทหารเลื้อ รวมทั้งขยายผลและผลักดันให้เกิดการใช้ประโยชน์ตัวอ่อนแมลงทหารเลื้อร่วมกับสำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ

คำสำคัญ:

จังหวัดน่าน
ขยะอินทรีย์
แมลงทหารเลื้อ
อาหารสัตว์ปีก
พื้นที่ต้นแบบ

Research Article

Received:

27 March 2024

Received in revised form:

1 June 2024

Accepted:

5 June 2024

Yuthana Phimolsiripol^{1,2,*}, Pinpanit Boonchuay¹, Piyanuch Roskhrua³, Jiraporn Kulsarin¹, Chonthicha Uthaisripadungkul¹, Piyachat Sahaschat¹, Kamonporn Sitthitrai¹, Suwit Chotinan⁴ and Montree Chiawsuwan⁵

¹Food Innovation and Packaging Center, Chiang Mai University, Muang District, Chiang Mai Province, 50100 Thailand

²Faculty of Agro-Industry, Chiang Mai University, Muang District, Chiang Mai Province, 50100 Thailand

³Faculty of Science and Agricultural Technology, Rajamangala University of Technology Lanna Nan, Phu Phiang District, Nan Province, 55000 Thailand

⁴Faculty of Veterinary Medicine, Chiang Mai University, Muang District, Chiang Mai Province, 50100 Thailand

⁵Agricultural Learning Center Ban Ratchada, Chiang Klang District, Nan Province, 55160 Thailand

*Corresponding author's E-mail: yuthana.p@cmu.ac.th



Abstract

Chiang Klang district, Nan province, faces challenges in bio-waste management, including insufficient cooperation in waste separation, inadequate budget and personnel, and an incomplete waste disposal system that does not cover all areas. This research aims to disseminate knowledge and expand the implementation of Black Soldier Fly Larvae (BSFL) cultivation for bio-waste disposal in Chiang Klang district by establishing learning processes and knowledge management. The goal is to enhance the community's knowledge acquisition capabilities and create prototype learning spaces for innovation with 50 selected community innovators. The study began by providing education on the nutritional aspects of BSFL, cultivation techniques, housing and equipment management, harvesting, and the application of BSFL as an ingredient in animal feed. This was accomplished through expert lectures, study visits, hands-on practice, and instructional videos. The next steps involved conducting a nutritional analysis of the BSFL produced by the community to evaluate its application as an animal feed ingredient, designing a bio-waste management system at the prototype farm in Nan province, and enhancing prototype farm housing to comply with hygiene principles. The study produced five instructional videos. Additionally, the cultivated BSFL met quality standards as a high-protein feed ingredient for egg-laying hens and indigenous chickens. Utilizing BSFL as feed for egg-laying hens and indigenous chickens reduced production costs by 3.13 Baht (around 0.085 USD) per egg and 30.12 Baht (around 0.82 USD) per kilogram, respectively, and increased income from vegetable cultivation by 61%. The community participated in designing infrastructure layouts that align with the local context. Ten prototype farms were established to expand results and create learning networks in the area. Collaborative policy recommendations were developed with the Chiang Klang Subdistrict Municipality to ensure the sustainability and longevity of the waste management system employing BSFL. Furthermore, cooperation with the National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards was conducted to expand results and promote the utilization of BSFL.

Keywords:

Nan province
Bio-waste
Black soldier fly
Poultry feed
Prototype area

บทนำ

จังหวัดน่าน เป็นจังหวัดทางด้านทิศตะวันออกของภาคเหนือ มีพื้นที่ 7.1 ล้านไร่ หรือ 1.1 หมื่นตารางกิโลเมตร พื้นที่ทำการเกษตร 1.4 ล้านไร่ คิดเป็นร้อยละ 20.67 เป็นแหล่งปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์และข้าว ซึ่งเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตอาหารสัตว์สำหรับต่อ ยอดต้นทุนทางสังคม ประชากรทั้งสิ้น 4.7 แสนคน ประชากรร้อยละ 85 อยู่ในภาคการเกษตร ปี พ.ศ. 2564 จังหวัดน่านมีปริมาณขยะอินทรีย์จากภาคการเกษตร ได้แก่ วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เช่น ฟางข้าว รำข้าว ต้นและซังข้าวโพด เศษผักและผลไม้ เป็นต้น อยู่ที่ร้อยละ 62 ของปริมาณขยะมูลฝอยทั้งหมด ปี พ.ศ. 2566 ปริมาณขยะมูลฝอยเฉลี่ย 260 ตันต่อวัน เป็นขยะมูลฝอยที่นำกลับมาใช้ประโยชน์ 139 ตันต่อวัน ขยะมูลฝอยที่กำจัดถูกต้อง 60 ตันต่อวัน ขยะมูลฝอยที่กำจัดไม่ถูกต้อง 61 ตันต่อวัน (Pollution Control Department, Ministry of Natural Resources and Environment, 2024) จากข้อมูลปริมาณขยะและค่าใช้จ่ายในการจัดการของจังหวัดน่าน ในปี พ.ศ. 2564 (Nan Provincial Office for Local Administration, 2022) พบว่า อำเภอบ่อเกลือ เชียงกลาง เวียงสา และเมืองน่าน ซึ่งอยู่ภายใต้การจัดการขององค์การบริหารส่วนตำบลภูฟ้า เทศบาลตำบลเชียงกลาง องค์การบริหารส่วนตำบลทุ่งศรีทอง องค์การบริหารส่วนตำบลไชยสถาน และเทศบาลตำบลคูใต้ เป็นพื้นที่ที่มีปริมาณขยะอินทรีย์สูงเป็น 5 อันดับแรก อยู่ที่ 1,065–2,924 ตันต่อปี ปริมาณขยะอินทรีย์ในพื้นที่อำเภอบ่อเกลือ และเชียงกลาง มีปริมาณเท่ากับ 2,924.28 และ 2,104.76 ตันต่อปี

ข้อมูลของระบบสารสนเทศด้านการจัดการขยะมูลฝอยชุมชน กรมควบคุมมลพิษ (Pollution Control Department, Ministry of Natural Resources and Environment, 2022) ระบุว่า ปี พ.ศ. 2564 จังหวัดน่านมีจำนวนบ่อขยะดำเนินการในพื้นที่ทั้งหมด 165 แห่ง เป็นสถานที่กำจัดขยะมูลฝอยที่กำจัดถูกต้อง 3 แห่ง เป็นสถานที่กำจัดขยะมูลฝอยที่ดำเนินการไม่ถูกต้อง 162 แห่ง และไม่พบสถานีขนถ่ายขยะมูลฝอย (Transfer station) ทำให้ต้องใช้งบประมาณในการขนส่งขยะ โดยค่าใช้จ่ายในการจัดการขยะอยู่ที่ 43.68 ล้านบาท (Nan Provincial Office for Local Administration, 2022) ซึ่งบริบทภาพรวมของปัญหาและความต้องการดังภาพที่ 1 (Figure 1) อำเภอเชียงกลาง จังหวัดน่าน มีการรณรงค์ให้ความรู้และส่งเสริมการคัดแยกขยะอินทรีย์จากครัวเรือน ร้านค้า และแหล่งอื่น ๆ มีการสนับสนุนการทำปุ๋ยหมักจากขยะอินทรีย์ในชุมชนต่าง ๆ มีระบบจัดเก็บและขนส่งขยะอินทรีย์ไปยังศูนย์กำจัดขยะอินทรีย์รวมของจังหวัด แต่การจัดการขยะอินทรีย์ยังประสบปัญหาหลายประการ เช่น ประชาชนขาดความตระหนักและความร่วมมือในการคัดแยกขยะอินทรีย์ โดยยังคงทิ้งรวมกับขยะประเภทอื่น รวมทั้งงบประมาณและบุคลากรในการดำเนินการจัดเก็บ ขนส่ง และจัดการยังไม่เพียงพอและขาดความต่อเนื่อง ระบบการจัดเก็บและขนส่งขยะอินทรีย์ยังไม่ครอบคลุมทุกพื้นที่ ส่งผลให้มีการลักลอบทิ้งขยะอินทรีย์ในบริเวณสาธารณะและพื้นที่โล่งแจ้ง เนื่องจากขาดการบูรณาการและการบริหารจัดการขยะอินทรีย์ในภาพรวมของอำเภออย่างเป็นระบบ ดังนั้นการแก้ไขปัญหาขยะอินทรีย์ในอำเภอเชียงกลางต้องได้รับความร่วมมือจากทุกภาคส่วน ทั้งประชาชน หน่วยงานราชการ และองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น ในการสร้าง

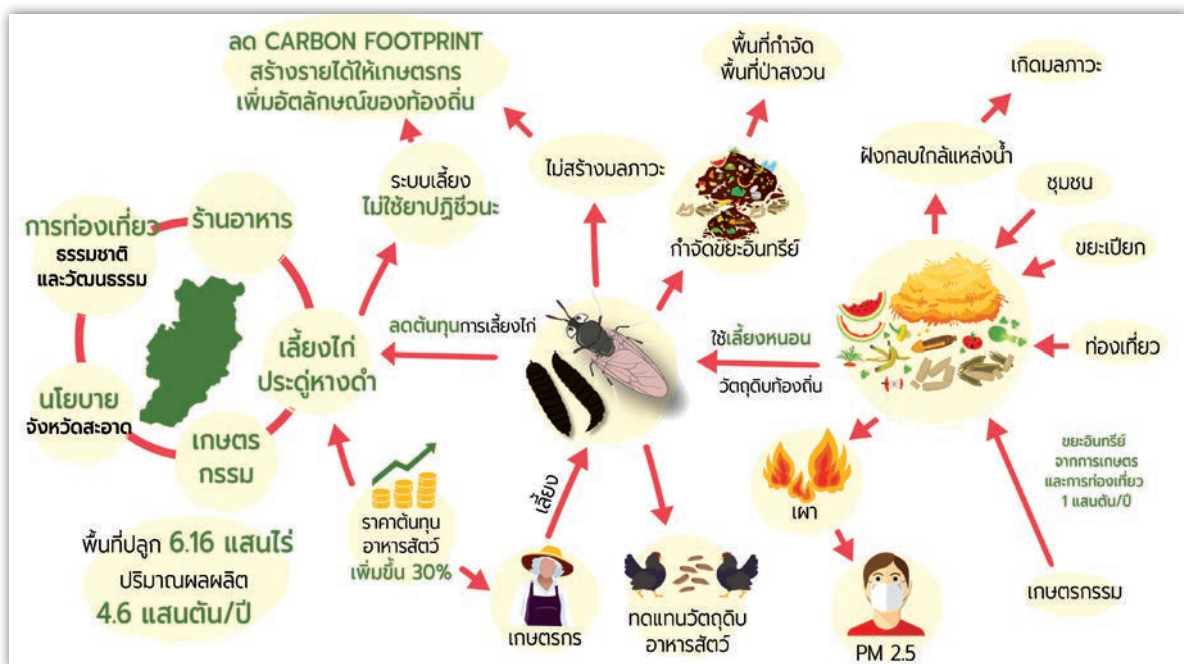


Figure 1 Overview of challenges in the Nan province area

จิตสำนึก สนับสนุนงบประมาณ กำลังคน ให้ดำเนินการอย่างเป็นระบบและต่อเนื่อง ในปัจจุบันหน่วยงานภาครัฐให้แนวทางการจัดการขยะอินทรีย์ด้วยตนเองในครัวเรือน ในรูปแบบของการผลิตเป็นปุ๋ยหมัก โดยอาศัยการหมักของจุลินทรีย์และไส้เดือน (Department of Local Administration, Ministry of Interior, 2024) แต่แนวทางนี้ค่อนข้างใช้ระยะเวลานานและอาจมีกลิ่นระหว่างการดำเนินการ

แมลงทหารเสือ (*Hermetia illucens*, black soldier fly, BSF) เป็นแมลงที่ไม่เป็นพาหะนำโรค พบได้ทั่วไปในเขตอบอุ่นและเขตร้อนทั่วโลก การใช้ตัวอ่อนแมลงทหารเสือ (Black soldier fly larvae, BSFL) ในการบำบัดขยะอินทรีย์รวมถึงเศษอาหาร เพื่อเปลี่ยนแปลงเป็นชีวมวลที่มีมูลค่าสูง เช่น น้ำมันและโปรตีน เป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพ ปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม มีความยั่งยืน และคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ มากกว่าการกำจัดด้วยวิธีฝังกลบ การเผา และการย่อยแบบไม่ใช้ออกซิเจน ซึ่งเป็นกระบวนการที่ไม่ยั่งยืน ไม่คุ้มค่าทางเศรษฐกิจ ใช้ต้นทุนสูง และต้องใช้พื้นที่ในการจัดการ (Kim et al., 2021; Rehman et al., 2023) ปัจจุบันแนวทางใหม่ในการจัดการขยะอินทรีย์ด้วย BSF สามารถย่อยขยะอินทรีย์ได้อย่างรวดเร็ว จึงมีกลิ่นรบกวนน้อยกว่าการหมักปุ๋ยแบบดั้งเดิม ใช้พื้นที่การกลั่นน้อยกว่า และผลผลิตมีทั้งตัวอ่อนแมลงทหารเสือ (Black soldier fly larvae) ที่เป็นแหล่งโปรตีนคุณภาพดีสำหรับผลิตอาหารสัตว์ มูลและส่วนเหลือ (Byproduct) จากการเลี้ยง BSFL ยังเป็นปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพดี (Amrul et al., 2022)

จากการศึกษาการพัฒนาแนวคิดระบบการจัดการอาหารส่วนเกินด้วย BSFL สู่อาหารสัตว์โปรตีนสูง เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยง BSFL ด้วยเศษอาหารภายในมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และทดสอบความปลอดภัยของการใช้ BSFL เพื่อผลิตเป็นอาหารสัตว์ พบว่า BSFL มีโปรตีนร้อยละ 42 ไขมันร้อยละ 35 พลังงาน 2,900 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม กรดอะมิโน และธาตุอาหารอื่น ๆ และทดสอบนำ BSFL ไปผลิตสูตรอาหารไก่และทดสอบเลี้ยงไก่ในฟาร์มต้นแบบ พบว่า ไก่ที่ได้รับอาหารที่มีส่วนผสมของ BSFL มีน้ำหนักตัวเพิ่มขึ้นร้อยละ 96 สูงกว่าไก่ที่เลี้ยงด้วยถั่วเหลืองผสมไขมัน และมีอัตราการตายลดลง (Phimolsiripol, 2023) นอกจากนี้ น้ำมันสกัดจาก BSFL มีฤทธิ์ทางชีวภาพช่วยต้านอนุมูลอิสระ ต้านจุลินทรีย์ และช่วยเสริมภูมิคุ้มกันในสัตว์ เนื่องจากมีปริมาณกรดลอริก (Lauric acid) สูง ซึ่งสามารถควบคุมการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียที่ก่อให้เกิดโรคในลำไส้ นอกจากนี้ยังพบกรดไขมันโอเมก้า 3 ซึ่งสามารถใช้เป็นสารเสริมในอาหารสัตว์เพื่อลดอัตราการเกิดโรคและเสริมภูมิคุ้มกันในสัตว์ นอกจากนี้ น้ำมันสกัดจาก BSFL ยังสามารถใช้เป็นสารสำคัญในเครื่องสำอาง และจากการทดสอบความเป็นพิษของน้ำมันสกัดจาก BSFL ด้วยหนูทดลอง พบว่าน้ำมันที่ได้จากกระบวนการสกัดน้ำมัน ไม่กระตุ้นให้เกิดการแพ้ที่ผิวหนัง (Phimolsiripol, 2020) แสดงถึงความปลอดภัยในการใช้งานสูง

