



Research Article

การย่อยสลายมูลจิ้งหรีดต่อแก๊สแอมโมเนียและคาร์บอนไดออกไซด์

Cricket Frass Decomposition of Ammonia and Carbon Dioxide Emission

ศราวุทธ์ แสนคำ นันทวัฒน์ บุตรวงศ์ และ โซภา แคนsee *

Sarawut Saenkhamp, Nuntawat Butwong and Sopa Cansee *

สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอ กันทราริชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Mahasarakham University, Kantharawichai, Maha Sarakham 44150, Thailand.

ABSTRACT

Article history:

Received: 2023-09-20

Revised: 2024-02-29

Accepted: 2024-04-05

Keywords:

cricket frass;

decomposition rate;

ammonia;

carbon dioxide

Cricket frass in ponds is a waste that continually accumulates, potentially affecting the quantity and quality of cricket farming. This research aims to study the factors of temperature (28, 35, and 40 °C), moisture content (20, 25, and 30%w.b.), and cricket frass (4.17, 8.68, and 12.86 kg/m²) affecting decomposition, NH₃, and CO₂. A fractional factorial experiment planned with 15 treatments, each condition repeated three times, was conducted in a temperature-controlled sample box measuring 0.40 meters in width, 0.60 meters in length, and 0.37 meters in height. New cricket frass was prepared after harvesting and cleaning, with moisture content levels adjusted as needed. The bio-decomposition test involved sampling cricket frass according to specified moisture content levels, placing 15-gram samples in aluminum containers, packing them in temperature-controlled sample boxes under 15 conditions with 18 samples per box, and removing them weekly for 6 weeks to determine dry weight (without returning the samples). NH₃ and CO₂ were tested under temperature and moisture content conditions corresponding to cricket frass quantity. Gas production was recorded daily for 42 days. Decomposition rate, NH₃, and CO₂ were analyzed statistically, along with their relationship to the test factors. The results revealed that NH₃ was primarily found at the bottom of the pond, whereas CO₂ was distributed throughout the experimental pond. Decomposition was more pronounced in the high-factor level group compared to the medium and low-level groups. Over the six-week test period, cricket frass mass decreased by approximately 10% compared to the initial mass. NH₃ and CO₂ behavior indicated that NH₃ generation peaked quickly, reaching a maximum value of 90-63 ppm between days 2 and 7 before gradually decreasing until the end of the experiment. CO₂ production peaked rapidly within 1-3 days, reaching a maximum value between 1050-960 ppm, followed by a rapid decline until stabilizing at a level similar to atmospheric levels. Therefore, at low factor levels, low decomposition results in low values of both NH₃ and CO₂, making them suitable for cricket farming conditions.

© 2025 Saenkhamp, S., Butwong, N. and Cansee, S. Recent Science and Technology published by Rajamangala University of Technology Srivijaya

* Corresponding author.

E-mail address: sopa.c@msu.ac.th

Cite this article as:

Saenkhamp, S., Butwong, N. and Cansee, S. 2025. Cricket Frass Decomposition of Ammonia and Carbon Dioxide Emission. *Recent Science and Technology* 17(1): 260490.

บทคัดย่อ

มูลจิ้งหรีดในบ่อเลี้ยงเป็นของเสียที่สะสมต่อเนื่อง ซึ่งสามารถส่งผลต่อปริมาณและคุณภาพของการเลี้ยงจิ้งหรีดได้ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยอุณหภูมิ (28 35 และ 40 °C) ความชื้น (20 25 และ 30%w.b.) และมูลจิ้งหรีด (4.17 8.68 และ 12.86 kg/m²) ที่มีผลต่อการย่อยสลาย แก๊สแอมโมเนีย (NH₃) และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) วางแผนการทดลองแฟกทอร์เรียบง่ายส่วน จำนวน 15 เงื่อนไข เงื่อนไขละ 3 ชุด ทดสอบในกล่องตัวอย่างควบคุมอุณหภูมิได้ ความกว้าง ความยาว และความสูงเป็น 0.40 0.60 และ 0.37 m ตามลำดับ การเดรียมมูลจิ้งหรีดใหม่หลังเก็บเกี่ยวผลผลิตแล้วทำความสะอาดห้ามความชื้นและปรับระดับความชื้นตามต้องการ วิธีการทดสอบการย่อยสลาย สุ่มตัวอย่างมูลจิ้งหรีดตามความชื้นที่กำหนดบรรจุภาชนะอลูมิเนียมตัวอย่างละ 15 กรัม ใส่ในกล่องตัวอย่างควบคุมอุณหภูมิจำนวน 15 เงื่อนไข กล่องละ 18 ตัวอย่าง และนำออกมาระบุเวลาเพื่อหาน้ำหนักแห้ง (ไม่สีคืน) ทุกสัปดาห์ เป็นเวลา 6 สัปดาห์ ส่วน NH₃ และ CO₂ นำตัวอย่างมูลจิ้งหรีดที่มีความชื้นและปริมาณตามกำหนดบรรจุในกล่องตัวอย่าง วัดปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้นทุก ๆ วัน เป็นเวลา 42 วัน ค่าอัตราการย่อยสลาย NH₃ และ CO₂ วิเคราะห์สถิติ และความสัมพันธ์กับปัจจัยทดลอง ผลการวิจัยพบว่า NH₃ พบรูปแบบที่แตกต่างพื้นล่างของบ่อ แต่ CO₂ จะพบทั่วทุกตำแหน่งในบ่อทดลอง การย่อยสลายของกลุ่มระดับปัจจัยสูงมีมากกว่าระดับปานกลาง และกลุ่มระดับต่ำ ระยะเวลาการทดสอบจำนวน 6 สัปดาห์ มวลของมูลจิ้งหรีดลดลงประมาณ 10% เปรียบเทียบกับมวลเริ่มต้น NH₃ และ CO₂ ที่เกิดขึ้นนั้นตลอด 42 วัน พบรูปแบบที่แตกต่างกัน มวลของมูลจิ้งหรีดลดลงประมาณ 90-63 ppm หลังจากนั้นจะลดลงอย่างรวดเร็ว และมีค่าใกล้เคียงกับปริมาณอากาศ ดังนั้นที่ระดับปัจจัยต่ำ การย่อยสลายต่ำจะทำให้ NH₃ และ CO₂ มีค่าต่ำอย่างจังหมายเหตุสภาพการเลี้ยงจิ้งหรีด

คำสำคัญ: มูลจิ้งหรีด, อัตราการย่อยสลาย, แก๊สแอมโมเนีย, แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

