โครงการ
การเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

ชื่อโครงการ การเจริญเติบโตของหนอนแมลงวันลาย (Diptera: Stratiomyidae) และความสามารถในการย่อยสลายกากจากการแปรรูปอาหาร

ชื่อนิสิต นางสาวกัญญาวีร์ แก้วหลวง รหัสประจำตัว 6032005123

ภาควิชา ชีววิทยา

ปีการศึกษา 2563

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โครงการ

การเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

ชื่อโครงการ การเจริญเติบโตของหนอนแมลงวันลาย (Diptera: Stratiomyidae) และความสามารถในการย่อยสลายกากจากการแปรรูปอาหาร
Growth of black soldier fly larvae (Diptera: Stratiomyidae) and their ability to decompose food processing wastes

ชื่อนิสิต นางสาวกัญญาวีร์ แก้วหลวง **เลขประจำตัว** 6032005123

ภาควิชา ชีววิทยา

ปีการศึกษา 2563

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การเจริญเติบโตของหนอนแมลงวันลาย (Diptera: Stratiomyidae) และความสามารถในการย่อยสลายกากจากการแปรรูปอาหาร

Growth of black soldier fly larvae (Diptera: Stratiomyidae) and their ability to decompose food processing wastes

นางสาวกัญญาวีร์ แก้วหลวง

อาจารย์ที่ปรึกษา
รองศาสตราจารย์ ดร.ชัชวาล ใจซื่อกุล

โครงงานวิทยาศาสตร์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาชีววิทยา ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2563

โครงงานวิทยาศาสตร์ฉบับนี้ได้รับการสนับสนุนจาก
โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์
ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชื่อโครงการ	: การเจริญเติบโตของหนอนแมลงวันลาย (Diptera: Stratiomyidae) และความสามารถในการย่อยสลายกากจากการแปรรูปอาหาร
นิสิตผู้ดำเนินโครงการ	: นางสาวกัญญาวีร์ แก้วหลวง
อาจารย์ที่ปรึกษา	: รองศาสตราจารย์ ดร.ชัชวาล ใจซื่อกุล
ภาควิชา	: ชีววิทยา

บทคัดย่อ

แมลงวันลาย (Diptera: Stratiomyidae) เป็นทางเลือกหนึ่งในการจัดการขยะอินทรีย์ โดยหนอนของแมลงวันลายสามารถบริโภคและย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ถึง 70% ในขณะเดียวกันยังสามารถเปลี่ยนแปลงสารอินทรีย์เป็นชีวมวลร่างกายและปุ๋ยชีวภาพได้ ร้านค้าส่วนใหญ่ในเมืองที่มีการแปรรูปอาหารไม่ได้นำกากจากการแปรรูปไปใช้ประโยชน์เช่นการใช้เป็นอาหารสัตว์หรือแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์บางอย่างได้เนื่องจากข้อจำกัดในการจัดการภายในเมือง ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาการเจริญเติบโตของหนอนแมลงวันลาย (Diptera: Stratiomyidae) และความสามารถในการย่อยสลายกากจากการแปรรูปอาหาร 4 ชนิดที่พบได้ในเมืองคือ 1) กากถั่วเหลือง 2) กากมะพร้าว 3) กากกาแฟ และ 4) ชุดควบคุมโดยให้อาหารที่เลี้ยงเชิงพาณิชย์ (รำข้าวหยาบร้อยละ 40 กากน้ำตาลร้อยละ 40 และข้าวสารเหนียวร้อยละ 20) โดยใส่หนอน 20 ตัวในกากอาหาร 25 กรัม ในภาชนะ 650 mL ทั้งหมด 12 ซ้ำต่อกลุ่มการทดลอง เลี้ยงที่ 33 °C เป็นเวลา 14 วัน โดยวัดการเจริญของหนอนอายุ 6-14 วัน จากผลการศึกษาพบว่าค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งของหนอนมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกลุ่มอาหารต่าง ๆ ($F=153.940$, $df=3, 44$, $p<0.001$) โดยน้ำหนักแห้งของหนอนเมื่อสิ้นสุดการศึกษาที่เลี้ยงในถั่วเหลืองมีมากที่สุด (47.6±5.9 mg/ตัว) ตามมาด้วยกลุ่มควบคุม (37.7±5.2 mg/ตัว) กลุ่มกากมะพร้าว (10.7±6.9 mg/ตัว) และกลุ่มกากกาแฟ (5.1±4.8 mg/ตัว) ตามลำดับ ซึ่งค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งของกลุ่มกากมะพร้าวและกากกาแฟไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ และค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งที่ลดลงของอาหารทั้ง 4 กลุ่มแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($F=589.909$, $df=3, 44$, $p<0.001$) โดยน้ำหนักแห้งของกลุ่มกากถั่วเหลืองลดลงมากที่สุด (ร้อยละ 67.77±2.20) ตามมาด้วยกลุ่มควบคุม (ร้อยละ 64.38±1.31) กลุ่มกากมะพร้าว (ร้อยละ 32.04±1.61) และกลุ่มกากกาแฟ (ร้อยละ 15.54±0.73) ตามลำดับ กากถั่วเหลืองมีศักยภาพในการใช้เป็นอาหารเลี้ยงหนอนแมลงวันลายเชิงพาณิชย์ได้ และหนอนแมลงวันลายสามารถช่วยลดปริมาณขยะจากกากการแปรรูปอาหารได้ ซึ่งควรมีการศึกษาสัดส่วนของกากจากการแปรรูปต่าง ๆ ในอนาคต จากการศึกษาในครั้งนี้สามารถนำองค์ความรู้ที่ได้ไปเป็นฐานข้อมูลและยังสามารถนำมาประยุกต์กับการแก้ปัญหาขยะมูลอินทรีย์ที่ไม่ได้รับการจัดการอย่างถูกวิธี อีกทั้งยังเป็นแนวทางในการลดต้นทุนและเสริมรายได้จากการเลี้ยงหนอนแมลงวันลาย

คำสำคัญ: การจัดการขยะอินทรีย์, การแปรรูปอาหาร, หนอนแมลงวันลาย, อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ

Research Title	: Growth of black soldier fly larvae (Diptera: Stratiomyidae) and their ability to decompose food processing wastes
Student name	: Miss Kanyawee Kaewluang
Advisor	: Associate Professor Chatchawan Chaisuekul, Ph.D.
Department of	: Biology