สถานการณ์ที่เป็นอยู่เดิม

พ.ศ. 2564 อำเภอเชียงกลางมีบ่อขยะจำนวน 6 บ่อ โดยทั้งหมดเป็นสถานที่กำจัดขยะมูลฝอยที่ดำเนินการไม่ถูกต้อง (Pollution Control Department, Ministry of Natural Resources and Environment, 2022) เทศบาลตำบลเชียงกลางมีปริมาณขยะระหว่างเดือนมีนาคมถึงพฤษภาคม พ.ศ. 2566 รวม 194,035 กิโลกรัม คิดเป็นปริมาณขยะเฉลี่ยเดือนละ 64,678.33 กิโลกรัม ค่าใช้จ่ายในการกำจัดขยะรวม 232,842 บาท คิดเป็นค่าใช้จ่ายเฉลี่ยเดือนละ 77,614 บาท การจัดการขยะมูลฝอยในจังหวัดน่านมีความจำเป็นต้องจัดการอย่างเหมาะสม เพื่อป้องกันผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพ ซึ่งการกำจัดขยะที่ไม่ถูกต้องก่อให้เกิดมลพิษต่อแหล่งน้ำ อากาศ และดิน รวมถึงเป็นแหล่งเพาะพันธุ์สัตว์นำโรคซึ่งส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของประชาชน อีกทั้งการจัดการขยะอย่างไม่เหมาะสมทำให้สูญเสียโอกาสในการนำขยะกลับมาใช้ประโยชน์ ซึ่งการจัดการขยะอย่างเหมาะสมจะทำให้สามารถวางแผนบริหารจัดการ ติดตามและประเมินผลระบบการจัดการขยะได้อย่างมีประสิทธิภาพ ช่วยลดปัญหาและค่าใช้จ่ายในการแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมในอนาคต การจัดการขยะอย่างเหมาะสมจึงเป็นสิ่งจำเป็นในการรักษาสภาพแวดล้อมสุขภาพของประชาชน เป็นการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่าและยั่งยืน ปฏิบัติตามกฎหมาย และเพิ่มประสิทธิภาพการบริหารจัดการ จากข้อมูลขยะมูลฝอยของประเทศ พบว่าขยะอินทรีย์มีปริมาณมากกว่าร้อยละ 50 ของขยะมูลฝอยทั้งหมด (Association for the Development of Environmental Quality, 2024) การนำขยะอินทรีย์มาจัดการด้วยตนเอง จะช่วยลดปริมาณขยะที่ต้องนำไปกำจัด ประหยัดค่าใช้จ่ายในการขนส่งและการกำจัด ลดภาระการทำงานของเจ้าหน้าที่ รวมถึงลดค่าใช้จ่ายและงบประมาณในการบริหารจัดการขยะของภาครัฐ ดังนั้นการจัดการขยะอินทรีย์ด้วยตนเองในระดับครัวเรือนจึงเป็นแนวทางที่ช่วยลดปัญหาขยะมูลฝอยใช้ทรัพยากรให้เกิดประโยชน์สูงสุด ลดมลพิษและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม รวมถึงสร้างจิตสำนึกการจัดการขยะอย่างยั่งยืนทั้งในระดับครัวเรือนและชุมชน

ฐานข้อมูลเปิดภาครัฐเพื่อสนับสนุนการติดตามและประเมินผลการดำเนินงานตามยุทธศาสตร์ชาติ (Open Data Portal for Monitoring and Evaluating Government Projects under National Strategy, 2022) ระบุจำนวนเกษตรกรผู้เลี้ยงไก่และไก่ในจังหวัดน่าน ประจำปี พ.ศ. 2564 ดังนี้ 1) เกษตรกรผู้เลี้ยงไก่พันธุ์พื้นเมือง มีจำนวน 47,744 ราย และไก่พันธุ์พื้นเมืองรวมทั้งสิ้น 2,079,258 ตัว 2) เกษตรกรผู้เลี้ยงไก่พันธุ์เนื้อ มีจำนวน 236 ราย และไก่พันธุ์เนื้อรวม 54,406 ตัว และ 3) เกษตรกรผู้เลี้ยงไก่พันธุ์ไข่ มีจำนวน 1,520 ราย และไก่พันธุ์ไข่รวม 103,922 ตัว ซึ่งการเลี้ยง

ไก่พันธุ์พื้นเมืองเป็นที่นิยมมากที่สุดในจังหวัดน่าน การใช้อาหารสูตรทางการค้าทำให้ต้นทุนไข่ไก่เฉลี่ยต่อฟองอยู่ที่ 4.84 บาท และต้นทุนการเลี้ยงไก่พันธุ์พื้นเมือง ประมาณ 86.47 บาทต่อการผลิตไข่ 1 กิโลกรัม ข้อมูลดังกล่าวบ่งชี้ถึงศักยภาพในการนำขยะอินทรีย์จากครัวเรือนและชุมชนไปใช้เลี้ยงไก่ในจังหวัดน่าน เนื่องจากเกษตรกรผู้เลี้ยงไก่มีจำนวนมาก การส่งเสริมและสนับสนุนให้นำขยะอินทรีย์จากครัวเรือนไปเลี้ยงไก่จึงเป็นแนวทางหนึ่งในการจัดการขยะอินทรีย์ที่เหมาะสมกับบริบทของจังหวัดน่าน แต่การเลี้ยงไก่ด้วยขยะอินทรีย์โดยตรงอาจก่อให้เกิดความไม่สมดุลของสารอาหารสำคัญที่จำเป็นสำหรับไก่ เช่น โปรตีน ไขมัน วิตามิน และแร่ธาตุต่าง ๆ ทำให้ไก่ขาดสารอาหาร เมื่อพิจารณาคุณค่าด้านโภชนาการของ BSFL แสดงให้เห็นว่าการใช้ประโยชน์จากกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางชีวภาพ (Bioconversion) ของเศษอาหารโดยใช้ BSFL สามารถแก้ปัญหานี้ได้

ชุมชนในอำเภอเชียงกลางเลี้ยงไก่พันธุ์พื้นเมืองและไก่พันธุ์ไข่ ควบคู่กับการปลูกพืชเศรษฐกิจโดยเฉพาะกลุ่มผักสลัด ซึ่งมีต้นทุนต่อ 1 รอบการผลิตประมาณ 6,028.27 บาท และกำไร 11,971.73 บาท ซึ่งเป็นการส่งเสริมการสร้างอาชีพภายในชุมชนและสร้างรายได้เพิ่มให้เกษตรกรในพื้นที่ 13 ชุมชนทั่วภาคเหนือ โดยตำบลเปือ อำเภอลำปาง จังหวัดน่าน มีฟาร์มต้นแบบของเกษตรกร ซึ่งทดลองเลี้ยงไก่พันธุ์พื้นเมืองประตู่ทางดำร่วมกับการ

เลี้ยง BSFL เพื่อกำจัดขยะอินทรีย์ ซึ่งเป็นเศษอาหารจากร้านอาหาร เพื่อลดปัญหาขยะอินทรีย์ในตำบล 1 แห่ง ดังภาพที่ 2 (Figure 2) แต่การดำเนินงานเพียงกลุ่มเดียว ไม่สามารถลดปริมาณขยะอินทรีย์ในตำบลได้ เนื่องจากยังขาดแนวทางการจัดการขยะอินทรีย์ของตำบลหรือจังหวัด และขาดองค์ความรู้ในการจัดการขยะอินทรีย์ให้มีความเหมาะสมต่อการเลี้ยง BSFL และองค์ความรู้ในการออกแบบโรงเรือน การจัดการโรงเรือน เพาะเลี้ยง เก็บเกี่ยว จัดการ BSFL เพื่อให้ได้ BSFL ที่มีคุณภาพและมีคุณค่าด้านโภชนาการตามมาตรฐานของอาหารเสริมโปรตีน และการนำส่วนเหลือจากการเพาะเลี้ยง BSFL ไปใช้ประโยชน์ นอกจากนี้ชุมชนในเขตอำเภอเชียงกลาง ยังขาดองค์ความรู้ที่เหมาะสมในการนำ BSFL ไปใช้เลี้ยงไก่ เช่น การคำนวณและออกแบบสูตรอาหาร และการออกแบบรูปแบบการให้ BSFL กับไก่ในแต่ละวันให้เป็นไปอย่างถูกต้องเหมาะสมเพื่อให้ได้ผลผลิตไข่ไก่และไก่พันธุ์พื้นเมืองคุณภาพดี

ศูนย์บริหารจัดการชีวมวลแบบครบวงจรและโรงเลี้ยงต้นแบบ BSFL มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เป็นสถานที่ดำเนินการด้านระบบการจัดการขยะมูลฝอยของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ โดยมีนโยบายให้บุคลากรและนักศึกษาแยกขยะต้นทางให้ถูกต้องตามขยะ 6 ประเภท ได้แก่ ขยะทั่วไป ขยะรีไซเคิล ขยะอินทรีย์ ขยะชีวมวล ขยะอันตราย และขยะเศษวัสดุก่อสร้างและโฟม ศูนย์บริหารจัดการชีวมวลแบบครบวงจรได้ดำเนินการร่วมกับศูนย์นวัตกรรม



Figure 2 A model farmer within the designated region employs BSFL cultivation for the sustainable biotransformation of bio-waste and to reduce feed costs for raising native chickens; (a) Demonstration of BSFL cultivation, (b) Observational study at a model farm, (c) Area for breeding BSFL, (d) BSFL cultivation area, and (e) Data collection through interviews

อาหารและบรรจุภัณฑ์ ในการดำเนินการ “โครงการนวัตกรรมระบบการจัดการอาหารส่วนเกินด้วยตัวอ่อนแมลงทหารเลื้อยสู่อาหารสัตว์โปรตีนสูง” โดยรวบรวมขยะอินทรีย์จาก 43 จุด ในมหาวิทยาลัย แบ่งเป็น 3 ส่วนหลัก คือ ผังสวนดอก ผังแม่เหียะ และ ผังสวนสัก หลังจากนั้นคัดแยกขยะอินทรีย์หรือเศษอาหารออกจากขยะอื่น โดยใช้เครื่องจักรในการคัดแยก เพื่อนำไปหมักเป็นพลังงานทดแทน (ก๊าซชีวภาพ) และส่วนหนึ่งนำไปใช้เลี้ยง BSFL ณ โรงเลี้ยงต้นแบบ BSFL มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (Biomass Management Center, Chiang Mai University, 2024)

วิสาหกิจชุมชนแม่ทาออร์แกนิก ตำบลแม่ทา อำเภอแม่ออน จังหวัดเชียงใหม่ เป็นกลุ่มเกษตรกรรวมยั่งยืนที่ผลิตสินค้าเกษตรอินทรีย์คุณภาพดี ก่อตั้งเมื่อ ปี พ.ศ. 2556 โดยนำวิถีเกษตรดั้งเดิมที่ปราศจากสารเคมีมาต่อยอด เพื่อผลิตสินค้าเกษตรที่ปลอดภัย เช่น ข้าวอินทรีย์ ผัก และผลไม้ หลากหลายชนิด รวมถึงสมุนไพร และผลิตภัณฑ์แปรรูป ควบคู่กับการเพาะเลี้ยง BSFL และใช้ BSFL เป็นอาหารให้กับไก่ไข่ นอกจากนี้วิสาหกิจชุมชนแม่ทาออร์แกนิกยังให้ความสำคัญกับการพัฒนาอย่างยั่งยืน ส่งเสริมการสร้างงานและรายได้ในชุมชน รักษาระบบนิเวศ และอนุรักษ์ภูมิปัญญาท้องถิ่น เพื่อการบริโภคที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม อีกทั้งยังมีศูนย์เรียนรู้ชุมชนเพื่อให้ความรู้เรื่องเกษตรอินทรีย์ (Chiang Mai Agriculture Extension Office, 2022; The Cloud, 2022)

กระบวนการที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงและการยอมรับของชุมชนเป้าหมาย

การสร้างกระบวนการเรียนรู้และจัดการความรู้ และการเพิ่มขีดความสามารถในการหาความรู้ของชุมชน ด้วยการสร้างพื้นที่ต้นแบบเรียนรู้นวัตกรรม (Learning and innovation platform, LIP) โดยมุ่งเน้นพัฒนาเทศบาลตำบลเชียงกลาง ให้เป็นองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นต้นแบบ ที่มีระบบการจัดการขยะอินทรีย์ด้วย BSFL ร่วมกับการใช้ BSFL เป็นอาหารไก่พันธุ์ไข่และไก่พันธุ์พื้นเมือง โดยมีองค์ประกอบ คือ 1) นายสถานี (Platform admin) คือ คณะผู้วิจัย ที่มีบทบาทเป็นผู้ออกแบบ จัดการให้เกิดการเรียนรู้ และวิทยากรกระบวนการ 2) เป้าหมายการเรียนรู้ คือ องค์ความรู้ระบบการจัดการขยะอินทรีย์ด้วย BSFL และการประยุกต์ใช้ BSFL เป็นส่วนผสมในอาหารสัตว์ 3) พื้นที่การเรียนรู้ร่วมกันแบบออนไลน์และนอกสถานที่ คือ หลักสูตรออนไลน์ ศูนย์บริหารจัดการชีวมวลแบบครบวงจรและโรงเลี้ยงต้นแบบ BSFL มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ วิสาหกิจชุมชนแม่ทาออร์แกนิก และโรงเรียนต้นแบบ BSFL ตำบลเปือ อำเภอยางตลาด 4) กระบวนการและเครื่องมือ คือ กิจกรรมการถอดบทเรียนร่วมกัน การเรียนรู้ผ่านการบรรยายจากวิทยากร การศึกษาดูงาน การฝึกปฏิบัติ และการมีส่วนร่วมในการออกแบบ

ฟาร์มต้นแบบ 5) ตัวความรู้ คือ เทคโนโลยี องค์ความรู้ และนวัตกรรมพร้อมใช้ ด้านระบบการกำจัดขยะอินทรีย์ด้วย BSFL และการประยุกต์ใช้ BSFL เป็นส่วนผสมในอาหารสัตว์ และ 6) ผู้เรียนรู้และผู้ถ่ายทอดความรู้ เทคโนโลยี และนวัตกรรม คือ นวัตกรรมชุมชนที่ผ่านการคัดเลือก จำนวน 50 คน

การพัฒนาศักยภาพของชุมชนในการจัดการขยะอินทรีย์ และผลิตอาหารสัตว์จาก BSFL มีการอบรมเรียนรู้ ความเชื่อมโยงและเป้าหมาย ดังภาพที่ 3 (Figure 3) ประกอบด้วยกิจกรรมดังนี้