1. บทนำ

จิ้งหรีดเป็นแหล่งอาหารทางเลือกใหม่ มีคุณค่าทางโภชนาญาณ มีโปรตีนสูงถึง 12.9% ไกล์เดียงกับโปรตีนในไก่ไข่ 12.7% (Halloran *et al.*, 2017) อีกทั้งจิ้งหรีดมีวงจรชีวิตสั้น เลี้ยงง่าย โดยเริ่ว เหมาะเป็นแหล่งอาหารทดแทนได้ (Rumpold and Schluter, 2013; Van Huis, 2020; Magara *et al.*, 2021) เกษตรกรของประเทศไทยทำฟาร์มจิ้งหรีด กว่า 20,000 ฟาร์ม กระจายอยู่ 26 จังหวัด ในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคเหนือ และภาคตะวันออก มีกำลังการผลิตสูงถึง 7,500 ตันต่อปี (Hanboonsong *et al.*, 2013) เกษตรกรนิยมเลี้ยงจิ้งหรีดในบ่ออยู่ปัจจุบันร้อยละ 2.88 m² ด้วยอาหารสำเร็จรูปและอาหารเสริมจากพืชผักในท้องถิ่น หลากหลายชนิด (Vaga *et al.*, 2021) พืชผักความชื้นสูงจะทำให้เป็นอาหารอาหาร (*Ssepuyua et al.*, 2021) และเป็นของเสียรวมทั้งชาเขียว และมูลจิ้งหรีดสะสมภายในบ่อเลี้ยง การย่อยสลายของเสียนั้นอาจทำให้เกิดแก๊สพิษมากจึงเป็นสาเหตุทำให้จิ้งหรีดตาย (Nischalke *et al.*, 2020) หรืออ่อนแอ การกินอาหารลดลง ผลผลิตลดลง (Alarefee *et al.*, 2023) ทำให้ผลผลิตที่ได้มีความแปรปรวน (Ruangsuraya, 2010; Phoset and Thitkun, 2022)

มูลจิ้งหรีดอุดมไปด้วยสารอาหารสำคัญของพืช (Beesigamukama *et al.*, 2022) ซึ่ง Yaemkong *et al.* (2022) รายงาน Acheta domesticus (4.375% N, 2.97% P, และ 2.37% K) Halloran *et al.* (2017) รายงาน Gryllus bimaculatus (2.58% N, 1.55% P, และ 1.78% K) และ

Acheta domesticus (2.27% N, 2.02% P, และ 2.26% K) และ Treelokes (2013) รายงาน (2.4% N, 1.1% P, และ 2.6% K) มูลจิ้งหรีดเป็นอินทรีย์วัตถุที่จุลินทรีย์ย่อยสลายเปลี่ยนเป็นแก๊สแอมโมเนีย (NH₃) และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) (Ritz *et al.*, 2004; Brahushi *et al.*, 2013) เมื่ออุณหภูมิ และความชื้นเหมาะสมจะเกิดเป็นแก๊สพิษ (Kristensen and Wathes, 2000) การศึกษาวิจัยการย่อยสลายมูลของแมลงที่ปราฏส่วนใหญ่มีประโยชน์ ปรับปรุงดินเพื่อการเจริญเติบโตของพืช (Frost and Hunter, 2004; Kagata and Ohgushi, 2012; Kagata and Ohgushi, 2013; Zahn and Quilliam, 2017) และศึกษาการปลดปล่อย NH₃ และ CO₂ พบรูปแบบที่แตกต่างกันในฟาร์มปศุสัตว์ (Mustin, 1987; Paillat *et al.*, 2005) มูลสัตว์ปีกและมูลสุกร (Ritz *et al.*, 2004; Ni *et al.*, 2010; Meda *et al.*, 2011; Zhu *et al.*, 2020)

ขณะที่ผลของ CO₂ ต่อชีวิทยาของแมลงทำให้ขาดออกซิเจน เพิ่มอัตราการเสียชีวิตได้ (Birkenmeyer and Dame, 1970) ลดการผลิตพันธุ์ลง (Green *et al.*, 1967) ชะลอการเดินโดย Edwards and Patton, 1965 ลดน้ำหนักไข่ เปลี่ยนแปลงพฤติกรรม (Van Dijken *et al.*, 1977) จึงส่งผลต่อสุขภาพ และผลผลิตลดลง Woodring *et al.* (1978) รายงานผลกระทบของ CO₂ และภาวะการขาดออกซิเจนต่อการกินอาหาร การเจริญเติบโตการเผาผลาญ ความสมดุลของน้ำ และองค์ประกอบเลือดของตัวอ่อนจิ้งหรีด Acheta domesticus การกินอาหารโดยรวมลดลง

ประสิทธิภาพของการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวลดลงค่า pH ในเลือดลดลง และการได้รับไนโตรเจนทำให้หายใจไม่ออกเกิดภาวะขาดออกซิเจนทันที

การทบทวนงานวิจัยดังกล่าวข้างต้นพบว่ามูลจิงหรีดเป็นอินทรีย์ตุกที่มีธาตุ N P และ K สูง สามารถย่อยสลายเป็น NH_3 และ CO_2 ส่งผลต่อผลผลิตของจิงหรีดได้ แต่ยังไม่พนกรศึกษาปัจจัยการย่อยสลายมูลจิงหรีดและการเกิดแก๊สในขอบเขตของการเลี้ยงจิงหรีดของเกษตรกร งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการย่อยสลายมูลจิงหรีด การเกิด NH_3 และ CO_2 ในบ่อเลี้ยงจิงหรีด และความสัมพันธ์ของการย่อยสลายต่อการเกิดแก๊สทั้งสอง

2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 วัสดุ อุปกรณ์การศึกษา

กล่องด้าวย่างพลาสติกขนาดความกว้าง ความยาวและความสูงเป็น 0.40, 0.60, และ 0.37 m ตามลำดับ เป็นขนาดย่อส่วนจากบ่อเลี้ยงโดยทั่วไป 1 ต่อ 10 ติดตั้งเครื่องมือวัดและควบคุมอุณหภูมิด้วยหลอดไฟขนาด 100 วัตต์ จำนวน 2 หลอด ถูกติดตั้งด้านบนฝากล่องเพื่อกำหนดระดับอุณหภูมิ และบนฝากล่องปิดมีช่องระบายอากาศเล็กน้อยเพื่อไม่ให้เกิดการสะสมของไอน้ำมากเกินไป แสดงดัง Figure 1



Figure 1 Experimental sample box to study the degradation and generation of NH_3 and CO_2

เครื่องมือวัดแก๊สแบบโมเนียในบรรยายกาศ Smart sensor model AR8500 ซึ่งมีระดับการวัดได้ที่ 0.0-99.9 ppm ซึ่งมีความแม่นยำ $\pm 2\%$ และเครื่องมือวัดかるบอนไดออกไซด์ EXTECH CO260 gas meter มีระดับ

การวัดได้ที่ 0-9,999 ppm ซึ่งมีความแม่นยำ 170 ppm ต่อ 3 เบอร์เซนต์

2.2 การเตรียมตัวอย่าง

การเตรียมตัวอย่างมูลจิงหรีดเพื่อทดสอบการย่อยสลาย การเกิด NH_3 และ CO_2 ด้วยนำของเสียจากบ่อจิงหรีดของเกษตรกรบ้านอ่องอี้ อำเภอทางตอนใต้ จังหวัดกาฬสินธุ์ ที่เพิ่งเก็บผลผลิต ทำการสะอาดด้วยการร่อนเศษพืช และซากของจิงหรีดออก แล้วสูบด้วยไอน้ำ ความชื้นด้วยการอบอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง และคำนวณหาค่าความชื้น (Kiriratnikom et al., 2016) ตามสมการที่ (1) และความชื้นที่ได้เป็นค่าเริ่มต้น และทำการผสมเติมน้ำเข้าไปเพื่อให้ได้ความชื้นด้าวย่างของปัจจัยตามต้องการ

$$M_w (\%) = \frac{(w-d)}{w} \times 100 \quad (1)$$

โดยที่

- M_w = ความชื้นมาตรฐานเปียก (%w.b.)
- w = น้ำหนักสุ่มเริ่มต้น (g)
- d = น้ำหนักสุ่มแห้ง (g)

