Journal of Agri. Research & Extension 42(1): 143-162

สัดส่วนอาหารที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงตัวอ่อนแมลงทหารเสือ (*Hermetia illucens*) เพื่อใช้น้ำมันเป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์มูลค่าเพิ่ม

Optimal of Feed Ratio for Rearing Black Soldier Fly Larvae (*Hermetia illucens*) for Using in High Value-Added Products

พินพนิต บุญช่วย[1] จิราพร กุลสาริน[1] ชลธิชา อุทัยศรีผดุงกุล[1] ปิยะฉัตร สาหัสชาติ[1]
กมลพร สิทธิไตรย์[1] สุวิทย์ โชตินันท์[2] ฐิติณิชา ไชยชนะ[3] กนกวรรณ ไกลถิ่น[4] และยุทธนา พิมลศิริผล[1,5*]

Pinpanit Boonchuay[1], Jiraporn Kulsarin[1], Chonthicha Uthaisripadungkul[1], Piyachat Sahaschat[1]
Kamonporn Sitthitrai[1], Suwit Chotinun[2], Thitinicha Chaichana[3], Kanokwan Klaithin[4]
and Yuthana Phimolsiripol[1,5*]

[1]ศูนย์นวัตกรรมอาหารและบรรจุภัณฑ์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50100
[2]คณะสัตวแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50100
[3]สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพฯ 10900
[4]คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50200
[5]คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50100

[1]Food Innovation and Packaging Center, Chiang Mai University, Chiang Mai, Thailand 50100
[2]Faculty of Veterinary Medicine, Chiang Mai University, Chiang Mai, Thailand 50100
[3]Plant Protection Research and Development Office, Department of Agriculture, Bangkok, Thailand 10900
[4]Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai, Thailand 50200
[5]Faculty of Agro-Industry, Chiang Mai University, Chiang Mai, Thailand 50100
*Corresponding author: yuthana.p@cmu.ac.th

Received: *March 06, 2024*
Revised: *September 26, 2024*
Accepted: *October 04, 2024*

Abstract

The black soldier fly larvae (*Hermetia illucen,* BSFL) are noteworthy in various industries. They produce lipids that possess desirable physicochemical properties and show promising bioactive potential. Furthermore, the residual biomass left after oil extraction is a high-quality alternative protein source. This makes them an excellent choice for applications in livestock feeding and aquaculture. Therefore, the objective of this study was to optimize the ratio and formulation of feed for BSF to assess how it affects the growth rate, oil yield, and oil characteristics for use in high value-added products. The results demonstrated that the optimal feed components were corn, rice bran, and soybean meal. Soybean meals displayed the highest protein and fat levels, at 26.50 and 10.63 g/100 g, respectively. Additionally, soybean meal had the greatest diversity of amino acids. Based on the evaluation of the optimal ratio, the optimal formulation consisted of corn meal, rice bran, and fresh soybean meal at a ratio of 1:1:3 by weight, producing 82.61 g/100 g of BSFL oil and containing 34.88 g/100 g of lauric acid.

Furthermore, BSFL oil contained 1,100, 17,197, and 17,480 mg of omega 3, 6, and 9 fatty acids per 100 g of BSFL oil. The peroxide value and saponification number of BSFL were measured at 3.65 m Eq/kg and 233.44 mg KOH/g, respectively. Consequently, the BSFL feed formulation from this study could be applied as a method for BSFL rearing for high value-added products.

Keywords: black soldier fly, *Hermetia illucens*, feed formulation, oil, cosmetics, high value-added product

บทคัดย่อ

ตัวอ่อนของแมลงทหารเสือ (*Hermetia illucens*, Black Soldier Fly Larvae, BSFL) เป็นวัตถุดิบมีความน่าสนใจเป็นพิเศษในอุตสาหกรรมหลายประเภท เนื่องจากสามารถผลิตลิพิดซึ่งมีคุณสมบัติทางเคมีกายภาพที่พึงประสงค์ และแสดงศักยภาพในการเป็นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่น่าสนใจ นอกจากนี้ชีวมวลที่เหลือจากกระบวนการสกัดน้ำมันยังสามารถใช้เป็นแหล่งโปรตีนทางเลือกคุณภาพสูง ทำให้เป็นตัวเลือกที่เหมาะสมอย่างยิ่งสำหรับการประยุกต์ใช้ในการเลี้ยงปศุสัตว์และการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อหาสัดส่วนและสูตรของอาหารที่เหมาะสม ที่มีต่ออัตราการเจริญเติบโต ผลผลิตน้ำมัน และลักษณะของน้ำมันเพื่อการประยุกต์ใช้น้ำมันเป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์มูลค่าเพิ่ม จากผลการศึกษาพบว่า ข้าวโพดบดละเอียด รำละเอียด และกากถั่วเหลือง เป็นส่วนผสมที่เหมาะสมสำหรับใช้ในอาหาร โดยกากถั่วเหลืองเป็นวัตถุดิบที่มีปริมาณโปรตีนและไขมันสูงที่สุดเท่ากับ 26.50 และ 10.63 กรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ อีกทั้งยังพบว่ากากถั่วเหลืองมีชนิดของกรดอะมิโนที่หลากหลาย และจากการศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมของอาหารที่ใช้เลี้ยงพบว่าสัดส่วนของข้าวโพดบดละเอียด รำละเอียด และกากถั่วเหลือง เท่ากับ 1:1:3 โดยน้ำหนัก ให้ปริมาณน้ำมัน 82.61 กรัมต่อ 100 กรัม โดยมีองค์ประกอบหลักเป็นกรดลอริก 34.88 กรัมต่อ 100 กรัม น้ำมันที่สกัดจาก BSFL มีปริมาณโอเมก้า 3, 6 และ 9 เท่ากับ 1,100, 17,197 และ 17,480 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม มีค่าเพอร์ออกไซด์เท่ากับ 3.65 m Eq/kg และค่าซาพอนนิฟิเคชันเท่ากับ 233.44 mg KOH/g ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้สูตรอาหารจากการศึกษานี้เป็นข้อมูลในการเพาะเลี้ยง BSFL เพื่อใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์มูลค่าเพิ่มได้

คำสำคัญ: แมลงทหารเสือ *Hermetia illucens* สูตรอาหาร น้ำมัน เครื่องสำอาง ผลิตภัณฑ์มูลค่าเพิ่ม

คำนำ

แมลงเป็นแหล่งอาหารและทรัพยากรทางเลือกที่น่าจับตามองทั้งในปัจจุบันและอนาคต เนื่องจากข้อดีในด้านสิ่งแวดล้อม คุณค่าทางโภชนาการ และความ ยั่งยืนที่มากกว่าการเลี้ยงปศุสัตว์ (Smetana *et al*., 2019) ปัจจุบันสหภาพยุโรปได้มีการอนุญาตให้ใช้แมลงหลาย ๆ ชนิดเพื่อใช้เป็นส่วนผสมในอาหารสัตว์ แมลงทหารเสือ (*Hermetia illucens* L., Black Soldier Fly, BSF; Diptera: Stratiomyidae) (Amrul *et al*., 2022) เป็นแมลงอีกชนิดหนึ่งที่มีการศึกษาวิจัยและค้นคว้าในด้านการพัฒนาเป็นส่วนผสมในอาหารสัตว์อย่างกว้างขวาง เนื่องจากเป็นแมลงที่พบมากในเขตร้อนและเขตอบอุ่นที่ไม่เป็นพาหะนำโรคและไม่เป็นศัตรูพืช (Thrastardottir *et al*., 2021; Nayak *et al*., 2023) ตัวอ่อนของ BSF (BSF larvae, BSFL) เป็นวัตถุดิบที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งปริมาณโปรตีนและไขมัน BSFL มีปริมาณโปรตีนและไขมันในช่วงร้อยละ 30-53 และ 20-41 ตามลำดับ อีกทั้งยังอุดมไปด้วยแร่ธาตุ คือ สังกะสี

และเหล็ก ซึ่งองค์ประกอบทางเคมีใน BSFL ขึ้นอยู่กับอาหารที่ใช้เพาะเลี้ยงเป็นปัจจัยหลัก (Huseynli *et al*., 2023)