กิจกรรมที่ 1 การถ่ายทอดองค์ความรู้ด้านโภชนาการสำหรับการเลี้ยงตัวอ่อนแมลงทหารเลื้อย การเพาะเลี้ยง การจัดการโรงเรือนและอุปกรณ์ การเก็บเกี่ยว และการใช้ตัวอ่อนแมลงทหารเลื้อยเป็นส่วนผสมในอาหารสัตว์ ผ่านการบรรยายจากผู้เชี่ยวชาญ ศึกษาดูงาน ปฏิบัติจริง และวิดีโอการสอน

การถ่ายทอดเทคโนโลยีการเลี้ยง BSFL เพื่อกำจัดขยะอินทรีย์และการต่อยอดสู่การผลิตอาหารเลี้ยงไก่พันธุ์ไข่และไก่พันธุ์พื้นเมืองกับฟาร์มต้นแบบในเขตเทศบาลตำบลเชียงกลาง จังหวัดน่าน มีการคัดเลือกผู้นำนวัตกรรมในแต่ละพื้นที่ เพื่อศึกษาดูงานระบบการเพาะเลี้ยง BSFL ด้วยขยะอินทรีย์ ณ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และใช้ส่วนผสมจากการเพาะเลี้ยง BSFL เป็นปุ๋ยสำหรับพืชผักสวนครัว ณ วิสาหกิจชุมชนแม่ทาออร์แกนิก ซึ่งกระบวนการ “การฝึกอบรมและการปฏิบัติการ” มีบทบาทสำคัญในบริบทต่าง ๆ ทั้งในแง่ของการมีส่วนร่วมของชุมชนและการพัฒนาวิชาชีพ โดยกระบวนการฝึกอบรมและการปฏิบัติการจะเกิดขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพต้องมีการวัดและประเมินผลในประเด็นดังนี้ การตั้งเป้าหมายอย่างมีประสิทธิภาพ การสร้างสมดุลระหว่างเวลา ความพยายาม และต้นทุน

การดำเนินการจัดกิจกรรมการถ่ายทอดองค์ความรู้ให้แก่ชุมชน นวัตกรรม และเกษตรกรและผู้ที่เกี่ยวข้อง เพื่อสร้างเครือข่ายและพัฒนาระบบการทำงานระหว่างกลุ่มเป้าหมาย ผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย และเกษตรกรรายอื่น ๆ และติดตามการดำเนินงานและปรับแผนการทำงานให้สอดคล้องกับบริบทปัจจุบัน การถ่ายทอดองค์ความรู้มีการบรรยายในหัวข้อการจัดการเลี้ยงพ่อแม่พันธุ์ และการเก็บไข่ฟัก การเลี้ยงตัวอ่อน การเก็บเกี่ยวตัวอ่อน ระบบการจัดการขยะอินทรีย์ คุณค่าด้านโภชนาทางห้องปฏิบัติการของ BSFL กระบวนการแปรรูป BSFL เพื่อใช้ในกระบวนการผลิตอาหารสัตว์จาก BSFL ให้กับนวัตกรรมชุมชนที่เข้าร่วม

การเรียนรู้ร่วมกัน นวัตกรรมชุมชนลงพื้นที่เยี่ยมชม สาธิต และฝึกปฏิบัติการเลี้ยง BSFL ณ โรงเรียนต้นแบบ BSFL ตำบลเปือ อำเภอยางตลาด เพื่อเป็นการถ่ายทอดองค์ความรู้ และส่งมอบไข่ BSF ให้แก่นวัตกรรมชุมชนฟาร์มต้นแบบในจังหวัดน่าน โดยได้รับการสนับสนุนไข่ BSF จากโรงเลี้ยงต้นแบบ BSFL มหาวิทยาลัย



Figure 3 Learning framework and objectives of the initiative

เชียงใหม่ พร้อมทั้งถ่ายทอดองค์ความรู้การเลี้ยง BSFL ดังนี้ การจัดการโรงเรียนและอุปกรณ์การเลี้ยง BSFL ระบบการจัดการขยะอินทรีย์ เพื่อเป็นอาหาร BSFL การเลี้ยงพ่อแม่พันธุ์ การเลี้ยงตัวอ่อน และการเก็บเกี่ยว การใช้ประโยชน์จาก BSFL เพื่อเป็นอาหารสัตว์ และการจัดการส่วนเหลือเพื่อเป็นปุ๋ยในการปลูกพืชปลอดภัย เกษตรกร/ชุมชนเป้าหมายที่มีศักยภาพในการพัฒนาเป็นนวัตกรรมศึกษาดูงานระบบการจัดการขยะอินทรีย์และการเลี้ยง BSFL ณ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และกลุ่มเกษตรกรแม่ทาออร์แกนิก เพื่อให้เกิดการเรียนรู้อย่างยั่งยืน และสามารถทวนสอบความเข้าใจ จึงจัดทำสื่อวิดีโอเพื่อเผยแพร่องค์ความรู้ระบบการจัดการอาหารส่วนเกินด้วย BSFL เพื่อใช้เผยแพร่องค์ความรู้ระบบการจัดการขยะอินทรีย์ด้วย BSFL ดังภาพที่ 4 (Figure 4) โดยมีเนื้อหาครอบคลุมตั้งแต่การจัดการไข่ การอนุบาล BSFL การเลี้ยง BSFL หลังอายุ 6 วัน การเลี้ยง BSFL หลังอายุ 9 วัน และการเก็บเกี่ยว

การถ่ายทอดองค์ความรู้ด้านการจัดการการเลี้ยง BSFL ด้วยขยะอินทรีย์ ทั้งในภาคบรรยาย การศึกษาดูงาน และการฝึกปฏิบัติจริง มีรายละเอียดดังนี้

การจัดการขยะอินทรีย์ให้เหมาะสมกับการเพาะเลี้ยง BSFL ขยะอินทรีย์ที่สามารถนำมาเพาะเลี้ยง BSFL ได้ มีดังนี้ เศษอาหาร ได้แก่ อาหารจากการบริโภคทั้งในครัวเรือน การจำหน่ายในร้านค้าปลีก อาหารบุฟเฟต์ และร้านอาหารหรือโรงแรม และอาหารหมดอายุที่ยังไม่เน่าเสีย ผักและผลไม้ และวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ได้แก่ เศษผักและผลไม้ในขั้นตอนเตรียมอาหารที่ถูกตัดแต่ง

เพื่อความสวยงาม หรือเศษเปลือกผลไม้ เช่น เปลือกส้มประตธมะม่วงสุก แดงโม อโวคาโด ส้ม และมะละกอ เป็นต้น และวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เช่น รำข้าว กากปาล์ม และกากถั่วเหลือง เป็นต้น

กระบวนการจัดการขยะอินทรีย์ ประกอบด้วยขั้นตอนดังภาพที่ 5 (Figure 5) ดังนี้ 1) การรับ คัดเลือก หรือแยก เฉพาะขยะอินทรีย์ 2) การกำจัดส่วนที่ไม่ต้องการและขยะอื่นที่ติดมาออกจากขยะอินทรีย์ เช่น ถูพลาสติก ซ้อน ถ้วยพลาสติก ตะเกียบ และไม้เสียบลูกชิ้น เป็นต้น 3) การแยกส่วนที่ BSFL ไม่สามารถกินได้ เช่น เปลือกมะนาว เปลือกพริก และเศษกระดูก เป็นต้น 4) กรองแยกเฉพาะส่วนของแข็งสำหรับการใช้ในการเพาะเลี้ยง BSFL และแยกส่วนของเหลวออก ดังนั้นขยะอินทรีย์ที่ได้จากแหล่งต่าง ๆ เช่น ครัวเรือน ตลาดสด หรือร้านอาหารต่าง ๆ ต้องผ่านกระบวนการคัดแยกส่วนที่ BSFL ไม่สามารถกินได้ก่อนนำไปเลี้ยง BSFL เนื่องจากการจัดการขยะอินทรีย์อย่างเหมาะสมเป็นหนึ่งในปัจจัยสำคัญที่ส่งผลให้ BSFL มีคุณภาพที่ดีและคุณค่าด้านโภชนาที่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้เป็นส่วนผสมในอาหารสัตว์

การเพาะพ่อแม่พันธุ์ การเก็บไข่ และการเลี้ยงตัวอ่อน
ขั้นตอนที่ 1 การล่อ BSF ตามธรรมชาติ

การเริ่มต้นระบบการผลิตหรือเลี้ยง BSF อาจซื้อไข่จากแหล่งขาย หรือล่อ BSF จากแหล่งธรรมชาติ เนื่องจาก BSF อาศัยอยู่ทั่วไปในเขตร้อนชื้นและ BSF มีอยู่ในทุกจังหวัดของประเทศไทย ดังนั้นสำหรับผู้เริ่มต้นเพาะเลี้ยง BSF สามารถเตรียมผลไม้สด



Figure 4 Video media for BSFL cultivation and processing; (a) Egg collection, (b) BSFL nursing, (c) Cultivation of 6-day-old BSFL, (d) Cultivation of 9-day-old BSFL, (e) Harvesting and waste separation machine, and (f) Harvesting and processing of BSFL



Figure 5 Bio-waste management procedures for BSFL cultivation

ดังภาพที่ 6a (Figure 6a) เพื่อใช้เป็นอาหารสำหรับการล่อ BSF ให้มาวางไข่ โดย BSF จะวางไข่ในบริเวณใกล้กับอาหาร ดังนั้นควรวางแผ่นไม้สำหรับวางไข่ ดังภาพที่ 6b (Figure 6b) ไว้ใกล้กับอาหาร

ขั้นตอนที่ 2 การเก็บไข่ BSF

การเก็บไข่โดยการแยกแผ่นไม้ออกจากกันและชุบไข่ของ BSF อย่างระมัดระวังด้วยมีดขนาดเล็กที่มีปลายแหลม ดังภาพที่ 7 (Figure 7) สิ่งสำคัญในขั้นตอนนี้คือ ไข่อาจมีอายุไม่เท่ากัน หากไม่ได้เอาแผ่นไม้ออกมาทุกวัน ตัวอ่อนจะฟักตัวและเติบโตในระยะต่างกัน

ทำให้ต้องเพิ่มงานตัดแยกเมื่อครบกำหนด ตามหลักการแล้วการผลิต BSF ปริมาณมาก ควรให้ตัวอ่อนอยู่ในช่วงอายุที่ใกล้เคียงกันโดยทั่วไปแล้วตัวเมียเต็มวัยจะผลิตไข่ประมาณ 300-400 ฟองในช่วงอายุ

ขั้นตอนที่ 3 การอนุบาลตัวอ่อนของ BSF

การอนุบาลไข่ไว้ในขวดโหล 1 วัน ดังภาพที่ 8a (Figure 8a) จนกว่าหนอนจะฟักออกจากไข่ จากนั้นเติมอาหารสำหรับอนุบาลซึ่งประกอบด้วย อาหารไก่และน้ำ ในอัตราส่วน 1:1 แล้วเลี้ยงต่อ

เป็นเวลา 2 วัน ดังภาพที่ 8b (Figure 8b) การอนุบาลในขวดโหลจะช่วยลดปริมาณการสูญเสีย BSFL เนื่องจาก BSFL ที่ฟักออกมาจะต้องไต่ขึ้นไปยังฝาขวดเพื่อลดความแออัด หลังจากเลี้ยง BSFL ในขวดโหลครบ 3 วัน ให้ย้ายไปอนุบาลต่อในกระบะเลี้ยงจนกว่า BSFL จะมีอายุครบ 6 วัน ดังภาพที่ 8c (Figure 8c)

ขั้นตอนที่ 4 การกำจัดขยะอินทรีย์ด้วย BSFL

เมื่อ BSFL อายุครบ 6 วัน ให้ชั่งน้ำหนัก BSFL เพื่อคำนวณหรือคาดการณ์ปริมาณขยะอินทรีย์ที่ต้องให้กับ BSFL โดยการให้อาหารจะคำนวณเป็นสัดส่วน คือ กระบะขนาด 1x2 เมตร ดังภาพที่ 9a (Figure 9a) 1 กระบะ : BSFL อายุ 6 วัน น้ำหนัก 320 กรัม (จากไข่ประมาณ 2 กรัม) : ขยะอินทรีย์ 6 กิโลกรัม ดังภาพที่ 9b (Figure 9b) เมื่อ BSFL อายุครบ 9 วัน (ครบระยะเวลาการเลี้ยง 3 วันนับจากเริ่มเลี้ยง) ขยะอินทรีย์จะมีปริมาณลดลง ดังภาพที่ 9c (Figure 9c) จึงเติมขยะอินทรีย์ 15 กิโลกรัม ลงไปให้กับ BSFL อายุ 9 วัน

อีกครั้ง ดังภาพที่ 9d (Figure 9d) เพื่อให้เหมาะกับการเจริญเติบโต เมื่อ BSFL อายุครบ 15 วัน (ครบระยะเวลาการเลี้ยง 9 วันนับจากเริ่มเลี้ยง) BSFL จะมีปริมาณสารอาหารสูงและเหมาะสมต่อการนำไปใช้งาน ดังภาพที่ 9e (Figure 9e) หากเก็บ BSFL เข้าเกินไป ผู้ผลิตอาจได้อาหารสัตว์ที่มีคุณภาพลดลง และการเก็บ BSFL ไปใช้เร็วเกินไปอาจทำให้พลาดต่อการได้น้ำหนักและขนาดที่เหมาะสม

ขั้นตอนที่ 5 การเก็บเกี่ยว BSFL

การกำจัดของเสียที่ได้จาก BSFL เริ่มดำเนินการเมื่อ BSFL มีอายุครบ 12-15 วัน เนื่องจาก BSFL ระยะนี้มีปริมาณสารอาหารสูงและเหมาะสมต่อการนำไปใช้งาน โดยใช้เครื่องร่อนกำจัดของเสียออกจาก BSFL ดังภาพที่ 10a (Figure 10a) ซึ่งของเสียหรือส่วนเหลือและ BSFL ที่มีขนาดไม่ได้มาตรฐานจะหลุดออกทางด้านหน้าของเครื่องร่อน BSFL และ BSFL ที่ได้มาตรฐานจะถูกคัดเลือกไว้ทางด้านหลังของเครื่องร่อน ซึ่ง BSFL ที่ได้จากการร่อนจะมีขนาดตัว