2.3 การกำหนดปัจจัยและระดับของปัจจัย

จากการสำรวจข้อมูลฟาร์มเลี้ยงจิงหรีดพบผลผลิตที่ได้มีความแปรปรวนขึ้นกับอุณหภูมิหรือสภาพอากาศและกรมอุตุนิยมวิทยาสถานี จังหวัดมหาสารคาม 2566 พบร่วมกับอุณหภูมิค่าระห่ำว่า 22 ถึง 40 °C แต่การทดลองนี้อยู่ในช่วงเดือน พฤษภาคม-ธันวาคม จึงกำหนดอุณหภูมิต่ำสุดตามสภาพแวดล้อมมีค่าประมาณ 28 °C ปัจจัยความชื้นของมูลจิงหรีดได้สูบด้วยจากหล่ายฟาร์มของเกษตรกรที่มีการเลี้ยงจิงหรีดแตกต่างกันทำให้ทราบความชื้นของมูลจิงหรีดต่ำ 20 %w.b. ที่เลี้ยงจิงหรีดด้วยอาหารสำเร็จรูป และความชื้นสูง 30 %w.b. จากฟาร์มที่เลี้ยงจิงหรีดด้วยอาหารสำเร็จรูปและเสริมด้วยพืชผัก และมีการตายหรือซากของจิงหรีดสูง ด้วย ขณะที่ปัจจัยของเสียในบ่อเลี้ยงแบบปิซซันบอร์ดมีจำนวน 12-36 kg ขึ้นกับจำนวนผลผลิตและอาหารที่ใช้เลี้ยงจิงหรีด ทั้งนี้เมื่อคำนวณต่อพื้นที่จะได้ $4.17-12.86 \text{ kg/m}^2$ ดังนั้นจากปัจจัยช่วงอุณหภูมิ ความชื้น และมูลจิงหรีด จึงกำหนดระดับของปัจจัยตำแหน่งกลางเพิ่มอีกหนึ่งค่าระดับทำให้ปัจจัยของอุณหภูมิ (28 35 และ 40 °C) ความชื้น (20 25 และ 30%w.b.) และมูลจิงหรีด (4.17, 8.68 และ 12.86 kg/m^2) และเรียกระดับของบ่อเลี้ยงจิงหรีด ค่ากลาง

Table 1 Experimental planning of fractional factorial design

Treatment No.	Temperature (°C)	Moisture content (%w.b.)	Cricket frass
			kg/m ²
1	28	20	4.17
2	28	25	8.68
3	28	25	12.86
4	28	30	4.17
5	28	30	12.86
6	35	20	4.17
7	35	20	12.86
8	35	25	8.68
9	35	30	4.17
10	35	30	12.86
11	40	20	4.17
12	40	20	12.86
13	40	25	4.17
14	40	25	8.68
15	40	30	12.86

และสูง ตามลำดับ (Connor and Zelen, 1959) ปัจจัยและระดับของปัจจัยนี้ได้ออกแบบการทดลองแฟกทอเรียลบางส่วน (Fractional factorial design) จำนวน 15 เงื่อนไข เงื่อนไขละ 3 ชั้้า รายละเอียดดังแสดงใน Table 1 ซึ่งจัดกลุ่มของปัจจัยดังกล่าวแบ่งเป็น กลุ่มปัจจัยต่ำ (Low level factor group) ได้แก่ ทรีเมนต์ที่ 1 4 6 และ 11 กลุ่มปัจจัยสูง (High level factor group) ได้แก่ ทรีเมนต์ที่ 5 10 12 และ 15 และทรีเมนต์ที่เหลือเป็นกลุ่มปัจจัยระดับกลาง (Moderate level factor group)

2.4. การศึกษาการย่อยสลายของมูลจิ้งหรีด

นำมูลจิ้งหรีดเตรียมไว้ปรับความชื้นตามต้องการ ส่วนของอุณหภูมิเนี่ยมอย่างละ 15 igram บรรจุในกล่องพลาสติก กล่องละ 18 ตัวอย่าง ตามเงื่อนไข (15 เงื่อนไข) เป็นจำนวน 270 ตัวอย่าง ปิดฝากล่องพลาสติกและควบคุมอุณหภูมิ นำตัวอย่างมูลจิ้งหรีดในภาชนะอุณหภูมิเนี่ยมของแต่ละเงื่อนไขหนักแห้งที่เปลี่ยนไป จำนวน 3 ตัวอย่าง ทุกสัปดาห์ นำข้อมูลเพื่อไปประเมินอัตราการย่อยสลาย จำนวนอัตราการย่อยสลาย จากสมการ Exponential decay model ด้วยวิธีของ (Olson, 1963) ดังสมการที่ 2

$$\frac{X_t}{X_0} = e^{-kt} \quad (2)$$

โดยที่

$$\begin{aligned} k &= \text{ค่าคงที่อัตราการย่อยสลาย} \\ X_t &= \text{น้ำหนักแห้ง (g) เมื่อเวลา } t \\ X_0 &= \text{น้ำหนักแห้งเริ่มต้น (g)} \\ t &= \text{ช่วงเวลาที่ศึกษา (week)} \end{aligned}$$

2.5 การศึกษาปริมาณ NH_3 และ CO_2

นำมูลจิ้งหรีดเตรียมไว้ปรับความชื้นตามต้องการแล้วบรรจุใส่กล่องพลาสติกจำนวนกล่องละ 1.0 2.1 และ 3.1 kg สดคล้องกันขอบเขตมูลจิ้งหรีด 4.17 8.68 12.86 kg/m² ตามลำดับ ปิดฝาและควบคุมอุณหภูมิตามต้องการของแต่ละเงื่อนไข ก่อนวัดแก๊สจะเปิดฝาตัวอย่างทดลองไว้ประมาณ 10 นาที เพื่อให้แก๊สกระจายตัวและมีค่าลดลง สอดคล้องกับน่อมลิ่งจิ้งหรีดที่มีสภาพเปิดอากาศถ่ายเทได้สะดวก ปริมาณแก๊สในปอทดลองขึ้นกับตัวแหนงและเวลาของการวัด จึงได้ทดสอบเบื้องต้นก่อนจำนวน 7 วัน ของเงื่อนไข (No.1, No. 8, No.15) เลือกวัดแก๊สวันละครั้งที่เวลาประมาณ 14.00 น. เนื่องจากเป็นช่วงที่มีอุณหภูมิสูงสุดของแต่ละวัน พบร้า NH_3 วัดได้สูงสุดตัวแหนงพื้นล่างของบ่อ แต่ CO_2 จะพบทั่วทุกตัวแหนงในปอทดลองจึงเลือกวัดแก๊สในตัวแหนงนั้น ๆ การศึกษา NH_3 และ CO_2 ทดสอบนาน 42 วัน เพื่อให้สอดคล้องกับวงจรการเลี้ยงจิ้งหรีดของเกษตรกร เช่นเดียวกับการย่อยสลาย