นอกจากการใช้เป็นส่วนผสมในอาหารสัตว์แล้ว BSFL ยังสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมเพื่อผลิตผลิตภัณฑ์มูลค่าเพิ่มได้อย่างหลากหลาย เนื่องจากประกอบไปด้วยกรดลอริก (Lauric acid) ซึ่งเป็นกรดไขมันที่พบในน้ำมันมะพร้าว (Suryati *et al*., 2023) ซึ่งกรดลอริกเป็นกรดไขมันที่มีคุณสมบัติในการยับยั้งไวรัสและแบคทีเรีย อีกทั้งน้ำมันจาก BSFL ยังอุดมไปด้วยกรดโอเลอิก ปาล์มมิติก และลิโนเลอิก ซึ่งมีคุณสมบัติช่วยปกป้องผิวและสามารถใช้เป็นสารปรับสภาพผิวให้เรียบเนียนและนุ่มได้ (Almeida *et al*., 2022) ในด้านพลังงานมีการประยุกต์ใช้น้ำมันจาก BSFL เป็นสารตั้งต้นในการผลิตไบโอดีเซล (Biodiesel) โดยพบว่าไบโอดีเซลที่ผลิตได้จาก BSFL มีการเผาไหม้ที่ดีกว่าไบโอดีเซลที่ผลิตได้จากน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปรุงอาหารใช้แล้ว (Waste cooking oil) อีกทั้งน้ำมันจาก BSFL ยังถูกนำไปใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตสารลดแรงตึงผิว (Surfactants) สารหล่อลื่น (Lubricants) และอิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifier) (Suryati *et al*., 2023) อย่างไรก็ตามการที่จะได้น้ำมันที่มีคุณภาพดีต้องมาจากสัดส่วนอาหารที่เหมาะสม ซึ่งยังไม่มีข้อมูลที่ชัดเจนมากนักในปัจจุบัน ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการพัฒนาสูตรอาหารและการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตน้ำมัน เพื่อให้น้ำมันสกัดจาก BSFL มีศักยภาพในการนำไปต่อยอดเป็นสารประกอบที่เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์มูลค่าเพิ่มเพื่อผลิตในเชิงพาณิชย์

อุปกรณ์และวิธีการ

ชนิดของอาหารที่เหมาะสมสำหรับการนำน้ำมันไปใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์มูลค่าเพิ่ม

นำ BSFL อายุ 6 วัน โดยใช้ตัวอ่อนน้ำหนัก 50 กรัมต่อ 1 ชุดการทดลอง ใช้ส่วนเหลือทางการเกษตรที่หาได้ง่ายในท้องถิ่น ได้แก่ กากปาล์ม กากถั่วเหลืองสด รำละเอียด ข้าวโพดบดละเอียด กากถั่วเหลือง และกากผลไม้ เปรียบเทียบกับชุดควบคุมซึ่งเป็นอาหารสูตรทางการค้า โดยให้อาหาร 1 ครั้ง ปริมาณ 1,500 กรัม แล้วเลี้ยงตัวอ่อนเป็นระยะเวลา 7 วัน แล้วทำการชั่งน้ำหนักของ BSFL และน้ำหนักของอาหารที่ถูกกิน บันทึกภาพของตัวอ่อน และประเมินกลิ่นของตัวอ่อนที่ได้ ด้วยการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสและการยอมรับของผู้บริโภคจำนวน 50 คน โดยวิธี 9-point hedonic scale ใช้แบบสอบถามเพื่อการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคให้คะแนนด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น และความชอบโดยรวม (ใช้เกณฑ์คะแนนการยอมรับที่มีคะแนนตั้งแต่ 6 ขึ้นไป จะถือว่าตัวอย่างดังกล่าวเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค) เมื่อทำการคัดเลือกชนิดของอาหารเพาะเลี้ยงที่เหมาะสม จากนั้นนำวัตถุดิบที่เหมาะสมไปตรวจวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีน (วิธี Combustion) ไขมัน และกรดอะมิโน (AOAC, 2019)

อัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างอาหารแต่ละชนิด

ทำการศึกษาสัดส่วนของข้าวโพดบดละเอียด รำละเอียด และกากถั่วเหลือง ที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยง BSFL ซึ่งตัวอ่อนที่ได้จากอาหารทั้ง 3 ชนิด ได้รับคะแนนการยอมรับจากการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสมากกว่า 6 ขึ้นไป ด้วยการวางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) โดยทำการผันแปรสัดส่วนของส่วนผสมทั้ง 3 ชนิด ในอาหารที่ใช้เพาะเลี้ยงตัวอ่อนจำนวน 23 ทรีทเมนต์ เปรียบเทียบกับการใช้ข้าวโพดบดละเอียด รำละเอียด และกากถั่วเหลืองเพียงชนิดเดียว และอาหารสูตรทางการค้า (จำนวนรวมทั้งสิ้น 27 ทรีทเมนต์) โดยดัดแปลงจากการศึกษาของ Lestari *et al.* (2020) ทำการทดลองสูตรละ 4 ซ้ำ ใช้ตัวอ่อนอายุ 6 วัน น้ำหนักตัวอ่อนรวมเริ่มต้น 60 กรัม โดยให้อาหาร 1 ครั้ง ปริมาณ 1,800 กรัม แล้วศึกษาอัตราการเจริญเติบโต และลักษณะของ BSFL ภายใต้กล้องจุลทรรศน์สเตอริโอ เมื่อครบระยะเวลาเพาะเลี้ยง 7 วัน จึงนำ BSFL มาล้างทำความสะอาดด้วย

น้ำประปา แล้วอบที่อุณหภูมิ 80°ซ. เป็นเวลา 5 ชั่วโมง (da Silva *et al*., 2019) หรือจนกว่าจะมีความชื้นร้อยละ 7.0±1.0 ซึ่งเป็นความชื้นของวัตถุดิบที่เหมาะสมสำหรับการสกัดน้ำมันจากตัวอ่อนเพื่อให้ได้ปริมาณผลผลิตสูงสุด แล้วนำตัวอ่อนที่ผ่านการอบแล้วปริมาณ 100 กรัม ต่อ 1 การทดลอง มาทำการสกัดน้ำมันด้วยเครื่องสกัดน้ำมันแบบสกรูเพรส บันทึกปริมาณน้ำมันที่ได้ บันทึกภาพลักษณะของน้ำมันที่หีบได้ และวิเคราะห์ค่าสีในระบบ CIE (L*, a*, b*) ด้วย Colorimeter (MSEZ-4500L, HunterLab, USA) เพื่อใช้ประกอบการพิจารณาคัดเลือกสัดส่วนหรือสูตรอาหารที่เหมาะสม จากนั้นนำน้ำมันจาก BSFL จากการทดลองที่เหมาะสมมาทำการวิเคราะห์คุณภาพ ได้แก่ ค่าเพอร์ออกไซด์ (Peroxide value) ค่าซาพอนนิฟิ-เคชัน (Saponification number) (AOCS, 1993) ปริมาณโลหะหนัก (CODEX, 1995) และชนิดและปริมาณของกรดไขมัน (Fatty acid composition) (AOAC, 2019)

การวิเคราะห์ทางสถิติ

นำผลการทดลอง ได้แก่ น้ำหนักของตัวอ่อน และปริมาณอาหารที่กิน อัตราการเจริญเติบโตของตัวอ่อน และปริมาณน้ำมันที่สกัดได้ ที่ได้จากแต่ละทรีทเมนต์มาเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ Least Significant Difference (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p<0.05) ที่ โดยใช้โปรแกรม IBM SPSS Statistics 27 ทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบและคัดเลือกสิ่งทดลองที่ดีที่สุด โดยพิจารณาจากอัตราการเจริญเติบโตของตัวอ่อนและปริมาณน้ำมันที่สกัดได้สูงที่สุด และมีลักษณะปรากฏและคุณภาพทางประสาทสัมผัสของน้ำมันที่พึงประสงค์

ผลการวิจัย

ชนิดของอาหารที่เหมาะสมสำหรับการนำน้ำมันไปใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์มูลค่าเพิ่ม

การเพาะเลี้ยงตัวอ่อนด้วยข้าวโพดบดละเอียดให้น้ำหนักตัวอ่อนเพิ่มขึ้นมากที่สุด รองลงมาคือ กากผลไม้ แต่อย่างไรก็ตามน้ำหนักของตัวอ่อนและปริมาณอาหารที่กินไปทั้ง 2 ทรีทเมนต์ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) ในขณะที่การเพาะเลี้ยงด้วยกากถั่วเหลืองสดทำให้น้ำหนักตัวอ่อนเพิ่มขึ้นน้อยที่สุด แม้ว่าปริมาณกากถั่วเหลืองสดที่ถูกกินไปจะมีปริมาณสูงที่สุดเป็นอันดับที่ 2 (Table 1)

Table 1 The weight of BSFL and their feed consumption

Feed types	Increased weight (g)	Consumed feed (g)
Palm oil meal	83.69±2.55^{bc}	200.29±2.61^{b}
Fresh soybean meal	95.59±1.02^{ab}	306.30±29.19^{a}
Rice bran	72.31±3.52^{d}	86.39±17.17^{c}
Corn meal	100.86±6.00^{a}	191.81±6.60^{b}
Soybean meal	67.05±1.69^{d}	189.97±6.12^{b}
Pineapple peel	97.14±1.61^{a}	294.88±8.39^{a}
Commercial feed	89.12±4.06^{bc}	178.20±4.14^{b}

Data are presented as mean±standard deviation.

