

**การเปรียบเทียบสมบัติทางชีวภาพและเคมีบางประการของปุ๋ยอินทรีย์สดจาก
วัสดุอินทรีย์ 5 ชนิดที่ถูกย่อยสลายด้วยตัวอ่อนแมลงวันลายกับมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์**
Comparison of Some Biological and Chemical Properties of Fresh Organic Fertilizers from
Five Organic Materials Digested by Black Soldier Fly Larvae with Organic Fertilizer Standards
สุภเวช ทศนิกิจ¹ ชาญวิทย์ แก้วตาปี² รุ่งทิพย์ มาศเมธาธิพย์³ และสิรินภา ช่างโสภาส^{1*}
Supphawed Tussanakit¹, Chanwit Kaewtapee², Rongthip Masmeatathip³ and
Sirinapa Chungopast^{1*}

Received: September 18, 2024

Revised: November 11, 2024

Accepted: November 13, 2024

Abstract: The black soldier fly larvae (BSFL) can decompose organic materials from agriculture and food industry for producing organic fertilizers. This research aimed to study some biological and chemical properties of the fresh organic fertilizers from five organic materials digested by BSFL with organic fertilizer standards from the Department of Agriculture. A completely randomized design with 3 replications and 5 treatments was used. The BSFL were reared with the following diets: 1) chicken feed + coconut coir, 2) soybean milk residue + coconut coir, 3) pineapple peel + coconut coir, 4) cassava residue + coconut coir, 5) dried chicken manure + coconut coir. From the results of biological properties analysis, the fresh organic fertilizers of BSFL from soybean milk residue had the highest total bacterial count of 7.66 logCFU/gDw. *Bacillus* spp. and *Escherichia coli* were detected in all treatments. In the part of analyzing the chemical properties, only electrical conductivity, organic matter, macronutrients, and sodium content passed the organic fertilizer standard criteria in all treatments. The fresh organic fertilizers of BSFL fed on cassava residue had outstanding properties, with a germination index at 109.60%, and a high organic matter content of 77.12%.

Keywords: Bacteria, Black soldier fly larvae, Fresh organic fertilizers, Organic materials

บทคัดย่อ: ตัวอ่อนแมลงวันลายสามารถย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมอาหาร เพื่อการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติทางชีวภาพและเคมีของปุ๋ยอินทรีย์สดจากวัสดุอินทรีย์ 5 ชนิด ที่ย่อยด้วยตัวอ่อนแมลงวันลายโดยเปรียบเทียบกับมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์จากกรมวิชาการเกษตร วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ 3 ซ้ำ จำนวน 5 ตำรับการทดลอง ซึ่งมีการเลี้ยงตัวอ่อนแมลงวันลายด้วยอาหารดังนี้

¹ ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม 73140

¹ Department of Soil Science, Faculty at Agriculture, Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom 73140

² ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จ.กรุงเทพฯ 10900

² Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok 10900

³ ภาควิชากีฏวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม 73140

³ Department of Entomology, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Kamphaeng Saen campus, Nakhon Pathom 73140

* Corresponding author: agrsrnp@ku.ac.th

1) อาหารไก่ + ขุยมะพร้าว 2) กากเต้าหู้ + ขุยมะพร้าว 3) เปลือกสับปะรด + ขุยมะพร้าว 4) กากมันสำปะหลัง + ขุยมะพร้าว 5) มูลไก่แห้ง + ขุยมะพร้าว จากผลการวิเคราะห์สมบัติทางชีวภาพ ปุ๋ยอินทรีย์สดจากการเลี้ยงตัวอ่อนแมลงวันลายด้วยกากเต้าหู้มีจำนวนแบคทีเรียทั้งหมดสูงสุดเท่ากับ 7.66 ล็อกซีเอฟยูต่อกรัมแห้ง พบ *Bacillus* spp. และ *Escherichia coli* ในทุกตำรับการทดลอง ส่วนการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีพบว่ามีความค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ธาตุอาหารหลัก และโซเดียม ผ่านเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ในทุกตำรับการทดลอง ปุ๋ยอินทรีย์สดจากการเลี้ยงตัวอ่อนแมลงวันลายด้วยกากมันสำปะหลังมีสมบัติที่โดดเด่น โดยมีการย่อยสลายสมบูรณ์ผ่านเกณฑ์เท่ากับ 109.60 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงเท่ากับ 77.12 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ: แบคทีเรีย, ตัวอ่อนแมลงวันลาย, ปุ๋ยอินทรีย์สด, วัสดุอินทรีย์

คำนำ

แมลงวันลาย (Black soldier fly) จัดอยู่ในวงศ์ Stratiomyidae อันดับ Diptera มีชื่อวิทยาศาสตร์คือ *Hermetia illucens* สำหรับวัฏจักรชีวิตของแมลงวันลาย ประกอบด้วย 5 ระยะ ได้แก่ ไข่ ตัวอ่อน ก่อนเข้าดักแด้ ดักแด้ และตัวเต็มวัย โดยระยะตัวอ่อนแมลงวันลายชอบอาศัยอยู่ตามร่มไม้ เป็นพวกกินซากและย่อยสลายสารอินทรีย์จึงช่วยลดกลิ่นเหม็นได้ (Salam *et al.*, 2022) พบว่ามีการใช้อัตราส่วนของวัสดุอินทรีย์ 100 มิลลิกรัมต่อตัวอ่อนต่อวัน เพื่อกำจัดขยะอินทรีย์ (Diener *et al.*, 2009; Banks *et al.*, 2014) และรักษาระดับความชื้นของวัสดุอินทรีย์ที่ 60-70 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (Diener *et al.*, 2009; Cammack and Tomberlin, 2017) จึงมีการนำแมลงวันลายระยะตัวอ่อนมาใช้ในการจัดการของเสีย ซึ่งวัสดุอินทรีย์ที่สามารถใช้เลี้ยงตัวอ่อนแมลงวันลายมีหลายชนิด เช่น เศษอาหาร เศษผักผลไม้ มูลสัตว์ เศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร หรือของเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น (Siddiqui *et al.*, 2022) โดยเฉพาะประเทศไทยมีวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเป็นจำนวนมากถึง 43 ล้านตันต่อปี แต่พบว่ายังมีการนำมาใช้ประโยชน์น้อยและถูกปล่อยทิ้งไว้ในพื้นที่เพาะปลูกหรือถูกเผาทิ้ง ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดมลพิษหมอกควันในปัจจุบัน (ยิ่งลักษณ์และคณะ, 2566) สำหรับวัสดุอินทรีย์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้แก่ อาหารไก่ กากเต้าหู้ เปลือกสับปะรด กากมันสำปะหลัง และมูลไก่แห้ง พบว่าตัวอ่อน

แมลงวันลายย่อยสลายมูลสัตว์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยดูดซับสารอาหารจากการย่อยสลายเข้าสู่เซลล์ กลายเป็นชีวมวล และมูลไก่ (chicken manure) มีความเหมาะสมสำหรับเลี้ยงตัวอ่อนแมลงวันลายทำให้มีอัตราในการรอดชีวิตของตัวอ่อนถึง 98.35 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่ามากกว่าการใช้มูลวัว (Rehman *et al.*, 2017) มูลไก่มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม เท่ากับ 2.28, 5.91 และ 3.02 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ (ทรายแก้ว และคณะ, 2556) ขณะที่อาหารไก่ (chicken feed) ใช้เป็นตำรับควบคุมในการทดลอง เนื่องจากมีการใช้อาหารไก่ในการฟักตัวอ่อนแมลงวันลาย (Lalander *et al.*, 2019) สำหรับกากเต้าหู้ (soybean milk residue) เป็นผลพลอยได้จากการผลิตน้ำเต้าหู้ นมถั่วเหลือง ซอสถั่วเหลือง นมผงถั่วเหลือง และแป้งถั่วเหลืองโดยกากเต้าหู้ดิบมีความชื้น 80-90 เปอร์เซ็นต์ (ภักทรร และคณะ, 2563) กากเต้าหู้แห้งมีปริมาณโปรตีน 15.2-33.4 เปอร์เซ็นต์ หรือคิดเป็นปริมาณไนโตรเจนเท่ากับ 2.4-5.3 เปอร์เซ็นต์ มีฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม 0.6 และ 0.9 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ (Marlina and Askar, 2004; Singh *et al.*, 2015; Rahman *et al.*, 2021) นอกจากนี้ พูลศักดิ์และคณะ (2565) ใช้ตัวอ่อนแมลงวันลายที่เลี้ยงด้วยกากเต้าหู้เพื่อให้ได้ตัวอ่อนที่มีโปรตีนสูงสำหรับเป็นอาหารสัตว์ ดังนั้นเป็นไปได้ว่าปุ๋ยอินทรีย์สดที่ได้จากการเลี้ยงจะมีปริมาณไนโตรเจนสูงตามไปด้วย จึงนำกากเต้าหู้มาเปรียบเทียบกับตำรับการทดลอง ส่วนเปลือกสับปะรด (pineapple peel) ที่ได้จากการทำ