2.6 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

บัญชีของอุณหภูมิ ความชื้นและมูลจิ้งหรีดที่มีผลต่อการย่อยสลาย การเกิด NH_3 และ CO_2 เพื่อสามารถวิเคราะห์ถึงผลกระทบหลัก และผลกระทบของปัจจัยร่วมซึ่งผลที่ได้จะนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธีของ Duncan โดยโปรแกรม IBM SPSS Statistics 21 ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 นอกจากนี้ค่าการย่อยสลาย การเกิด NH_3 และ CO_2 แต่ละช่วงสัปดาห์ถูกนำเสนอ และปฏิสัมพันธ์ระหว่างค่าข้อผลนี้ด้วย

3. ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

3.1 การย่อยสลาย การเกิด NH_3 และ CO_2

Table 2 อัตราการคงอยู่ของมวล NH_3 และ CO_2 บัญชีหลักอุณหภูมิ ความชื้น และมูลจิ้งหรีด และปฏิสัมพันธ์ระหว่างบัญชี โดยใช้ข้อมูลจำนวนหนึ่งสัปดาห์ มาวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยนี้องจากค่าข้อผลนี้จะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปในแต่ละช่วงเวลา ดังนั้นจึงเลือกเฉพาะสัปดาห์แรกนี้องจากมีอัตราสูงสุด จะเห็นได้ว่าค่าข้อผลมีนัยสำคัญทางสถิติกับทุกบัญชีหลัก แต่จะมีค่าข้อผลของค่าคงอยู่ของมูลจิ้งหรีดและ NH_3 ที่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ต่อปฏิสัมพันธ์ของความชื้นและมูลจิ้งหรีด ซึ่งให้เห็นอย่างชัดเจนว่าบัญชีและระดับบัญชีที่ศึกษาไม่มีนัยสำคัญต่อการย่อยสลาย NH_3 และ CO_2

Table 2 showed two-way ANOVAs for Remaining mass, NH_3 , and CO_2 in the cricket frass

	df	F value	P value
Remaining mass (% of initial)			
Temperature ($^{\circ}\text{C}$)	2	5.522	<0.0090
Moisture content (%)	2	69.701	<0.0001
Cricket frass (kg/m^2)	2	15.014	<0.0001
Temperature \times Moisture content	2	12.876	<0.0001
Temperature \times Cricket frass	2	12.845	<0.0001
Moisture content \times Cricket frass	1	0.973	0.3320
Ammonia (ppm)			
Temperature ($^{\circ}\text{C}$)	2	714.363	<0.0001
Moisture content (%)	2	18415.976	<0.0001
Cricket frass (kg/m^2)	2	775.433	<0.0001
Temperature \times Moisture content	2	26.673	<0.0001
Temperature \times Cricket frass	2	36.518	<0.0001
Moisture content \times Cricket frass	1	0.370	0.5480
Carbon dioxide (ppm)			
Temperature ($^{\circ}\text{C}$)	2	3022.113	<0.0001
Moisture content (%)	2	23759.414	<0.0001
Cricket frass (kg/m^2)	2	28892.047	<0.0001
Temperature \times Moisture content	2	488.408	<0.0001
Temperature \times Cricket frass	2	254.633	<0.0001
Moisture content \times Cricket frass	1	2173.244	<0.0001

Significantly different level ($p<0.05$) according to Duncan's multiple range test

การย่อยสารอาหารจึงหรีดจะเปลี่ยนแปลง Figure 2 พบว่ามูลจึงหรีดที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละสัปดาห์มีความแตกต่างกันทางสถิติตามระดับของปัจจัย ซึ่งหมายถึงกลุ่มระดับของปัจจัยสูงจะมีมวลที่ลดลง ($0.88-1.24$ g) มากกว่ากลุ่มของปัจจัยระดับปานกลางและกลุ่มปัจจัยระดับต่ำ สอดคล้องกับการคงอยู่ของมวลจึงหรีดเปรียบเทียบกับมวลแห้งเริ่มต้นแสดงใน Figure 3 พบว่าการย่อยสารอาหารเกิดขึ้นสูงในสัปดาห์แรก หลังจากนั้นที่กลุ่มระดับปัจจัยสูงจะลดลงต่อเนื่องจนถึงสัปดาห์ที่ 6 มีค่ามวลคงเหลือ 90%

เปรียบเทียบกับระดับกกลุ่มปัจจัยปานกลางและกกลุ่มระดับปัจจัยต่ำมีค่ามวลคงเหลือ 94 และ 96 % ตามลำดับ Kagata and Ohgushi (2012) ศึกษาคุณภาพการย่อยของมูลแมลง (*M. brassicae larvae*) ผสมกับดินเป็นเวลา 5 สัปดาห์พบว่าอัตราการย่อยสารอาหารเป็น 35-40% ของมวลเริ่มต้น ซึ่งใช้ให้น้ำร่วมกับยาฆ่าแมลงแล้วลดลงแต่ต่อเนื่อง การผสมในดินจะมีอัตราการย่อยสารอาหารที่รวดเร็วมากเนื่องจากความสามารถและความหลากหลายของจุลทรรศน์ในดินมีมากหนึ่งเอง