Abstract

Black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) is considered one of alternative waste management options because the larvae of black soldier fly can consume up to 70% of organic matter degraded. At the same time, it can also convert organic matter into body biomass and create bio-fertilizers. Most of the urban shops with waste from processed food did not continue to utilize the waste as animal feed or process into other products due to management restrictions within the city. Therefore, the researcher is interested to study the growth of black soldier fly larvae (Diptera: Stratiomyidae) and the ability to degrade the waste from urban food processing by adding 20 larvae to 25 g of food waste of 1) soybean meal 2) coconut meal 3) used coffee grounds 4) control of commercial feed (Coarse rice bran 40% Molasses 40% and Sticky rice 20%) in 650 mL containers with 12 replications treatment at 33°C for 14 days. The growth of larvae was measured during 6-14 days. The results of this study found that the mean dry larval weight at the end of experiment was significantly different between the food groups ($F = 153.754$, $df = 3, 44$, $p < 0.001$), with the dry weight of the larvae grown in soybean meal was the highest (47.6±5.9 mg/indv.) followed by a control (37.7±5.2 mg/indv.), coconut meal (10.7±6.9 mg/indv.) and used coffee grounds (5.1±4.8 mg/indv.), respectively, with no significant difference between coconut meal and used coffee grounds. Mean dry weight loss of food from the four treatments was significantly different ($F=589.909$, $df=3, 44$, $p<0.001$) with highest reduction found in soybean meal (67.77±2.20%) followed by control (64.38±1.31%), coconut meal (32.04±1.61%), and used coffee grounds (15.54±0.73%), respectively. Soybean meal has potential to use as commercial feed for soldier fly larvae, and soldier fly larvae can be used to reduce waste from food processing which should be further explored for mixture ratio of these wastes. The study provides the information of larvae of black soldier reared in different processed food waste. And it and can also be applied to solve the problem of unmanaged organic waste properly to reduce waste management costs and enhance revenue from black soldier fly larvae.

Keywords: Black soldier fly larvae, Feed conversion ratio, Food processing, Waste management

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.ชัชวาล ใจซื่อกุล อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ที่ให้ความกรุณาในการให้คำปรึกษาและความช่วยเหลือ ทั้งในส่วนการให้ช่องทางติดต่อขอยืมอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง การวิเคราะห์ข้อมูล ตลอดจนตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล ทำให้โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ ร้าน AIM AROI SOYMILK, ร้านเจ๊เปีย ตลาดสามย่าน ปทุมวัน กรุงเทพฯ และร้าน Terracotta Coffee จากคณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้กากจากการแปรรูปอาหารมาใช้ในการศึกษาการเจริญเติบโตของหนอนแมลงวันลายและความสามารถในการย่อยสลายกากจากการแปรรูปอาหาร

ขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร.จันทร์เพ็ญ จันทร์เจ้า, อาจารย์ ดร.มารุต เฟื่องอาวรณ์, ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พงษ์ชัย ดำรงโรจน์วัฒนา และอาจารย์ ดร.เกรียง กาญจนวตี อาจารย์ผู้ประสานงานรายวิชา โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์ ภาคการศึกษาปลาย ปีการศึกษา 2563 ที่ให้คำแนะนำในองค์ประกอบของเอกสารที่เกี่ยวข้องกับโครงการ

ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการ 228 และพิพิธภัณฑ์แมลง ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ รวมถึงวัสดุและอุปกรณ์ ในการจัดทำการทดลอง

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณโครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์ ภาควิชาชีววิทยา และคณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่สนับสนุนเงินทุนสำหรับการทำโครงการในครั้งนี้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ.....ก
ABSTRACT.....ข
กิตติกรรมประกาศ.....ค
สารบัญตาราง.....จ
สารบัญภาพ.....ฉ
บทที่ 1 บทนำ.....1
1.1. ความเป็นมาและมูลเหตุจูงใจในการเสนอโครงการ.....1
1.2. วัตถุประสงค์ของโครงการ.....2
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรม.....3
2.1. ข้อมูลพื้นฐานและลักษณะสัณฐานวิทยาของแมลงวันลาย (Diptera: Stratiomyidae).....3
2.2. ประโยชน์ของหนอนแมลงวันลาย.....4
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน.....8
3.1. การดำเนินงาน.....8
3.1.1. การรวบรวมเก็บตัวอย่างกลุ่มกากอาหารและไข่หนอนแมลงวันลาย.....8
3.1.2. การเตรียมอาหารสำหรับการอนุบาลไข่หนอนแมลงวันลาย.....8
3.1.3. การทดลองและเก็บข้อมูล.....9
3.1.4. การวัดอัตราการเจริญเติบโต และการประเมินความสามารถในการย่อยสลาย.....9
3.1.5. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ.....9
บทที่ 4 ผลการศึกษา.....11
4.1. ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งของหนอนแมลงวันลายที่อายุ 14 วัน.....11
4.2. อัตราการเจริญเติบโตของหนอนแมลงวันลาย (mg/ตัว/วัน).....11
4.3. ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งที่ลดลงของกลุ่มกากอาหารต่าง ๆ.....12
4.4. ประสิทธิภาพการย่อสลายกลุ่มกากอาหารของหนอนแมลงวันลายในรูป Waste degradation index (WRI).....13
บทที่ 5 อภิปรายและสรุปผลการศึกษา.....14
เอกสารอ้างอิง.....16
ภาคผนวกที่ 1 ข้อมูลการเจริญของหนอนแมลงวันลาย.....20
ภาคผนวกที่ 2 ข้อมูลทางสถิติ.....21

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 4-1 ค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งของหนอนแมลงวันลายอายุ 14 วัน ทั้ง 4 กลุ่มกากอาหารต่าง ๆ 11
ตารางที่ 4-2 ค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งที่ลดลงของกลุ่มกากอาหารต่าง ๆ 12
ตารางที่ 4-3 ค่าเฉลี่ย WRI ของกลุ่มกากอาหารต่าง ๆ 13
ตารางที่ 5-1 เปรียบเทียบสารอาหารที่พบในกากอาหารกลุ่มต่าง ๆ 15
ตารางที่ ภ-1 เปรียบเทียบอัตราการเจริญของหนอนแมลงวันลาย (mg/ตัว/วัน) ในกลุ่มอาหารทั้ง 4 กลุ่ม.....20
ตารางที่ ภ-2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ในการทดสอบค่าเฉลี่ย WRI ในกลุ่มกากอาหารทั้ง 4 ชนิดว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ (TURKEY T-TEST ที่ P<0.05) โดยใช้โปรแกรม IBM SPSS STATISTICS VERSION 22.....21