สับปะรดกระป๋อง ในพื้นที่ 1 ไร่จะได้เปลือกสับปะรดเฉลี่ยประมาณ 2,700 กิโลกรัม หรือถ้าคิดเป็นปริมาณเปลือกทั้งประเทศประมาณ 2.8 ล้านตัน ส่วนของใบสับปะรดและจุกมีประมาณ 4.0 และ 0.370 ล้านตันตามลำดับ (สมบัติ และคณะ, 2537) และมีรายงานพบว่าภายในเปลือกสับปะรดมีปริมาณ ในโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด และ โพแทสเซียมทั้งหมด 0.95, 0.43 และ 1.80 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Zziwa *et al.*, 2021) ผลพลอยได้เหล่านี้มีออกมามากทุกปี ขณะที่กากมันสำปะหลัง (cassava residue) เป็นผลพลอยได้จากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งมีรายงานว่าในการผลิตแป้งมันสำปะหลังถ้าใช้หัวมันสำปะหลัง 100 เปอร์เซ็นต์ จะได้กากมันสำปะหลัง 11.1 เปอร์เซ็นต์ (พิพัฒน์ และวิศิษฐพร, 2550) จากปริมาณผลผลิตของหัวมันสำปะหลังสดในปี พ.ศ. 2566 มีประมาณ 30 ล้านตันต่อปี (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2566) ดังนั้นจึงมีกากมันสำปะหลังจากกระบวนการผลิตปริมาณ 3.33 ล้านตันต่อปี ซึ่งจากรายงานของ Keaokliang *et al.* (2018) พบว่าในเยื่อมันสำปะหลังมีฟอสฟอรัส 0.03 เปอร์เซ็นต์ และ โพแทสเซียม 0.36 เปอร์เซ็นต์ มีความเป็นไปได้ที่จะใช้ตัวอ่อนแมลงวันลายในการกำจัดเปลือกสับปะรดและกากมันสำปะหลังเพื่อให้ได้ปุ๋ยอินทรีย์สด

สำหรับคุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์ของประเทศไทยถูกกำหนดโดยเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ (กรมวิชาการเกษตร, 2550; 2557) ซึ่งระบุปริมาณธาตุอาหารแน่นอน อย่างไรก็ตามยังไม่ได้มีการระบุถึงชนิดและปริมาณแบคทีเรียที่สามารถปนเปื้อนได้ในปุ๋ยอินทรีย์ สำหรับในบางประเทศได้กำหนดปริมาณแบคทีเรียที่ปนเปื้อนไว้ เช่น กฎหมายปุ๋ยของอิตาลี (D.M. n. 29819/2009) กำหนดความเข้มข้นสูงสุดที่ยอมรับได้ของ *Escherichia coli* คือ < 3 ล็อกซีเอฟยูต่อกรัม (Bonetta *et al.*, 2014) เช่นเดียวกับมาตรฐานกากตะกอนน้ำเสียที่ใช้เป็นปุ๋ยอินทรีย์ในการเกษตรของยุโรป ในประเทศสาธารณรัฐเช็ก กำหนด *E. coli* < 3 ล็อกซีเอฟยูต่อกรัม ขณะที่ทางใต้ของออสเตรเลียกำหนด *E. coli* < 2 ล็อกซีเอฟยูต่อกรัม (Hudcová

et al., 2019) เนื่องจากการใส่ปุ๋ยอาจส่งผลทำให้เกิดการปนเปื้อนในพืชผลที่เพาะปลูกได้ (Machado *et al.*, 2006) ในมูลไก่พบ *E. coli* 5-10 ล็อกซีเอฟยูต่อกรัม (Kyakuwairi *et al.*, 2019) ในทางตรงกันข้ามแบคทีเรียที่ปนเปื้อนอาจเป็นแบคทีเรียที่มีประโยชน์ต่อพืช รายงานแบคทีเรียที่แยกได้จากปุ๋ยหมักมีศักยภาพในการควบคุมเชื้อก่อโรค และ *Bacillus* sp. ที่แยกได้จากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนสามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช (Sreevidya and Gopalakrishnan, 2017) ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาสมบัติทางชีวภาพ ได้แก่ ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด (total bacteria) *Bacillus* spp. และ *E. coli* เพื่อระบุแบคทีเรียที่ปนเปื้อนบางชนิด รวมถึงศึกษาสมบัติทางเคมีบางประการในปุ๋ยอินทรีย์สดจากการเลี้ยงตัวอ่อนแมลงวันลายด้วยวัสดุอินทรีย์ที่แตกต่างกัน และเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์เพื่อประเมินการนำไปใช้ประโยชน์สำหรับปลูกพืชและหมุนเวียนวัสดุอินทรีย์กลับมาใช้ใหม่

อุปกรณ์และวิธีการ

การเลี้ยงตัวอ่อนแมลงวันลาย

งานวิจัยนี้ได้รับการอนุญาตทางจริยธรรมการวิจัยในสัตว์ของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เลขที่ ACKU67-AGK-020 โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ 5 ดำรับการทดลอง จำนวน 3 ซ้ำ ขั้นตอนการเลี้ยงตัวอ่อนแมลงวันลายแสดงใน (Figure 1) โดยเลี้ยงตัวอ่อนแมลงวันลายด้วยวัสดุอินทรีย์ชนิดต่างๆ ได้แก่ อาหารไก่ กากเตาเผา เปลือกสับปะรด กากมันสำปะหลัง และมูลไก่แห้ง ในกระบะพลาสติกขนาด 39×50×10 เซนติเมตร แต่ละกระบะใส่ขุยมะพร้าว 150 กรัม เพื่อเป็นที่อยู่ให้กับตัวอ่อนแมลงวันลาย จากนั้นใส่ตัวอ่อนแมลงวันลาย 500 ตัว และใส่วัสดุอินทรีย์แต่ละชนิดลงในแต่ละกระบะ 500 กรัม โดยที่วัสดุอินทรีย์แต่ละชนิดจะมีความชื้นอยู่ที่ 70 เปอร์เซ็นต์ อัตราส่วนการให้อาหารอยู่ในช่วง 30-60 มิลลิกรัมของวัสดุอินทรีย์ต่อตัวอ่อนต่อวัน เลี้ยงที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 20-40 วัน ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุอินทรีย์ (วิธีเลี้ยงดัดแปลงจาก Sheppard *et al.*, 2002; Makkar *et al.*, 2014)

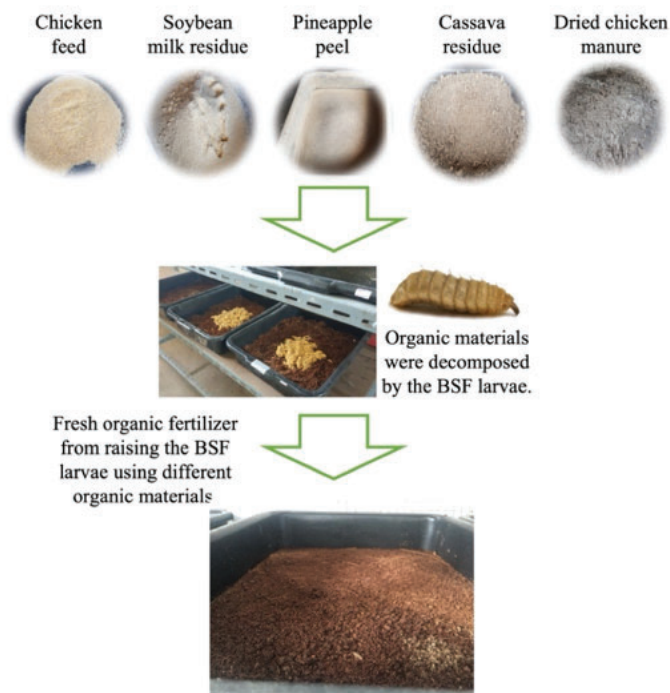


Figure 1 The diagram shows the steps of the compost production from five organic materials using black soldier fly larvae.