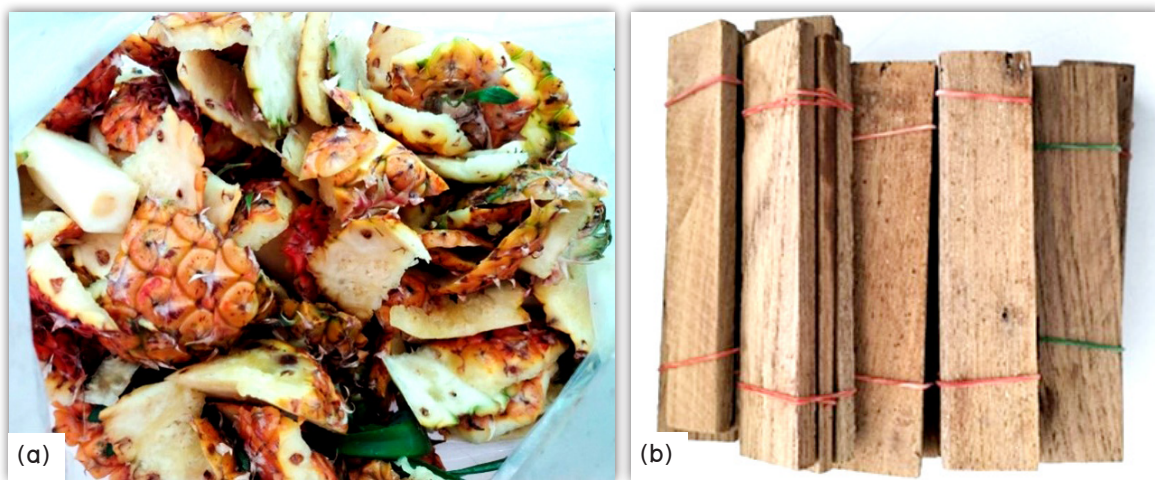


Figure 6 (a) Utilization of specific feed to attract BSF and (b) Deployment of wooden substrates for laying eggs

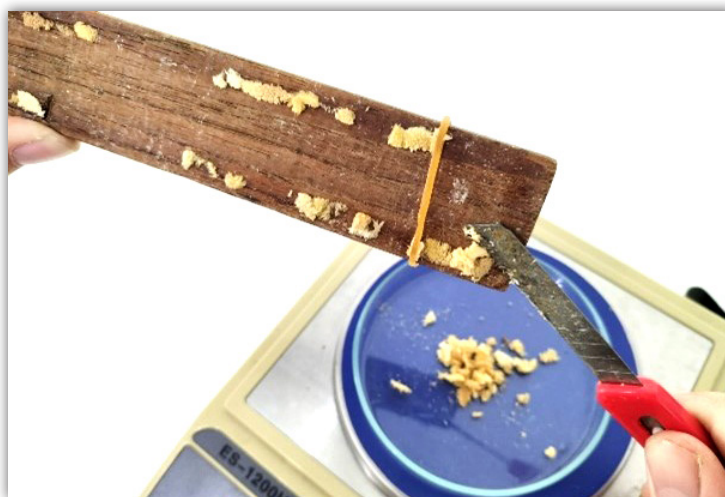


Figure 7 Collecting eggs from wooden materials

ใกล้เคียงกัน ดังภาพที่ 10b (Figure 10b) จากนั้นทำความสะอาด BSFL โดยนำ BSFL ไปล้างน้ำเพื่อกำจัดของเสีย ดังภาพที่ 10c (Figure 10c) และผึ่งลมให้แห้งก่อนเก็บลงในกระบะ จากนั้น BSFL ที่ได้จะเข้าสู่กระบวนการเก็บรักษาในตู้แช่แข็ง 1 คืน เพื่อให้ BSFL แข็งตัว ง่ายต่อการจัดเก็บและบรรจุลงถุง ถุงละ 2 กิโลกรัม ดังภาพที่ 10d (Figure 10d) และจัดเก็บในตู้แช่แข็งอีกครั้ง ดังภาพที่ 10e (Figure 10e)

ขั้นตอนที่ 6 กระบวนการผลิต BSFL อบแห้ง

กระบวนการแปรรูป BSFL เริ่มจากการละลาย BSFL แข็งแช่แข็ง ล้างทำความสะอาดและผึ่งลมให้แห้งอีกครั้ง ก่อนนำเข้าอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2-3 ชั่วโมง จากนั้นทำการพลิกกลับ BSFL ในตู้อบ และอบต่อที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมง โดยใช้ตู้อบลมร้อนขนาด 12 ถาด ดังภาพที่ 11a (Figure 11a) หลังจากนั้นนำ BSFL อบแห้ง ดังภาพที่ 11b (Figure 11b)

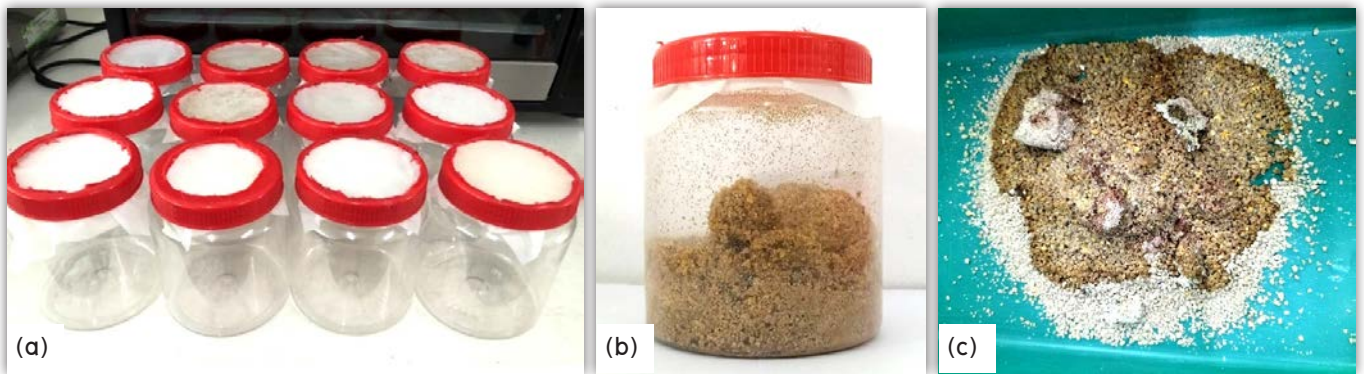


Figure 8 (a) Preparation of nursery jar, (b) Incubation of BSFL within nursery jar, and (c) Nursing BSFL in containers



Figure 9 (a) 1x2 square meter tray, (b) Tray arrangement layout, (c) The appearance of trays after cultivation of BSFL for 6 days, (d) Cultivation of 9-day-old BSFL, and (e) Cultivation of 15-day-old BSFL

มาบดเป็นผงละเอียด ดังภาพที่ 11c (Figure 11c) เพื่อนำไปใช้ในกระบวนการผลิตอาหารสัตว์จาก BSFL ต่อไป

การจัดทำสื่อวิดีโอเพื่อเผยแพร่องค์ความรู้ระบบการจัดการอาหารส่วนเกินด้วย BSFL ร่วมกับสำนักบริการเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จำนวน 5 หลักสูตร ได้แก่ หลักสูตรการเลี้ยง BSF เพื่อสร้างอาชีพ หลักสูตรการกำจัดขยะอินทรีย์ด้วย BSF หลักสูตรการผลิตอาหารเลี้ยงไก่ด้วย BSF หลักสูตรการเป็นผู้ถ่ายทอดนวัตกรรมสู่ชุมชน และหลักสูตรการจัดการแหล่งเรียนรู้นวัตกรรมในชุมชน โดยมีการนำร่องใช้งานกับ

นวัตกรชุมชนจำนวน 50 ราย และเผยแพร่ในระบบ CMU MOOC ซึ่งเป็นหลักสูตรการเรียนการสอนออนไลน์ระบบเปิดสำหรับบุคคลทุกเพศ ทุกวัย ไม่จำกัดวุฒิการศึกษา ดังภาพที่ 12 (Figure 12)

กิจกรรมที่ 2 การวิเคราะห์คุณค่าด้านโภชนาของตัวอ่อนแมลงทหารเสือที่ผลิตในชุมชน เพื่อผลิตอาหารสัตว์

ผลการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาของ BSFL ที่ผลิตได้ในชุมชน เพื่อการผลิตอาหารสัตว์ พบว่า มีปริมาณโปรตีนร้อยละ 51.76 ใยอาหารร้อยละ 9.30 ไขมันร้อยละ 7.08 และพลังงาน

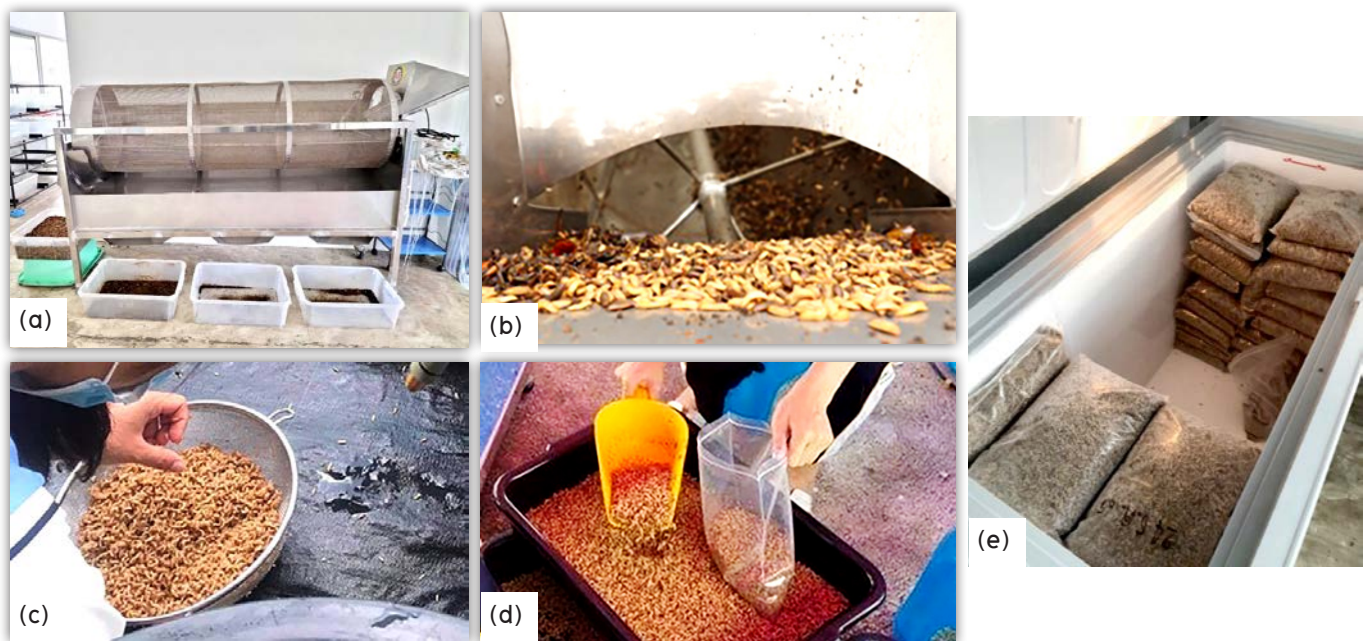


Figure 10 (a) Sieving procedure to separate residue from BSFL, (b) BSFL after the separation process, (c) Cleaning protocol for BSFL, (d) Packaging of BSFL, and (e) Preservation of BSFL by using frozen storage



Figure 11 (a) Drying of BSFL by using a hot air oven, (b) Oven-dried BSFL, and (c) Pulverization of BSFL for application as feed additives

เท่ากับ 4,865 แคลอรีต่อกรัม ดังตารางที่ 1 (Table 1) BSFL ที่ผ่านการเลี้ยงด้วยขยะอินทรีย์ มีคุณสมบัติเหมาะสมสำหรับใช้เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์และมีคุณภาพตามเกณฑ์มาตรฐานของอาหารเสริมโปรตีน

กิจกรรมที่ 3 การวางแผนผังระบบจัดการขยะอินทรีย์ ณ ฟาร์มต้นแบบ จังหวัดน่าน

การจัดประชุมกลุ่มย่อยกับชุมชนเป้าหมาย เพื่อหารายละเอียดเพิ่มเติมด้านปัญหาและความต้องการของชุมชน/ผู้ประกอบการ รวมทั้งการลงพื้นที่เพื่อประเมินความพร้อมในการจัดการระบบบริหารจัดการขยะอินทรีย์ โดยมีเป้าหมายหลักเพื่อสำรวจให้คำปรึกษาเชิงลึก และทำความเข้าใจกับองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น เกษตรกร และชุมชนในพื้นที่เพิ่มเติม โดยผลการดำเนินงานมีดังนี้ ระยะที่ 1 การดำเนินงานวางแผนการกำจัดขยะอินทรีย์และดำเนินการก่อสร้างโรงเรือนเลี้ยง BSFL ประกอบด้วย ชาวบ้านน้ำพารมสเตีย แสงทองริสอร์ท โรงเรียนบ้านพระธาตุวิทยาคม โรงเรียนเชียงกลางประชานุเคราะห์ โรงเรียนพระพุทธรบาทวิทยา สวนปรีชญา ระยะที่ 2 การดำเนินงานกับองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น เทศบาลตำบลบ่อเกลือใต้ เทศบาลตำบลปัว และชุมชน/ผู้ประกอบการที่พักคอยสกาต อำเภอปัว จังหวัดน่าน

การวิเคราะห์ระบบการบริหารจัดการขยะอินทรีย์ สถานที่ก่อสร้างโรงเลี้ยง BSFL รวมถึงการใช้ประโยชน์จาก BSFL ของชุมชน

เป้าหมาย ดังตารางที่ 2 (Table 2) โดยเก็บรวบรวมข้อมูลจาก 1) การประชุมผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในการวางแผนการทำงาน รวมถึงบุคลากรหลักของชุมชนต้นแบบ เพื่อจัดทำและนำเสนอแผนการดำเนินงานภาพรวมของกิจกรรมโดยระบุรายละเอียด วัตถุประสงค์ ขอบเขตการดำเนินงาน ขั้นตอนการดำเนินงาน และแผนการดำเนินการ เพื่อแสดงแผนการทำงานในแต่ละกิจกรรม พร้อมผลที่คาดว่าจะได้รับในแต่ละขั้นตอน ตัวชี้วัด ผลผลิตและผลลัพธ์ของกิจกรรม และ 2) การสร้างเครือข่าย โดยการจัดกิจกรรมประชุมร่วมกันของเครือข่ายนวัตกรรมนวัตกรรมชุมชนต้นแบบ การถอดบทเรียนและจัดทำแผนการพัฒนาระบบจัดการขยะอินทรีย์ร่วมกับองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในพื้นที่ เพื่อต่อยอดจากระบบจัดการขยะอินทรีย์ต้นแบบ ณ ตำบลเชียงกลางสู่การจัดการระดับตำบลอื่น ๆ และขยายสู่ระดับจังหวัด การวิเคราะห์ข้อมูลใช้การวิเคราะห์เชิงเนื้อหาเป็นหลัก โดยนำข้อมูลจากการประชุมผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในการวางแผนการทำงานและกิจกรรมประชุมร่วมกันของเครือข่ายนวัตกรรมชุมชนต้นแบบ ถอดบทเรียนและจัดทำแผนการพัฒนาระบบจัดการขยะอินทรีย์ร่วมกับองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในเขตจังหวัดน่าน เพื่อนำไปสู่รูปแบบระบบจัดการขยะอินทรีย์ด้วย BSFL ที่เหมาะสมและสอดคล้องกับบริบทของพื้นที่

การวางแผนผังระบบจัดการขยะอินทรีย์ ณ ฟาร์มต้นแบบ จังหวัดน่าน โดยการสำรวจสถานที่ก่อสร้างโรงเลี้ยง BSFL เพื่อกำจัดขยะในอำเภอเชียงกลาง จังหวัดน่าน ซึ่งพิจารณาถึงความพร้อม