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 2-1 ลักษณะคล้ายตัวต่อ ลำตัวมีสีดำ ปลายขาคู่หน้ามีสีขาวอมเหลือง ส่วนปลายขาคู่หลัง 2 คู่มีสีขาวกลางลำตัว ส่วนท้องโปร่งแสงสามารถมองทะลุได้ 3
ภาพที่ 2-2 วงจรชีวิตของแมลงวันลายในระยะไข่จนถึงตัวเต็มวัย โดยระบุเวลาเฉลี่ยของแต่ละระยะ 4
ภาพที่ 2-3 หนอนแมลงวันลายบริโภคและย่อยสลายสารอินทรีย์เป็นชีวมวลร่างกาย และสร้างมวลชีวภาพได้ 5
ภาพที่ 2-4 ภายในชีวมวลของหนอนพบไขมันและโปรตีนสามารถนำไปใช้เป็นอาหารเลี้ยงสัตว์ได้ 5
ภาพที่ 2-5 ภาพจำลองของ *salmonella spp.* 6
ภาพที่ 2-6 ขยะมูลฝอยที่ยังไม่ได้รับการจัดการ 7
ภาพที่ 3-1 (a) เตรียมที่อนุบาลไข่ (b) โรยรำข้าวหยาบเพื่อป้องกันหนอนออกจากอาหาร 8
ภาพที่ 4-1 เปรียบเทียบอัตราการเจริญของหนอนแมลงวันลาย (mg/ตัว/วัน) ในกลุ่มกากอาหารที่ต่างกัน 12

บทที่ 1
บทนำ

1.1. ความเป็นมาและมูลเหตุจูงใจในการเสนอโครงการ

แมลงวันลาย (Black soldier fly) *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) เป็นแมลงกินซาก มีวงจรชีวิตเฉลี่ยคือ 41–43 วัน อาศัยอยู่ในเขตร้อนและเขตอบอุ่น ไม่เป็น พาหะนำโรค ไม่เป็นศัตรูพืช และไม่ก่อให้เกิดความรำคาญต่อชุมชน (Sheppard et al., 2002; Dortmans et al., 2017) หนอนแมลงวันลายสามารถบริโภคและย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ถึง 70% (Diener et al., 2011) ในขณะเดียวกันยังสามารถเปลี่ยนแปลงสารอินทรีย์เป็นชีวมวลร่างกายและสร้างปุ๋ยชีวภาพได้ (Cickova et al., 2015) ซึ่งปุ๋ยสามารถนำไปใช้ในภาคสนามได้จริง ภายในชีวมวลของหนอนพบไขมันและโปรตีนสามารถนำไปใช้เป็นอาหารเลี้ยงสัตว์ได้ (Katongole et al., 2011; Lalander et al., 2015) อย่างไรก็ตามมีการศึกษาไม่มากนักเกี่ยวกับความสามารถของหนอนแมลงวันลายต่อขยะอินทรีย์ประเภทต่าง ๆ

การแปรรูปอาหาร (food processing) เป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงสภาพของวัตถุดิบให้มีอายุการเก็บรักษานานขึ้นและเพิ่มมูลค่า แต่การแปรรูปทำให้เกิดการสูญเสียอาหาร หรือ food loss ซึ่งหมายถึงวัตถุดิบอาหารใด ๆ ที่สูญเสียไปตั้งแต่การผลิตจนก่อนถึงมือผู้บริโภคภายใต้นิยามขององค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ (Food and Agriculture Organization of the United Nations: FAO) เนื่องจากมีคัดเลือกอาหารจากความสวยงามหรือใช้วัตถุดิบเพียงบางส่วน ทำให้สูญเสียอาหารทั่วโลกประมาณ 1,300 ล้านตัน ร้านค้าส่วนใหญ่ในเมืองไม่ได้นำเศษเหลือจากการแปรรูปไปใช้ประโยชน์ต่อ เนื่องจากข้อจำกัดในการจัดการภายในตัวเมือง จากการศึกษาเพิ่มเติมพบว่ากากจากการแปรรูปอาหาร คือ กากถั่วเหลือง กากมะพร้าว และกากกาแฟสามารถใช้เป็นอาหารสัตว์หรือผลิตภัณฑ์บางอย่างได้

ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาการเจริญเติบโตของหนอนแมลงวันลายและความสามารถในการย่อยสลายกากจากการแปรรูป รวมถึงนำองค์ความรู้ที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ไปเป็นฐานของข้อมูลและยังสามารถนำมา ประยุกต์กับการแก้ปัญหาขยะมูลอินทรีย์ที่ไม่ได้รับการจัดการอย่างถูกวิธี อีกทั้งยังเป็นแนวทางในการลดต้นทุน และเสริมรายได้จากการเลี้ยงหนอนแมลงวันลาย

1.2. วัตถุประสงค์ของโครงการ

- เพื่อศึกษาการเจริญเติบโตของหนอนแมลงวันลาย
- เพื่อศึกษาความสามารถในการย่อยสลายกากถั่วเหลือง กากมะพร้าวและกากกาแฟ ของหนอนแมลงวันลาย

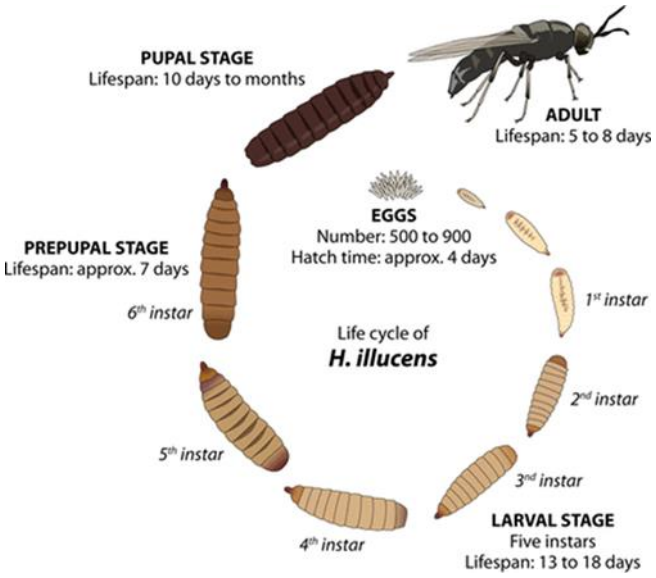
บทที่ 2
ทบทวนวรรณกรรม

2.1. ข้อมูลพื้นฐานและลักษณะสัณฐานวิทยาของแมลงวันลาย (Diptera: Stratiomyidae)

แมลงวันลายมีชื่อวิทยาศาสตร์คือ *Hermetia illucens* อยู่ในอันดับ Diptera วงศ์ Stratiomyidae ตัวเต็มวัยมีขนาดความยาวถึง 20 มม. ลักษณะคล้ายตัวต่อ ลำตัวมีสีดำ ปลายขาคู่หน้ามีสีขาวอมเหลือง ส่วนปลายขาคู่หลัง 2 คู่มีสีขาวกลางลำตัว ส่วนท้องโปร่งแสงสามารถมองทะลุได้ ดังภาพที่ 2-1 ตัวเมียเมื่อเริ่มมีไข่ที่กลางลำตัวส่วนท้องจะมีสีขาวขุ่น (Sheppard et al., 2002; Dortmans et al., 2017)