ศึกษาชนิดและจำนวนแบคทีเรียในปุ๋ยอินทรีย์สดจากตัวอ่อนแมลงวันลาย

เตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ 3 ชนิด ได้แก่ Plate Count Agar สำหรับเพาะเลี้ยงแบคทีเรียทั้งหมด, MacConkey Agar สำหรับเพาะเลี้ยงเพื่อศึกษา *E. coli* ที่มีโอกาสเป็นเชื้อก่อโรค และ Bacillus Agar สำหรับเพาะเลี้ยงแบคทีเรียในกลุ่ม *Bacillus* spp. ที่อาจส่งเสริมการเจริญเติบโตให้กับพืช หรือในบางสปีชีส์ที่มีโอกาสเป็นเชื้อก่อโรค (Biagi *et al.*, 2006; Messelhäußer and Ehling-Schulz, 2018; Saxena *et al.*, 2020; Smith and Brown, 2022) เจือจางโดยการชั่งน้ำหนักตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์สด 10 กรัม ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร ที่มีน้ำ 90 มิลลิลิตร ที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วเขย่าให้เข้ากัน นำสารละลายที่ได้มาเจือจางให้อยู่ในช่วง 10^{-1} - 10^{-8} เลือกความเจือจางที่เหมาะสมกับตัวอย่าง โดยปิเปตมา 100 ไมโครลิตร นำไปใส่ในอาหารเลี้ยงเชื้อ ทั้ง 3 ชนิด บ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ตรวจสอบชนิดและจำนวนแบคทีเรียที่พบ

การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีบางประการของปุ๋ยอินทรีย์สดที่ได้จากการเลี้ยงตัวอ่อนแมลงวันลาย

เตรียมตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์สดที่ได้จากการเลี้ยงตัวอ่อนแมลงวันลาย โดยอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน จึงนำมาบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบดและผสมคลุกเคล้าให้ตัวอย่างมีความสม่ำเสมอ จากนั้นร่อนผ่านตะแกรงขนาด 0.5 มิลลิเมตร นำไปวิเคราะห์สมบัติบางประการตามมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ (กรมวิชาการเกษตร, 2550; 2557)

วิเคราะห์ค่า pH โดยชั่งตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์สด 10 กรัม ใส่ในปิเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร (อัตราส่วน 1:2) คนด้วยแท่งแก้ว ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที วัดด้วยเครื่อง pH meter (กลุ่มงานวิเคราะห์ปุ๋ย, 2541) วิเคราะห์ค่าการนำไฟฟ้าและปริมาณโซเดียม โดยการชั่งตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์สด 5 กรัม เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร (อัตราส่วน 1:10) เขย่าด้วยเครื่องเขย่า 30 นาที กรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1 นำสารละลายไปวัดค่าการนำไฟฟ้าด้วยเครื่อง

conductivity meter ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และวัดปริมาณโซเดียมด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) (Jackson, 1958) วิเคราะห์ปริมาณอินทรีย์วัตถุตามวิธีการของ Walkley and Black (1934) ด้วยการชั่งตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์สด 0.1 กรัม ปิเปตสารละลาย potassium dichromate 10 มิลลิลิตร และเติม 98 เปอร์เซ็นต์ H_2SO_4 10 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ในตู้ดูดควันเป็นเวลา 16 ชั่วโมง จากนั้นปรับปริมาตรเป็น 50 มิลลิลิตร เติมสารละลาย O-phenanthroline ferrous sulfate 8 หยด นำมาไทเทรตด้วยสารละลาย ferrous sulfate จนได้สารละลายสีน้ำตาลปนแดง จากนั้นนำมาคำนวณปริมาณอินทรีย์วัตถุ วิเคราะห์ค่าความชื้นโดยน้ำหนัก ด้วยการชั่งน้ำหนักฟอยด์ก่อนอบ นำตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์สด 5 กรัม ใส่ฟอยด์ จากนั้นนำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ รอให้เย็นจึงนำไปชั่งน้ำหนักและคำนวณความชื้น (กลุ่มงานวิเคราะห์ปุ๋ย, 2526) วิเคราะห์การย่อยสลายเสริมจสมบูรณ์ (germination Index) ตามวิธีของจิตติมา และคณะ (2558) โดยชั่งน้ำหนักตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์สดใส่ในน้ำกลั่น (อัตราส่วน 1:10) โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เขย่า 180 ครั้งต่อนาทีเป็นเวลา 1 ชั่วโมง และกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1 เพื่อสกัดสารละลายตัวอย่าง จากนั้นตีตารางบนกระดาษกรอง 10 ช่อง วางเมล็ดถั่วแดง 1 เมล็ด ใส่ น้ำสกัดปุ๋ยอินทรีย์สด จานละ 3 มิลลิลิตร และใส่น้ำกลั่นในตำรับควบคุม 3 มิลลิลิตร บ่มในที่มืดเป็นเวลา 48 ชั่วโมง อุณหภูมิ 28-30 องศาเซลเซียส เก็บข้อมูลต่อไปนี้ ค่าเฉลี่ยจำนวนเมล็ดที่งอกทั้งหมดต่อจาน วัดความยาวรากทั้งหมดแล้วหาค่าเฉลี่ย นำไปคำนวณการย่อยสลายเสริมจสมบูรณ์ และวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดด้วยวิธี Kjeldahl method (Horwitz, 2000) โดยการย่อยตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์สดด้วย H_2SO_4 เข้มข้น และ salicylic acid ซึ่งมี potassium sulfate และ copper sulfate เป็นสารเร่งปฏิกิริยา ทำให้สารละลายเป็นด่างด้วย sodium hydroxide แล้วจึงนำไปกลั่น ดักจับแอมโมเนียที่เกิดขึ้นด้วยกรดบอริก ทำการไทเทรตสารละลายที่ได้จากการกลั่นด้วย HCl แล้วจึงคำนวณหาปริมาณ

ไนโตรเจนทั้งหมด ส่วนฟอสเฟตทั้งหมดวิเคราะห์โดยวิธี molybdovanadophosphate method ใช้กรดผสม ($HClO_4 : HNO_3$) (อัตราส่วน 1:1) ในการย่อยตัวอย่างเพื่อให้ฟอสฟอรัสในตัวอย่างปุ๋ยอยู่ในรูปสารละลายฟอสเฟต จากนั้นทำให้เกิดสีด้วย molybdovanadate reagent และวัดด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร เปรียบเทียบกับสารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส (Horwitz and Latimer, 2005) วิเคราะห์โพแทสเซียมโดยใช้กรดผสม $HNO_3 : HClO_4$ ปริมาณ 20 มิลลิลิตร นำไปย่อยบน hot plate ที่อุณหภูมิไม่เกิน 220 องศาเซลเซียส จนมีลักษณะสีใส จากนั้นถ่ายสารละลายตัวอย่างและล้างตะกอนด้วยน้ำกลั่น ใส่ขวดปรับปริมาตรเป็น 50 มิลลิลิตร นำไปกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 และวัดด้วยเครื่อง AAS จากนั้นนำมาเปรียบเทียบกับสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียม (Horwitz, 2000) นำผลวิเคราะห์ที่ได้ทั้งหมดเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ข้อมูลจากการทดลองนำไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ด้วยโปรแกรม R V.4.1.2 (R Core Team, 2018) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของปริมาณแบคทีเรียแต่ละชนิด และเปรียบเทียบความแตกต่างของสมบัติทางเคมีบางประการของปุ๋ยอินทรีย์สดจากการเลี้ยงตัวอ่อนแมลงวันลาย โดยวิธีการ Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ผลการทดลอง

1. ปริมาณแบคทีเรียในปุ๋ยอินทรีย์สดจากตัวอ่อนแมลงวันลาย

จากผลการทดลองศึกษาปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด *Bacillus* spp. และ *E. coli* ที่ปนเปื้อนในปุ๋ยอินทรีย์สดจากการเลี้ยงตัวอ่อนแมลงวันลาย (Table 1) พบว่าในอาหาร Plate Count Agar มีแบคทีเรียอยู่ในทุกตำรับการทดลอง โดยที่ตำรับการทดลองที่เลี้ยงด้วยกากเต้าหู้มีปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดสูงที่สุดอยู่ที่ 7.66 ล็อกซีเอฟยูต่อกรัมแห้ง รองลงมาคือ อาหารไก่ เปลือกสับปะรด กาก