Means with different lowercase letters in the same column indicate significant differences when compared using Least Significant Difference (LSD) at 95% confidence level (p<0.05).

จากการสังเกตลักษณะของ BSFL ที่เพาะเลี้ยงด้วยอาหารต่างชนิดกันเมื่อสิ้นสุดการเพาะเลี้ยงวันที่ 13 พบว่า BSFL ที่เพาะเลี้ยงด้วยกากปาล์ม มีลำตัวสีน้ำตาลเข้มถึงดำ ผิวลำตัวหนามี 11 ปล้อง หัวสีน้ำตาลเข้มถึงดำ มีขนสีน้ำตาลปกคลุมทั่วทั้งตัว ลำตัวแบนและผอม และเมื่อเพาะเลี้ยงด้วยกากถั่วเหลืองสดพบว่าลำตัว BSFL มีสีครีม ผิวลำตัวหนามี 11 ปล้อง หัวสีน้ำตาลเข้ม มีขนสีน้ำตาลปกคลุมทั่วทั้งตัว ส่วนการเลี้ยง BSFL ด้วยรำข้าว ทำให้ตัวอ่อนมีลำตัวสีครีมถึงน้ำตาลอ่อน ผิวลำตัวหนามี 11 ปล้อง หัวสีน้ำตาลเข้ม มีขนสีน้ำตาลปกคลุมทั่วทั้งตัว ในขณะที่ BSFL ที่เพาะเลี้ยงด้วยข้าวโพดป่น มีลำตัวสีครีมถึงน้ำตาลอ่อน ผิวลำตัวหนามี 11 ปล้อง หัวสีน้ำตาลเข้ม มีขนสีน้ำตาลปกคลุมทั่วทั้งตัว เมื่อเพาะเลี้ยงด้วยกากถั่วเหลืองได้ตัวอ่อนที่มีลำตัวสีน้ำตาลเข้มถึงดำ ผิวลำตัวหนาและแข็งมี 11 ปล้อง หัวสีน้ำตาลเข้ม มีขนสีน้ำตาลปกคลุมทั่วทั้งตัว และการเพาะเลี้ยงด้วยเปลือกสับปะรดได้ BSFL ที่ลำตัวมีสีน้ำตาลเข้มถึงดำ ผิวลำตัวหนาและแข็งมี 11 ปล้อง หัวสีน้ำตาลเข้ม มีขนสีน้ำตาลปกคลุมทั่วทั้งตัว ส่วนชุดควบคุมที่เพาะเลี้ยงด้วยอาหารสำเร็จรูปทางการค้า ลำตัวของ BSFL มีสีน้ำตาลเข้ม ผิวลำตัวหนาและแข็งมี 11 ปล้อง หัวสีน้ำตาลเข้มถึงดำ มีขนสีน้ำตาลปกคลุมทั่วทั้งตัว (Figure 1)

เมื่อพิจารณาสีและกลิ่นของ BSFL ที่เพาะเลี้ยงด้วยอาหารที่แตกต่างกัน พบว่าตัวอ่อนที่เพาะเลี้ยงด้วยข้าวโพดบดละเอียด กากถั่วเหลืองสด และรำละเอียด มีลักษณะตัวสีครีมน้ำตาลอ่อนและมีกลิ่นระหว่างการเพาะเลี้ยงน้อยที่สุด ส่วนตัวอ่อนที่เพาะเลี้ยงด้วยกากผลไม้มีลักษณะตัวสีน้ำตาลเข้มถึงดำและมีกลิ่นเหม็นเปรี้ยว ตัวอ่อนที่เพาะเลี้ยงด้วยกากถั่วเหลืองแห้งและกากปาล์มมีลักษณะตัวสีน้ำตาลเข้มถึงดำ มีกลิ่นแอมโมเนียและความเหม็นปานกลาง และตัวอ่อนที่เพาะเลี้ยงด้วยอาหารสูตรทางการค้ามีลักษณะตัวสีน้ำตาลเข้ม มีกลิ่นแอมโมเนียและกลิ่นค่อนข้างแรง และจากผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสและการยอมรับของผู้บริโภค จำนวน 50 คน โดยวิธี 9-point hedonic scale พบว่าตัวอ่อนที่ได้จากการเพาะเลี้ยงด้วยข้าวโพดบดละเอียด กากถั่วเหลืองสด และรำละเอียด มีคะแนนด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น และความชอบโดยรวมอยู่ในช่วง 6.2-6.5 คะแนน โดยทั่วไปที่คะแนนตั้งแต่ 6 ขึ้นไป จะถือว่าตัวอย่างดังกล่าวเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ดังนั้นจึงได้ทำการคัดเลือกอาหารที่ใช้เลี้ยง BSFL จากการทดลอง 3 ชนิด คือ ข้าวโพดบดละเอียด กากถั่วเหลืองสด และรำละเอียด เนื่องจากตัวอ่อนที่อยู่ในระยะเก็บเกี่ยวมีสีครีมถึงน้ำตาลอ่อน มีความสม่ำเสมอ รวมทั้งปัจจัยด้านกลิ่นของตัวอ่อน ซึ่งสีและกลิ่นของตัวอ่อนมีผลต่อสีและกลิ่นของน้ำมันที่หีบได้ (Figure 1) อย่างไรก็ตาม สีของตัวอ่อนอายุ 12 วัน ของทุกชุดการทดลองมีสีครีมสม่ำเสมอ แตกต่างจากตัวอ่อนที่มีอายุ 13 วันในบางชุดการทดลองที่เริ่มมีสีคล้ำ ดังนั้นจึงปรับเปลี่ยนการเก็บเกี่ยวตัวอ่อนจากวันที่ 13 เป็นวันที่ 12 ซึ่งช่วยลดระยะเวลาการเก็บเกี่ยวให้สั้นลงและยังลดปริมาณอาหารที่ใช้เลี้ยงได้อีกด้วย ซึ่งในการทดลองขั้นต่อไปจึงนำกากถั่วเหลืองสด รำละเอียด และข้าวโพดบดละเอียด ไปทำการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างอาหารที่ดีที่สุด เพื่อใช้เพาะเลี้ยง BSFL ในขั้นตอนต่อไป

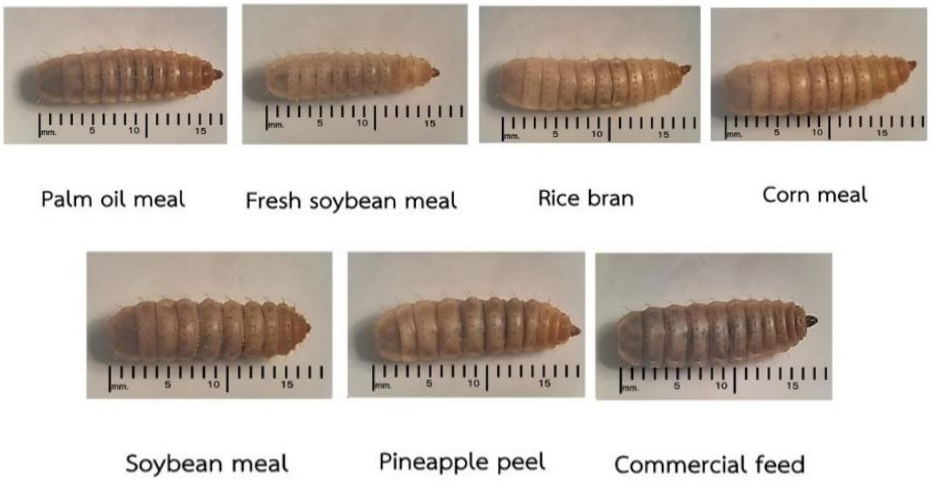


Figure 1 The morphology of 13-day-old BSFL grown on different types of feed examined using a stereo microscope at 10X magnification

องค์ประกอบของอาหารที่ใช้เลี้ยงตัวอ่อนแมลงทหารเสือ

จากการตรวจวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนและไขมันของข้าวโพดบดละเอียด รำละเอียด และกากถั่วเหลืองสดอบแห้ง ซึ่งเป็นอาหารหลักที่ใช้เพาะเลี้ยงตัวอ่อนของแมลงทหารเสือที่ให้น้ำหนักตัวอ่อนเพิ่มขึ้นมากที่สุด ให้สีครีมน้ำตาลอ่อน และมีกลิ่นระหว่างการเพาะเลี้ยงน้อยที่สุด พบว่ากากถั่วเหลืองสดอบแห้งมีปริมาณโปรตีนและไขมันสูงที่สุด ส่วนรำละเอียดมีปริมาณโปรตีนและไขมันรองลงมา และข้าวโพดบดละเอียดมีปริมาณโปรตีนและไขมันน้อยที่สุด (Table 2) และผลการวิเคราะห์กรดอะมิโนที่พบในอาหารที่ใช้เลี้ยง BSFL พบว่ากากถั่วเหลืองสดอบแห้งมีจำนวนกรดอะมิโนมากที่สุดถึง 20 ชนิด ในขณะที่ข้าวโพดบดละเอียดและรำละเอียดพบกรดอะมิโนทั้งหมด 18 ชนิด ในวัตถุดิบทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ ข้าวโพดบดละเอียด รำละเอียด และกากถั่วเหลือง พบปริมาณกรดอะมิโนกลูตามิกมากที่สุด (Table 3)

