

Research Article

การย่อยสลายมูลจิ้งหรีดต่อแก๊สแอมโมเนียและคาร์บอนไดออกไซด์ Cricket Frass Decomposition of Ammonia and Carbon Dioxide Emission

ศราวุธ แสนคำ นันทวัฒน์ บุตรวงศ์ และ โสภา แคนสี *

Sarawut Saenkham, Nuntawat Butwong and Sopa Cansee *

สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย 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.

* Corresponding author.

E-mail address: sopa.c@msu.ac.th**Cite this article as:**

Saenkham, 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 ซึ่งสามารถส่งผลกระทบต่อปริมาณและคุณภาพของการเลี้ยงจิ้งหรีดได้ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยอุณหภูมิ (28 35 และ 40 °C) ความชื้น (20 25 และ 30% w.b.) และมูลจิ้งหรีด (4.17 8.68 และ 12.86 kg/m²) ที่มีผลต่อการย่อยสลาย แอมโมเนีย (NH₃) และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) วางแผนการทดลองแฟกทอเรียลบางส่วน จำนวน 15 เงื่อนไข เงื่อนไขละ 3 ซ้ำ ทดสอบในกล่องตัวอย่างควบคุมอุณหภูมิได้ ความกว้าง ความยาว และความสูงเป็น 0.40 0.60 และ 0.37 m ตามลำดับ การเตรียมมูลจิ้งหรีดใหม่หลังเก็บเกี่ยวผลผลิตแล้วทำความสะอาด ความชื้นและปรับระดับความชื้นตามต้องการ วิธีการทดสอบการย่อยสลาย สุ่มตัวอย่างมูลจิ้งหรีดตามความชื้นที่กำหนดบรรจุภาชนะอลูมิเนียมตัวอย่างละ 15 กรัม ใส่ในกล่องตัวอย่างควบคุมอุณหภูมิจำนวน 15 เงื่อนไข กล่องละ 18 ตัวอย่าง และนำออกมาเพื่อหาน้ำหนักแห้ง (ไม่ใส่ดิน) ทุกสัปดาห์ เป็นเวลานาน 6 สัปดาห์ ส่วน NH₃ และ CO₂ นำตัวอย่างมูลจิ้งหรีดที่มีความชื้นและปริมาณตามกำหนด บรรจุในกล่องตัวอย่าง วัดปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้นทุก ๆ วัน เป็นเวลานาน 42 วัน ค่าอัตราการย่อยสลาย NH₃ และ CO₂ วิเคราะห์สถิติ และความสัมพันธ์กับปัจจัยทดสอบ ผลการวิจัยพบว่า NH₃ พบได้ที่ตำแหน่งพื้นล่างของบ่อ แต่ CO₂ จะพบที่ทุกตำแหน่งในบ่อทดลอง การย่อยสลายของกลุ่มระดับปัจจัยสูงมีมากกว่าระดับปานกลาง และกลุ่มระดับต่ำ ระยะเวลาการทดสอบจำนวน 6 สัปดาห์ มวลของมูลจิ้งหรีดลดลงประมาณ 10% เปรียบเทียบกับมวลเริ่มต้น NH₃ และ CO₂ ที่เกิดขึ้นนั้นตลอด 42 วัน พบว่า พฤติกรรมในการเกิด NH₃ จะเกิดขึ้นในปริมาณสูงอย่างรวดเร็วในช่วง 2-7 วัน มีค่าสูงสุด 90-63 ppm หลังจากนั้นจึงมีปริมาณค่อย ๆ ลดลงจนสิ้นสุดการทดลอง ส่วน CO₂ จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 1-3 วัน มีค่าสูงสุดในช่วง 1050-960 ppm หลังจากนั้นจะลดลงอย่างรวดเร็ว และมีค่าใกล้เคียงกับปริมาณอากาศ ดังนั้นที่ระดับปัจจัยต่ำ การย่อยสลายต่ำจะทำให้ NH₃ และ CO₂ มีค่าน้อยจึงเหมาะสมกับสภาพการเลี้ยงจิ้งหรีด

คำสำคัญ: มูลจิ้งหรีด, อัตราการย่อยสลาย, แอมโมเนีย, แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