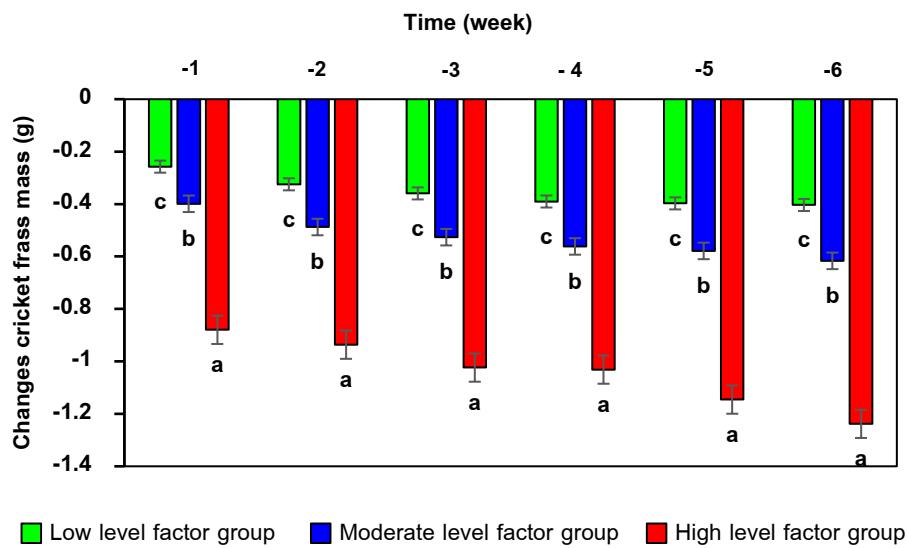


Figure 2 Amount of cricket frass mass changing 6 weeks

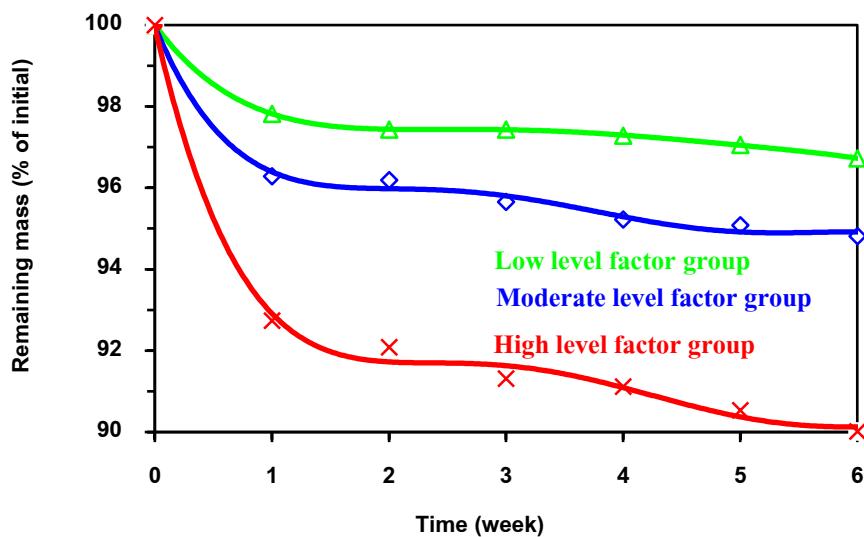


Figure 3 Remaining cricket frass compared with initial mass at various group level factors

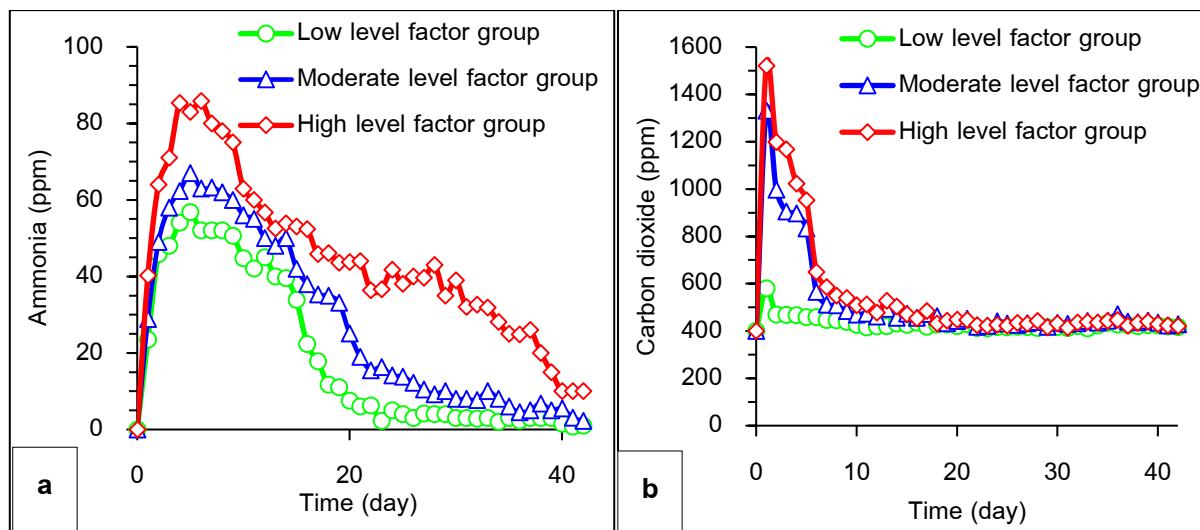


Figure 4 Behavior of NH₃ and CO₂ generation over 42 days (a) NH₃ (b) CO₂

3.2 การเกิด NH₃ และ CO₂

Figure 4a และ Figure 4b เป็นพฤติกรรมการเกิด NH₃ และ CO₂ ตามลำดับ พฤติกรรมของแก๊สทั้งสองจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและค่อย ๆ ลดลงอย่างต่อเนื่องตลอด 42 วัน อาหารจึงหรือมีปริมาณโปรตีนสูง มูลจึงหรือขับออกรูปกรดยูริก ยูเรียและมีปริมาณในโตรเจนมาก ตามรายงานของ Yaemkong *et al.* (2022); Halloran *et al.* (2017); Treelokes (2013) มูลจึงหรือได้รับอุณหภูมิความชื้น ทำให้เกิดการไฮโดรไลซิสของยูเรียและกรดยูริกเพื่อสร้าง NH₃ ระหว่างรายอาหารเกิดอย่างรวดเร็วในช่วงวันที่ 2-7 มีค่าในช่วง 60-90 ppm สอดคล้องกับรายงานของ Olesen and Sommer (1993) NH₃ เกิดขึ้นจากการทำงานของแบคทีเรียบนพื้นฐานของสารในโตรเจนอินทรีย์เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วซึ่งอยู่ในรอบเวลาตั้งแต่ชั่วโมงถึงสองสามวัน สามารถคิดเป็นสัดส่วนได้ถึง 35% ของกระบวนการหั้งหมัด การเกิด CO₂ (Figure 4b) จะมีปริมาณสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงสั้น ๆ 1-3 วัน หลังจากนั้นก็จะลดลงอย่างรวดเร็ว

เช่นกัน แสดงให้เห็นว่าแก๊สนี้จะมีน้ำหนักใกล้เคียงกับอากาศเพราะเป็นแก๊สของส่วนผสมของอากาศปกติ 400-500 ppm ซึ่งสังเกตจากการวัดที่ทำแห่งทดลองจะพบได้ที่ว่าไปทั่วทั้งบ่อทดลอง ปริมาณ CO₂ มากมีค่าระหว่าง 900-1500 ppm และลดลงอย่างรวดเร็ว ดังนั้นจึงทำให้เกิดการสลายรวมกันไปในสภาพอากาศปกติได้ง่าย

NH₃ และ CO₂ ที่เกิดขึ้นรายสัปดาห์ (Figure 5) พบว่า NH₃ เกิดขึ้นต่อเนื่องตลอดเวลาทดสอบ มีปริมาณมากในช่วงสัปดาห์แรก กลุ่มของระดับบัวจัยสูง กลางและต่ำ มีค่า 66 50 และ 44 ppm ตามลำดับ และ ตลอดสัปดาห์ 1-6 NH₃ มีค่าระหว่าง เป็น 66-24, 50-6 และ 44-4 ppm ตามลำดับ ส่วนปริมาณ CO₂ (Figure 5b) มีค่ามากในสัปดาห์แรกระหว่าง 1000 811 และ 475 ppm ของกลุ่มระดับบัวจัยสูง กลางและต่ำ ตามลำดับ และหลังจากนั้น CO₂ มีค่าไม่แตกต่างกัน ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่ากระบวนการเกิด CO₂ จากมูลจึงหรือได้สิ้นสุด ปริมาณที่ตรวจพบมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ตรวจพบในอากาศ