Figure 12 Video materials for disseminating knowledge on the food waste management system using BSFL. The materials consist of: 1) a course on raising BSF for career development, 2) a course on organic waste disposal using BSF, 3) a course on producing chicken feed using BSF, 4) a course on being an innovator transferring knowledge to the community, and 5) a course on managing innovation learning sources within the community

Table 1 Proximate analysis of BSFL

Test Items	Method	Results	Units
Moisture	AOAC official method of analysis 21st ed., 2019 method 930.15	4.0	%
Crude protein	In-house method: WI7.2-03 based on ISO 5983-2: 2009	51.76	%
Crude fat	In-house method: WI7.2-04 based on AOAC official method of analysis 21st ed., 2019 method 920.39	7.08	%
Crude fiber	AOCS official procedure Ba 6a-05	9.30	%
Ash	AOAC official method of analysis 21st ed., 2019 method 942.05	12.2	%
Gross energy	World Poultry Science Association (1985)	4,865	cal/g

ความเหมาะสมของสถานที่ตั้ง และพื้นที่ใกล้เคียง บริเวณโรงเรียน มีโรงเลี้ยงไก่พันธุ์ไข่ และมีพื้นที่สำหรับทำการเกษตร ซึ่งจะเป็นสถานที่สำหรับทำกิจกรรมกลุ่มเกษตรกร เป็นพื้นที่ต้นแบบสำหรับการเลี้ยง BSFL เป็นพื้นที่ศึกษาเรียนรู้ของกลุ่มเกษตรกร รวมถึงเป็นพื้นที่สำหรับทำงานวิจัยเชิงพื้นที่ การวางแผนปรับปรุงโรงเรียนเดิมที่มีอยู่เพื่อใช้เพาะเลี้ยง BSFL จัดทำแบบแปลนโรงเรียนต้นแบบวางแผนผังให้เหมาะสมกับการเลี้ยง BSFL เพื่อกำจัดขยะอินทรีย์ ดังภาพที่ 13 (Figure 13) จากการตรวจเยี่ยมกลุ่มเกษตรกร ได้ออกแบบแปลนโรงเรียนต้นแบบที่ชุมชนสามารถจัดการได้จริงเหมาะสมกับพื้นที่ และเป็นไปตามหลักสุขอนามัย โดยได้รับความอนุเคราะห์จากนายช่างของเทศบาลตำบลเชียงกลางเป็นผู้ออกแบบ

กิจกรรมที่ 4 การปรับปรุงโรงเรียนต้นแบบตามหลักสุขอนามัย

การก่อสร้างโรงเรียนต้นแบบเลี้ยงพ่อแม่พันธุ์และเพาะเลี้ยง BSFL สำหรับข้าวกับน้ำฟาร์มสเตย์ ในพื้นที่ตำบลเปือ อำเภอยางตลาด จังหวัดกาฬสินธุ์ ดังภาพที่ 14 (Figure 14) และการเลี้ยงตัวอ่อน BSF โดยมี ข้าวกับน้ำฟาร์มสเตย์ เป็นผู้ดำเนินการอนุบาลไข่ BSF เพื่อบริโภค BSFL ที่แข็งแรงในระดับหนึ่งให้กลุ่มพื้นที่เป้าหมายต่อไป เมื่อกลุ่มพื้นที่อื่น ๆ มีความพร้อมในการเลี้ยงด้วยตนเอง จะดำเนินการอนุบาลไข่ BSF และเพาะเลี้ยงแบบครบวงจรได้

ความรู้หรือความเชี่ยวชาญที่ใช้

การสร้างพื้นที่ต้นแบบเรียนรู้นวัตกรรม (Learning and innovation platform, LIP)

กระบวนการนวัตกรรมการเรียนรู้เพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน (LIP model) คือ รูปแบบกระบวนการนวัตกรรมการเรียนรู้เพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืนของปราชญ์ชาวบ้านภาคใต้ (Chukamnerd et al., 2020) จากการสังเคราะห์ผ่านแนวคิดระบบห่วงโซ่คุณค่าความรู้

(Knowledge chain system) ซึ่งเน้นศึกษา 4 กระบวนการสำคัญ และเป็นแนวทางหลักในการสร้างองค์ความรู้พัฒนานวัตกรรม โดยเน้นการถ่ายทอดอย่างเป็นระบบและยั่งยืน ดังนี้

1) กระบวนการสร้างทักษะนวัตกรรม (Skill building) ด้วยการสร้างและเปลี่ยนแปลงวิธีคิด ทำเพื่อเป้าหมาย การเรียนรู้ผ่านการลงมือทำ การสร้างทักษะต่าง ๆ เพื่อเป็นผู้นำนวัตกรรมในชุมชน เช่น ทักษะการแยกขยะ การเลี้ยง BSF การเลี้ยงไก่พันธุ์พื้นเมือง การเป็นผู้ประกอบการ การทำงานเป็นทีม การสร้างเครือข่าย การเป็นผู้ถ่ายทอดนวัตกรรมสู่ชุมชน การจัดการแหล่งเรียนรู้นวัตกรรมในชุมชน โดยกระบวนการนี้จะเกิดขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพต้องมีการวัดและประเมินผลในประเด็นดังนี้ การตั้งเป้าหมายอย่างมีประสิทธิภาพ การสร้างสมดุลระหว่างเวลา ความพยายาม และต้นทุน การสร้างตัวชี้วัดอย่างมีจุดมุ่งหมาย การทำความเข้าใจคติ การออกแบบแบบสำรวจ การประเมินความมั่นใจของผู้เข้าร่วม การถามเกี่ยวกับทักษะเฉพาะ การรวบรวมคำติชมก่อน ระหว่าง และหลัง และการวัดผล เป็นต้น (Sufi et al., 2018)

2) กระบวนการสร้างนวัตกรรม (Innovation creation) เป็นกระบวนการเพื่อทบทวนวิถีการดำรงชีวิต ภูมิปัญญา ความรู้ ความสามารถที่มี ปัจจัยเกื้อหนุน สืบเสาะแสวงหาความรู้ พัฒนาศักยภาพของตนอยู่เสมอ ดัดแปลงประยุกต์ความรู้ สามารถถ่ายทอดนวัตกรรมสู่ชุมชน สร้างพื้นที่ต้นแบบจัดการขยะ ด้วยโมเดล 3 ระดับ ได้แก่ ระดับร้านอาหาร ระดับฟาร์มเลี้ยง และระดับเทศบาล โดยอาศัยความแตกต่างเป็นทุนสำหรับใช้ให้เกิดประโยชน์มากที่สุด วางแผนกำหนดความรู้หลัก สร้างการฝึกทักษะแบบกลุ่ม (Team coaching) ระหว่างนักวิจัยและนวัตกรรมต้นแบบ ร่วมกับแลกเปลี่ยนเรียนรู้และบันทึกองค์ความรู้ไว้ใช้ประโยชน์ต่อไปในพื้นที่

3) กระบวนการใช้นวัตกรรม (Innovation utilization) ด้วยการลงมือปฏิบัติจริง ขยายการปฏิบัติออกไปอย่างต่อเนื่องจนกลายเป็นวิถีการที่ชุมชนยึดถือปฏิบัติ พัฒนางานองค์ความรู้ประยุกต์ไปสู่วิถีที่ดีกว่าเดิม บูรณาการวิชาการ ภูมิปัญญา และเทคโนโลยี อย่างสมดุล แพร่กระจายถ่ายทอดนวัตกรรมและ

Table 2 Diagnostic outcomes and configuration of bio-waste treatment system employing BSFL in each community

Target community	Source of bio-waste	Construction site of prototype farm	BSFL utilization plan
Khao Kub Num Farmstay	The community local restaurants	Khao Kub Num Farmstay	The group raises indigenous chickens, manages an organic vegetable farm, and cultivates BSFL. Dried BSFL is used as an ingredient in chicken feed, and the waste from BSFL cultivation serves as fertilizer.
Banpratatt Pittayakhom School	The canteen with a lot of food waste left over because this school is a boarding school	Banpratattittayakhom School	The school has raised 100 indigenous chickens and 50 laying hens. Moreover, this educational institution implements the Khok Nong Na Model, a land development concept, to optimize resource utilization following the principles of the sufficiency economy philosophy for the cultivation of fresh BSFL as a feed ingredient for chicken farming.
Pra Buddhawat Witaya School	The school's canteen	Prabuddhabatwitaya School	Regarding resource optimization, the school strategically employs fresh BSFL to raise the 300 laying hens. This approach effectively mitigates expenses associated with commercial feed. Additionally, the BSFL manure serves as a natural fertilizer for the cultivated vegetables, including morning glory plants and lime trees, which contribute to the institution's revenue generation.
Chiang Klang Pracha Phatthana School	The school's canteen	Chiang Klang Pracha Phatthana School	The school raises 300 laying hens in cages, following a similar practice as Phra Phutthabat Witthaya School. The school's utilization plans include incorporating fresh BSFL into the laying hens' feed to reduce production costs.
Prachya Garden	The restaurants in Chiang Klang Subdistrict	Prachya Garden	The main goal for BSFL cultivation is to utilize food waste from restaurants in Chiang Klang Subdistrict. At Prachya Garden, the fresh BSFL is employed as Siriped Catfish's feed.
Chiang Klang Subdistrict Municipality	The schools in the area of Chiang Klang Subdistrict Municipality, namely, Ban Nam Kha School, Ratchadaphisek Community School, Ban Nong Phuk School, and Chedi Chiang Khom Community School	The municipality allocated a budget for constructing the BSFL rearing house in 2024. However, no budget has been set for operations in 2023. Therefore, the BSFL rearing house cannot be created yet. Instead, it will be shared with Khao Kub Num Farmstay, which collects bio-waste to use as feed in its BSFL farming system.	The primary objective is to reduce bio-waste in schools within the Chiang Klang Subdistrict Municipality area. This bio-waste is utilized as food for BSFL production at Khao Kub Num Farmstay.

เทคโนโลยีอย่างเหมาะสม ซึ่งต้องอาศัยความร่วมมือจากการเรียนรู้ร่วมกัน จากทุกภาคส่วนให้เกิดความเป็นเจ้าของ ด้วยนวัตกรรม การเพาะเลี้ยง BSF ที่มีอยู่แล้วในชุมชนผสานกับงานวิจัยของ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เพื่อต่อยอดสู่การจัดการขยะอินทรีย์ และสร้างมูลค่าด้วยการผลิตเป็นอาหารสัตว์ สำหรับลดต้นทุนของการทำปศุสัตว์ในระดับชุมชน

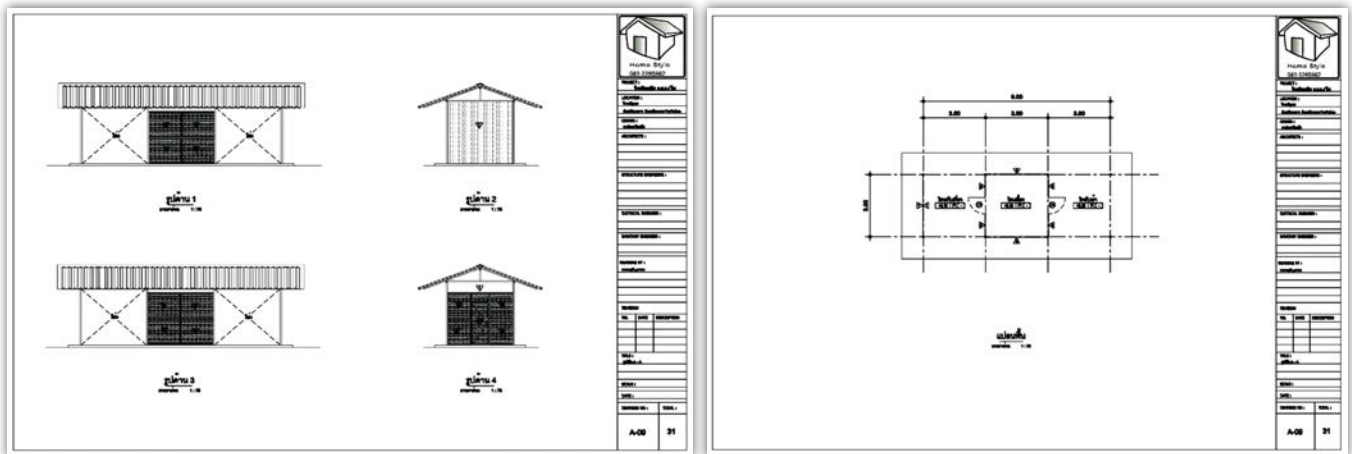


Figure 13 Layout of the prototype farm

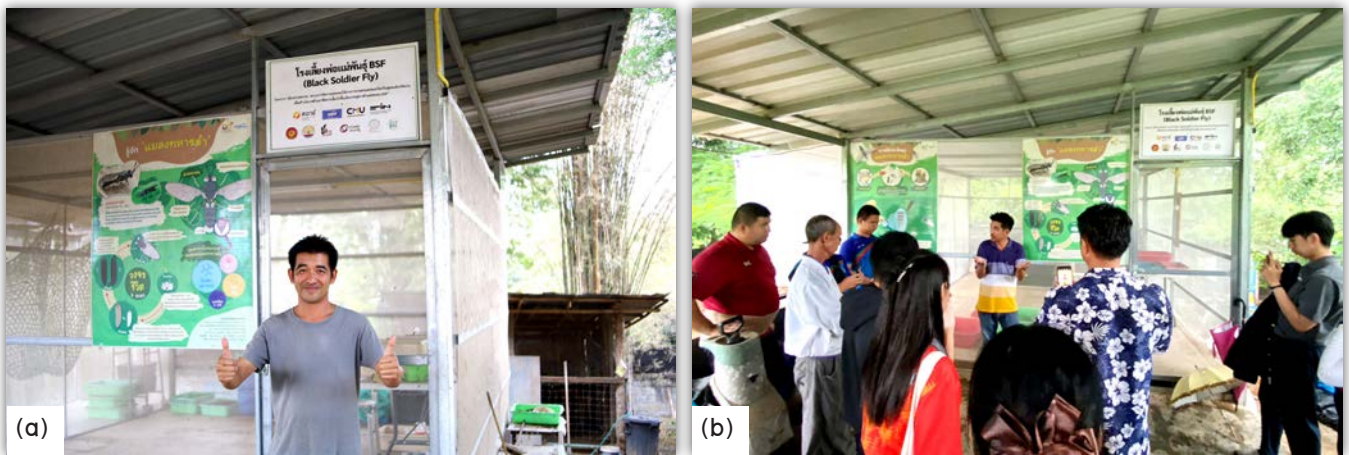


Figure 14 (a) Prototype farm at Khao Kub Nam Farm Stay, and (b) Target innovators visiting the prototype farm facility