Table 2 Protein and fat contents of selected feed

No.	Feed types	Content (%)	
		Protein	Fat
1	Corn meal	8.67	3.89
2	Rice bran	12.80	10.30
3	Dried fresh soybean meal	26.50	10.63

Table 3 The amino acid composition of selected feed

No.	Amino acids	Content (mg/100 g)		
		Corn meal	Rice bran	Dried fresh soybean meal
1	Alanine	743.46	842.57	1,266.19
2	Arginine	367.26	916.73	1,303.02
3	Aspartic acid	582.71	1,137.67	2,528.90
4	L-Cystine	63.97	89.81	171.56
5	Glutamic acid	1,552.59	1,875.91	3,989.06
6	Glycine	396.56	748.26	1,367.78
7	Histidine	215.71	326.07	636.97
8	Hydroxylysine	ND	13.58	115.31
9	Hydroxyproline	16.38	ND	21.87
10	Isoleucine	129.40	207.02	370.88
11	Leucine	904.09	770.30	1,576.34
12	Lysine	254.37	495.74	1,195.83
13	Methionine	23.65	89.90	143.91
14	Phenylalanine	353.47	486.53	1,049.78
15	Proline	740.00	533.49	1,332.34
16	Serine	462.66	654.45	1,344.89
17	Threonine	293.30	439.88	771.00
18	Tryptophan	ND	ND	170.63
19	Tyrosine	299.59	373.96	529.53
20	Valine	190.84	323.10	498.97

ND = not detected; Limit of detection (LOD) is 5.0 mg/100 g.

อัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างอาหารแต่ละชนิด

จากการศึกษาพบว่าแต่ละชุดการทดลองให้อัตราการเจริญเติบโตของ BSFL แตกต่างกัน โดยทรีทเมนต์ที่ 3 ที่มีสัดส่วนของ ข้าวโพดบดละเอียด : รำละเอียด : กากถั่วเหลืองสด ในอัตราส่วน 1:1:3 โดยน้ำหนัก ให้อัตราการเจริญเติบโตของตัวอ่อนมากที่สุด รองลงมาคือทรีทเมนต์ที่ 17, 19, 12, 6 และ 16 อัตราส่วน 2:3:3, 3:1:2, 2:1:3, 1:2:3 และ 2:3:2 โดยน้ำหนัก ซึ่งอัตราการเจริญเติบโตของทั้ง 5 ทรีทเมนต์ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการทดลองอื่น ๆ และชุดควบคุม ส่วนทรีทเมนต์ที่ 20 ซึ่งมีสัดส่วนของ ข้าวโพดบดละเอียด : รำละเอียด : กากถั่วเหลืองสด ในอัตราส่วน 3:1:3 โดยน้ำหนัก ให้อัตราการเจริญเติบโตของตัวอ่อนน้อยที่สุด (Table 4) โดยลักษณะและสีของตัวอ่อนที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่แตกต่างกันแสดงดัง Figure 2

Table 4 Growth rate and oil content of BSFL grown on different feed formulations containing corn meal, rice bran and fresh soybean meal

No.	Ratio*	Growth rate (g/day)	Oil content (g)
1	1:1:1	52.92±3.73^{fg}	15.49±0.24^{l}
2	1:1:2	66.99±3.65^{b}	2.43±0.56^{q}
3	1:1:3	77.15±1.19^{a}	82.61±0.28^{a}
4	1:2:1	57.14±6.57^{def}	17.30±0.80^{k}
5	1:2:2	60.83±10.67^{cd}	13.44±0.37^{m}
6	1:2:3	66.66±7.63^{b}	9.23±0.56^{n}
7	1:3:1	48.27±3.78^{gh}	21.37±0.38^{i}
8	1:3:2	55.06±3.86^{ef}	4.44±0.46^{p}
9	1:3:3	58.88±4.01^{de}	30.06±0.84^{d}
10	2:1:1	44.64±1.02^{h}	29.21±0.58^{e}
11	2:1:2	48.95±5.79^{gh}	30.28±0.72^{d}
12	2:1:3	48.99±1.14^{gh}	15.43±0.47^{l}
13	2:2:1	35.60±2.59^{i}	26.35±0.39^{f}
14	2:2:3	49.23±0.75^{gh}	32.38±0.51^{c}
15	2:3:1	60.58±1.61^{cd}	41.09±0.33^{b}
16	2:3:2	64.54±2.56^{bc}	32.45±0.39^{c}
17	2:3:3	67.38±2.30^{b}	22.21±0.42^{h}
18	3:1:1	59.93±1.72^{cde}	20.83±0.70^{i}
19	3:1:2	67.17±0.99^{b}	15.76±0.33^{l}

Table 4 (Continued)

No.	Ratio*	Growth rate (g/day)	Oil content (g)
20	3:1:3	0.81 ± 0.74^{j}	18.02 ± 0.17^{j}
21	3:2:1	0.86 ± 0.62^{j}	7.59 ± 0.41^{o}
22	3:2:2	1.57 ± 0.82^{j}	13.02 ± 0.22^{m}
23	3:2:3	1.52 ± 0.68^{j}	23.46 ± 0.50^{g}
24	Corn meal	1.06 ± 0.29^{j}	9.63 ± 0.10^{n}
25	Rice bran	58.79 ± 4.77^{de}	32.29 ± 0.72^{c}
26	Fresh soybean meal	2.06 ± 1.36^{j}	18.51 ± 0.31^{j}
27	Commercial feed	3.19 ± 0.60^{j}	23.21 ± 0.22^{g}

*Ratio of corn meal : rice bran : fresh soybean meal by weight; Data are expressed in terms of mean±standard deviation. Data with different lowercase letters in the same column indicate statistically significant differences when comparing the average values using the Least Significant Difference (LSD) test at a 95% confidence level (p<0.05).

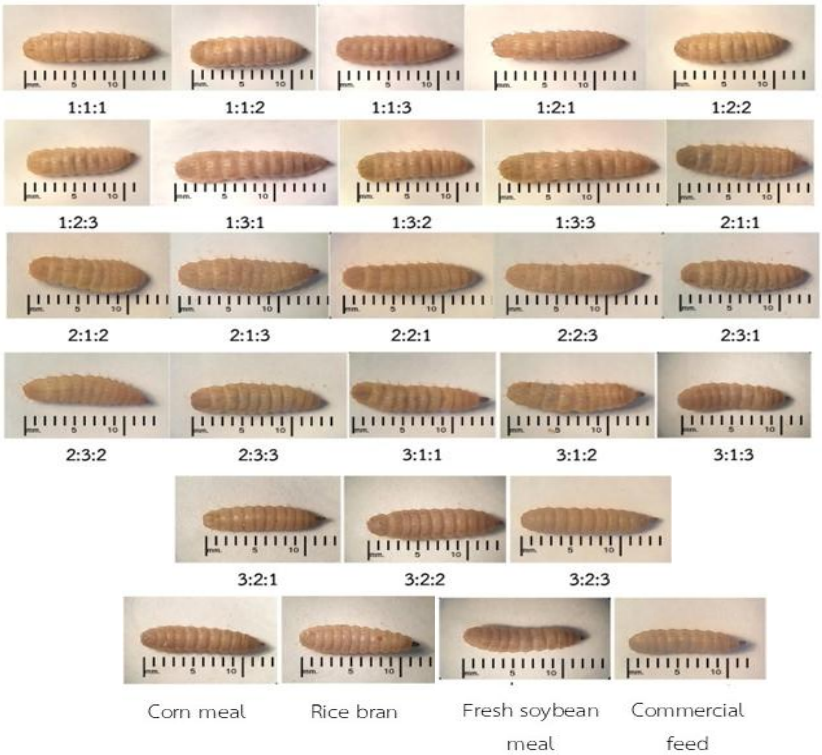


Figure 2 The morphology of BSFL grown on different feed formulation formulations (corn meal: rice bran : fresh soybean meal) examined using a stereo microscope at 10X magnification