วงจรชีวิตของแมลงวันลาย อยู่ในระยะไข่ 4 วัน ระยะหนอน 13-18 วัน ระยะก่อนเข้าดักแด้ประมาณ 7 วัน ระยะดักแด้ 10 วัน ถึง 1 เดือน เมื่อโตเต็มวัยจะเริ่มผสมพันธุ์และวางไข่ภายใน 5-8 วัน (Smet et al., 2018) ดังภาพที่ 2-2 สำหรับการวางไข่ของแมลงวันลายมักวางไขในที่แห้งและอยู่เหนืออาหาร 10-50 cm โดยมีจำนวนไข่ตั้งแต่ 400-800 ฟองต่อกลุ่มไข่ โดยระยะเวลาฟักไข่ขึ้นกับอุณหภูมิในช่วงนั้น ซึ่งอุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ที่ 27-30°C (Dortmans et al, 2017)

ภาพที่ 2-1 ลักษณะคล้ายตัวต่อ ลำตัวมีสีดำ ปลายขาคู่หน้ามีสีขาวอมเหลือง ส่วนปลายขาคู่หลัง 2 คู่มีสีขาวกลางลำตัว ส่วนท้องโปร่งแสงสามารถมองทะลุได้
ที่มา: https://www.thairath.co.th/news/local/1233626



ภาพที่ 2-2 วงจรชีวิตของแมลงวันลายในระยะไข่จนถึงตัวเต็มวัย
โดยระบุเวลาเฉลี่ยของแต่ละระยะ

ที่มา: Smet et al., 2018

2.2. ประโยชน์ของหนอนแมลงวันลาย

หนอนแมลงวันลายสามารถบริโภคและย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ถึง 70% (Diener et al., 2011) ในขณะเดียวกันยังสามารถเปลี่ยนแปลงสารอินทรีย์เป็นชีวมวลร่างกายและสร้างปุ๋ยชีวภาพได้ (Cickova et al., 2015) ดังภาพที่ 2-3 ซึ่งปุ๋ยสามารถนำไปใช้ในภาคสนามได้จริง โดยหนอนหนึ่งตัวสามารถกินอาหารได้ถึง 200 มก. ต่อวัน (Attiogbe et al., 2019) อีกทั้งภายในชีวมวลของหนอนพบไขมันและโปรตีนสามารถนำไปใช้เป็นอาหารเลี้ยงสัตว์ได้ (Katongole et al., 2011; Lalander et al., 2015) ซึ่งส่วนสำคัญในการลดต้นทุนการเลี้ยงสัตว์ชนิดอื่น เช่น ปลา นก และไก่ ดังภาพที่ 2-4

แมลงวันลายไม่เป็นพาหะนำโรค ไม่เป็นศัตรูพืชและไม่ก่อให้เกิดความรำคาญต่อชุมชน (Sheppard et al., 2002) และจากการย่อยสลายขยะของหนอนแมลงวันลายยังสามารถกำจัดสิ่งปฏิกูลของมนุษย์โดยลดปริมาณเชื้อโรค *Salmonella spp*. ซึ่งเป็นแบคทีเรียที่ทำให้อาหารเป็นพิษเรียกว่า salmonellosis ดังภาพที่ 2-5 ในสิ่งปฏิกูลเป็นเวลา 8 วันได้อย่างมีนัยสำคัญ (Lalander et al., 2013) โดยสามารถติดต่อจากสัตว์สู่สัตว์และสัตว์สู่คน เช่น สัตว์ปีก วัว ควาย สุนัข และแมว

ภาพที่ 2-3 หนอนแมลงวันลายบริโภคและย่อยสลายสารอินทรีย์เป็นชีวมวลร่างกาย และสร้างมวลชีวภาพได้

ภาพที่ 2-4 ภายในชีวมวลของหนอนพบไขมันและโปรตีนสามารถนำไปใช้เป็นอาหารเลี้ยงสัตว์ได้
ที่มา: https://www.technologychaoban.com/young-farmer/article_160162

ภาพที่ 2-5 ภาพจำลองของ *Salmonella* spp.
ที่มา: https://www.foodsafetynews.com/2019/07/salmonella-continues-to-keep-infosan-busy/

2.3. ปัญหาขยะมูลฝอย

ขยะมูลฝอยแบ่งออกเป็น 4 ประเภท ได้แก่ ขยะทั่วไป ขยะรีไซเคิล ขยะอันตราย และขยะอินทรีย์ (ภาพที่ 2-6) ซึ่งเป็นปัญหาหลักของสิ่งแวดล้อมที่มีความสำคัญ เนื่องจากปริมาณขยะมูลฝอยที่เพิ่มขึ้นตามจำนวนประชากร จากการประเมินของกรมควบคุมมลพิษ (2561) พบว่าในปี พ.ศ. 2561 ปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นของประเทศไทยมีมากถึง 27.93 ล้านตัน หรือประมาณ 76,529 ตันต่อวัน ซึ่งมีการนำขยะมูลฝอยไปกำจัดอย่างถูกต้องประมาณ 10.88 ล้านตัน (ร้อยละ 39) และถูกนำกลับมาใช้เป็นประโยชน์ประมาณ 9.58 ล้านตัน (ร้อยละ 34) ของปริมาณมูลฝอยทั้งหมด สำหรับขยะมูลฝอยอีกประมาณ 7.36 ล้านตัน (ร้อยละ 27) ของปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นทั้งหมดจะถูกนำไปจัดการอย่างไม่ถูกต้อง ซึ่งทำให้เกิดปัญหามลพิษตามมา คือ ภาวะมลพิษทางน้ำ ควันและสารมลพิษทางอากาศ แหล่งพาหะนำโรค อีกทั้งยังส่งกลิ่นเหม็นและส่งผลต่อสุขลักษณะในการดำรงชีวิตของประชาชน โดยการจัดการขยะมูลฝอยมีค่าธรรมเนียมดังนี้ การเก็บและขนขยะมูลฝอย 150 บาท และการจัดการขยะมูลฝอย 200 บาทต่อขยะมูลฝอย 120 kg