4) กระบวนการเผยแพร่นวัตกรรม (Innovation Diffusion) เป็นกระบวนการเปิดสังคมเรียนรู้ สร้างเครือข่ายการเรียนรู้ในชุมชน ดำรงชีวิตอยู่ภายใต้วิถีชีวิตท้องถิ่น ใช้ประโยชน์จากนวัตกรรม เพื่อสะท้อนพลังของชุมชน มาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาคุณภาพชีวิต ให้สามารถแก้ปัญหาและถ่ายทอดประสบการณ์ผ่านนวัตกรรมที่สร้างขึ้น ถอดบทเรียนนวัตกรรม กลั่นกรองตรวจสอบคุณภาพของนวัตกรรม ให้เป็นไปตามสภาพปัจจุบัน สร้างความเข้าใจและรู้เท่าทันความเปลี่ยนแปลง (Chukamnerd et al., 2020) อันนำไปสู่การใช้นวัตกรรมการเรียนรู้ เพื่อสร้างสื่อการเรียนรู้ที่ไม่เสียค่าใช้จ่ายบนแพลตฟอร์มออนไลน์ของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เผยแพร่สู่สาธารณะ เพื่อให้นวัตกรรมในพื้นที่อื่น สามารถเรียนรู้ และนำไปปรับใช้ได้ เพื่อเปลี่ยนแปลงวิถีคิด วิถีปฏิบัติ จนเกิดเป็นชุมชนแห่งการเรียนรู้และพัฒนาอย่างยั่งยืน

แมลงทหารเสือ (*Hermetia illucens*, Black soldier fly, BSF)

ความรู้พื้นฐานของ BSF แมลงทหารเสือ จัดอยู่ในอันดับ Diptera วงศ์ Stratiomyidae ลำตัวมีสีดำ ที่ปลายขาทุกคู่มีสีขาวมองเห็นชัดเจน ปีกมีสีน้ำตาลหรือสีทองแดงเมื่อสะท้อนแสง ด้านหลังของท้องปล้องแรกมีแต้มกลาง สีขาวใส 2 แด้ม ส่วนท้องด้านล่างเป็นแถบ เป็นแมลงที่ไม่เป็นพาหะนำโรค ไม่เป็นศัตรูพืช และไม่ก่อให้เกิดความรำคาญต่อชุมชน ชอบอาศัยอยู่ใต้ร่มไม้ ในระยะหอนชอบกินซากและย่อยสลายอินทรีย์วัตถุ จึงสามารถเปลี่ยนขยะอินทรีย์ให้เป็นโปรตีนและไขมันได้ดี ทำให้มีคุณค่าทางอาหารสูงเหมาะแก่การนำมาเลี้ยงสัตว์ ถ้า BSF เป็นเจ้าถิ่น หรือวางไข่ BSF จะปล่อยสารยับยั้งการวางไข่ของแมลงวันบ้าน (Allomone) ทำให้แมลงวันบ้านไม่เข้ามาใกล้บริเวณนั้น ซึ่งเป็นการควบคุมแมลงวัน

บ้านได้ นอกจากนี้ BSFL สามารถย่อยขยะอินทรีย์ได้ถึงร้อยละ 80-90 BSF มีถิ่นกำเนิดในเขตร้อนและภูมิภาคอบอุ่นของทวีปอเมริกา แต่ปัจจุบันพบแพร่กระจายพันธุ์ทั่วไปในเขตร้อนทั่วโลก สามารถพบได้ตามธรรมชาติ ทั้งในเขตร้อนชื้นและเขตอบอุ่นบริเวณละติจูดที่ 40°S ถึง 45°N โดยเฉพาะประเทศที่อยู่ในเขตร้อนชื้นจะพบได้มากกว่า เนื่องจาก BSF ชอบอากาศร้อนชื้น สามารถเจริญเติบโตได้ที่อุณหภูมิระหว่าง 10-45 องศาเซลเซียส มีการแพร่กระจายพันธุ์ในเดือนเมษายนถึงเดือนพฤศจิกายน โดยในเดือนเมษายน BSFL จะมีปริมาณน้อยและเพิ่มปริมาณมากที่สุดในช่วงเดือนพฤษภาคมและเดือนสิงหาคม เป็นช่วงที่มีปริมาณน้ำฝนมากกว่าช่วงอื่น ๆ และลดปริมาณลงในช่วงปลายฤดูฝน (Kim et al., 2021; Rehman et al., 2023)

สัณฐานวิทยาของ BSF ตัวเต็มวัยสีดำคล้ายต่อ ลำตัวยาว 15-20 เซนติเมตร หนวดยาวเห็นได้ชัดเจน 3 ปล้อง แต่ไม่มีอะริสตา (Arista) ด้านสันหลังของท้องปล้องแรกมีแต้มกลมสีขาวใส 2 แต้ม ส่วนท้องด้านข้างที่ตรงกับแต้มนี้นั้นเห็นเป็นแถบสีขาว เพศเมียส่วนท้องมีสีดำปลายท้องมีสีค่อนข้างแดง เพศผู้ส่วนท้องมีสีทองแดงทั้งหมด ที่ขามีสีขาว ตัวอ่อนมีลำตัวอ้วนป้อมค่อนข้างแบน หัวเล็กมีสีเหลืองเข้มหรือแดง ผิวหนังเหนียวเหมือนหนังสัตว์ สีขาวครีม เมื่อฟักใหม่มีความยาวประมาณ 1.8 มิลลิเมตร ความกว้างประมาณ 6 มิลลิเมตร ตัวอ่อนวัยสุดท้าย มีสีน้ำตาลปนแดง และความยาว 18-27 มิลลิเมตร และมีน้ำหนักได้ถึง 220 มิลลิกรัม

พฤติกรรมการผสมพันธุ์และระบบสืบพันธุ์ ตัวเมียของ BSF จะบินมาวางไข่บริเวณรอยแตกที่แห้งตามซอกมุมใกล้แหล่งอาหาร โดยเพศผู้จะค้นหาเพศเมียที่เกาะตามที่ต่าง ๆ แล้วจึงผสมพันธุ์กันบนพื้น โดยหันปลายท้องเข้าหากันหรือผสมพันธุ์กันอย่างรวดเร็วระหว่างบิน เพศของ BSF สามารถกำหนดได้โดยการสังเกตจุดสิ้นสุดของส่วนท้องของตัวเต็มวัย โดยเพศเมียมักจะมีปลายท้องที่แหลม ส่วนท้ายของท้องหรือบริเวณก้นจะมีเส้นสองเส้นคล้ายกับท่อไข่ (Ovipositor) ซึ่งทำหน้าที่เป็นอวัยวะสืบพันธุ์และอวัยวะสำหรับวางไข่ในช่องวางไข่หลังการผสมพันธุ์ BSF เพศผู้จะมีอวัยวะสืบพันธุ์ (Aedeagus) ที่ปลายท้องเป็นตะขอกูหนึ่งซึ่งทำหน้าที่จับอวัยวะสืบพันธุ์ของเพศเมียเพื่อให้ตัว BSF ประสานกันระหว่างการมีเพศสัมพันธ์ พฤติกรรมการผสมพันธุ์และการเกี้ยวพาราสีของ BSF นั้นคล้ายคลึงกับแมลงในวงศ์ Stratiomyidae ชนิดอื่น ๆ ตัวอย่างเช่น การมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างเพศผู้ เพศเดียวกัน และสัญญาณพฤติกรรมในเพศเมีย โดยหลังจากผสมพันธุ์แล้วเพศเมียจะบินไปวางไข่และเกิดไข่ในช่วงเวลาที่จำกัด สภาพแวดล้อมทางแสงรวมถึงช่วงแสง ความชื้น และความยาวคลื่นอาจมีผลต่อการสืบพันธุ์ของสัตว์ขาปล้อง เพศเมียส่วนใหญ่จะวางไข่หลังจากการผสมพันธุ์ 2 วัน ตลอดชีวิตจะวางไข่เพียงครั้งเดียว เพศเมียจะยืนอวัยวะวางไข่ ตามซอกหลืบหรือรอยแตก ใกล้แหล่งอาหารที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของตัวอ่อน เช่น ตามกองเศษผลไม้

เศษอาหาร และกองมูลสัตว์ เป็นต้น โดยอาหารเหล่านี้มีสารที่ได้จากการหมักที่ดึงดูดเพศเมียมาวางไข่ เช่น เอทานอล (Ethanol) กรดแอซิติก (Acetic acid) เอทิลแอซิเตท (Ethyl acetate) และอะเซตัลดีไฮด์ (Acetaldehyde) กลุ่มไข่ที่ถูกวางใหม่ ๆ มีสีขาวนวลและมีความเหนียวหนืดทำให้ไข่เกาะกันเป็นกลุ่มและติดอยู่กับวัสดุได้ดี นอกจากกลิ่นแล้วความชื้นก็มีผลต่อการวางไข่เช่นกัน โดย BSF ชอบวางไข่เมื่อมีความชื้นมากกว่าร้อยละ 60

วงจรชีวิต วงจรชีวิตของ BSF ใช้เวลาประมาณ 1-2 เดือน ขึ้นอยู่กับชนิดอาหารที่กินและฤดูกาล โดยมีการเติบโต 4 ระยะคือไข่ ตัวหนอน ดักแด้ และตัวเต็มวัย ดังนี้ **ระยะไข่** ลักษณะยาวรีคล้ายเมล็ดข้าวสาร สีขาวขุ่นหรือสีครีม ต่อมาเปลี่ยนเป็นสีเหลืองเมื่อใกล้ฟักมีจุดตาสีแดง 2 จุด มีการวางเป็นกลุ่มประมาณ 500 ฟอง บริเวณรอยแตกใกล้หรือในแหล่งอาหาร ระยะไข่ใช้เวลาประมาณ 4 วัน จึงฟักเป็นตัวอ่อน **ระยะหนอน** มีลักษณะลำตัวอ้วนป้อมค่อนข้างแบน หัวเล็กมีสีเหลืองเข้มหรือแดง ผิวหนังเหนียวเหมือนหนังสัตว์ สีขาวครีมเมื่อฟักออกจากไข่ใหม่ ลำตัวยาว 1.8 มิลลิเมตร กว้าง 6 มิลลิเมตร หนวดวัยสุดท้ายมีสีน้ำตาลปนแดง ใช้เวลา 18-25 วัน จึงเข้าดักแด้ **ระยะดักแด้** ลำตัวมีสีน้ำตาลเข้ม และผิวแห้งแข็งปลายท้องงุ้มลงด้านล่าง ไม่เคลื่อนไหว หลบซ่อนตัวตามวัสดุที่แห้ง ใช้เวลา 6-10 วัน จึงเจริญเป็นตัวเต็มวัย **ตัวเต็มวัย** ลำตัวมีสีดำความยาว 15-20 มิลลิเมตร ปีกมีสีดำหรือน้ำเงินเป็นเงาสะท้อน ลักษณะคล้ายตัวต่อหนวดยาวเห็นชัด 3 ปล้อง ด้านสันหลังของท้องปล้องแรกมีแต้มกลมสีขาวใส 2 แต้ม ส่วนท้องด้านข้างที่ตรงกับแต้มนี้นั้นเห็นเป็นแถบสีขาว และที่ขามีสีขาวบริเวณ Tarsi เพศเมียส่วนท้องมีสีดำปลายท้องมีสีค่อนข้างแดง เพศผู้ส่วนท้องมีสีทองแดงทั้งหมด จากการเพาะเลี้ยงโดยใช้เปลือกสับปะรด พบว่าวงจรชีวิตของ BSF ตั้งแต่ระยะไข่ จนออกมาเป็นตัวอ่อน 4-7 วัน ตั้งแต่ตัวอ่อน 18-25 วัน ระยะก่อนเข้าดักแด้ 10-17 วัน ระยะเข้าดักแด้ 6-10 วัน และตัวเต็มวัยมีอายุ 4-6 วัน ตัวอ่อนสามารถดำรงชีวิตได้ถึง 4 เดือน เมื่ออยู่ในสภาวะอาหารไม่เพียงพอ

ปัจจัยควบคุมการเจริญเติบโตของ BSF BSF และ BSFL มีความไวต่อสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะอุณหภูมิและความชื้นเป็นปัจจัยที่มีผลต่อวงจรชีวิตของ BSFL เป็นอย่างยิ่ง ช่วงอุณหภูมิที่มีประสิทธิภาพในการเพาะเลี้ยงอยู่ที่ 27 องศาเซลเซียส และความชื้นร้อยละ 30-90 มีผลต่อการกระตุ้นการสืบพันธุ์ของตัวเต็มวัยของ BSF อีกทั้งแสงแดดรังก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผล พบว่าตัวเต็มวัยของ BSF จะไม่ผสมพันธุ์หากไม่ได้รับแสงแดด

ปัญหาและแนวทางป้องกันปัญหาที่อาจพบระหว่างการเพาะเลี้ยง BSFL ขั้นตอนการล่อไข่: หากใช้วัสดุในการล่อไข่ที่สามารถดูดซับความชื้นได้ เช่น กระดาษลัง อาจทำให้เกิดความชื้นทำให้เกิดอุปสรรคในการเก็บเกี่ยว ดังนั้นจึงควรใช้วัสดุในการล่อไข่ที่เป็นวัสดุที่สามารถทนความชื้นได้ เช่น แผ่นไม้ เป็นต้น **การฟักไข่และการอนุบาล:** อากาศร้อนจัดที่อุณหภูมิสูงกว่า 40 องศา

เซลเซียส อากาศหนาวจัดที่อุณหภูมิ 10–14 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ (ร้อยละ 0–30) มีผลทำให้ไข่แห้งฝ่อ ไม่สามารถฟักเป็นตัวอ่อน **การเพาะเลี้ยง BSF เพื่อใช้เป็นพ่อแม่พันธุ์:** เมื่อ BSFL เข้าสู่ระยะก่อนดักแด้ (Pre pupa) จะมีสีน้ำตาลเข้มถึงดำและยังสามารถเคลื่อนไหวได้ ให้คัดแยกตัวอ่อนระยะนี้ออกจากอาหารและนำไปใส่ภาชนะที่บดแสง เพื่อรอให้เข้าสู่ระยะดักแด้ประมาณ 10–15 วัน หากเกิดปัญหาดักแด้บางตัวแห้งลีบและไม่สามารถเปลี่ยนเป็นตัวเต็มวัยได้ ให้เพิ่มวัสดุหลบซ่อน คือ ขุยมะพร้าวบดละเอียดที่ผ่านการฉีดพรมน้ำเพิ่มความชื้น ซึ่งการปรับสภาพแวดล้อมให้มีความชื้นและจัดให้มีที่หลบซ่อนที่เหมาะสม สามารถช่วยป้องกันปัญหาดักแด้แห้งลีบ และทำให้ตัวอ่อนสามารถพัฒนาเป็นตัวเต็มวัยได้ดีขึ้น **การเลี้ยงตัวเต็มวัย BSF ในโรงเรือน:** การเลี้ยงตัวเต็มวัยด้วยตนเองไม่ควรนำดักแด้มาวางไว้ในโรงเรือนขนาดใหญ่ สำหรับเลี้ยงโดยตรง เนื่องจากผู้เลี้ยงจะไม่ทราบจำนวนตัวเต็มวัยที่รอดชีวิต ส่งผลต่อการจัดการ ดังนั้นเพื่อให้ตัวเต็มวัยอยู่ในรุ่นอายุเดียวกัน ควรปล่อยตัวเต็มวัยแทนการปล่อยดักแด้ลงในโรงเรือนโดยตรง โดยเลี้ยงในกรงคลุมมุ้งตาข่าย และบันทึกจำนวนตัวเต็มวัยที่ปล่อยทุกครั้ง วิธีการนี้จะช่วยให้การจัดการมีประสิทธิภาพ ประหยัดพื้นที่ ป้องกันปัญหาจากศัตรูและสัตว์อื่น ๆ ได้ดีขึ้น และสามารถควบคุมรุ่นอายุของตัวเต็มวัยได้ง่ายขึ้น