1. บทนำ

จิ้งหรีดเป็นแหล่งอาหารทางเลือกใหม่ มีคุณค่าทางโภชนาสูง มีโปรตีนสูงถึง 12.9% ใกล้เคียงกับโปรตีนในไก่ไข่ 12.7% (Halloran *et al.*, 2017) อีกทั้งจิ้งหรีดมีวงจรชีวิตสั้น เลี้ยงง่าย โตเร็ว เหมาะเป็นแหล่งอาหารทดแทนได้ (Rumpold and Schluter, 2013; Van Huis, 2020; Magara *et al.*, 2021) เกษตรกรของประเทศไทยทำฟาร์มจิ้งหรีดกว่า 20,000 ฟาร์ม กระจายอยู่ 26 จังหวัด ในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคเหนือ และภาคตะวันออก มีกำลังการผลิตสูงถึง 7,500 ตันต่อปี (Hanboonsong *et al.*, 2013) เกษตรกรนิยมเลี้ยงจิ้งหรีดในบ่ออียิปต์ขนาด 2.88 m² ด้วยอาหารสำเร็จรูปและอาหารเสริมจากพืชผักในท้องถิ่นหลากหลายชนิด (Vaga *et al.*, 2021) พืชผักความชื้นสูงจะทำให้เป็นกากอาหาร (Ssepuyaya *et al.*, 2021) และเป็นของเสียรวมทั้งซากจิ้งหรีด และมูลจิ้งหรีดสะสมภายในบ่อเลี้ยง การย่อยสลายของเสียนั้นอาจทำให้เกิดแก๊สพิษมากจึงเป็นสาเหตุทำให้จิ้งหรีดตาย (Nischalke *et al.*, 2020) หรืออ่อนแอ การกินอาหารลดลง ผลผลิตลดลง (Alarefee *et al.*, 2023) ทำให้ผลผลิตที่ได้มีความแปรปรวน (Ruangsuriya, 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) มูลจิ้งหรีดเป็นอินทรีย์วัตถุที่จุลินทรีย์ย่อยสลาย เปลี่ยนเป็นแก๊สแอมโมเนีย (NH₃) และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) (Ritz *et al.*, 2004; Brahushi *et al.*, 2013) เมื่ออุณหภูมิและความชื้นเหมาะสมเกิดเป็นแก๊สพิษ (Kristensen and Wathes, 2000) การศึกษาวิจัยการย่อยสลายมูลของแมลงที่ปรากฏส่วนใหญ่มุ่งประโยชน์ปรับปรุงดินเพื่อการเจริญเติบโตของพืช (Frost and Hunter, 2004; Kagata and Ohgushi, 2012; Kagata and Ohgushi, 2013; Zahn and Quilliam, 2017) และศึกษาการปลดปล่อย NH₃ และ CO₂ พบได้ในฟาร์มปศุสัตว์ (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 ต่อชีววิทยาของแมลงทำให้ขาดออกซิเจน เพิ่มอัตราการเสียชีวิตได้ (Birkenmeyer and Dame, 1970) ลดการผสมพันธุ์ลง (Green *et al.*, 1967) ชะลอการเติบโต (Edwards and Patton, 1965) ลดน้ำหนักไข่ เปลี่ยนแปลงพฤติกรรม (Van Dijken *et al.*, 1977) จึงส่งผลกระทบต่อสุขภาพ และผลผลิตลดลง Woodring *et al.* (1978) รายงานผลกระทบของ CO₂ และภาวะการขาดออกซิเจนต่อการกินอาหาร การเจริญเติบโตการเผาผลาญ ความสมดุลของน้ำ และองค์ประกอบเลือดของตัวอ่อนจิ้งหรีด *Acheta domesticus* การกินอาหารโดยรวมลดลง

ประสิทธิภาพของการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวลดลง ค่า pH ในเลือดลดลง และการได้รับไนโตรเจนทำให้หายใจไม่ออกเกิดภาวะขาดออกซิเจนทันที

การทบทวนงานวิจัยดังกล่าวข้างต้นพบว่า มูลจิ้งหรีดเป็นอินทรีย์วัตถุที่มีธาตุ N P และ K สูง สามารถย่อยสลายเป็น NH_3 และ CO_2 ส่งผลต่อผลผลิตของจิ้งหรีดได้ แต่ยังไม่พบการศึกษาปัจจัยการย่อยสลายมูลจิ้งหรีดและการเกิดแก๊สในขอบเขตของการเลี้ยงจิ้งหรีดของเกษตรกร งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการย่อยสลายมูลจิ้งหรีด การเกิด NH_3 และ CO_2 ในบ่อเลี้ยงจิ้งหรีด และความสัมพันธ์ของการย่อยสลายต่อการเกิดแก๊สทั้งสอง