จากการสกัดน้ำมันจาก BSFL ปริมาณ 100 กรัม ด้วยเครื่องสกัดน้ำมันแบบสกรูเพรส พบว่าทรีทเมนต์ที่ 3 ซึ่งมีอัตราส่วน ของข้าวโพดบดละเอียด : รำละเอียด : กากถั่วเหลืองสด เท่ากับ 1:1:3 ให้ปริมาณน้ำมันที่สกัดได้มากที่สุด รองลงมาคือ ทรีทเมนต์ที่ 15 อัตราส่วน 2:3:1 ส่วนทรีทเมนต์ที่ 2 อัตราส่วน 1:1:2 ให้ปริมาณน้ำมันน้อยที่สุด (Table 4) เมื่อพิจารณาลักษณะของน้ำมันที่สกัดได้ พบว่าน้ำมันที่ได้มีสีและลักษณะปรากฏที่แตกต่างกัน โดยการทดลองที่ให้น้ำมันที่มีค่า L* ซึ่งบ่งบอกถึงความสว่างสูงที่สุด ได้แก่ ทรีทเมนต์ที่ 12, 13, 16, 17 และ 25 โดยความสว่างของทั้ง 5 ทรีทเมนต์ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ค่าความสว่างของน้ำมันลำดับที่ 2, 3 และ 4 มาจากทรีทเมนต์ที่ 27, 11 และ 3 ตามลำดับ ส่วนทรีทเมนต์ที่ 15 ซึ่งให้ปริมาณผลผลิตน้ำมันเป็นลำดับที่ 2 ให้ค่าความสว่างในลำดับที่ 13 และทรีทเมนต์ที่ให้น้ำมันสีเข้มที่สุด คือ ทรีทเมนต์ที่ 8, 14, 18 และ 21 เมื่ออยู่ในอุณหภูมิห้องน้ำมันที่หีบได้ส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นของเหลว ใส บางทรีทเมนต์มีเศษตะกอนรวมกับของเหลว และน้ำมันที่หีบได้จากทรีทเมนต์ที่ 2, 5, 7 และ 9 มีลักษณะเป็นตะกอนข้น หนืด และไม่เป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง (Table 5)

ดังนั้น เมื่อพิจารณาในด้านของอัตราการเจริญเติบโตของตัวอ่อน ปริมาณน้ำมันที่สกัดได้ ค่าความสว่าง (L*) และลักษณะปรากฏของน้ำมัน พบว่าสูตรอาหารจากทรีทเมนต์ที่ 3 ซึ่งมีอัตราส่วนโดยน้ำหนัก ของข้าวโพดบดละเอียด : รำละเอียด : กากถั่วเหลืองสด เท่ากับ 1:1:3 ให้อัตราการเจริญเติบโตของตัวอ่อนและปริมาณน้ำมันที่สกัดได้สูงที่สุด และมีลักษณะปรากฏของน้ำมันที่พึงประสงค์ คือ ให้น้ำมันสีสว่างและเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง จึงคัดเลือกสูตรอาหารจากทรีทเมนต์ที่ 3 เป็นสูตรอาหารที่ดีที่สุดและมาใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

Table 5 The appearances and CIE (L*, a*, and b*) color values of oil extracted from BSFL grown on different feed formulation

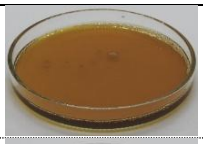
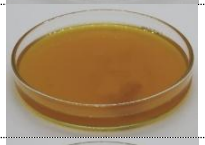
No.	Ratio*	Appearances	L*	a*	b*
1	1:1:1		45.34±0.53^{gh}	9.93±0.28^{abc}	8.47±0.34^{h}
2	1:1:2		44.06±0.53^{hi}	8.20±0.28^{de}	5.12±0.34^{ijk}
3	1:1:3		52.30±0.48^{cd}	10.99±0.15^{a}	15.11±0.49^{ef}
4	1:2:1		51.96±0.40^{de}	5.50±0.87^{gh}	16.40±0.44^{de}

Table 5 (Continued)

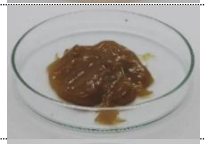
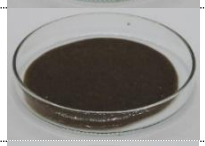
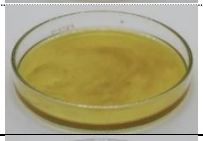
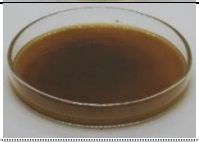
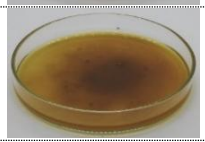
No.	Ratio*	Appearances	L*	a*	b*
5	1:2:2		42.04 ± 0.11^{ijk}	6.26 ± 0.49^{g}	2.73 ± 0.25^{lmn}
6	1:2:3		40.61 ± 1.63^{jkl}	8.14 ± 1.55^{def}	3.00 ± 0.96^{klmn}
7	1:3:1		42.70 ± 0.24^{ij}	5.51 ± 0.29^{gh}	4.64 ± 0.18^{ijkl}
8	1:3:2		38.37 ± 0.03^{l}	1.59 ± 0.06^{lm}	2.07 ± 0.09^{mn}
9	1:3:3		47.35 ± 0.65^{fg}	6.40 ± 0.23^{fg}	8.73 ± 0.29^{h}
10	2:1:1		48.38 ± 0.30^{f}	6.60 ± 0.14^{efg}	11.48 ± 0.43^{g}
11	2:1:2		54.41 ± 0.70^{bc}	5.45 ± 0.86^{ghi}	17.82 ± 0.90^{d}
12	2:1:3		59.60 ± 0.64^{a}	0.70 ± 0.49^{mno}	23.44 ± 0.65^{bc}
13	2:2:1		59.51 ± 1.77^{a}	-0.28 ± 0.75^{no}	22.73 ± 1.47^{c}
14	2:2:3		38.33 ± 0.17^{l}	3.30 ± 0.41^{jkl}	2.67 ± 0.28^{lmn}
15	2:3:1		41.88 ± 0.95^{ijk}	6.04 ± 0.68^{gh}	4.05 ± 0.71^{jklm}

Table 5 (Continued)

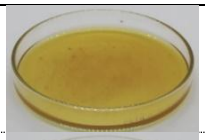
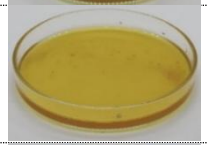
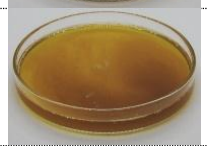
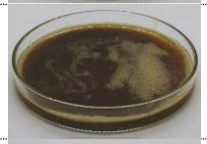
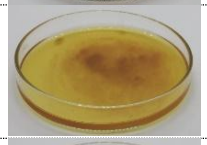
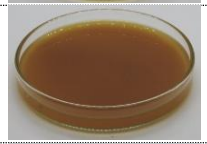
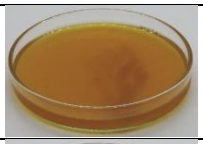
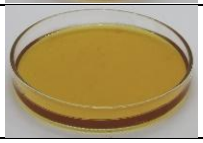
No.	Ratio*	Appearances	L*	a*	b*
16	2:3:2		59.26±1.25^{a}	2.40±0.98^{klm}	23.24±1.22^{bc}
17	2:3:3		61.47±0.27^{a}	2.08±0.25^{klm}	27.42±0.21^{a}
18	3:1:1		38.67±0.21^{l}	4.30±0.30^{hij}	1.60±0.18^{n}
19	3:1:2		45.19±0.41^{gh}	10.33±0.17^{ab}	6.69±0.71^{hi}
20	3:1:3		51.44±0.52^{de}	9.59±0.52^{abcd}	14.98±0.96^{ef}
21	3:2:1		38.62±0.20^{l}	1.12±0.06^{mn}	1.25±0.14^{n}
22	3:2:2		40.15±0.35^{kl}	2.21±0.35^{klm}	2.60±0.23^{lmn}
23	3:2:3		50.97±0.69^{de}	7.04±0.71^{efg}	13.15±0.91^{fg}
24	Corn meal		44.13±0.16^{hi}	9.05±0.11^{bcd}	5.98±0.14^{ij}
25	Rice bran		60.15±0.04^{a}	-0.81±0.03^{o}	25.21±0.15^{ab}

Table 5 (Continued)

No.	Ratio*	Appearances	L*	a*	b*
26	Fresh soybean meal		49.75±1.81^{ef}	11.13±0.30^{a}	13.51±2.13^{fg}
27	Commercial feed		56.68±0.14^{b}	3.74±0.13^{ijk}	21.73±0.07^{c}

* Ratio of corn meal : rice bran : fresh soybean meal by weight; Data are expressed in terms of mean±standard deviation. Data with different lowercase letters in the same column indicate statistically significant differences. when comparing the average values using the Least Significant Difference (LSD) test at a 95% confidence level (p<0.05).