การกำจัดขยะอินทรีย์ด้วย BSF ในปัจจุบันนิยมใช้ BSF มากกว่าการใช้แมลงชนิดอื่น ๆ เนื่องจากอัตราการเปลี่ยนขยะอินทรีย์เป็นชีวมวล มีความรวดเร็วและมีประสิทธิภาพมากกว่า สามารถลดของเสียได้ในเวลาสั้น ยกตัวอย่างเช่น เมื่อเปรียบเทียบกับไส้เดือนพบว่า BSFL สามารถกินอาหารได้เร็วกว่าไส้เดือนถึง 5 เท่า เมื่อพิจารณาในแง่ของความยั่งยืน พบว่าการเพาะเลี้ยง BSFL ปลดปล่อยคาร์บอนระหว่างกระบวนการน้อยกว่า ไม่เกิดก๊าซมีเทนที่ก่อให้เกิดภาวะเรือนกระจก และไม่เป็นพาหะนำโรค รวมถึงช่วยลดจำนวนประชากรแมลงวันที่เป็นพาหะนำโรค การเพาะเลี้ยง BSFL ซึ่งเป็นแมลงที่ต้องการน้ำ (Water consumption) และการใช้พื้นที่ (Land use) ในการดูแลจัดการเพียงเล็กน้อย เมื่อเทียบกับการผลิตแหล่งโปรตีนชนิดอื่น ๆ (Siddiqui et al., 2024)

ประเทศปากีสถานมีการนำ BSFL มาช่วยจัดการปัญหาขยะอินทรีย์ โดยพบว่าเทคโนโลยีนี้เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและคุ้มค่า เหมาะสมกับประเทศกำลังพัฒนา เนื่องจากมีอัตราการเปลี่ยนขยะอินทรีย์ไปเป็นชีวมวลที่รวดเร็ว มีความยั่งยืน และใช้ต้นทุนต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับเทคโนโลยีอื่น ๆ ที่ใช้จัดการขยะอินทรีย์ เช่น การทิ้งในที่โล่ง การฝังกลบ การเผา การทำปุ๋ยหมัก และการย่อยโดยไม่ใช้อากาศ ซึ่งการจัดการขยะอินทรีย์ด้วย BSFL นี้ นอกจากจะช่วยจัดการปัญหาของเสียแล้วยังสามารถนำเอา BSFL ไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอื่น ๆ ได้ (Salam et al., 2021) เช่น อุตสาหกรรมการผลิตอาหารสัตว์ การผลิตไบโอดีเซล และการผลิตปุ๋ย แต่อย่างไรก็ตามเพื่อให้การดำเนินการจัดการขยะอินทรีย์ด้วย

BSFL ประสบความสำเร็จ ผู้เพาะเลี้ยงจำเป็นต้องมีความรู้และความเข้าใจที่ครอบคลุมเกี่ยวกับเทคโนโลยี รวมถึงเทคนิคการเลี้ยง BSFL เป็นอย่างดี (Purkayastha & Sarkar, 2021)

การใช้ BSFL เป็นส่วนผสมในอาหารสัตว์ BSFL เป็นวัตถุดิบที่มีโปรตีนและไขมันสูง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Dzepe et al. (2021) ที่กล่าวว่า BSFL เป็นวัตถุดิบที่มีโปรตีนและไขมันสูง อีกทั้งยังอุดมไปด้วย แคลเซียม โพแทสเซียม และฟอสฟอรัส การใช้ BSFL ในการเปลี่ยนแปลงทางชีวภาพ (Bioconversion) ขยะอินทรีย์ถือเป็นทางเลือกที่ใช้งานได้จริงเพื่อการจัดการขยะอินทรีย์ การใช้ BSFL เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ จัดเป็นกระบวนการที่ยั่งยืนและคุ้มค่า เป็นการส่งเสริมการนำทรัพยากรกลับมาใช้ใหม่ สร้างโอกาสทางเศรษฐกิจใหม่ ๆ ให้กับภาคอุตสาหกรรมและผู้ประกอบการ (Rehman et al., 2023)

จากการศึกษาของ Zozo et al. (2022) พบว่า BSFL มีปริมาณความชื้นร้อยละ 4.14 โปรตีนร้อยละ 45.82 ไขมัน 25.78 เถ้าร้อยละ 6.85 และคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 17.41 ส่วน BSFL ที่ผ่านการหีบน้ำมัน มีความชื้นร้อยละ 6.46 โปรตีนร้อยละ 56.11 ไขมันร้อยละ 4.86 เถ้าร้อยละ 11.39 และคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 21.19 BSFL จึงจัดเป็นวัตถุดิบที่มีศักยภาพในด้านโภชนาการทั้งโปรตีนและไขมัน เพื่อทดแทนวัตถุดิบอาหารสัตว์ Panted et al. (2022) ศึกษาผลของการใช้ BSFL เป็นแหล่งโปรตีนในการเลี้ยงไก่พันธุ์ไข่ โดยเปรียบเทียบแหล่งโปรตีนต่างชนิดกัน คือ 1) ปลาป่นร่วมกับกากถั่วเหลือง 2) กากถั่วเหลืองล้วน 3) BSFL ร้อยละ 2 ร่วมกับกากถั่วเหลือง และ 4) BSFL ร้อยละ 5 ร่วมกับกากถั่วเหลือง แล้วทำการวิเคราะห์ลักษณะและคุณภาพไข่ไก่ ได้แก่ น้ำหนักไข่ น้ำหนักไข่ขาว น้ำหนักไข่แดง น้ำหนักเปลือกไข่ ฮอกยูนิต (Haugh unit) ค่ะแนลลีไข่แดง และความหนาเปลือกส่วนต่าง ๆ พบว่า อาหารที่มี BSFL ร้อยละ 5 ร่วมกับกากถั่วเหลือง สามารถใช้เป็นอาหารไก่พันธุ์ไข่ได้โดยไม่ส่งผลต่อคุณภาพของไข่ไก่ ซึ่งอาหารสูตรนี้มีราคาถูกกว่าสูตรอื่น Star et al. (2020) ศึกษาผลกระทบของการให้ BSFL แบบสดที่มีต่อพฤติกรรมการกินของไก่ โดยให้ BSFL แบบสดร่วมกับอาหารที่ไม่มีกากถั่วเหลืองเป็นส่วนผสม เปรียบเทียบกับอาหารสูตรทางการค้าที่มีกากถั่วเหลืองเป็นส่วนผสม ให้กับไก่พันธุ์ไข่ระยะออกไข่ เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า ไก่ที่เลี้ยงด้วย BSFL มีสภาพขนที่ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับไก่ชุดควบคุม (อาหารสูตรทางการค้า) โดยอัตราการแลกเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว (Feed conversion ratio) เพิ่มขึ้น โดยที่พฤติกรรมการวางไข่ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ จากการประยุกต์ใช้ BSFL เพื่อเป็นส่วนผสมในอาหารแพะ โดยศึกษาการใช้ BSFL ทดแทนนมในสูตรอาหารลูกแพะ ลูกแพะที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร BSFL มีลักษณะทางกายภาพ ค่าชีวเคมีในเลือด และพารามิเตอร์อื่น ๆ ไม่แตกต่างกับกลุ่มที่กินอาหารทางการค้า และสามารถใช้ทดแทนกากถั่วเหลืองในอาหารลูกแพะหลังหย่านมได้ (Astuti & Wiryawan, 2022)

สถานการณ์ใหม่ ที่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม

การถ่ายทอดองค์ความรู้และขยายผลระบบการจัดการขยะอินทรีย์โดยใช้ BSFL ส่งผลให้ปริมาณขยะมูลฝอยและงบประมาณในการกำจัดขยะของเทศบาลตำบลเชียงกลาง จังหวัดน่าน ลดลง ในช่วงเดือนมิถุนายนถึงกรกฎาคม พ.ศ. 2566 มีปริมาณขยะรวมจำนวน 124,690 กิโลกรัม คิดเป็นค่าเฉลี่ย 62,345 กิโลกรัมต่อเดือน โดยเทศบาลตำบลเชียงกลางใช้งบประมาณลดลง 2,800 บาทต่อเดือน และปริมาณขยะมูลฝอยลดลง 2,333.33 กิโลกรัมต่อเดือน เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการถ่ายทอดองค์ความรู้ ในช่วงเดือนมีนาคมถึงพฤษภาคม พ.ศ. 2566 ดังภาพที่ 15 (Figure 15)

การก่อสร้างโรงเรือนต้นแบบเลี้ยงพ่อแม่พันธุ์และเพาะเลี้ยง BSFL ในพื้นที่ต่าง ๆ ดังภาพที่ 16 (Figure 16) ดังนี้ ตำบลเชียงคาน และตำบลพญาแก้ว อำเภอเชียงกลาง อยู่ระหว่างการดำเนินงานก่อสร้าง ตำบลพระธาตุ อำเภอเชียงกลาง มีการก่อสร้างโรงเรือน และโรงเรียนพระธาตุวิทยาคม ตำบลพระธาตุ และโรงเรียนพระพุทธรูปวิทยาคม ตำบลพระพุทธรูป อำเภอเชียงกลาง มีการก่อสร้างโรงเรือน และใช้ BSFL เป็นอาหารไก่พันธุ์ไข่ เพื่อลดและทดแทนการให้อาหารสำเร็จรูป และเป็นศูนย์ถ่ายทอดความรู้ให้แก่ประชาชนผู้สนใจ

การนำองค์ความรู้ไปใช้จริงโดยนวัตกรต้นแบบ จากกลุ่ม

ฮอมฮัก ตำบลเปือ อำเภอยางตลาด จังหวัดน่าน ในการเลี้ยงไก่พันธุ์ไข่ โดยเปรียบเทียบการให้อาหารสำเร็จรูปทางการค้ากับการให้อาหารผสมเองร่วมกับการให้ BSFL แบบสด พบว่าต้นทุนเฉลี่ยต่อไข่ 1 ฟอง ของการให้อาหารสำเร็จรูปทางการค้า มีค่าเท่ากับ 4.84 บาท แต่การให้อาหารผสมเองร่วมกับการให้ BSFL แบบสดมีค่าเพียง 1.71 บาท ซึ่งสามารถลดต้นทุนได้ถึง 3.13 บาทต่อฟอง ดังภาพที่ 17 (Figure 17) การเปรียบเทียบต้นทุนในการเลี้ยงไก่พื้นเมืองพันธุ์ประดู่หางดำระหว่างการให้อาหารสำเร็จรูปทางการค้ากับการให้อาหารผสมเองร่วมกับการให้ BSFL แบบสด พบว่าสามารถลดระยะเวลาในการเลี้ยงลงได้ 7 วัน โดยต้นทุนการผลิตเมื่อให้อาหารสำเร็จรูปสูงถึง 86.47 บาทต่อการผลิตไข่ 1 กิโลกรัม เมื่อให้อาหารผสมเองร่วมกับการให้ BSFL แบบสดมีต้นทุนการผลิตเพียง 56.35 บาทต่อการผลิตไข่ 1 กิโลกรัม ซึ่งสามารถลดต้นทุนได้สูงถึง 30.12 บาทต่อการผลิตไข่ 1 กิโลกรัม

การเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตผักสลัดพันธุ์เบบี๋คอสก่อนและหลังการใช้ส่วนเหลือจากการเลี้ยง BSFL กลุ่มฮอมฮัก ตำบลเปือ อำเภอยางตลาด จังหวัดน่าน พบว่าค่าใช้จ่ายด้านแรงงานลดลงจาก 1,950 บาท เหลือ 750 บาท เนื่องจากไม่ต้องมีค่าใช้จ่ายในการดูแลรักษาผัก ค่าปุ๋ยลดลงจาก 120 บาท เป็น 0 บาท เนื่องจากการใช้ส่วนเหลือจากการเลี้ยง BSFL ทดแทนการใช้ปุ๋ย โดยมีต้นทุนรวมลดลงจาก 6,028.27 บาท เหลือ 4,679.67 บาท อีกทั้งยังพบว่าผลผลิตมีปริมาณเพิ่มขึ้นจาก 180 กิโลกรัม เป็น 240 กิโลกรัม ส่งผลให้กำไรสุทธิเพิ่มขึ้นจาก 11,971.73 บาท เป็น 19,320.33 บาท ดังภาพที่ 18 (Figure 18) คิดเป็นร้อยละ 61



Figure 15 Monthly volume of waste and budget allocated for waste disposal during June to July 2023, after the knowledge transfer and expansion of the bio-waste disposal system using BSFL, compared with the situation before those changes at Chiang Klang Subdistrict Municipality, Nan province



Figure 16 The observed outcomes of constructing a prototype BSFL farm in Nan province have demonstrated promising advancements in sustainable agriculture practices at; (a) Khao Kub Num Farmstay, (b) Chiang Klang district, (c) Chiang Khan sub-district, (d) Phaya Kaeo sub-district, (e) Phra That sub-district, (f) Phra That Witthayakhom School, and (g) Phra Phutthabat Wittaya School

ผลกระทบและความยั่งยืน ของการเปลี่ยนแปลง

ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม

การถ่ายทอดองค์ความรู้และขยายผลระบบการจัดการขยะอินทรีย์โดยใช้ BSFL ให้แก่เทศบาลตำบลเชียงกลาง จังหวัดน่าน มีผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม คือ ลดปริมาณขยะมูลฝอยประมาณ 2.33 ตันต่อเดือน ทำให้ปริมาณขยะที่ต้องนำไปกำจัดลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ส่งผลต่อเนื่องถึงการลดภาระค่าใช้จ่ายในการจัดการขยะของเทศบาล ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกหรือ

ก๊าซมีเทน ลดกลิ่นรบกวนจากการย่อยสลายขยะอินทรีย์ และลดการเกิดแหล่งสะสมของสัตว์พาหะและเชื้อก่อโรค ซึ่งสัมพันธ์กับเป้าหมายการพัฒนาอย่างยั่งยืน (Sustainable Development Goals, SDGs) เป้าหมายที่ 13: Climate Action ที่มุ่งเน้นการดำเนินการมาตรการรับมือและปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและผลกระทบที่เกิดขึ้น ซึ่งเป็นต้นแบบที่ดีในการขยายผลสู่เขตเทศบาลตำบลหรือองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นอื่น ๆ ในเขตจังหวัดน่านและทั่วประเทศ