มันสำปะหลังและมูลไก่แห้งมีค่าเท่ากับ 6.69, 6.74, 6.71 และ 5.95 ลีคซีเอพยูต่อกรัมแห้ง ตามลำดับ ในอาหาร *Bacillus Agar* มีปริมาณ *Bacillus* spp. ในปุ๋ยอินทรีย์สดจากการเลี้ยงตัวอ่อนแมลงวันลาย ทุกตำรับการทดลอง โดยที่ตำรับการทดลองที่เลี้ยงด้วยอาหารไก่ กากเต้าหู้ เปลือกสับปะรด กากมันสำปะหลัง มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่มูลไก่แห้งมีจำนวน *Bacillus* spp. น้อยที่สุดเท่ากับ 5.35 ลีคซีเอพยูต่อกรัมแห้ง ส่วนในอาหาร MacConkey Agar มีปริมาณ *E. coli* ในปุ๋ยอินทรีย์สดทุกตำรับการทดลองแตกต่างกันทางสถิติ โดยพบว่าตำรับการทดลองที่เลี้ยงด้วยกากมันสำปะหลังมีปริมาณ *E. coli* สูงที่สุดเท่ากับ 5.60 ลีคซีเอพยูต่อกรัมแห้ง

2. ปริมาณธาตุอาหารในปุ๋ยอินทรีย์สดจากการเลี้ยงตัวอ่อนแมลงวันลาย

จากการวิเคราะห์สมบัติเคมีบางประการ ในปุ๋ยอินทรีย์สดจากการเลี้ยงตัวอ่อนแมลงวันลาย (Table 2) พบว่าปุ๋ยอินทรีย์สดจากการเลี้ยงตัวอ่อนแมลงวันลายด้วยวัสดุอินทรีย์ต่างชนิดกันจะมีสมบัติเคมีแตกต่างกัน โดยค่า pH ของปุ๋ยอินทรีย์สดจากการเลี้ยงตัวอ่อนแมลงวันลายด้วยเปลือกสับปะรด (8.88) หรือมูลไก่แห้ง (8.70) อยู่ในระดับที่เป็นเบสจัด และ pH ของปุ๋ยอินทรีย์สดจากการเลี้ยงตัวอ่อนแมลงวันลายด้วยอาหารไก่ (6.93) หรือกากมันสำปะหลัง (7.03) มีค่าอยู่ในระดับที่เป็นกลาง และ pH ของปุ๋ยอินทรีย์สดจากการเลี้ยงตัวอ่อนแมลงวันลายด้วยกากเต้าหู้ (6.30) อยู่ในระดับที่เป็นกรดอ่อน สำหรับค่าการนำไฟฟ้าของปุ๋ยอินทรีย์สดจากการเลี้ยงตัวอ่อนแมลงวันลายในทุกตำรับการทดลองพบว่า มีค่าอยู่ในช่วง 4.03-8.58 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร ซึ่งปุ๋ยอินทรีย์สดจากการเลี้ยงตัวอ่อนแมลงวันลายด้วยอาหารไก่หรือมูลไก่แห้งมีค่าการนำไฟฟ้าสูงที่สุดเท่ากับ 8.58 และ 8.47 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร ตามลำดับ พบว่ามีปริมาณโซเดียมในทุกตำรับการทดลองอยู่ในช่วง 0.09-0.68 เปอร์เซ็นต์ โดยปุ๋ยอินทรีย์สดจากการเลี้ยงตัวอ่อนแมลงวันลายด้วยอาหารไก่มีปริมาณโซเดียมสูงสุด 0.68 เปอร์เซ็นต์ ในทุกตำรับการทดลองมีอินทรีย์วัตถุอยู่ในช่วง 43.77-88.44 เปอร์เซ็นต์ ส่วนความชื้นอยู่ในช่วง 62.73-85.71 เปอร์เซ็นต์ ปุ๋ยอินทรีย์สดจาก

การเลี้ยงตัวอ่อนแมลงวันลายด้วยกากเต้าหู้ทำให้มีค่าอินทรีย์วัตถุและความชื้นสูงสุดเท่ากับ 88.44 และ 85.71 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยพบว่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของปุ๋ยอินทรีย์สดจากการเลี้ยงตัวอ่อนแมลงวันลายในทุกตำรับการทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 14.04-30.34 ซึ่งปุ๋ยอินทรีย์สดจากการเลี้ยงตัวอ่อนแมลงวันลายด้วยเปลือกสับปะรดทำให้มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูงสุด สำหรับการย่อยสลายของปุ๋ยอินทรีย์อยู่ในช่วง 39.52-109.60 เปอร์เซ็นต์ และพบว่าปุ๋ยอินทรีย์สดจากการเลี้ยงตัวอ่อนแมลงวันลายด้วยกากมันสำปะหลังมีการย่อยสลายของปุ๋ยอินทรีย์สูงสุด ซึ่งทำให้เกิดการงอกของเมล็ดกว้างดั่งได้ดี ในส่วนของปริมาณไนโตรเจนในทุกตำรับการทดลองอยู่ในช่วง 1.47-3.14 เปอร์เซ็นต์ โดยพบว่าปริมาณฟอสฟอรัสทุกตำรับการทดลองอยู่ในช่วง 0.52-4.12 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณโพแทสเซียมทุกตำรับการทดลองอยู่ในช่วง 0.61-3.75 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งพบว่าปุ๋ยอินทรีย์สดจากการเลี้ยงตัวอ่อนแมลงวันลายด้วยอาหารไก่มีทั้งปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมสูงสุด โดยมีปริมาณไนโตรเจนมีค่าสูงในปุ๋ยอินทรีย์สดจากการเลี้ยงตัวอ่อนแมลงวันลายด้วยอาหารไก่ (3.14 เปอร์เซ็นต์) กากเต้าหู้ (2.72 เปอร์เซ็นต์) กากมันสำปะหลัง (1.82 เปอร์เซ็นต์) และเปลือกสับปะรด (1.48 เปอร์เซ็นต์) เรียงตามลำดับ ในส่วนของปุ๋ยอินทรีย์สดจากการเลี้ยงตัวอ่อนแมลงวันลายด้วยมูลไก่แห้งพบว่ามีปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมสูงสุดเท่ากับ 4.12 และ 3.75 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

3. การเปรียบเทียบค่าวิเคราะห์ของปุ๋ยอินทรีย์สดจากการเลี้ยงตัวอ่อนแมลงวันลายกับเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์

เมื่อเปรียบเทียบค่าวิเคราะห์ของปุ๋ยอินทรีย์สดจากการเลี้ยงตัวอ่อนแมลงวันลายด้วยวัสดุอินทรีย์ต่างชนิดกันกับมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ (Table 3) พบว่าค่า pH ผ่านเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ (กรมวิชาการเกษตร, 2550; 2557) ยกเว้นปุ๋ยอินทรีย์สดจากการเลี้ยงตัวอ่อนแมลงวันลายด้วยเปลือกสับปะรดและมูลไก่แห้ง ค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณโซเดียม อินทรีย์วัตถุ ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและ

โพแทสเซียมทั้งหมด ผ่านเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ ในทุกตัวรับการทดลอง และมีอัตราส่วนคาร์บอน ต่อไนโตรเจนไม่เกินมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ ยกเว้นปุ๋ย อินทรีย์สดจากการเลี้ยงตัวอ่อนแมลงวันลายด้วย เปลือกสับปะรดและกากมันสำปะหลัง การย่อยสลาย สมบูรณ์ในปุ๋ยอินทรีย์สดจากการเลี้ยงตัวอ่อนแมลงวัน ลายด้วยกากมันสำปะหลังเป็นตัวรับการทดลองเดี่ยว ที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์การใช้วัสดุอินทรีย์ที่

แตกต่างกันนี้ในการเลี้ยงตัวอ่อนแมลงวันลายจะทำให้ มีสมบัติทางเคมีบางประการที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน แตกต่างกัน ปริมาณธาตุอาหารและอินทรีย์วัตถุที่ผ่าน เกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์เหมาะสมสำหรับการใช้ ปุ๋ยอินทรีย์สดจากการเลี้ยงตัวอ่อนแมลงวันลายเป็น ปุ๋ยสำหรับปลูกพืชและปรับปรุงดิน และในส่วนของ ความชื้นของปุ๋ยอินทรีย์สดสามารถจัดการอย่างง่าย โดยการตากแห้ง

Table 1 The number of total bacteria, *Bacillus* spp. and *Escherichia coli* in five fresh organic fertilizers obtained from the rearing of black soldier fly larvae.