คุณภาพน้ำมันที่ได้จาก BSFL

จากการวิเคราะห์คุณภาพน้ำมันที่ได้จาก BSFL ของทรีทเมนต์ที่ 3 ที่ให้ปริมาณน้ำมันมากที่สุด พบว่ามีค่าเพอร์ออกไซด์เท่ากับ 3.65 m Eq/kg (มิลลิกรัมสมมูลเพอร์ออกไซด์ออกซิเจนต่อน้ำมัน 1 กิโลกรัม) เมื่อพิจารณาค่าซาพอนนิฟิเคชันของน้ำมันที่ได้จาก BSFL พบว่ามีปริมาณเท่ากับ 233.44 mg KOH/g จากการตรวจวิเคราะห์ค่าโลหะหนัก ได้แก่ สารหนู ตะกั่ว และปรอท พบว่าไม่พบโลหะหนักทั้ง 3 ชนิด ในน้ำมันที่สกัดได้ (Table 6) จากผลการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของกรดไขมันน้ำมันที่ได้จาก BSFL พบว่ามีปริมาณไขมันอิ่มตัว (Saturated fat) มากที่สุด โดยกรดไขมันที่พบมากที่สุด คือ กรดลอริก (Lauric acid) ส่วนกรดไขมันที่พบในปริมาณรองลงมา คือ กรดโอเลอิก (cis-9-oleic acid) กรดลิโนเลนิก (cis-9,12-linolenic acid) และกรดปาล์มมิติก (Palmitic acid) นอกจากนี้ยังพบกรดไขมันกลุ่มโอเมก้า 3, 6 และ 9 ในน้ำมันจาก BSFL ที่สกัดได้อีกด้วย (Table 7)

Table 6 Properties of BSFL oil

Analysis	Results
Peroxide value (mEq/kg*)	3.65
Saponification number (mg KOH/g**)	233.44
Heavy metal content (mg/kg)	
Arsenic (As)	ND***
Lead (Pb)	ND***
Mercury (Hg)	ND***

*mEq/kg is milliequivalents of free iodine per kg of fat; **mg KOH/g is mg of KOH per g of sample.

***ND = not detected; Limit of detection (LOD) of arsenic, lead, and mercury are 0.05, 0.01 and 0.008 mg/kg, respectively.

Table 7 Fatty acids composition of BSFL oil

No.	Fatty Acids	Content (g/100 g)	LOD*
1	Butyric acid	ND**	0.01
2	Caproic acid	0.01	-
3	Caprylic acid	ND**	0.01
4	Capric acid	1.09	-
5	Undecanoic acid	ND**	0.01
6	Lauric acid	34.88	-
7	Tridecanoic acid	0.05	-
8	Myristic acid	6.91	-
9	Pentadecanoic acid	0.15	-
10	Palmitic acid	14.91	-
11	Heptadecanoic acid	0.23	-
12	Stearic acid	2.34	-
13	Arachidic acid	0.13	-
14	Heneicosanoic acid	0.72	-
15	Behenic acid	0.08	-
16	Tricosanoic acid	ND**	0.01
17	Lignoceric acid	0.02	-
	Saturated fat	**61.23**	**-**
18	Myristoleic acid	0.18	-
19	*cis*-10-Pentadecenoic acid	ND**	0.01
20	Palmitoleic acid	2.40	-
21	*cis*-10-Heptadecenoic acid	0.07	-
22	*trans*-9-Elaidic acid	0.24	-
23	*cis*-9-Oleic acid	17.48	-
24	*cis*-11-Eicosenoic acid	0.08	-
25	Erucic acid	ND**	0.01
26	Nervonic acid	ND**	0.01
	Monounsaturated fatty acid	**20.45**	-

Table 7 (Continued)

No.	Fatty Acids	Content (g/100 g)	LOD*
27	*trans*-Linolelaidic acid	ND**	0.01
28	*cis*-9,12-Linolenic acid	17.17	-
29	γ-Linolenic acid	0.01	-
30	α-Linolenic acid	1.24	-
31	*cis*-11,14-Eicosadienoic acid	0.02	-
32	*cis*-8,11,14-Eicosatrienoic acid	0.01	-
33	*cis*-11,14,17-Eicosatrienoic acid	ND**	0.01
34	Arachidonic acid	ND**	0.01
35	*cis*-13,16-Docosadienoic acid	ND**	0.01
36	*cis*-5,8,11,14,17-Eicosapentaenoic acid	ND**	0.01
37	4,7,10,13,16,19-Docosahexaenoic acid	ND**	0.01
	Polyunsaturated fatty acid	**18.32**	-
	Unsaturated fat	**38.76**	-
38	Trans fat	0.24	-
39	Omega 3 (mg/100g)	1,100.50	-
40	Omega 6 (mg/100g)	17,197.60	-
41	Omega 9 (mg/100g)	17,480.90	-
42	Gondoic acid	0.07	0.01

* LOD = limit of detection

** ND = not detected

วิจารณ์ผลการวิจัย

จากการคัดเลือกอาหารที่ใช้เลี้ยง BSFL ทั้ง 3 ชนิด คือ ข้าวโพดบดละเอียด กากถั่วเหลืองสด และรำละเอียด โดยใช้ลักษณะปรากฏ กลิ่น และการเจริญเติบโตของ BSFL หาสัดส่วนของส่วนผสมที่เหมาะสมพบว่า สูตรและสัดส่วนที่เหมาะสม คือ ข้าวโพดบดละเอียด : รำละเอียด : กากถั่วเหลืองสด ในอัตราส่วน 1:1:3 โดยน้ำหนัก ให้อัตราการเจริญเติบโตของตัวอ่อนมากที่สุด ซึ่งอาจเนื่องมาจากอาหารสูตรดังกล่าวมีปริมาณกากถั่วเหลืองมากที่สุด เมื่อพิจารณาจากผลวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนและไขมัน รวมทั้งชนิดและปริมาณของกรดอะมิโน (Table 3 และ 4) พบว่ากากถั่วเหลืองเป็นวัตถุดิบที่มีปริมาณโปรตีนและไขมันสูงที่สุด อีกทั้งยังพบว่ากากถั่วเหลืองมีชนิดของกรดอะมิโนหลากหลายที่สุด จึงเป็นสาเหตุให้ BSFL เจริญเติบโตได้ดีที่สุดและได้ปริมาณผลผลิตน้ำมันสูงสุด จากงานวิจัยของ Seyedalmoosavi *et al*. (2022) รายงานว่าสารอาหารที่มีโปรตีนหรือแหล่งไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ เป็นปัจจัยสำคัญในการเจริญเติบโตของ BSFL โดยกรดอะมิโนที่ได้จากโปรตีน

มีส่วนสำคัญในการสังเคราะห์โปรตีนที่เป็นโครงสร้างและองค์ประกอบของแมลง แต่ในปัจจุบันยังไม่มีรายงานเกี่ยวกับปริมาณของโปรตีนและกรดอะมิโนแต่ละชนิดที่ BSFL ต้องการในการเจริญเติบโต

การแปรรูปวัตถุดิบด้วยการทำแห้งเป็นขั้นตอนการแปรรูปขั้นต้นที่มีผลโดยตรงต่อคุณภาพ ความปลอดภัย และคุณค่าทางโภชนาการของวัตถุดิบ การทำแห้งจะช่วยลดปริมาณจุลินทรีย์ ลดค่าวอเตอร์แอกทิวิตี (Water activity, a_w) ของวัตถุดิบ เพื่อยืดอายุการเก็บรักษา ลดการเกิดกลิ่นหืน (Rancidity) ซึ่งการทำแห้งสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การตากแดด การใช้ตู้อบ การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง การใช้คลื่นไมโครเวฟ และอื่น ๆ โดยในระดับอุตสาหกรรมนิยมใช้การอบด้วยตู้อบมากที่สุด เนื่องจากใช้ต้นทุนต่ำและกระบวนการไม่ซับซ้อน (Hernández-Álvarez *et al.*, 2021; Hurtado-Ribeira *et al.*, 2023) อีกทั้งยังพบว่าการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนสามารถช่วยลดปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total viable count) ในแมลงจำพวกมวน (*Encosternum delgorguei*) ได้ดีที่สุด และเทียบเท่ากับการทำแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟและที่อุณหภูมิ 65°ซ. ขึ้นไปสามารถยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียส่วนใหญ่ได้ (Dandadzi *et al.*, 2023)