ภาพที่ 2-6 ขยะมูลฝอยที่ยังไม่ได้รับการจัดการ

ที่มา: https://www.thaihealth.or.th

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงาน

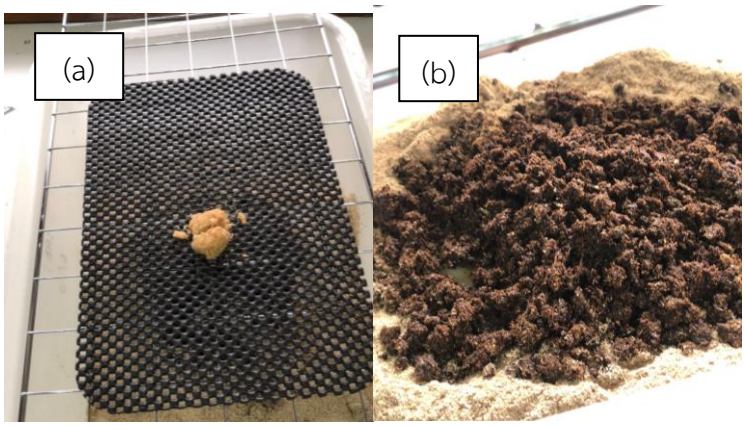
3.1.การดำเนินงาน

3.1.1. การรวบรวมเก็บตัวอย่างกลุ่มกากอาหารและไข่หนอนแมลงวันลาย

กากถั่วเหลืองรับจากร้าน AIM AROI SOYMILK และกากมะพร้าวรับจากร้านเจ๊เปีย (ตลาดสามย่าน, ปทุมวัน, กรุงเทพฯ) กากกาแฟรับจากร้าน Terracotta Coffee (คณะวิทยาศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย) ส่วนอาหารชุดควบคุมผสมตามสัดส่วนดังนี้ รำข้าว 2 ส่วน ข้าวเหนียว 1 ส่วน กากน้ำตาล 2 ส่วน EM 0.2 ส่วน และน้ำเปล่า ผสมกันให้มีความชื้น 80% และไข่หนอนแมลงวันลายจากร้าน Phaibsf “เพาะเลี้ยงหนอนแมลงวันลาย ” (สารภี, เชียงใหม่)

3.1.2. การเตรียมอาหารสำหรับการอนุบาลไข่หนอนแมลงวันลาย

ผสมอาหารตามสัดส่วนดังนี้ รำข้าวหยาบ 200 g ข้าวเหนียว 100 g กากน้ำตาล 200 g และน้ำเปล่า ผสมกันให้มีความชื้น 80% โดยใช้เครื่องชั่งดิจิตอล ทศนิยม 2 ตำแหน่ง (Ohaus, USA) จากนั้นวางไข่ไว้บนกะละมังที่เตรียมไว้ นำตะแกรงวางพาดขอบกะละมังทั้ง 2 ข้าง จากนั้นวางตะแกรงตาเล็กเป็นกว้างและยาวด้านละ 10 cm ไว้ตรงกลางตะแกรงใหญ่ที่เตรียมไว้ โรยรอบอาหารด้วยรำข้าวเพื่อป้องกันไม่ให้ตัวหนอนออกจากอาหาร (ศมณพร สุทธิบาก และคณะ, 2018) ที่สภาวะอุณหภูมิห้อง 33°C ความชื้นสัมพัทธ์ 70% โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์ กระเปาะเปียก-แห้ง (Brannan, Germany) ในการวัด (ณ ห้องปฏิบัติการ ตึกชีววิทยา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย) จนกว่าไข่จะฟัก จากนั้นเลี้ยงหนอนในอาหารที่เตรียมไว้ในเป็นเวลาประมาณ 5 วัน (Scala et al., 2020)



ภาพที่ 3-1 (a) เตรียมที่อนุบาลไข่ (b) โรยรำข้าวหยาบเพื่อป้องกันหนอนออกจากอาหาร

3.1.3. การทดลองและเก็บข้อมูล

เมื่อหนอนแมลงวันลายอายุประมาณ 5 วัน กรองหนอนออกจากอาหารเดิมด้วยตะแกรงขนาด 2 mm จากนั้นแบ่งหนอนออกเป็น 4 กลุ่ม ใส่ภาชนะขนาด 650 ml เพื่อศึกษาการเจริญเติบโตของหนอนแมลงวันลายและความสามารถในการย่อยสลายด้วยอาหารตามลำดับต่อไปนี้ 1) กลุ่มกากถั่วเหลือง 2) กลุ่มกากมะพร้าว 3) กลุ่มกากกาแฟ 4) กลุ่มทดลอง ด้วยอัตราส่วนของหนอน 20 ตัว และอาหาร 20 g น้ำหนักสด เป็นเวลา 9 วันหรือเมื่อหนอนอายุ 14 วัน เปิดภาชนะระบายอากาศให้หนอนแมลงวันลายทุกวันและตรวจสอบความชื้นเพื่อการอยู่รอดของหนอนแมลงวันลาย ทำทั้งหมด 12 ซ้ำต่อการทดลอง (Liu et al., 2020) ชั่งน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งซึ่งใช้เครื่องชั่งดิจิตอล ทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Ohaus, USA) ของทุกกลุ่มกากอาหารและหนอนเพื่อทำการเปรียบเทียบ โดยชั่งน้ำหนักสดก่อนและนำหนอนมาล้างน้ำที่ 80℃ เป็นเวลา 10 วินาทีเพื่อล้างคราบตะกอนออก จากนั้นอบอาหารและหนอนทุกกลุ่มการทดลองให้แห้งในตู้อบลมร้อน (Memert, Germany) 60℃ เป็นเวลา 24 ชม. (Permana and Ramadhani Eka Putra, 2018) และนำไปชั่งน้ำหนักแห้งแล้วบันทึกข้อมูล

3.1.4. การวัดอัตราการเจริญเติบโต และการประเมินความสามารถในการย่อยสลาย

ทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งของหนอนแมลงวันลายเมื่ออายุครบ 14 วันในกลุ่มกากอาหารต่าง ๆ และวัดอัตราการเติบโต ดังสมการต่อไปนี้

อัตราการเติบโต =

$$\frac{\text{ค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งของหนอนหลังการทดลอง}(\text{mg/ตัว}) - \text{ค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งของหนอนเริ่มต้นการทดลอง}(\text{mg/ตัว})}{\text{ระยะเวลาทดลอง (วัน)}}$$

จากนั้นประเมินความสามารถในการย่อยสลายกากจากการแปรรูปด้วยค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งของอาหารที่ลดลง ค่า Overall degradation (OD) และ Waste degradation index (WRI) ดังสมการ Overall degradation (OD) =

$$\frac{\text{ค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งของกากอาหารเริ่มต้น}(\text{mg}) - \text{ค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งของกากอาหารที่เหลือ}(\text{mg})}{\text{น้ำหนักแห้งของกากเริ่มต้น}(\text{mg})}$$

และสมการ Waste degradation index (WRI) = $\frac{OD}{\text{ระยะเวลาทดลอง (วัน)}}$ x 100 ตามลำดับ (Mohd-Noor et al., 2017)

3.1.5. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และ Post-hoc (Tukey T-test) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วยโปรแกรม IBM SPSS statistics version 22 เพื่อตรวจสอบว่าค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งของหนอนแมลงวันลายจากการย่อยสลายอาหารทั้ง 4 ชนิดไม่แตกต่างกัน ค่าเฉลี่ย

น้ำหนักแห้งของกลุ่มกากอาหารทั้ง 4 ชนิดไม่แตกต่างกัน และค่าเฉลี่ย Waste degradation index (WRI) ของกลุ่มกากอาหารทั้ง 4 ชนิดไม่แตกต่างกัน ซึ่งหากค่า sig จากการวิเคราะห์มากกว่า 0.05 หมายความว่ามีไม่ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