Treatments	Total bacteria (logCFU/gDw)	<i>Bacillus</i> spp. (logCFU/gDw)	<i>Escherichia coli</i> (logCFU/g)
T1	6.69 ^b	6.32 ^a	5.07 ^{ab}
T2	7.66 ^a	6.19 ^a	5.24 ^{ab}
T3	6.74 ^b	6.20 ^a	5.00 ^b
T4	6.71 ^b	6.07 ^a	5.60 ^a
T5	5.95 ^c	5.35 ^b	4.95 ^b
F-test	*	*	ns
CV (%)	2.79	2.21	5.45

Note - Values are the mean $\pm$ standard deviations (n = 3). Statistically significant differences of different organic materials are indicated with different letter *, p < 0.05. T1 = chicken feed + coir, T2 = soybean milk residue + coir, T3 = pineapple peel + coir, T4 = cassava residue + coir, and T5 = dried chicken manure + coir, EC = electrical conductivity, OM = organic matter and C:N ratio = carbon/nitrogen ratio

Table 2 Comparison of some chemical properties of fresh organic fertilizers from five organic materials digested by black soldier fly larvae.

Property	T1	T2	T3	T4	T5	F -test	CV (%)
pH (1:5)	6.93 ^c	6.30 ^d	8.88 ^a	7.03 ^c	8.70 ^b	*	0.87
EC 1:10 (dS/m)	8.58 ^a	4.03 ^d	5.79 ^c	7.49 ^b	8.47 ^{ab}	*	6.00
OM (%)	76.04 ^b	88.44 ^a	76.48 ^b	77.12 ^b	43.77 ^c	*	1.40
C:N ratio	14.04 ^d	19.01 ^c	30.34 ^a	24.63 ^b	17.40 ^{cd}	*	9.41
Moisture content (%)	73.37 ^c	85.71 ^a	74.08 ^c	80.37 ^b	62.73 ^d	*	0.81
Germination Index (%)	39.52 ^e	57.98 ^b	48.44 ^d	109.60 ^a	52.55 ^c	*	0.00
Total N (%)	3.14 ^a	2.72 ^b	1.48 ^d	1.82 ^c	1.47 ^d	*	5.46
Total P ₂ O ₅ (%)	3.44 ^b	0.78 ^c	0.63 ^d	0.52 ^d	4.12 ^a	*	2.53
Total K ₂ O (%)	2.04 ^b	1.41 ^c	2.42 ^b	0.61 ^d	3.75 ^a	*	9.37
Na (%)	0.68 ^a	0.23 ^c	0.09 ^d	0.57 ^a	0.40 ^b	*	13.40

Note - Values are the mean $\pm$ standard deviations (n = 3). Statistically significant differences of different organic materials are indicated with different letter *, p < 0.05. T1 = chicken feed + coir, T2 = soybean milk residue + coir, T3 = pineapple peel + coir, T4 = cassava residue + coir, and T5 = dried chicken manure + coir

Table 3 Quality of fresh organic fertilizers (T1-T5) compared with the organic fertilizer standard of Thailand from five organic materials digested by black soldier fly larvae.

Property	Standard	T1	T2	T3	T4	T5
pH (1:5)	5.5 – 8.5	✓	✓	X	✓	X
EC 1:10 (dS/m)	Not more than 10 dS/m	✓	✓	✓	✓	✓
OM (%)	Not less than 20% by weight	✓	✓	✓	✓	✓
C:N ratio	Not more than 20 : 1	✓	✓	X	X	✓
Moisture content (%)	Not more than 30% of weight	X	X	X	X	X
Germination Index (%)	Not less than 80%	X	X	X	✓	X
Total N (%)	Not less than 1.0% of weight	✓	✓	✓	✓	✓
Total P ₂ O ₅ (%)	Not less than 0.5% of weight	✓	✓	✓	✓	✓
Total K ₂ O (%)	Not less than 0.5% of weight	✓	✓	✓	✓	✓
Total macronutrients (%)	Not less than 2.0% by weight	✓	✓	✓	✓	✓
Na (%)	Not more than 1% by weight	✓	✓	✓	✓	✓
Size (mm)	Not more than 12.5x12.5 mm	✓	✓	✓	✓	✓
Gravel (%)	Not more than 2% of weight	✓	✓	✓	✓	✓
Plastic, glass and etc. (%)	Must not be found	✓	✓	✓	✓	✓

Note - Passed (✓) and not passed (X) are presented. T1 = chicken feed + coir, T2 = soybean milk residue + coir, T3 = pineapple peel + coir, T4 = cassava residue + coir, T5 = dried chicken manure + coir, EC = electrical conductivity, OM = organic matter, and C:N ratio = carbon/nitrogen ratio

วิจารณ์

การศึกษาศาสตร์ทางชีวภาพบางประการของปุ๋ยอินทรีย์สดจากการเลี้ยงตัวอ่อนแมลงวันลายเพื่อทราบชนิดและปริมาณแบคทีเรียบางชนิดที่ปนเปื้อนในปุ๋ยอินทรีย์สด ซึ่งอาจอยู่ในกลุ่มที่ก่อโรคหรือกลุ่มที่เป็นประโยชน์ เพื่อประเมินการนำไปใช้ประโยชน์เป็นปุ๋ยอินทรีย์สำหรับปลูกพืช จากผลการทดลองพบว่าทุกตำรับการทดลองมี *E. coli* 4.95-5.60 ล็อกซีเอฟยูต่อกรัม ซึ่งอยู่ในปริมาณใกล้เคียงกับรายงานในมูลโคมนที่ย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนมี *E. coli* 4.5–5.4 ล็อกซีเอฟยูต่อกรัม (Saunders *et al.*, 2012) ซึ่งเป็นแบคทีเรียก่อโรคฉวยโอกาส (Denamur *et al.*, 2021) สำหรับประเทศไทยยังไม่มีเกณฑ์มาตรฐานกำหนดปริมาณแบคทีเรียแต่ละชนิดในปุ๋ยอินทรีย์สำหรับเชิงพาณิชย์ แต่สำหรับการปฏิบัติทางการเกษตรที่ดี (Good Agricultural Practices: GAP) จะต้องมีการจัดการใช้ปุ๋ยและน้ำสำหรับปลูก

พืชเนื่องจากเป็นปัจจัยที่มีโอกาสทำให้มีจุลินทรีย์ปนเปื้อนในผลผลิตทางการเกษตร สำหรับอาหารพร้อมบริโภคประเภทผักและผลไม้ กำหนดว่าควรตรวจพบ *E. coli* น้อยกว่า 100 เซ็มพีเอ็นต่อกรัม (กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์, 2560) ส่วนมาตรฐานภาคตะกอนน้ำเสียที่ใช้เป็นปุ๋ยอินทรีย์ในการเกษตรของยุโรป ในประเทศโปรตุเกส สาธารณรัฐเช็ก ฟินแลนด์ และลิทัวเนีย กำหนด *E. coli* < 3 ล็อกซีเอฟยูต่อกรัม (Hudcová *et al.*, 2019) ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับผลจากการทดลองพบว่าปริมาณ *E. coli* ในปุ๋ยอินทรีย์สดมีค่ามากกว่ามาตรฐานเหล่านี้ ดังนั้น การนำปุ๋ยอินทรีย์สดที่ได้จากการเลี้ยงตัวอ่อนแมลงวันลายไปใช้สำหรับปลูกพืชจึงควรมีกระบวนการกำจัด *E. coli* ด้วยการตากแห้ง ซึ่งมีรายงานว่า แสง UV สามารถฆ่าเชื้อ *E. coli* ในมูลไก่ได้สูงถึง 98.40 เปอร์เซ็นต์ (El-Maghawry *et al.*, 2024) ในปุ๋ยอินทรีย์สดยังพบ *Bacillus* spp. ในทุกตำรับการทดลอง โดย