2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 วัสดุ อุปกรณ์การศึกษา

กล่องตัวอย่างพลาสติกขนาดความกว้าง ความยาวและความสูงเป็น 0.40, 0.60, และ 0.37 m ตามลำดับ เป็นขนาดย่อยส่วนจากบ่อเลี้ยงโดยทั่วไป 1 ต่อ 10 ติดตั้งเครื่องมือวัดและควบคุมอุณหภูมิด้วยหลอดไฟ ขนาด 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

เครื่องมือวัดแก๊สแอมโมเนียในบรรยากาศ Smart sensor model AR8500 ซึ่งมีระดับการวัดได้ที่ 0.0-99.9 ppm ซึ่งมีความแม่นยำ $\pm 2\%$ และเครื่องมือวัดคาร์บอนไดออกไซด์ EXTECH CO260 gas meter มีระดับ

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

2.2 การเตรียมตัวอย่าง

การเตรียมตัวอย่างมูลจิ้งหรีดเพื่อทดสอบการย่อยสลาย การเกิด NH_3 และ CO_2 ด้วยน้ำหนักของเสียจากบ่อจิ้งหรีดของเกษตรกรบ้านฮ้องฮี อำเภอยางตลาด จังหวัดกาฬสินธุ์ ที่เพิ่งเก็บผลผลิต ทำความสะอาดด้วยการร่อนเศษพืช และซากของจิ้งหรีดออก แล้วสุมตัวอย่างเพื่อหาความชื้นด้วยการอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง และคำนวณหาความชื้น (Kiriratnikom *et al.*, 2016) ตามสมการที่ (1) และความชื้นที่ได้เป็นค่าเริ่มต้น และทำการผสมเติมน้ำเข้าไปเพื่อให้ได้ความชื้นตัวอย่างของปัจจัยตามต้องการ

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

โดยที่

M_w	=	ความชื้นมาตรฐานเปียก (%w.b.)
w	=	น้ำหนักวัสดุเริ่มต้น (g)
d	=	น้ำหนักวัสดุแห้ง (g)

2.3 การกำหนดปัจจัยและระดับของปัจจัย

จากการสำรวจข้อมูลฟาร์มเลี้ยงจิ้งหรีดพบผลผลิตที่ได้มีความแปรปรวนขึ้นกับฤดูกาลหรือสภาพอากาศและกรมอุตุนิยมวิทยาสถานี จังหวัดมหาสารคาม 2566 พบว่าอุณหภูมิมีค่าระหว่าง 22 ถึง 40 °C แต่การทดลองนี้อยู่ในช่วงเดือน พฤศจิกายน-ธันวาคม จึงกำหนดอุณหภูมิต่ำสุดตามสภาพแวดล้อมมีค่าประมาณ 28 °C ปัจจัยความชื้นของมูลจิ้งหรีดได้สุมตัวอย่างจากหลายฟาร์มของเกษตรกรที่มีการเลี้ยงจิ้งหรีดแตกต่างกันทำให้ทราบความชื้นของมูลจิ้งหรีดต่ำ 20 %w.b. ที่เลี้ยงจิ้งหรีดด้วยอาหารสำเร็จรูป และความชื้นสูง 30 %w.b. จากฟาร์มที่เลี้ยงจิ้งหรีดด้วยอาหารสำเร็จรูปและเสริมด้วยพืชผัก และมีการตายหรือซากของจิ้งหรีดสูงด้วย ขณะที่ปัจจัยของเสียในบ่อเลี้ยงแบบยิปซัมบอร์ดมีจำนวน 12-36 kg ขึ้นกับจำนวนผลผลิตและอาหารที่ใช้เลี้ยงจิ้งหรีด ทั้งนี้เมื่อคำนวณต่อพื้นที่จะได้ 4.17-12.86 kg/m² ดังนั้นจากปัจจัยช่วงอุณหภูมิ ความชื้น และมูลจิ้งหรีด จึงกำหนดระดับของปัจจัยตำแหน่งกลางเพิ่มอีกหนึ่งค่าระดับทำให้ปัจจัยของอุณหภูมิ (28 35 และ 40 °C) ความชื้น (20 25 และ 30%w.b.) และมูลจิ้งหรีด (4.17, 8.68 และ 12.86 kg/m²) และเรียกกระดุมของบ่อเลี้ยงและบนของปัจจัยว่า ต่ำ กลาง