บทที่ 4
ผลการศึกษา

ผลการศึกษาแบ่งออกเป็น 4 หัวข้อหลัก ดังนี้

ส่วนที่ 4.1 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งของหนอนแมลงวันลายที่อายุ 14 วัน

ส่วนที่ 4.2 อัตราการเจริญเติบโตของหนอนแมลงวันลาย (mg/ตัว/วัน)

ส่วนที่ 4.3 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งที่ลดลงของกลุ่มกากอาหาร %

ส่วนที่ 4.4 ประสิทธิภาพการย่อสลายกลุ่มกากอาหารของหนอนแมลงวันลายในรูป Waste degradation index (WRI)

4.1.ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งของหนอนแมลงวันลายที่อายุ 14 วัน

จากผลการศึกษาพบว่าค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งของหนอนมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกลุ่มอาหารต่าง ๆ ($F=153.940$, $df=3, 44$, $p<0.001$) โดยน้ำหนักแห้งของหนอนที่เลี้ยงในถั่วเหลืองมีมากที่สุด (47.6±5.9 mg/ตัว) ตามมาด้วยกลุ่มควบคุม (37.7±5.2 mg/ตัว) กลุ่มกากมะพร้าว (10.7±6.9 mg/ตัว) และกลุ่มกากกาแฟ (5.1±4.8 mg/ตัว) ตามลำดับ ซึ่งค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งของกลุ่มกากมะพร้าวและกากกาแฟไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังตารางที่ 4-1

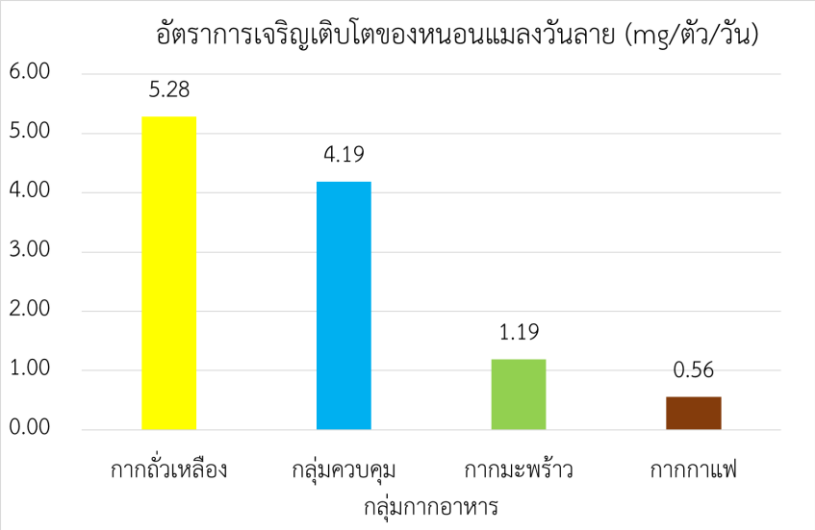
ตารางที่ 4-1 ค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งของหนอนแมลงวันลายอายุ 14 วัน ทั้ง 4 กลุ่มกากอาหารต่าง ๆ

กลุ่มกาอาหาร	ค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้ง (mg/ตัว)
กากกาแฟ	5.1±4.8a
กากมะพร้าว	10.7±6.9a
ควบคุม	37.7±5.2b
กากถั่วเหลือง	47.6±5.9c

*ตัวอักษรที่แตกต่างกันมีความต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (Tukey t-test, $p<0.05$)

4.2. อัตราการเจริญเติบโตของหนอนแมลงวันลาย (mg/ตัว/วัน)

จากการคำนวณอัตราการเจริญของหนอนพบว่าในกลุ่มกากถั่วเหลืองมีอัตราการเจริญสูงสุด คือ 5.28 (mg/ตัว/วัน) รองลงมาคือกลุ่มควบคุม มีอัตราการเจริญเท่ากับ 4.19 (mg/ตัว/วัน) ถัดมาคือกลุ่มกากมะพร้าว อัตราการเจริญมีค่า 1.19 (mg/ตัว/วัน) และสุดท้ายกลุ่มกากกาแฟ มีอัตราการเจริญเท่ากับ 0.56 (mg/ตัว/วัน) ตามลำดับ



ภาพที่ 4-1 เปรียบเทียบอัตราการเจริญของหนอนแมลงวันลาย (mg/ตัว/วัน) ในกลุ่มกากอาหารที่ต่างกัน

4.3.ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งที่ลดลงของกลุ่มกากอาหารต่าง ๆ

จากตารางที่ 4.2 พบว่าค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งที่ลดลงของอาหารทั้ง 4 กลุ่มแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($F=589.909$, $df=3, 44$, $p<0.001$) โดยน้ำหนักแห้งของกลุ่มกากถั่วเหลืองลดลงมากที่สุด (ร้อยละ 67.77±2.20) ตามมาด้วยกลุ่มควบคุม (ร้อยละ 64.38±1.31) กลุ่มกากมะพร้าว (ร้อยละ 32.04±1.61) และกลุ่มกากกาแฟ (ร้อยละ 15.54±0.73) ตามลำดับ

ตารางที่ 4-2 ค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งที่ลดลงของกลุ่มกากอาหารต่าง ๆ

กลุ่มกากอาหาร	ค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้ง %
กากกาแฟ	15.54±0.73a
กากมะพร้าว	32.04±1.61b
ควบคุม	64.38±1.31c
กากถั่วเหลือง	67.77±5.9d

*ตัวอักษรที่แตกต่างกันมีความต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ

4.4.ประสิทธิภาพการย่อสลายกลุ่มกากอาหารของหนอนแมลงวันลายในรูป Waste degradation index (WRI)

จากการศึกษา WRI สามารถใช้อธิบายความสามารถของหนอนในการลดสารอินทรีย์ โดยค่า WRI ที่สูงกว่าบ่งชี้ว่าหนอนมีประสิทธิภาพในการการลดสารอินทรีย์สูง พบว่าค่าเฉลี่ย WRI ของทั้ง 4 กลุ่มอาหารแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($F=278.875$, $df=3, 44$, $p<0.001$) โดยค่าเฉลี่ย WRI ของกลุ่มกากถั่วเหลืองสูงที่สุด (7.57±1.04) ตามมาด้วยกลุ่มควบคุม (7.15±0.31) กลุ่มกากมะพร้าว (3.55±0.42) และกลุ่มกากกาแฟ (1.72±0.19) ตามลำดับ โดยที่ค่าเฉลี่ย WRI ของกลุ่มกากถั่วเหลืองและกลุ่มกากมะพร้าวไม่มีความตากต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังตารางที่ 4-3