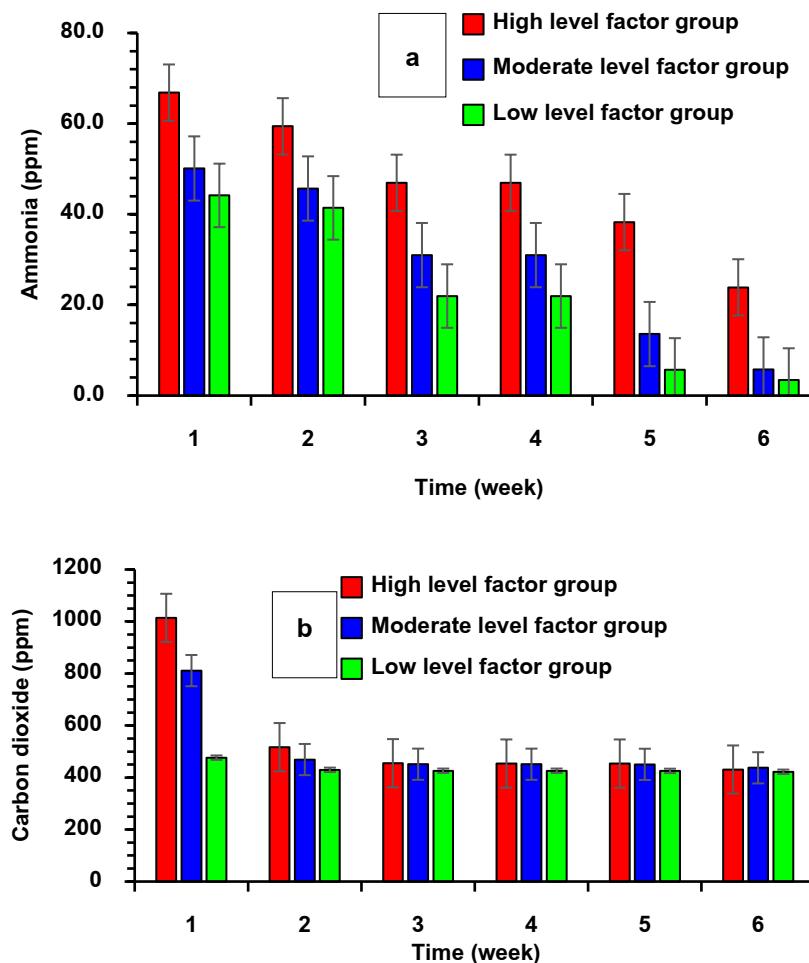


Figure 5 NH₃ and CO₂ gas generation at the time as various group treatment factors (a) NH₃ (b) CO₂

3.3 การย่อยสลายต่อการเกิด NH₃ และ CO₂

Figure 6 แสดงปฏิสัมพันธ์ของค่าคงที่การย่อยสลาย (k) NH₃ และ CO₂ ต่อปัจจัยอุณหภูมิ (Figure 6a) ความชื้น (Figure 6b) และจำนวนมูลจิ้งหรีด (Figure 6c) แสดงความคลาดเคลื่อนและตัวอักษรหมายถึงความแตกต่างทางสถิติ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นค่า k เปลี่ยนแปลงเล็กน้อยไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ขณะ NH₃ และ CO₂ มีค่าเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิสูงขึ้นในอัตราที่ใกล้เคียงกัน และมีค่าแตกต่างกันทางสถิติลดลงช่วงอุณหภูมิทดสอบระหว่าง 28-40 °C บังคับความชื้นระหว่าง 20-30%w.b. ค่า k มีค่าไม่แตกต่างทางสถิติในระดับความชื้นต่ำถึงปานกลาง แต่มีค่าเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญของระดับความชื้นสูงมีค่า 0.093 ขณะ NH₃ และ CO₂ มีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญลดลงช่วงความชื้นที่ทดสอบ แสดงให้เห็นว่ากระบวนการย่อยสลายยังไม่ตอบตอบสนองกับความชื้นในระดับต่ำถึงปานกลาง แต่ความชื้นทำให้การเกิด

แก๊สเพิ่มขึ้นต่อเนื่อง โดยเฉพาะ NH₃ มีอัตราการเพิ่มอย่างรวดเร็วกว่า CO₂ ซึ่งความชันของ NH₃ มีค่า 7.80 และ CO₂ มีความชัน 6.44 และพิจารณาปัจจัยของปริมาณมูลจิ้งหรีดต่อ ค่า k NH₃ และ CO₂ เพิ่มขึ้นในอัตราใกล้เคียงกันแต่เมื่อมูลจิ้งหรีดมีปริมาณปานกลางถึงระดับสูง ค่า k เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และ CO₂ มีอัตราเพิ่มสูงขึ้นมากกว่า NH₃ อย่างเห็นได้ชัดเจน นอกจากปัจจัยดังกล่าว การรายงานของ Bernal *et al.* (2009); Chen *et al.* (2020); Alarefee *et al.* (2023) เกี่ยวกับการเกิด NH₃ ขึ้นกับความเข้มข้นของปริมาณในโตรเจน pH อุณหภูมิ ความเร็วลม กิจกรรมของจุลินทรีย์ พื้นที่ปล่อยก๊าซขนาดใหญ่ พื้นที่และความเร็วลมที่สูง อาจเพิ่มการระเหยของ NH₃ Sommer and Olesen (1991) แสดงให้เห็นว่า NH₃ เพิ่มขึ้นแบบไม่เชิงเส้นกับอุณหภูมิ ความเร็วลม และ pH ของสารละลายนั้นเพิ่มขึ้นเชิงเส้นตรงกับความเข้มข้นของปริมาณในโตรเจนรวม