ผลกระทบด้านการศึกษา

การถ่ายทอดองค์ความรู้ การจัดทำฟาร์มต้นแบบ และ

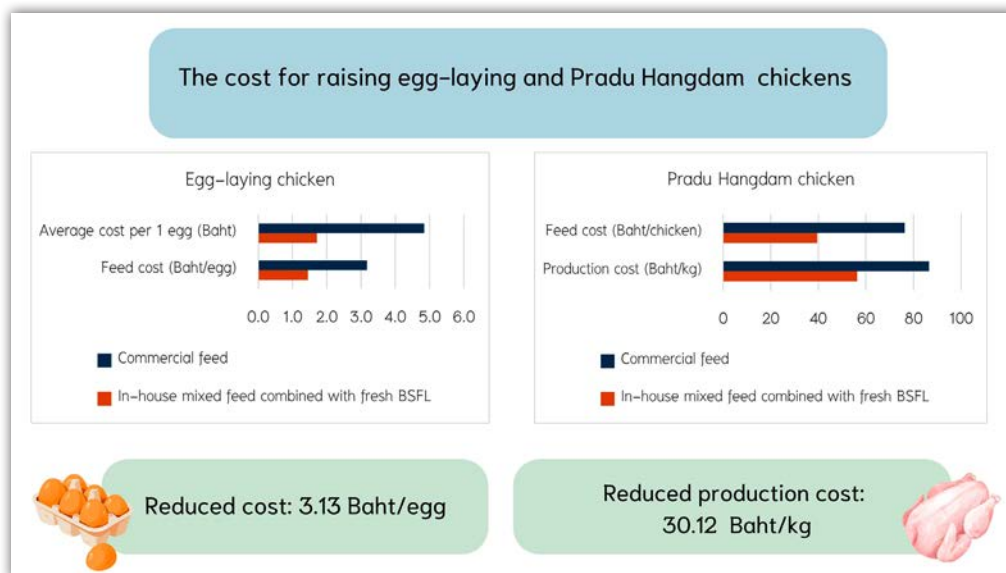


Figure 17 The cost for raising egg-laying and Pradu Hangdam chickens using commercial feed compared with in-house mixed feed combined with fresh BSFL

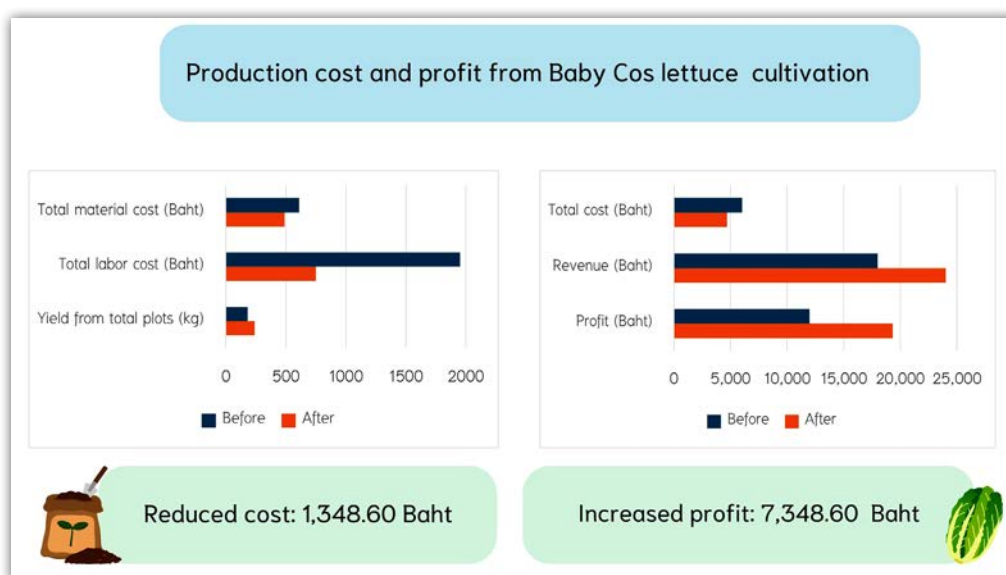


Figure 18 Production cost of Baby Cos lettuce before and after application of BSFL byproduct

การจัดทำสื่อวิดีโอเพื่อเผยแพร่องค์ความรู้ ทำให้เกษตรกรชุมชนจำนวน 50 ราย ที่มีศักยภาพสามารถนำองค์ความรู้และทักษะที่ได้ไปถ่ายทอดให้กับชุมชนอื่น เกิดโครงสร้างพื้นฐานที่เป็นแหล่งเรียนรู้ร่วมกัน อีกทั้งสื่อวิดีโอเพื่อเผยแพร่องค์ความรู้ที่ได้นำร่องเผยแพร่ให้แก่เกษตรกรชุมชน จำนวน 5 หลักสูตร ได้ถูกนำไปต่อยอดเป็นหลักสูตรออนไลน์แบบไม่มีค่าใช้จ่ายในการเรียนรู้ เพื่อให้ทุกคนสามารถเข้าถึงองค์ความรู้ได้อย่างเสมอภาค การดำเนินการดังกล่าวสัมพันธ์กับเป้าหมายการพัฒนาอย่างยั่งยืน เป้าหมายที่ 4: Quality Education คือ การทำให้ทุกคนได้รับการศึกษาที่มีคุณภาพอย่าง

เท่าเทียม โดยครอบคลุมทุกพื้นที่ และส่งเสริมให้เกิดโอกาสในการเรียนรู้ตลอดชีวิต

ผลกระทบด้านเศรษฐกิจและสังคม

การต่อยอดต้นทุนเดิมของพื้นที่จังหวัดน่าน ที่เป็นแหล่งเพาะปลูกวัตถุดิบอาหารสัตว์ พืชผักสวนครัว และมีเกษตรกรผู้เลี้ยงไก่เป็นจำนวนมาก โดยการถ่ายทอดองค์ความรู้และการประยุกต์ใช้ BSFL ส่งเสริมการผลิตอาหารสัตว์ด้วยตนเอง ลดการพึ่งพาการนำเข้าอาหารสัตว์จากต่างประเทศ ทำให้สามารถช่วยลดต้นทุน

ในกระบวนการผลิตไก่พันธุ์ไข่และไก่พันธุ์พื้นเมืองได้อย่างมีนัยสำคัญ รวมทั้งยังใช้ประโยชน์จากส่วนเหลือจากการเลี้ยง BSFL เป็นปุ๋ยสำหรับการปลูกผัก ซึ่งทำให้ต้นทุนในกระบวนการผลิตลดลง และช่วยให้ปริมาณผลผลิตเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน เป้าหมายที่ 1: No Poverty คือ การยุติความยากจนทุกรูปแบบในทุกที่

ผลกระทบด้านนโยบาย

ศูนย์นวัตกรรมอาหารและบรรจุภัณฑ์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และเทศบาลตำบลเชียงกลาง จังหวัดน่าน ได้จัดทำบันทึกความเข้าใจร่วมกัน (Memorandum of Understanding, MOU) เพื่อวัตถุประสงค์ด้านการแลกเปลี่ยนข้อมูลองค์ความรู้ด้านการพัฒนาเชิงพื้นที่ ด้วยองค์ความรู้ของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ตลอดจนความร่วมมือด้านงานวิจัย นวัตกรรมและการถ่ายทอดเทคโนโลยี แม้ว่าสหภาพยุโรปจะอนุญาตให้ใช้ BSFL เป็นส่วนผสมในอาหารสัตว์แล้ว แต่ในปัจจุบันประเทศไทยยังไม่มีกฎหมายรองรับการใช้งาน BSFL ในรูปแบบส่วนผสมอาหารสัตว์ (Feed additive) ดังนั้นทางมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ โดยศูนย์นวัตกรรมอาหารและบรรจุภัณฑ์ และคณะผู้วิจัย จึงดำเนินการผลักดันประเด็นดังกล่าวด้วยการร่วมมือกับ สมาคมอุตสาหกรรมแมลงไทย สภาหอการค้าแห่งประเทศไทย และสำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่ง

ชาติ (มกอช.) ร่วมจัดกิจกรรมสัมมนา “Is Thailand Ready For BSF? ประเทศไทยพร้อมหรือยังสำหรับแมลง BSF” ซึ่งเป็นการบรรยายร่วมกับเปิดเวทีเสวนาแลกเปลี่ยนความคิดเห็นระหว่างหน่วยงานภาครัฐและเอกชน ในประเด็น บทบาทหน้าที่สมาคมอุตสาหกรรมแมลงไทย นโยบายกรมปศุสัตว์ต่อการส่งเสริมและสนับสนุนการนำแมลง BSF ไปใช้ในอาหารสัตว์ และวัตถุดิบอาหารสัตว์ นโยบายการใช้แมลง BSF และผลิตภัณฑ์แปรรูป เป็นส่วนผสมในอาหารสัตว์น้ำ สถานการณ์ นโยบาย กฎระเบียบ ข้อกำหนดการนำเข้า และใช้ประโยชน์แมลง BSF ของต่างประเทศ โอกาสและความท้าทายต่อความต้องการใช้โปรตีนทดแทนจากแมลง BSF และข้อเสนอแนวทางเพื่อประกอบการจัดทำมาตรฐานการปฏิบัติทางการเกษตรที่ดีสำหรับฟาร์ม BSF เพื่อเป็นการผลักดันให้เกิดการใช้ประโยชน์จาก BSFL อย่างแท้จริงในระดับประเทศ

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนโดยมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ กองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (ววน.) และหน่วยบริหารและจัดการทุนด้านการพัฒนาระดับพื้นที่ (บพท.) ประจำปี 2566 เลขที่สัญญา A11F660038

References

- Amrul, N. F., Ahmad, I. K., Basri, N. E. A., Suja, F., Jalil, N. A. A., & Azman, N. A. (2022). A review of organic waste treatment using black soldier fly (*Hermetia illucens*). *Sustainability*, 14(8), 4565.
- Astuti, D. A., & Wiryawan, K. G. (2022). Black soldier fly as feed ingredient for ruminants. *Animal Bioscience*, 35(2), 356–363.
- Association for the Development of Environmental Quality. (2024). Meaning/type/components and causes of solid waste. Retrieved April 29, 2024, from: <https://adeq.or.th/ขยะมูลฝอยคืออะไร/>. (in Thai).
- Biomass Management Center, Chiang Mai University. (2024) Comprehensive guide to biomass management. Retrieved May 3, 2024, from: <https://greenoffice.oou.cmu.ac.th/assets/files/document/c13a76dced18da0f52645e67471b7ffa.pdf>. (in Thai).
- Chiang Mai Agriculture Extension Office. (2022). Mae Ta Organic Community Enterprise. Retrieved May 28, 2024, from: <https://chiangmai.doe.go.th/province/?p=10470>. (in Thai).
- Chukamnerd, T., Arphatthananon, T., Khamcha-om, M., & Sangthong, E. (2020). LIP model: Learning innovation process for sustainable development. *Journal of MCU Social Science Review*, 4(3), 185–196. (in Thai).
- Department of Local Administration, Ministry of Interior. (2024). Citizen's guide to household waste management. Retrieved April 29, 2024, from: <https://hongrawiang.go.th/wp-content/uploads/2022/03/18-05-2561-คู่มือประชาชน-เรื่องการจัดการขยะ.pdf>. (in Thai).
- Dzepe, D., Magatsing, O., Kuitche, H. M., Meutchieye, F., Nana, P., Tchuinkam, T., & Djouaka, R. (2021). Recycling organic wastes using black soldier fly and house fly larvae as broiler feed. *Circular Economy and Sustainability*, 1, 895–906.

- Kim, C. H., Ryu, J., Lee, J., Ko, K., Lee, J. Y., Park, K. Y., & Chung, H. (2021). Use of black soldier fly larvae for food waste treatment and energy production in Asian countries: A review. *Processes*, 9(1), 161.
- Nan provincial office for local administration. (2022). Solid waste management. Retrieved December 6, 2022, from: www.nanlocal.go.th/page.php?pagename=menu&menuid=18. (in Thai).
- Open Data Portal for Monitoring and Evaluating Government Projects under National Strategy. (2022). Data on the number of livestock farmers and livestock in 2021. Retrieved April 30, 2024, from: <https://opendata.nesdc.go.th/dataset/d7681470-0120-47ab-8315-5cd28b9539c8/resource/1b116b37-ce19-415d-ae04-dd734add184f/download/-2564.pdf>. (in Thai).
- Panted, N., Rattanamanee, C., Jaichansukkit, T., Moonsrikaew, S., Suphadee, M. Pajareon, S., Chusak Pulmar, C., & Wongpom, B. (2022). Effect of protein source from dried black soldier fly (*Hermetia illucens*) on egg quality in commercial laying hens raised in opened-house. *The Agricultural Science Journal*, 53(3), 256–270. (in Thai).
- Phimolsiripol, Y. (2020). *Innovative oil extracted from black soldier fly (Hermetia illucens) for using as a key ingredient in cosmetics*. (Research report). Thailand Science Research and Innovation (TSRI) and Office of National Higher Education Science Research and Innovation Policy Council, Thailand. (in Thai).
- Phimolsiripol, Y. (2023). *Innovative food waste management system using black soldier fly (Hermetia illucens) into high protein animal feed*. (Research report). Chiang Mai University. (in Thai).
- Pollution Control Department, Ministry of Natural Resources and Environment. (2022). Information system for municipal solid waste management. Retrieved April 29, 2024, from: <https://thaimsw.pcd.go.th/provincdetail.php?id=55>. (in Thai).
- Pollution Control Department, Ministry of Natural Resources and Environment. (2024). Information on the country's solid waste situation in 2023. Retrieved April 29, 2024, from: https://thaimsw.pcd.go.th/report_country.php. (in Thai).
- Purkayastha, D., & Sarkar, S. (2021). Sustainable waste management using black soldier fly larva: A review. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 19, 1–26.
- Rehman, K. U., Hollah, C., Wiesotzki, K., Rehman, R. U., Rehman, A. U., Zhang, J., ..., & Aganovic, K. (2023). Black soldier fly, *Hermetia illucens* as a potential innovative and environmentally friendly tool for organic waste management: A mini-review. *Waste Management & Research*, 41(1), 81–97.
- Salam, M., Alam, F., Dezhi, S., Nabi, G., Shahzadi, A., Hassan, S. U., & Bilal, M. (2021). Exploring the role of black soldier fly Larva technology for sustainable management of municipal solid waste in developing countries. *Environmental Technology & Innovation*, 24, 101934.
- Siddiqui, S. A., Süfer, Ö., Çalışkan Koç, G., Lutuf, H., Rahayu, T., Castro-Muñoz, R., & Fernando, I. (2024). Enhancing the bio-conversion rate and end products of black soldier fly (BSF) treatment—A comprehensive review. *Environment, Development and Sustainability*, 2024, 1–69.
- Star, L., Arsiwalla, T., Molist, F., Leushuis, R., Dalim, M., & Paul, A. (2020). Gradual provision of live black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae to older laying hens: effect on production performance, egg quality, feather condition and behavior. *Animals*, 10(2), 216.
- Sufi, S., Nenadic, A., Silva, R., Duckles, B., Simera, I., de Beyer, J. A., ..., & Higgins, V. (2018). Ten simple rules for measuring the impact of workshops. *PLOS Computational Biology*, 14(8), e1006191.
- The Cloud. (2022). Mae Ta: A resilient community. Retrieved May 28, 2024, from: <https://readthecloud.co/central-tham-mae-tha/>. (in Thai).
- Zozo, B., Wicht, M. M., Mshayisa, V. V., & Van Wyk, J. (2022). The nutritional quality and structural analysis of black soldier fly larvae flour before and after defatting. *Insects*, 13(2), 168.