ตารางที่ 4-3 ค่าเฉลี่ย WRI ของกลุ่มกากอาหารต่าง ๆ

กลุ่มกากอาหาร	WRI
กากกาแฟ	1.72±0.19a
กากมะพร้าว	3.55±0.42b
ควบคุม	7.15±0.31c
กากถั่วเหลือง	7.57±1.04c

*ตัวอักษรที่แตกต่างกันมีความต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ

บทที่ 5
อภิปรายและสรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาความสามารถในการย่อยขยะอินทรีย์ของหนอนแมลงวันลายในไทยที่ผ่านมามีการศึกษาโดยใช้ย่อยผลไม้ กระดาษทิชชู มูลสัตว์และเศษอาหารจากครัวเรือน เป็นต้น ซึ่งทำให้เกิดประโยชน์ในด้านการจัดการขยะอินทรีย์และเศรษฐกิจครัวเรือน สามารถช่วยลดรายจ่ายและเพิ่มรายได้ให้แก่เกษตรกรจากการเลี้ยงหนอนที่มีต้นทุนต่ำและนำหนอนไปเป็นอาหารสัตว์หรือส่งออกได้ตั้งแต่ระยะไข่จนถึงระยะดักแด้ แต่ยังมีขยะอินทรีย์อีกหลายประเภทที่ยังไม่มีการศึกษา ผู้วิจัยจึงเลือกศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับความสามารถของหนอนแมลงวันลายในการย่อยกลุ่มกากอาหารจากการแปรรูป คือ กากมะพร้าว กากถั่วเหลือง และกากกาแฟ ซึ่งการจัดการหรือนำไปใช้ประโยชน์ต่อในเขตตัวเมืองค่อนข้างลำบากและมีค่าใช้จ่ายในการจัดการมาทดลองในห้องปฏิบัติการ โดยสารอาหารในกากกลุ่มต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 5-1

ผลปรากฏว่าหนอนแมลงวันลายสามารถย่อยกากอาหารทั้งสามกลุ่มได้ โดยย่อยกลุ่มกากถั่วเหลืองและเปลี่ยนเป็นชีวมวลได้มากที่สุด ดังภาพที่ 4-1 ตารางที่ 4-1 4-2 และ 4-3 ซึ่งจากการวิเคราะห์ทางสถิติ (Turkey T-Test) พบมีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจากกลุ่มควบคุม กลุ่มกากมะพร้าวและกลุ่มกากกาแฟโดยมีค่ามากที่สุด รองลงมาคือกลุ่มควบคุม กลุ่มกากมะพร้าวและกลุ่มกากกาแฟ ตามลำดับ ความสมดุลทางโภชนาการของอาหาร เช่น โปรตีน คาร์โบไฮเดรตและไขมัน ส่งผลต่ออัตราการเจริญเติบโตของหนอน จำเป็นต้องมีสารอาหารที่เพียงพอสำหรับการพัฒนาและสำรองอาหารสำหรับเปลี่ยนแปลงเป็นชีวมวลร่างกายและเข้าสู่ตัวเต็มวัย (Myers et al., 2008)

ในการศึกษานี้กากถั่วเหลืองมีปริมาณสารอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญของหนอนแมลงวันลายมากที่สุดซึ่งน่าจะเป็นโปรตีนทำให้เหมาะสำหรับใช้เป็นอาหารให้กับหนอนแมลงวันลาย ส่วนกลุ่มกากมะพร้าวเนื่องจากขั้นตอนการคั้นน้ำมะพร้าวออกอาจทำให้สารอาหารเหลืออยู่น้อยจึงมีอัตราการเจริญน้อยกว่ากากถั่วเหลือง แต่ยังคงมีแหล่งพลังงานจากไขมันทำให้หนอนสามารถเจริญได้ และจากการศึกษาก่อนหน้าพบว่าการเจริญเติบโตของหนอนที่เลี้ยงด้วยกากกาแฟมีอัตราการเจริญเติบโต 0.11±0.02 ถึง 1.41±0.17 mg/วัน (Permana and Ramadhani Eka Putra, 2018) เมื่อเทียบแล้วถือว่ามีอัตราที่ใกล้เคียงกัน (ตารางที่ 4-2) ซึ่งถือว่ามีการเจริญเติบโตแต่ช้า

หนอนแมลงวันลายยังสามารถย่อยสลายขยะอินทรีย์ได้หลากหลายชนิด จึงเหมาะต่อการศึกษาสัดส่วนของหนอนต่อกลุ่มอาหาร หรือนำกลุ่มกากอาหารที่มีสารอาหารน้อยผสมกับกลุ่มกากอาหารที่มีสารอาหารสูงเพื่อเพิ่มอัตราการย่อยสลายและเพื่อเป็นฐานข้อมูลไปปรับใช้เป็นทางเลือกในการจัดการกับขยะอินทรีย์ได้อย่างมีประโยชน์ การป้องกันแมลงชนิดอื่นรบกวนควรเลือก

ภาชนะที่มีฝาปิดแน่นและแข็งแรง หากใส่อาหารมากเกินไปอาจทำให้อาหารส่งกลิ่นเหม็นและเน่าเสียได้

ตารางที่ 5-1 เปรียบเทียบสารอาหารที่พบในกากอาหารกลุ่มต่าง ๆ

กลุ่มอาหาร	สารอาหาร		
	โปรตีน	ไขมัน	คาร์โบไฮเดรต
(a) กากกาแฟ	19.93	1.98	59.16
(b) กากมะพร้าว	3.2	38.5	14.9
(c) ควบคุม	7.52	19.76	51.64
(d) กากถั่วเหลือง	45.00	2.4	40.00

(a) ที่มา: Permana and Ramadhani Eka Putra, 2018

(b) ที่มา: https://siamroommate.com

(c) ที่มา: https://th.wikipedia.org/wiki/

(d) ที่มา: https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/748366/nutrients

เอกสารอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ. 2561. สรุปสถานการณ์มลพิษ ของประเทศไทย ปี 2561. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.

ไทยรัฐออนไลน์. 2561. เพาะหนอนแมลงวันลาย กก.ละ 500-1,400 บาท[ออนไลน์]. แหล่งที่มา: https://www.thairath.co.th/news/local/1233626[22 กรกฎาคม 2564]

ปรภัต จูตระกูล. 2562. สถานการณ์มลพิษไทยตลอดปี 61 พบขยะเพิ่มมากขึ้น[ออนไลน์]. แหล่งที่มา: https://www.thaihealth.or.th[22 กรกฎาคม 2564]

เยาวชนเกษตร. 2564. ม.เกษตร รุกแผนงานยุวชนอาสา เพาะเลี้ยงหนอนแมลงวันลาย ที่กาฬสินธุ์ [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: https://www.technologychaoban.com/young-farmer/article_160162[22 กรกฎาคม 2021]

พระราชบัญญัติรักษาความสะอาดและความเป็นระเบียบร้อยร้อยของบ้านเมือง (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2560. ราชกิจจานุเบกษา 134 (15 มกราคม 2560): 2-3.