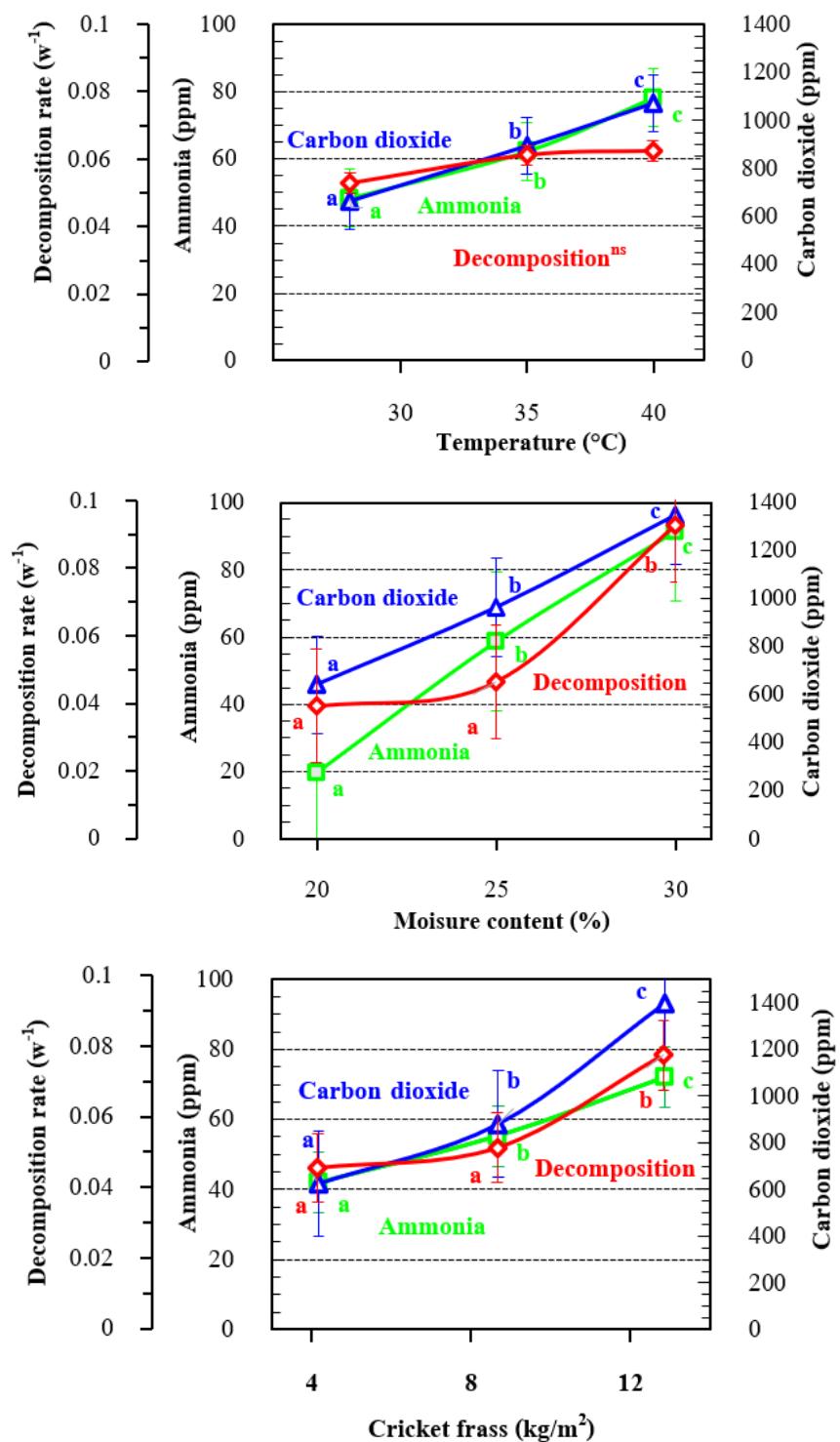


Figure 6 Interaction between decomposition and NH_3 , CO_2 related with factors; (a) Temperature, (b) Moisture content, and (c) Cricket frass

4. สรุป

ปัจจัยอุณหภูมิ ความชื้นและมูลจิ้งหรีดต่อการย่อยสลาย การเกิด NH_3 และ CO_2 สามารถสรุปผลได้ดังนี้ การย่อยสลายของกลุ่มระดับบัวจัยสูงมีมากกว่าระดับปานกลาง และกลุ่มระดับต่ำ โดยตลอดระยะเวลาทดลอง 10% เปรียบเทียบกับมวลเริ่มต้น การย่อยสลายมีนัยสำคัญทางสถิติกับบัวจัยการศึกษาคืออุณหภูมิ ความชื้น และจำนวนมูลจิ้งหรีด NH_3 พบได้ที่ตำแหน่งพื้นล่างของบ่อ แต่ CO_2 จะพบทั่วทุกตำแหน่งในบ่อทดลอง NH_3 และ CO_2 ที่เกิดขึ้นตลอด 42 วัน พบว่า พฤติกรรมการเกิด NH_3 จะเกิดขึ้นในปริมาณสูงอย่างรวดเร็วในช่วง 2-7 วัน มีค่าสูงสุด 63-90 ppm หลังจากนั้นจึงมีปริมาณค่อยๆ ลดลงจนสิ้นสุดการทดลอง ส่วน CO_2 จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 1-3 วัน มีค่าสูงสุดในช่วง 960-1050 ppm และหลังจากนั้นจะลดลงอย่างรวดเร็ว และมีค่าใกล้เคียงกับปริมาณอากาศ

ค่าปฏิสัมพันธ์ของ $k \text{ NH}_3$ และ CO_2 ต่ออุณหภูมิ ความชื้น และมูลจิ้งหรีด เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นค่า k เปลี่ยนแปลงเล็กน้อย แต่ NH_3 และ CO_2 มีค่าเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิสูงขึ้นในอัตราที่ใกล้เคียงกัน และมีค่าแตกต่างกันทางสถิติตลอดช่วงอุณหภูมิทดลองระหว่าง 28-40 °C ความชื้นระหว่าง 20-30% w.b. ทำให้ค่า k มีค่าเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญของระดับความชื้นสูง NH_3 และ CO_2 มีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญตลอดช่วงความชื้นที่ทดสอบ ปริมาณมูลจิ้งหรีด พบว่าค่า k มีค่าเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญกับ NH_3 และ CO_2 เพิ่มขึ้นในอัตราใกล้เคียงกัน เมื่อมูลจิ้งหรีดมีจำนวนมาก

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ ศูนย์เรียนรู้เศรษฐกิจพอเพียง บ้านดอนมัน ตำบลสามเรียง อำเภอแก้งคร้อวิชัย จังหวัดมหาสารคาม และคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่และอุปกรณ์ในการดำเนินงานจนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

6. เอกสารอ้างอิง

Alarefee, H. A., Ishak, C. F., Othman, R. and Karam, D.S. 2023. Effectiveness of mixing poultry litter compost with rice husk biochar in mitigating ammonia volatilization and carbon dioxide emission. *Journal of Environmental Management* 329: 117051.

- Beesigamukama, D. , Subramanian, S. and Tanga, C.M. 2022. Nutrient quality and maturity status of frass fertilizer from nine edible insects. *Scientific Reports* 12: 7182.
- Bernal, M.P., Alburquerque, J.A. and Moral, R. 2009. Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review. *Bioresource Technology* 100(22): 5444-5453.
- Birkenmeyer, D.R. and Dame, D.A. 1970. Effects of carbon dioxide and nitrogen on *Glossina morsitans orientalis* Vanderplank. *Annals of Tropical Medicine and Parasitology* 64(3): 269-275.
- Brahushi, F., Alikaj, M., Belalla, S. and Laze, P. 2013. The measures to control the ammonia emission from agricultural sources in albania. *International Journal of Ecosystems and Ecology Science (IJEE)* 3(2): 377-380.
- Chen, H. , Awasthi, S.K. , Liu, T. , Duan, Y. , Ren, X. , Zhang, Z. , Pandey, A. and Awasthi, M.K. 2020. Effects of microbial culture and chicken manure biochar on compost maturity and greenhouse gas emissions during chicken manure composting. *Journal of Hazardous Materials* 389: 121908.
- Connor, W. S. and Zelen, M. 1959. *Fractional Factorial Experiment Designs for Factors at Three Levels*. Government Printing Office, U.S.
- Edwards, L.J. and Patton, R.L. 1965. Effects of carbon dioxide anesthesia on the house cricket, *Acheta domesticus* (Orthoptera: Gryllidae). *Annals of the Entomological Society of America* 58(6): 828-832.
- Frost, C. J. and Hunter, M. D. 2004. Insect canopy herbivory and frass deposition affect soil nutrient dynamics and export in oak mesocosms. *Ecology* 85(12): 3335-3347.
- Green, N. , Jacobson, M. , Henneberry, T. J. and Kishaba, A.N. 1967. Insect sex attractants. VI. 7-dodecen-1-ol acetates and congeners. *Journal of Medicinal Chemistry* 10(4): 533-535.