การสกัดน้ำมันด้วยเครื่องสกัดน้ำมันแบบสกรูเพรส เป็นการสกัดน้ำมันด้วยวิธีเชิงกล (Mechanical extraction) หลักการ คือ การนำวัตถุดิบที่ต้องการสกัดบรรจุลงในเครื่องแล้วลดปริมาตรด้วยการกดอัด ทำให้น้ำมันถูกบีบอัดออกมาจากวัตถุดิบ การสกัดน้ำมันด้วยวิธีการนี้เป็นระบบการสกัดน้ำมันแบบดั้งเดิมที่ยังคงนิยมใช้ในปัจจุบัน เนื่องจากใช้ต้นทุนต่ำ ไม่จำเป็นต้องใช้บุคลากรที่มีความเชี่ยวชาญสูงในการควบคุมเครื่องจักร ได้ผลผลิตน้ำมันที่มีคุณภาพดีที่ปราศจากตัวทำละลายหรือสารเคมีที่ใช้ในการสกัด ไม่จำเป็นต้องใช้สารเคมีในกระบวนการ จึงสามารถนำกากที่เหลือไปใช้ประโยชน์ได้โดยตรง แต่อย่างไรก็ตามหลังการสกัดควรมีการตรวจวิเคราะห์คุณภาพของน้ำมันที่สกัดได้ (Nde and Foncha, 2020)

ค่าเพอร์ออกไซด์สามารถบ่งบอกความเสื่อมเสียของวัตถุดิบจำพวกไขมันและน้ำมัน ด้วยการวัดปริมาณไฮโดรเพอร์ออกไซด์ (Hydroperoxide) ซึ่งเป็นสารตัวกลางในปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันและน้ำมัน (Maya *et al.*, 2023) ค่าเพอร์ออกไซด์ของส่วนผสมในเครื่องสำอางควรมีค่าในระดับไม่เกิน 20 ถือเป็นระดับที่ยอมรับได้ และค่าเพอร์ออกไซด์ที่เหมาะสมที่สุดควรมีค่าต่ำกว่า 5 (Wabner, 2002) เมื่อพิจารณาจากค่าเพอร์ออกไซด์ของน้ำมันจาก BSFL ซึ่งมีค่าเท่ากับ 3.65 นับว่าน้ำมันที่ได้มีคุณภาพเหมาะสมสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้เป็นส่วนผสมในเครื่องสำอาง

จากงานวิจัยของ Phongpradist *et al*. (2023) พบว่าน้ำมันจาก BSFL ที่เลี้ยงด้วยอาหารทางการค้า มีค่าซาพอนนิฟิเคชันเท่ากับ 197.1 mg KOH/g (มิลลิกรัมของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ซึ่งทำปฏิกิริยาพอดีกับกรดไขมันอิสระ) ค่าซาพอนนิฟิเคชันที่สูงจะมีความสอดคล้องกับปริมาณกรดไขมัน ทั้งในรูปแบบไขมันที่มีคุณสมบัติเป็นกลาง (Neutral fat) และกรดไขมันอิสระ (Free fatty acid) ที่พบในไขมันและน้ำมัน ซึ่งค่าซาพอนนิฟิเคชันของน้ำมันจาก BSFL ในการศึกษานี้มีค่าใกล้เคียงกับน้ำมันมะพร้าว ซึ่งค่าซาพอนนิฟิเคชันจะมีความสัมพันธ์แบบแปรผกผันกับน้ำหนักโมเลกุล น้ำมันมะพร้าวมีน้ำหนักโมเลกุลน้อย และค่าซาพอนนิฟิเคชันเท่ากับ 250 ในขณะที่น้ำมันเรพซีดมีน้ำหนักโมเลกุลมากและค่าซาพอนนิฟิเคชันเท่ากับ 175 (Patterson, 2011; Phongpradist *et al*., 2023)

Leong *et al.* (2015) ศึกษาผลของการใช้ขยะอินทรีย์ชนิดต่าง ๆ ได้แก่ เศษผลไม้ กากน้ำมันปาล์ม และกากตะกอนน้ำเสียที่ผ่านการบำบัด ที่มีต่อการผลิตกรดลอริกของ BSFL ผลการวิเคราะห์ปริมาณไขมันและองค์ประกอบของกรดไขมันของ BSFL พบว่า BSF สามารถผลิตกรดไขมันอิ่มตัวโดยเฉพาะกรดลอริกได้มากกว่ากรดไขมันไม่อิ่มตัว อีกทั้งยังพบว่าการผลิตกรดไขมันและชนิดของกรดไขมันที่ BSF ผลิตไม่ขึ้นกับชนิดของอาหารที่ใช้เลี้ยง Xu *et al.* (2021) ศึกษาการผลิต

โมโนเอซิลกลีเซอรอล (Monoacylglycerol, MAG) ที่มีคุณสมบัติเป็นอิมัลซิไฟเออร์ ช่วยเพิ่มความหนืด เป็นสารหล่อลื่น และสารปรับสภาพผิว (Skin conditioning agent) ในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง โดยใช้น้ำมันจาก BSFL เป็นสารตั้งต้นด้วยการใช้กระบวนการทางเอนไซม์ พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้ประกอบด้วยโมโนเอซิลกลีเซอรอลร้อยละ 97.7 และมีค่าความเป็นกรด (Acid value) ต่ำลง หรือมีคุณภาพที่ดีขึ้น และมีความเสถียรขึ้น

องค์ประกอบหลักของน้ำมันจาก BSFL คือ กรดลอริก ซึ่งกรดลอริก (C12:0) เป็นกรดไขมันชนิดอิ่มตัวที่พบมากในน้ำมันมะพร้าว (Saturated fatty acid) และน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดปาล์ม (Palm kernel oil) จัดอยู่ในกลุ่มกรดไขมันขนาดกลาง (Medium-chain fatty acids: MCFAs) ที่มีจำนวนคาร์บอนระหว่าง 6-12 อะตอม มีลักษณะปรากฏหลายรูปแบบทั้ง แบบผงสีขาวหรือสีเหลือง ผลึกมันวาว และของแข็งไม่มีสี เป็นต้น (Suryati *et al*., 2023) ในด้านเครื่องสำอางกรดลอริกและอนุพันธ์ของกรดลอริกถูกใช้เป็นสารลดแรงตึงผิว (Surfactant หรือ Surface-active agents) ซึ่งเป็นส่วนผสมที่จะช่วยให้ส่วนผสมในตำรับที่ไม่สามารถรวมตัวหรือผสมกันได้ให้ละลายหรือผสมเข้ากัน กรดลอริกมีคุณสมบัติช่วยทำความสะอาดผิวและผมด้วยการทำให้น้ำ ไขมัน และสิ่งสกปรกต่าง ๆ ผสมรวมกัน แล้วชะล้างออกมาได้ ปัจจุบันมีการนำกรดลอริกไปใช้ในตำรับผลิตภัณฑ์ดูแลส่วนบุคคล (Personal care) มากกว่า 90 ประเภท จากรายงานพบว่ากรดลอริกเป็นกรดที่พบมากในน้ำมันจาก BSFL และมีคุณสมบัติต้านแบคทีเรีย (Anti-bacterial property) เนื่องจากกรดลอริกสามารถเปลี่ยนเป็นมอนอลอริน (Monolaurin) ที่เป็นอนุพันธ์ของกรดลอริก ซึ่งมีศักยภาพสูงมากในการต้านแบคทีเรีย ไวรัส และโปรโตซัว (Barker *et al*., 2019; Franco *et al*., 2021) อีกทั้งยังมีรายงานว่ากรดไขมันขนาดกลางยังมีคุณสมบัติช่วยเร่งการสมานแผล และช่วยรักษาสมดุลและเป็นเสมือนเกราะป้องกันของผิว (Yang *et al*., 2020) กรดไขมันมีบทบาทสำคัญในการดูแลผิวหนัง โดยมีคุณสมบัติในการแทรกซึมผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ ทำหน้าที่ฟื้นฟูโครงสร้างของชั้นไขมันที่ช่วยป้องกันผิว (Lipid barrier) ที่เสื่อมสภาพบนผิวหนัง ช่วยลดการสูญเสียน้ำผ่านผิวหนัง และบรรเทาอาการอักเสบของผิว ดังนั้นผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางหลากหลายประเภทจึงมีองค์ประกอบของกรดไขมันในสัดส่วนที่สูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในผลิตภัณฑ์ประเภทสบู่ โลชั่น และครีม ซึ่งมักมีไขมันและน้ำมันเป็นส่วนประกอบหลักในสูตรตำรับ (Ahmad and Ahsan, 2020) นอกจากนี้ น้ำมันที่อุดมไปด้วยกรดลอริกยังสามารถประยุกต์ใช้ในการผลิตสารหล่อลื่น (Lubricants) ไบโอดีเซล (Biodiesel) และอิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifiers) ในอุตสาหกรรมหลากหลายประเภท (Suryati *et al*., 2023)