ศมณพร สุทธิบาก, รฐนิษฐ์ สุขธนาภิชัน, สมควร โพธารินทร์, กีรติ มณีสาย, ณัฐปภัสร์ จันทร์สาขารนา และอาภรณ์ ศรีมาตระ. 2018. การกำจัดขยะอินทรีย์โดยหนอนแมลงวันลาย. การประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติครั้งที่ 17, อุดรธานี.

สุจิต เมืองสุข. 2563. ม.เกษตร รุกแผนงานยุวชนอาสา เพาะเลี้ยงหนอนแมลงวันลาย ที่กาฬสินธุ์. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: https://www.technologychaoban.com/young-farmer/article_160162[22 กรกฎาคม 2564]

siamroommate. 2564. แป้งมะพร้าว (Coconut Flour) คุณสมบัติ ประโยชน์ และวิธีทำแป้งมะพร้าว[ออนไลน์]. แหล่งที่มา: https://siamroommate.com[22 July 2021]

Attiogbe, K.F., Ayim, K., Martey, J. 2019. Effectiveness of black soldier fly larvae in composting mercury contaminated organic waste. Molecular Microbiology. 113: 464-477.

Cickova, H., Newton, G.L., and Kozanek, M. 2015. The use of fly larvae for organic waste treatment. Waste Management. 35: 68-80.

Darier E., and Mikhail M. 2020. Waste not, want not: Addressing food waste for a just and ecological food system[online]. Available from: https://www.greenpeace.org/international/story/45286/waste-not-want-not-addressing-food-waste-for-just-and-ecological-food-system/[3 February 2021]

Diener, S., Studt Solano, N., Roa Gutierrez, F., Zurbrugg, C., and Tockner, K. 2011. Biological treatment of municipal organic waste using black soldier fly larvae. Waste and Biomass Valorization. 2: 357–363.

Dortmans, B., Diener, S., Verstappen, B., and Zurbrugg, C. 2017. Black soldier fly biowaste processing - a step-by-step guide. , Dubendorf, Switzerland.

Food safety news. 2019. Salmonella continues to keep INFOSAN busy[Online]. Available from: https://www.foodsafetynews.com/2019/07/salmonella-continues-to-keep-infosan-busy/[22 July 2021]

Katongole, C.B., Sabiiti, E., Bareeba, F. and Ledin, I. 2011. Utilization of market crop wastes as animal feed in urban and peri-urban livestock production in Uganda. Journal of Sustainable Agriculture. 35: 329–342.

Lalander, C., Diener, S., Madri M.E., Zurbrugg, C., Lindstrom, A., and Vinneras, B. Faecal sludge management with the larvae of the black soldier fly *(Hermetia illucens)*--from a hygiene aspects. Science of the Total Environment. 458-460: 312-318.

Lalander, C.H., Fidjeland, J., Diener, S., Eriksson, S. and Vinner, S.B. 2015. High waste-to-biomass conversion and efficient *Salmonellas spp*. Agronomy for Sustainable Development. 35: 261–271.

Liu T., Awasthi M.K., Awasthi S.K., Duan Y. and Zhang Z. 2020. Effects of black soldier fly larvae (Diptera: Stratiomyidae) on food waste and sewage sludge composting. Journal of Environmental Management. 256: 109967.

Myers, H.M., Tomberlin, J.K., Lambert, B.D., and Kattes, D. 2008. Development of black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) larvae fed dairy manure. Environmental Entomology. 37(1): 5-11.

Mohd-Noor S.N., Wong C.Y., Lim J.W., Mah-Hussin M.L.A., Uemura Y., Lam M.K., Ramli A., Bashir J.K.M., and Tham L. 2017. Optimization of self-fermented period of waste coconut endosperm destined to feed black soldier fly larvae in enhancing the lipid andprotein yields. Renewable Energy. 111: 646–654.

Permana and Ramadhani Eka Putra. 2018. Growth of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) Larvae Fed on Spent Coffee Ground. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 187: 012070.

Smet J.D., Wynants E., Cos P., and Campenhout L.V. 2018. Microbial Community Dynamics during Rearing of Black Soldier Fly Larvae (*Hermetia illucens*) and Impact on Exploitation Potential. Applied and Environmental Microbiology. 84: e02722-17.

Scala A., Cammack J.A., Salvia R., Scieuzo C., Franco A., Bufo S.A., Tomberlin J.K., and Falabella P. 2020. Rearing substrate impacts growth and macronutrient composition of *Hermetia illucens* (L.) (Diptera: Stratiomyidae) larvae produced at an industrial scale. Scientific Reports. 10: 19448.

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

ภาคผนวก

ภาคผนวกที่ 1 ข้อมูลการเจริญของหนอนแมลงวันลาย

ตารางที่ ภ-1 เปรียบเทียบอัตราการเจริญของหนอนแมลงวันลาย (mg/ตัว/วัน) ในกลุ่มอาหารทั้ง 4 กลุ่ม

กลุ่มกากอาหาร	อัตราการเจริญของหนอน (mg/ตัว/วัน)
กากกาแฟ	5.28
กากมะพร้าว	4.19
ควบคุม	1.19
กากถั่วเหลือง	0.56

ภาคผนวกที่ 2 ข้อมูลทางสถิติ

ตารางที่ ภ-2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ในการทดสอบค่าเฉลี่ย WRI ในกลุ่มกากอาหารทั้ง 4 ชนิดว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ (Turkey T-Test ที่ p<0.05) โดยใช้โปรแกรม IBM SPSS statistics version 22

ANOVA

WRI

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	288.554	3	96.185	278.875	.000
Within Groups	15.176	44	.345		
Total	303.729	47			

(I) ชนิดกาก	(J) ชนิดกาก	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
กากมะพร้าว	กากกาแฟ	1.83000*	.23976	.000	1.1898	2.4702
	กากถั่วเหลือง	-4.01250*	.23976	.000	-4.6527	-3.3723
	ควบคุม	-3.59917*	.23976	.000	-4.2393	-2.9590
กากกาแฟ	กากมะพร้าว	-1.83000*	.23976	.000	-2.4702	-1.1898
	กากถั่วเหลือง	-5.84250*	.23976	.000	-6.4827	-5.2023
	ควบคุม	-5.42917*	.23976	.000	-6.0693	-4.7890
กากถั่วเหลือง	กากมะพร้าว	4.01250*	.23976	.000	3.3723	4.6527
	กากกาแฟ	5.84250*	.23976	.000	5.2023	6.4827
	ควบคุม	.41333	.23976	.324	-.2268	1.0535
ควบคุม	กากมะพร้าว	3.59917*	.23976	.000	2.9590	4.2393
	กากกาแฟ	5.42917*	.23976	.000	4.7890	6.0693
	กากถั่วเหลือง	-.41333	.23976	.324	-1.0535	.2268

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.