Saxena *et al.* (2020) รายงานว่าแบคทีเรียกลุ่มนี้มีอิทธิพลต่อสุขภาพพืช ช่วยในการหมุนเวียนสารอาหารในดิน ทำให้พืชทนต่อความเครียด ป้องกันเชื้อโรค และผลิตฮอร์โมนพืช เป็นต้น เช่น *B. pumilus*, *B. subtilis* และ *B. subterraneus* ที่ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช โดยผลิตฮอร์โมนพืชกระตุ้นการงอก ละลายฟอสเฟต หรือปลดปล่อยแอมโมเนีย เป็นต้น (Gohil *et al.*, 2022) หากมีแบคทีเรียในกลุ่มนี้จะทำให้ปุ๋ยอินทรีย์สดที่ได้จากการเลี้ยงตัวอ่อนแมลงวันลายเป็นประโยชน์กับการปลูกพืช ในทางตรงกันข้ามมีรายงานว่า *Bacillus* บางสปีชีส์ อย่างเช่น *B. cereus* มีอยู่ตามธรรมชาติแต่อาจเป็นเชื้อก่อโรคฉวยโอกาสในมนุษย์ (Messelh  user and Ehling-Schulz, 2018) ในการนำปุ๋ยอินทรีย์สดที่เลี้ยงจากตัวอ่อนแมลงวันลายไปใช้ควรมีการตรวจสอบเบื้องต้นเกี่ยวกับจุลินทรีย์กลุ่มที่ก่อโรค และกลุ่มที่เป็นประโยชน์ก่อนนำไปผลิตในเชิงพาณิชย์ ส่วนสมบัติทางเคมีบางประการแสดงให้เห็นว่าปุ๋ยอินทรีย์สดจากการเลี้ยงตัวอ่อนแมลงวันลายผ่านเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ได้แก่ ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมทั้งหมด โดยปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงสุดในปุ๋ยอินทรีย์สดจากการเลี้ยงตัวอ่อนแมลงวันลายด้วยกากเตาห   มีค่า 88.44% ใกล้เคียงกับรายงานของ G  rttling and Schulz, (2022) ซึ่งพบว่าปุ๋ยอินทรีย์สดจากการเลี้ยงตัวอ่อนแมลงวันลายมีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงถึง 86 เปอร์เซ็นต์ ในส่วนค่าการนำไฟฟ้าและปริมาณโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ไม่เกินเกณฑ์มาตรฐาน จึงส่งผลดีต่อการเจริญเติบโตของพืช ในทางกลับกันหากค่าการนำไฟฟ้าเกินความต้องการของพืชจะส่งผลให้ความสูงต้น น้ำหนักสด ความยาวก้าน อัตราการสังเคราะห์แสงและอัตราการคายน้ำลดลง เมล็ดพืชไม่สามารถงอกได้ (สุมาลี และปัทมา, 2560; วีระศักดิ์ และคณะ, 2566) จากการทดลองยังพบว่าปุ๋ยอินทรีย์สดจากการเลี้ยงตัวอ่อนแมลงวันลายเหล่านี้มีสมบัติบางประการที่โดดเด่นสำหรับการนำไปใช้เป็นปุ๋ยอินทรีย์สำหรับปลูกพืช โดยอาหารไก่และกากเตาห  มีปริมาณไนโตรเจนสูงแตกต่างจากการเลี้ยงด้วยวัสดุอินทรีย์อื่น เนื่องจาก

อาหารไก่ที่นำมาเลี้ยงตัวอ่อนแมลงวันลายมีข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เป็นส่วนประกอบและมีไนโตรเจนสะสมในเมล็ด ส่วนกากถั่วเหลืองมีปริมาณไนโตรเจน 6.10 % (กรมวิชาการเกษตร, 2564) ซึ่งปริมาณไนโตรเจนจะแปรผันตรงกับสิ่งที่ตัวอ่อนแมลงวันลายกินเข้าไป ดังนั้นปุ๋ยอินทรีย์สดที่ได้จากการเลี้ยงตัวอ่อนแมลงวันลายด้วยอาหารไก่และกากเตาห  จะมีปริมาณไนโตรเจนสูงตามไปด้วย ปุ๋ยอินทรีย์สดจากการเลี้ยงตัวอ่อนแมลงวันลายด้วยมูลไก่แห้งพบว่าปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมสูง เนื่องจากไก่กินอาหารที่มีองค์ประกอบของแคลเซียมฟอสเฟต รำหยาบ และกากถั่วเหลือง (Angel, 2011; Ara  jo *et al.*, 2022) จึงทำให้มูลไก่ที่ได้มีปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมสูง ปุ๋ยอินทรีย์สดจากการเลี้ยงตัวอ่อนแมลงวันลายด้วยกากมันสำปะหลังมีการย่อยสลายสมบูรณ์ผ่านเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์โดยมีค่า 109.60 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งทดสอบโดยใช้สารสกัดปุ๋ยอินทรีย์สดใส่ลงจานแก้วที่มีเมล็ดถั่วแดงดู พบว่ามีดัชนีการงอกสูง ตามรายงานของ Dalzell (1987) และ Cooperband *et al.* (2003) การย่อยสลายสมบูรณ์ของปุ๋ยหมักจะเกิดกระบวนการมินิเอร์ไลเซชัน (mineralization) ปลดปล่อยธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ และเป็นปัจจัยสำคัญที่สนับสนุนการเจริญเติบโตของพืช อีกเหตุผลหนึ่งที่ทำให้เมล็ดงอกคือในปุ๋ยอินทรีย์สดอาจมีสารกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืช เช่น กรดฮิวมิก กรดอินทรีย์ รวมถึงมีจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ปะปนอยู่ในปุ๋ยนั้น เป็นต้น (Arancon *et al.*, 2006; El-Sayed and Hagab, 2020) ในทางกลับกัน ปุ๋ยอินทรีย์สดที่การย่อยสลายสมบูรณ์ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ซึ่งได้จากการเลี้ยงตัวอ่อนแมลงวันลายด้วยอาหารไก่ กากเตาห   หรือมูลไก่นั้นอาจมีสาเหตุจากในระหว่างกระบวนการย่อยสลายวัสดุอินทรีย์จนกลายเป็นปุ๋ยหมัก จะเกิดกระบวนการอิมโมบิไลเซชัน (immobilization) จุลินทรีย์ต้องการก๊าซออกซิเจนเพื่อให้เกิดการย่อยสลายสมบูรณ์ หรืออาจเกิดสารประกอบที่เป็นพิษบางชนิดซึ่งมีผลต่อการงอกของพืชได้ (Sayara *et al.*, 2020) ในทุกตำรา

จึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำไปใช้ปลูกพืช ซึ่งการมีอินทรีย์วัตถุสูงช่วยปรับปรุงบำรุงดิน โครงสร้างของดิน เนื้อสัมผัส และการเติมอากาศ เพิ่มปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดิน เพิ่มความสามารถในการกักเก็บน้ำในดิน และกระตุ้นการพัฒนารากให้แข็งแรง (Assefa and Tadesse, 2019; Wang *et al.*, 2019) ปุ๋ยอินทรีย์สดจากการเลี้ยงตัวอ่อนแมลงวันลายด้วยวัสดุอินทรีย์ชนิดต่างๆ สามารถใช้เป็นปุ๋ยอินทรีย์ในการปลูกพืช อีกทั้งวิธีนี้ยังช่วยกำจัดวัสดุอินทรีย์เหลือใช้และหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ อย่างไรก็ตาม การผ่านกระบวนการตากแห้งและลดความชื้นจะทำให้เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้เป็นปุ๋ยอินทรีย์ในเชิงพาณิชย์ นอกจากนี้ อาจนำไปหมักกับวัสดุอินทรีย์ชนิดอื่นๆ ก่อนนำไปใช้ เพื่อให้เกิดการย่อยสลายสมบูรณ์โดยผ่านกระบวนการของจุลินทรีย์ก่อนการนำไปใช้ (กรมวิชาการเกษตร, 2548; Misra *et al.*, 2003)