- Halloran, A., Hanboonsong, Y., Roos, N., and Bruun, S. 2017. Life cycle assessment of cricket farming in northeastern Thailand. **Journal of Cleaner Production** 156: 83-94.
- Hanboonsong, Y., Jamjanya, T. and Durst, P.B. 2013. **Six-legged livestock: edible insect farming, collection and marketing in Thailand.** FAO, Bangkok.
- Kagata, H. and Ohgushi, T. 2012. Positive and negative impacts of insect frass quality on soil nitrogen availability and plant growth. **Population Ecology** 54(1): 75-82.
- Kagata, H. and Ohgushi, T. 2013. Home-field advantage in decomposition of leaf litter and insect frass. **Population Ecology** 55(1): 69-76.
- Kiriratnikom, A., Kiriratnikom, S. and Sumpunthamit, T. 2016. Litter Decomposition and Nutrient Release in Ban Nong-Tin Community Forest, Phapayom District, Phatthalung Province. **ASEAN Journal of Scientific and Technological Reports** 19(2): 33-41. (in Thai)
- Kristensen, H.H. and Wathes, C. 2000. Ammonia and poultry welfare: a review. **World's Poultry Science Journal** 56(3): 235-245.
- Magara, H.J., Niassy, S., Ayieko, M.A., Mukundamago, M., Egonyu, J.P., Tanga, C.M. and Ekesi, S. 2021. Edible crickets (Orthoptera) around the world: distribution, nutritional value, and other benefits-a review. **Frontiers in nutrition** 7: 537915.
- Meda, B., Hassouna, M., Aubert, C., Robin, P. and Dourmad, J.Y. 2011. Influence of rearing conditions and manure management practices on ammonia and greenhouse gas emissions from poultry houses. **World's Poultry Science Journal** 67(3): 441-456.
- Mustin, M. 1987. **Le compost: Gestion de la matière organique.** Francois Dubusc, France.
- Ni, J.Q., Heber, A.J., Hanni, S.M., Lim, T.T. and Diehl, C.A. 2010. Characteristics of ammonia and carbon dioxide releases from layer hen manure. **British Poultry Science** 51(3): 326-334.
- Nischalke, S., Wagler, I., Tanga, C., Allan, D., Phankaew, C., Ratompوارison, C., Razafindrakotomamonjy, A. and Kusia, E. 2020. How to turn collectors of edible insects into mini-livestock farmers: Multidimensional sustainability challenges to a thriving industry. **Global Food Security** 26: 100376.
- Olesen, J.E. and Sommer, S.G. 1993. Modelling effects of wind speed and surface cover on ammonia volatilization from stored pig slurry. **Atmospheric Environment. Part A. General Topics** 27(16): 2567-2574.
- Olson, J.S. 1963. Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems. **Ecology** 44(2): 322-331.
- Paillat, J.M., Robin, P., Hassouna, M. and Leterme, P. 2005. Predicting ammonia and carbon dioxide emissions from carbon and nitrogen biodegradability during animal waste composting. **Atmospheric environment** 39(36): 6833-6842.
- Phoset, U. and Thitkun, C. 2022. Adjustable temperature in the pond to increase the production of cricket. Undergraduate dissertation (Mechanical Engineering), Mahasarakham University. (in Thai)
- Ritz, C.W., Fairchild, B.D. and Lacy, M.P. 2004. Implications of ammonia production and emissions from commercial poultry facilities: A review. **Journal of applied poultry research** 13(4): 684-692.
- Ruangsuriya, N. 2010. Business Management of Cricket Raising Farm in Si Somdet district, Roi Et Province. Master of Science (Agribusiness), Khon Kaen University. (in Thai)
- Rumpold, B.A. and Schluter, O.K. 2013. Potential and challenges of insects as an innovative source for food and feed production. **Innovative Food Science and Emerging Technologies** 17: 1-11.
- Sommer, S.G. and Olesen, J.E. 1991. Effects of dry matter content and temperature on ammonia loss from surface-applied cattle slurry.

- Journal of Environmental Quality** 20(3): 679-683.
- Ssepuya, G., Sengendo, F., Ndagire, C., Karungi, J., Fiaboe, K.K.M., Efrite, J. and Nakimbugwe, D. 2021. Effect of alternative rearing substrates and temperature on growth and development of the cricket *Modicogryllus conspersus* (Schaum). **Journal of Insects as Food and Feed** 7(2): 163-172.
- Treelokes, R. 2013. Effect of fertilizers application on growth and yield of some vegetable crops. **Prawarun Agriculture Journal** 10(1): 19-27.
- Vaga, M., Berggren, Å. and Jansson, A. 2021. Growth, survival and development of house crickets (*Acheta domesticus*) fed flowering plants. **Journal of insects as food and feed** 7(2): 151-161.
- Van Dijken, F.R., Van Sambeek, M.J.P.W., and Scharloo, W. 1977. Influence of anaesthesia by carbon dioxide and ether on locomotor activity in *Drosophila melanogaster*. **Experientia** 33: 1360-1361.
- Van Huis, A. 2020. Insects as food and feed, a new emerging agricultural sector: a review. **Journal of Insects as Food and Feed** 6(1): 27-44.
- Woodring, J. P. , Clifford, C. W. , Roe, R. M. and Beckman, B. R. 1978. Effects of CO₂ and anoxia on feeding, growth, metabolism, water balance, and blood composition in larval female house crickets, *Acheta domesticus*. **Journal of Insect Physiology** 24(6-7): 499-509.
- Yaemkong, S., Jaipong, P., Gothom, P., Sreela-or, C., Tharungsri, P., Mesangsin, P. and Bang-lam, N. 2022. The effect of different commercial diets on plant nutrient contents in feces of *Acheta domesticus* (Linnaeus) cricket. **Khon Kaen Agriculture Journal** 50(1): 650-655.
- Zahn, N.H. and Quilliam, R. 2017. The effects of insect frass created by *Hermetia illucens* on spring onion growth and soil fertility. Undergraduate dissertation (Environmental Science), University of Stirling.
- Zhu, Z., Li, L., Dong, H. and Wang, Y. 2020. Ammonia and greenhouse gas emissions of different types of livestock and poultry manure during storage. **Transactions of the ASABE** 63(6): 1723-1733.