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาผลของชนิดของส่วนผสมในอาหารเพาะเลี้ยง BSFL พบว่าข้าวโพดบดละเอียด รำละเอียด และกากถั่วเหลือง เป็นส่วนผสมที่เหมาะสมสำหรับใช้เพาะเลี้ยง BSFL โดยมีสัดส่วนที่เหมาะสมเท่ากับ 1:1:3 โดยน้ำหนัก ซึ่ง BSFL ที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรนี้ให้ปริมาณไขมัน 82.61 กรัมต่อ 100 กรัม โดยมีองค์ประกอบหลักเป็นกรดลอริก 34.88 กรัมต่อ 100 กรัม อีกทั้งน้ำมันจาก BSFL ที่ได้ยังมีโอเมก้า 3, 6 และ 9 ในปริมาณ 1,100, 17,197 และ 17,480 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ดังนั้นน้ำมันจาก BSFL ที่ผลิตได้ซึ่งมีสมบัติทางเคมีเบื้องต้น คือ ปริมาณกรดลอริก โอเมก้า 3, 6 และ 9 ค่าเพอร์ออกไซด์ และการปราศจากโลหะหนักปนเปื้อน จึงเหมาะสมสำหรับการประยุกต์ใช้เป็นสารตั้งต้นในผลิตภัณฑ์มูลค่าเพิ่มได้อย่างหลากหลาย ทั้งในอุตสาหกรรมยา เครื่องสำอาง อาหาร และพลังงาน โดยควรทำการศึกษากระบวนการสกัดที่เหมาะสมให้น้ำมันที่สกัดได้มีคุณภาพที่ดียิ่งขึ้น ศึกษาฤทธิ์ทางชีวภาพ สมบัติทางเคมีและกายภาพอื่น ๆ ขั้นตอนการทำบริสุทธิ์หรือ

กำจัดสิ่งปนเปื้อนในน้ำมันที่เหมาะสม และทดสอบความเป็นพิษและการระคายเคืองของน้ำมันที่สกัดได้ ตามวัตถุประสงค์ของการประยุกต์ใช้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนโดยสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) และสำนักงานสภานโยบายการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรมแห่งชาติ (สอวช.) และขอขอบคุณหน่วยบริหารและจัดการทุนด้านการเพิ่มความสามารถในการแข่งขันของประเทศ (บพข.) และหน่วยบริหารและจัดการทุนด้านการพัฒนาระดับพื้นที่ (บพท.)

เอกสารอ้างอิง

Ahmad, A. and H. Ahsan. 2020. Lipid-based formulations in cosmeceuticals and biopharmaceuticals. **Biomedical Dermatology** 4: 1-10.

Almeida, C., D. Murta. R. Nunes, A.R. Baby, Â. Fernandes, L. Barros, P. Rijo and C. Rosado. 2022. Characterization of lipid extracts from the *Hermetia illucens* larvae and their bioactivities for potential use as pharmaceutical and cosmetic ingredients. **Heliyon** 8(5): e09455.

Amrul, N.F., I. Kabir Ahmad, N.E. Ahmad Basri, F. Suja, N.A. Abdul Jalil and N.A. Azman. 2022. A review of organic waste treatment using black soldier fly (*Hermetia illucens*). **Sustainability** 14(8): 4565.

AOAC. 2019. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists: Official Methods of Analysis of AOAC International. 21st Edition. **Washington DC: AOAC**. 3750 p.

AOCS. 1993. Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemists Society. 4th Edition. **Illinois: The American Oil Chemists Society** 1749 p.

Barker, L.A., B.W. Bakkum and C. Chapman. 2019. The clinical use of monolaurin as a dietary supplement: a review of the literature. **Journal of Chiropractic Medicine** 18(4): 305-310.

CODEX. 1995. **Codex general standard for contaminants and toxins in food and feed: CODEX STAN 193-1995**. 1-77. [Online]. Available https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/livestockgov/documents/1_CXS_193e.pdf (July 30, 2024).

da Silva, P., N. Ribeiro, M.N.C. Pinheiro and R. Costa. 2019. Modelling Drying Kinetics of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*, l.) Larvae. pp. 1-6 *In* **Proceedings of XII International Conference on Computational Heat, Mass and Momentum Transfer (ICCHMT 2019) 3-6 September 2019**. Rome: EDP Sciences.

Dandadzi, M., R. Musundire, A. Muriithi and R.T. Ngadze. 2023. Effects of drying on the nutritional, sensory and microbiological quality of edible stinkbug (*Encosternum delgorguei*). **Heliyon** 9(8): e18642.

Franco, A., R. Salvia, C. Scieuzo, E. Schmitt, A. Russo and P. Falabella. 2021. Lipids from insects in cosmetics and for personal care products. **Insects** 13(1): 41.

Hernández-Álvarez, A.J., M. Mondor, I.A. Piña-Domínguez, O.A. Sánchez-Velázquez and G. Melgar Lalanne. 2021. Drying technologies for edible insects and their derived ingredients. **Drying Technology** 39(13): 1991-2009.

Hurtado-Ribeira, R., D.M. Hernández, D. Villanueva-Bermejo, M.R. García-Risco, M.D. Hernández, L. Vázquez, T. Fornari, and D. Martin. 2023. The interaction of slaughtering, drying, and defatting methods differently affects oxidative quality of the fat from black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae. **Insects** 14(4): 368.

Huseynli, L., T. Parviainen, T. Kyllönen, H. Aisala, and K. Vene. 2023. Exploring the protein content and odor-active compounds of black soldier fly larvae for future food applications. **Future Foods** 7: 100224.

Leong, S.Y., S.R.M. Kutty, C.K. Tan and L.H. Tey. 2015. Comparative study on the effect of organic waste on lauric acid produced by *Hermetia illucens* larvae via bioconversion. **Journal of Engineering Science and Technology** 8(2015): 52-63.

Lestari, A., T.H. Wahyuni, E. Mirwandhono and N. Ginting. 2020. Maggot black soldier fly (*Hermetia illucens*) nutritional content using various culture media. **Jurnal Peternakan Integratif** 8(3): 161-169.

Maya, I., D.O. Winardi, E. Amalia, S.R. Mita, C.K. Kusumawulan, N.A. Putriana, and S. Sriwidodo. 2023. Physicochemical characteristics, fatty acid profile, and *In Vitro* antioxidant activity evaluation of Sacha Inchi seed oil from Indonesia. **Cosmetics** 10(6): 171.

Nayak, A., M. Rühl and P. Klüber. 2023. *Hermetia illucens* (diptera: stratiomyidae): need, potentiality, and performance measures. **Agriculture** 14(1): 8.

Nde, D.B. and A.C. Foncha. 2020. Optimization methods for the extraction of vegetable oils: a review. **Processes** 8(2): 209.

Patterson, H.B.W. 2011. Chapter 12-Quality and control. pp. 329-350. *In* Gary, R.L. and W.K. Jerry (eds.). **Hydrogenation of Fats and Oils.** Champaign, IL: AOCS Press.

Phongpradist, R., W. Semmarath, K. Kiattisin, J. Jiaranaikulwanitch, W. Chaiyana, S. Chaichit, Y. Phimolsiripol, P. Dejkriengkraikul and C. Ampasavate. 2023. The *In Vitro* effects of black soldier fly larvae (*Hermitia illucens*) oil as a high-functional active ingredient for inhibiting hyaluronidase, anti-oxidation benefits, whitening, and UVB protection. **Frontiers in Pharmacology** 14: 1243961.

Seyedalmoosavi, M.M., M. Mielenz, T. Veldkamp, G. Daş, and C.C. Metges. 2022. Growth efficiency, intestinal biology, and nutrient utilization and requirements of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae compared to monogastric livestock species: a review. **Journal of Animal Science and Biotechnology** 13(1): 31.

Smetana, S., E. Schmitt, and A. Mathys. 2019. Sustainable use of *Hermetia illucens* insect biomass for feed and food: attributional and consequential life cycle assessment. **Resources, Conservation and Recycling** 144: 285-296.

Suryati, T., E. Julaeha, K. Farabi, H. Ambarsari, and A.T. Hidayat. 2023. Lauric acid from the black soldier fly (*Hermetia illucens*) and its potential applications. **Sustainability** 15(13): 10383.

Thrastardottir, R., H.T. Olafsdottir and R.I. Thorarinsdottir. 2021. Yellow mealworm and black soldier fly larvae for feed and food production in Europe, with emphasis on Iceland. **Foods** 10(11): 2744.

Wabner, D. 2002. The peroxide value-a new tool for the quality control of essential oils. **The International Journal of Aromatherapy** 3(12): 142-144.

Xu, W., L. Xu, X. Liu, S. He, Y. Ji, W. Wang and F. Wang. 2021. An effective strategy for the production of lauric acid–enriched monoacylglycerol via enzymatic glycerolysis from black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae (BSFL) oil. **Applied Biochemistry and Biotechnology** 193: 2781-2792.

Yang, M., M. Zhou and L. Song. 2020. A review of fatty acids influencing skin condition. **Journal of Cosmetic Dermatology** 19(12): 3199-3204.