สรุป

ปุ๋ยอินทรีย์สดที่ได้จากการเลี้ยงตัวอ่อนแมลงวันลายด้วยวัสดุอินทรีย์ 5 ชนิด มีสมบัติทางชีวภาพและทางเคมีที่แตกต่างกัน โดยพบแบคทีเรียในกลุ่ม *Bacillus* spp. และ *E.coli* ส่วนปริมาณธาตุอาหารในปุ๋ยอินทรีย์สดขึ้นอยู่กับวัสดุอินทรีย์ที่เป็นอาหารเลี้ยงตัวอ่อนแมลงวันลาย ซึ่งปุ๋ยอินทรีย์สดที่ได้จากการเลี้ยงตัวอ่อนแมลงวันลายด้วยอาหารไก่และกากเต้าหู้มีปริมาณไนโตรเจนสูง ขณะที่เมื่อเลี้ยงตัวอ่อนแมลงวันลายด้วยมูลไก่แห้งทำให้ปุ๋ยอินทรีย์สดมีปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมสูง ปุ๋ยอินทรีย์สดที่ได้จากการเลี้ยงตัวอ่อนแมลงวันลายด้วยกากมันสำปะหลังมีการย่อยสลายสมบูรณ์ทำให้เมล็ดงอกได้ดี จึงทำให้ปุ๋ยอินทรีย์สดที่ได้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์บางประการ สามารถนำไปใช้ปลูกพืชได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ที่สนับสนุนสถานที่และอุปกรณ์เครื่องมือในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- กรมวิชาการเกษตร. 2548. ปุ๋ยอินทรีย์ การผลิต การใช้ มาตรฐานและคุณภาพ. เอกสารวิชาการ ลำดับที่ 17/2548, สำนักวิจัยและพัฒนา ปัจจัยการผลิตทางการเกษตร, กรุงเทพฯ. 87 หน้า.
- กรมวิชาการเกษตร. 2550. กำหนดเกณฑ์ปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2550. (ระบบออนไลน์). แหล่งข้อมูล: <https://www.ratchakitcha.soc.go.th/DATA/PDF/2551/A/007/1.PDF> (10 กันยายน 2567).
- กรมวิชาการเกษตร. 2557. กำหนดเกณฑ์ปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2557. (ระบบออนไลน์). แหล่งข้อมูล: <https://www.doa.go.th/ard/wp-content/uploads/2019/11/FEDOA11.pdf> (10 กันยายน 2567).
- กรมวิชาการเกษตร. 2564. คำแนะนำการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน สำหรับพืชไร่เศรษฐกิจ. เอกสารวิชาการ. กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ. 105 หน้า.
- กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์. 2560. เกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของอาหารและภาชนะสัมผัสอาหาร ฉบับที่ 3. (ระบบออนไลน์). แหล่งข้อมูล: <http://bqsfdmsc.moph.go.th/bqsfdWeb/wp-content/uploads/> (30 ตุลาคม 2567).
- กลุ่มงานวิเคราะห์ปุ๋ย. 2526. วิธีวิเคราะห์ปุ๋ย. กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ. 37 หน้า.
- กลุ่มงานวิเคราะห์ปุ๋ย. 2541. คู่มือวิธีวิเคราะห์ปุ๋ย. กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ. 114 หน้า.
- จิตติมา ยถาภูธานนท์ พืชรพงษ์ เขาวนพงษ์ ศรีสุดา รื่นเจริญ รัฐกร สืบคำ และ ทิวาพร ผดุง. 2558. ศีรษะเทคนิคการตรวจสอบการย่อยสลายที่สมบูรณ์ของปุ๋ยอินทรีย์. รายงานผลงานเรื่อง เติ้มการทดลองที่สิ้นสุด ปีงบประมาณ 2558, กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ. 33 หน้า.

- ทรายแก้ว อนาคต ชุตินา จันทรเจริญ พัฒนพงษ์
เกิดหล้า พิลาสลักษณ์ ลุ่มลิ้ว และ สาริต
กาละพวก. 2556. รายงานผลการวิจัย เรื่อง
ผลของปุ๋ยมูลไก่และปุ๋ยเคมีต่อความอุดม
สมบูรณ์ของดินผลผลิต และคุณภาพของ
ฮ้อยในกลุ่มชุดดินที่ 36. กลุ่มวิชาการเพื่อ
การพัฒนาที่ดิน สำนักงานพัฒนาที่ดินเขต
8 กรมพัฒนาที่ดิน, เพชรบูรณ์. 40 หน้า.
- พิพัฒน์ เหลืองลาวัณย์ และวิศิษฐ์พร สุขสมบัติ.
2550. กากมันสำปะหลังกับการใช้ประโยชน์
ในอาหารโคนม. (ระบบออนไลน์).
แหล่งข้อมูล: http://sutir.sut.ac.th:8080/sutir/bitstream/123456789/2085/1/BIB1286_F.pdf (8 พฤศจิกายน 2567).
- พูลศักดิ์ ตรีวัย อาภาภรณ์ ลวดลายทอง สิริณา
ช่วงโอภาส และ ชาญวิทย์ แก้วตาปี.
2565. การศึกษาปริมาณแบคทีเรียและการ
เสริมหมอนแมลงวันลายในอาหารต่อ
สมรรถภาพการผลิต และคุณภาพไข่ของ
ไก่ไข่. หน้า 411-422. ใน: การประชุมวิชาการ
บัณฑิตศึกษาระดับชาติ ครั้งที่ 12.
มหาวิทยาลัยศิลปากร, นครปฐม.
- ภัทรกร ทศพงษ์, แสงดาว หารปึก และ รัตนภรณ์
เทพสวัสดิ์. 2563. การใช้กากน้ำตาลหุ้มสด
ต่อประสิทธิภาพการผลิตและสมดุล
ไนโตรเจนของแพะพันธุ์ลูกผสมบอร์-ชาเนน.
วารสารเกษตรนเรศวร 17(1): 58-67.
- ยิ่งลักษณ์ กาญจนฤกษ์ อรณิชา เมียงบัว และ
ทศนัศว์รัตนแก้ว. 2566. การวิเคราะห์ต้นทุน
และผลตอบแทนของรูปแบบการจัดการเศษ
วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร. (ระบบออนไลน์)
แหล่งข้อมูล : https://webapp.idd.go.th/lpd/node_modules/file/Eco/cost-benefit_waste%20management/cost-benefit.pdf. (7 กันยายน 2567).
- วีระศักดิ์ วิชาเบ็ง, ชัยอาทิตย์ อินคำ, กนกวรรณ
ปัญจะมา และโสระยา ร่วมรังสี. 2566. ผล
ของค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุ
อาหารต่อการเติบโตและคุณภาพพุดอก
ของทิวลิปที่ปลูกในระบบไฮโดรพอนิกส์.
วารสารเกษตร 39(2): 197 -208.
- สมบัติ ตงเต้า ทวีศักดิ์ แสงอุดม และยุพิน
กลินเกษมพงษ์. 2537. สรุปผลงานกรม
วิชาการเกษตรปี 2534-2535. เอกสาร
ประกอบการสัมมนาวิชาการสัปดาห์
ครั้งที่ 1. โรงแรมไพล์ฟิช, ระยอง. ม.ป.ป.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2566. มันสำปะหลัง
โรงงาน: เนื้อที่เพาะปลูก เนื้อที่เก็บเกี่ยว
ผลผลิต และผลผลิตต่อไร่ แยกตามช่วงอายุ
ระดับจังหวัด ปี 2566. (ระบบออนไลน์)
แหล่งข้อมูล : <https://www.oae.go.th/assets/portals/1/fileups/prcadata/files/ช่วงอายุเก็บเกี่ยว%2066.pdf> (8
พฤศจิกายน 2567).
- สุมาลี ชุกกำแพง และปัทมา จัตุรัส. 2560. ผลของ
ไซเดียมคลอไรด์ต่อการงอกของเมล็ดและ
การเจริญเติบโต ของมันแกว (*Pachyrhizus
erosus* (L.) Urb.) โดยวิธีการปลูกแบบ
ไฮโดรพอนิกส์. วารสารวิจัย มสค 10(1):
81-92.
- Angel, R. 2011. Calcium and phosphorus
requirements in broilers and laying
hens. pp. 32-48. In: 22nd Annual
Australian Poultry Science Symposium,
Sydney.
- Arancon, N.Q., C.A. Edwards, S. Lee and R.
Byrne. 2006. Effects of humic acids
from vermicomposts on plant growth.
European Journal of Soil Biology 42:
65-69.
- Araújo, G.S., G.O. Ribeiro, S.M.A. de Souza,
G. Paulo da Silva, G.B.M. de Carvalho,
J.A.C. Bispo and E.A. Martínez. 2022.
Rice (*Oryza sativa*) bran and soybean
(*Glycine max*) meal: unconventional
supplements in the mead production.
Food Technology and Biotechnology
60(1): 89-98.

- Assefa, S. and S. Tadesse. 2019. The principal role of organic fertilizer on soil properties and agricultural productivity-a review. *Agricultural Research and Technology* 22(2): 556192, doi: 10.19080/ARTOAJ.2019.22.556192.
- Banks, I.J., W.T. Gibson and M.M. Cameron. 2014. Growth rates of black soldier fly larvae fed on fresh human faeces and their implication for improving sanitation. *Tropical Medicine and International Health* 19(1): 14-22.
- Biagi, G., A. Piva, M. Moschini, E. Vezzali and F.X. Roth. 2006. Effect of gluconic acid on piglet growth performance, intestinal microflora, and intestinal wall morphology. *Journal of Animal Science* 84: 370-378.
- Bonetta, S., S. Bonetta, E. Ferretti, G. Fezia, G. Gilli and E. Carraro. 2014. Agricultural reuse of the digestate from anaerobic co-digestion of organic waste: microbiological contamination, metal hazards and fertilizing performance. *Water, Air, and Soil Pollution* 225: 1-11.
- Cammack, J.A. and J.K. Tomberlin. 2017. The impact of diet protein and carbohydrate on select life-history traits of the black soldier fly *Hermetia illucens* (L.) (Diptera: Stratiomyidae). *Insects* 8, doi: 10.3390/insects8020056.
- Cooperband, L.R., A.G. Stone, M.R. Fryda and J.L. Ravet. 2003. Relating compost measures of stability and maturity to plant growth. *Compost Science and Utilization* 11: 113 – 124.
- Dalzell, H.W. 1987. *Soil Management: Compost production and use in tropical and subtropical environments*, Issue 56. Food and Agriculture Organization, Rome. 177 p.
- Denamur, E., O. Clermont, S. Bonacorsi and D. Gordon. 2021. The population genetics of pathogenic *Escherichia coli*. *Nature Reviews Microbiology* 19(1): 37-54.
- Diener, S., C. Zurbrugg and K. Tockner. 2009. Conversion of organic material by black soldier fly larvae: establishing optimal feeding rates. *Waste Management and Research* 27: 603–610.
- El-Maghawry, A.H., A.M. Zain Eldin and M.I. Morsy. 2024. Applying germicidal ultraviolet in chicken manure disinfection for promoting agricultural sustainability. *Misr Journal of Agricultural Engineering* 41(3) : 243-262.
- El-Sayed, S.Y. and R.H. Hagab. 2020. Effect of organic acids and plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on biochemical content and productivity of wheat under saline soil conditions. *Middle East Journal of Agriculture Research* 9(2): 227-242.
- Gärtling D. and H. Schulz. 2022. Compilation of black soldier fly frass analyses. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 22: 937–943.
- Gohil, R.B., V.H. Raval, R.R. Panchal and K.N. Rajput. 2022. Plant growth-promoting activity of *Bacillus* sp. PG-8 isolated from fermented panchagavya and its effect on the growth of *Arachis hypogea*. *Frontiers in Agronomy* 4: 805454, doi: 10.3389/fagro.2022.805454.

- Horwitz, W. 2000. Official Method of Analysis of AOAC International. 17th ed. Method 938.02. AOAC International Inc., Gaithersberg MD. 27p.
- Horwitz, W. and G.W. Latimer. 2005. Official Method of Analysis of AOAC International. 18th ed. Official Method 957.02, 958.01. AOAC International Inc., Gaithersberg MD.
- Hudcová, H., J. Vymazal and M. Rozkošný. 2019. Present restrictions of sewage sludge application in agriculture within the European Union. *Soil and Water Research* 14(2): 104-120.
- Jackson, M.L. 1958. Soluble Salt Analysis for Soils and Water. Soil Chemical Analysis. Prentice Hall, Inc. Englewood Cliffs, NJ, 498 p.
- Keaokliang, O., T. Kawashima, W. Angthong, T. Suzuki and R. Narmseelee. 2018. Chemical composition and nutritive values of cassava pulp for cattle. *Animal Science Journal* 89(8): 1120 – 1128.
- Kyakuwaire, M., G. Olupot, A. Amoding, P. Nkedi-Kizza and T.A. Basamba. 2019. How safe is chicken litter for land application as an organic fertilizer?: A review. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 16(19): 3521, doi: 10.3390/ijerph 16193521.
- Lalander, C., S. Diener, C. Zurbrügg and B. Vinnerås. 2019. Effects of feedstock on larval development and process efficiency in waste treatment with black soldier fly (*Hermetia illucens*). *Journal of Cleaner Production* 208: 211-219.
- Machado, D.C., C.M. Maia, I.D. Carvalho, N.F.D. Silva, M.C.D.P.B. André and Á.B. Serafini. 2006. Microbiological quality of organic vegetables produced in soil treated with different types of manure and mineral fertilizer. *Brazilian Journal of Microbiology* 37: 538-544.
- Makkar, H.P., G. Tran, V. Heuzé and P. Ankers. 2014. State-of-the-art on use of insects as animal feed. *Animal Feed Science and Technology* 197: 1-33.
- Marlina, N. and S. Askar. 2004. Chemical composition of some agriculture and industry by-products. pp. 99-103. *In: Proceedings of the national technical meeting of agricultural functional staff*, Bogor.
- Messelhäußer, U. and M. Ehling-Schulz. 2018. *Bacillus cereus*-a multifaceted opportunistic pathogen. *Current Clinical Microbiology Reports* 5: 120-125.
- Misra, R.V., R.N. Roy and H. Hiraoka. 2003. On-farm composting methods. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. 33 p.
- R Core Team. 2018. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. (Online): Available Source: <https://www.R-project.org> (September 9, 2024).
- Rahman, M.M., K. Mat, G. Ishigaki and R. Akashi. 2021. A review of okara (soybean curd residue) utilization as animal feed: Nutritive value and animal performance aspects. *Animal Science Journal* 92(1): 13594, doi: 10.1111/asj. 13594.

- Rehman K.U., M. Cai, X. Xiao, L. Zheng, H. Wang, A.A. Soomro, Y. Zhou, W. Li, Z. Yu and J. Zhang. 2017. Cellulose decomposition and larval biomass production from the co-digestion of dairy manure and chicken manure by mini-livestock (*Hermetia illucens* L.). Journal of Environmental Management 1(196): 458-465.
- Salam, M., A. Shahzadi, H. Zheng, F. Alam, G. Nabi, S. Dezhi, W. Ullah, S. Ammara, N. Ali and M. Bilal. 2022. Effect of different environmental conditions on the growth and development of black soldier fly larvae and its utilization in solid waste management and pollution mitigation. Environmental Technology and Innovation 28: 102649, doi: 10.1016/j.eti.2022.102649.
- Saunders, O., J. Harrison, A.M. Fortuna, E. Whitefield and A. Bary. 2012. Effect of anaerobic digestion and application method on the presence and survivability of *E. coli* and fecal coliforms in dairy waste applied to soil. Water, Air, and Soil Pollution 223: 1055-1063.
- Saxena, A.K., M. Kumar, H. Chakdar, N. Anuroopa and D.J. Bagyaraj. 2020. *Bacillus* species in soil as a natural resource for plant health and nutrition. Journal of Applied Microbiology 128(6): 1583-1594.
- Sayara, T., R. Basheer-Salimia, F. Hawamde and A. Sánchez. 2020. Recycling of organic wastes through composting: Process performance and compost application in agriculture. Agronomy Journal 10(11): 1838, doi: 10.3390/agronomy10111838.
- Sheppard, D.C., J.K. Tomberlin, J.A. Joyce, B.C. Kiser and S.M. Sumner. 2002. Rearing methods for the black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae). Journal of Medical Entomology 39(4): 695-698.
- Siddiqui, S.A., B. Ristow, T. Rahayu, N.S. Putra, N.W. Yuwono, B. Mategeko, S. Smetana, M. Saki, A. Nawaz and A. Nagdalian. 2022. Black soldier fly larvae (BSFL) and their affinity for organic waste processing. Waste Management 140: 1-13.
- Singh, A., M. Meena, D. Kumar, A.K. Dubey and M.I. Hassan. 2015. Structural and functional analysis of various globulin proteins from soy seed. Critical Reviews in Food Science and Nutrition 55(11): 1491-1502.
- Smith, H., and A.E. Brown. 2022. Benson's Microbiological Applications: Laboratory Manual. 15th ed. McGraw-Hill, Boston. 667p.
- Sreevidya, M. and S. Gopalakrishnan. 2017. Direct and indirect plant growth-promoting abilities of *Bacillus* species on chickpea, isolated from compost and rhizosphere soils. Organic Agriculture 7: 31-40.
- Walkley, A. and C. Black. 1934. An examination of degtjareff method for determining soil organic matter and proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science 37: 29-35.
- Wang, H., J. Xu, X. Liu, D. Zhang, L. Li, W. Li and L. Sheng. 2019. Effects of long-term application of organic fertilizer on improving organic matter content and retarding acidity in red soil from China. Soil and Tillage Research 195: 104382, doi:org/10.1016/j.still.2019.104382

Zziwa, A., J. Jjagwe, S. Kizito, I. Kabenge, A. John Komakech and H. Kayondo. 2021. Nutrient recovery from pineapple waste through controlled batch and continuous vermicomposting systems. *Journal of Environmental Management* 279:111784,doi:10.1016/j.jenvman.2020.111784.