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 เงื่อนไขเงื่อนไขละ 3 ซ้ำ รายละเอียดดังแสดงใน Table 1 ซึ่งจัดกลุ่มของปัจจัยดังกล่าวแบ่งเป็น กลุ่มปัจจัยต่ำ (Low level factor group) ได้แก่ ทรีตเมนต์ที่ 1 4 6 และ 11 กลุ่มปัจจัยสูง (High level factor group) ได้แก่ ทรีตเมนต์ที่ 5 10 12 และ 15 และทรีตเมนต์ที่เหลือเป็นกลุ่มปัจจัยระดับกลาง (Moderate level factor group)

2.4. การศึกษาการย่อยสลายของมูลจิ้งหรีด

นำมูลจิ้งหรีดเตรียมไว้ปรับความชื้นตามต้องการใส่ภาชนะอูลูมิเนียมอย่างละ 15 กรัม บรรจุในกล่องพลาสติก กล่องละ 18 ตัวอย่าง ตามเงื่อนไข (15 เงื่อนไข) เป็นจำนวน 270 ตัวอย่าง ปิดฝากล่องพลาสติกและควบคุมอุณหภูมิ นำตัวอย่างมูลจิ้งหรีดในภาชนะอูลูมิเนียมของแต่ละเงื่อนไขหาน้ำหนักแห้งที่เปลี่ยนไป จำนวน 3 ตัวอย่าง ทุกสัปดาห์โดยไม่ใส่กลับคืน ทดสอบซ้ำเป็นเวลานาน 6 สัปดาห์ นำข้อมูลเพื่อไปประเมินอัตราการย่อยสลายคำนวณอัตราการย่อยสลาย จากสมการ Exponential decay model ด้วยวิธีของ (Olson, 1963) ดังสมการที่ 2

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

โดยที่

k	=	ค่าคงที่อัตราการย่อยสลาย
X_t	=	น้ำหนักแห้ง (g) เมื่อเวลา t
X_0	=	น้ำหนักแห้งเริ่มต้น (g)
t	=	ช่วงเวลาการศึกษา (week)

2.5 การศึกษาปริมาณ NH_3 และ CO_2

นำมูลจิ้งหรีดเตรียมไว้ปรับความชื้นตามต้องการแล้วบรรจุใส่กล่องพลาสติกจำนวนกล่องละ 1.0 2.1 และ 3.1 kg สอดคล้องกับขอบเขตมูลจิ้งหรีด 4.17 8.68 12.86 kg/m² ตามลำดับ ปิดฝาและควบคุมอุณหภูมิตามต้องการของแต่ละเงื่อนไข ก่อนวัดแก๊สจะเปิดฝาด้วยอย่างทดลองไว้ประมาณ 10 นาที เพื่อให้แก๊สกระจายตัวและมีค่าลดต่ำลง สอดคล้องกับบ่อเลี้ยงจิ้งหรีดที่มีสภาพเปิดอากาศถ่ายเทได้สะดวก ปริมาณแก๊สในบ่อทดลองขึ้นกับตำแหน่งและเวลาของการวัด จึงได้ทดสอบเบื้องต้นก่อนจำนวน 7 วัน ของเงื่อนไข (No.1, No. 8, No.15) เลือกวัดแก๊สวันละครั้งที่เวลาประมาณ 14.00 น. เนื่องจากเป็นช่วงที่มีอุณหภูมิสูงสุดของแต่ละวัน พบว่า NH_3 วัดได้สูงสุดตำแหน่งพื้นล่างของบ่อ แต่ CO_2 จะพบทั่วทุกตำแหน่งในบ่อทดลองจึงเลือกวัดแก๊สในตำแหน่งนั้น ๆ การศึกษา NH_3 และ CO_2 ทดสอบนาน 42 วัน เพื่อให้สอดคล้องกับวงจรการเลี้ยงจิ้งหรีดของเกษตรกรเช่นเดียวกับการย่อยสลาย

2.6 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

ปัจจัยของอุณหภูมิ 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 และปฏิสัมพันธ์ระหว่างค่าชี้ผลนี้ด้วย

3. ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

3.1 การย่อยสลาย การเกิด NH_3 และ CO_2

Table 2 อัตราการคงอยู่ของมวล NH_3 และ CO_2 ปัจจัยหลักอุณหภูมิ ความชื้น และมูลจิ้งหรีด และปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย โดยใช้ข้อมูลจำนวนหนึ่งสัปดาห์มาวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยเนื่องจากค่าชี้ผลนี้จะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปในแต่ละช่วงเวลา ดังนั้นจึงเลือกเฉพาะสัปดาห์แรกเนื่องจากมีอัตราสูงสุด จะเห็นได้ว่าค่าชี้ผลมีนัยสำคัญทางสถิติกับทุกปัจจัยหลัก แต่จะมีค่าชี้ผลของค่าคงอยู่ของมูลจิ้งหรีดและ NH_3 ที่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติต่อปฏิสัมพันธ์ของความชื้นและมูลจิ้งหรีด ซึ่งให้เห็นอย่างชัดเจนว่าปัจจัยและระดับปัจจัยที่ศึกษานี้มีนัยสำคัญต่อการย่อยสลาย NH_3 และ CO_2

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

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

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

การย่อยสลายมูลจิ้งหรีดจะเปลี่ยนแปลง Figure 2 พบว่ามูลจิ้งหรีดที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละสัปดาห์มีความแตกต่างกันทางสถิติตามระดับของปัจจัย ซึ่งหมายถึงกลุ่มระดับของปัจจัยสูงจะมีค่ามวลที่ลดลง (0.88-1.24 g) มากกว่ากลุ่มของปัจจัยระดับปานกลางและกลุ่มปัจจัยระดับต่ำ สอดคล้องกับการคงอยู่ของมูลจิ้งหรีดเปรียบเทียบกับมวลแห้งเริ่มต้นแสดงใน Figure 3 พบว่าการย่อยสลายเกิดขึ้นสูงในสัปดาห์แรก หลังจากนั้นที่กลุ่มระดับปัจจัยสูงจะลดลงต่อเนื่องจนถึงสัปดาห์ที่ 6 มีค่ามวลคงเหลือ 90%

เปรียบเทียบกับระดับกลุ่มปัจจัยปานกลางและกลุ่มระดับปัจจัยต่ำมีค่ามวลคงเหลือ 94 และ 96 % ตามลำดับ Kagata and Ohgushi (2012) ศึกษาคุณภาพการย่อยของมูลแมลง (*M. brassicae larvae*) ผสมกับดินเป็นเวลา 5 สัปดาห์พบว่าอัตราการย่อยสลายเป็น 35-40% ของมวลเริ่มต้น ซึ่งชี้ให้เห็นว่าสภาพแวดล้อมแตกต่างกัน การผสมในดินจะมีอัตราการย่อยสลายที่รวดเร็วมากเนื่องจากความสามารถและความหลากหลายของจุลินทรีย์ในดินมีมากนั่นเอง

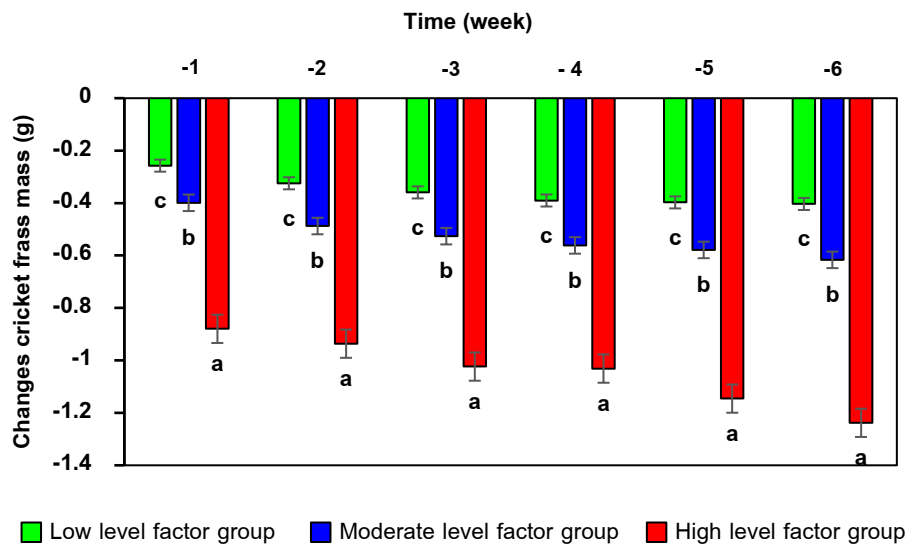


Figure 2 Amount of cricket frass mass changing 6 weeks

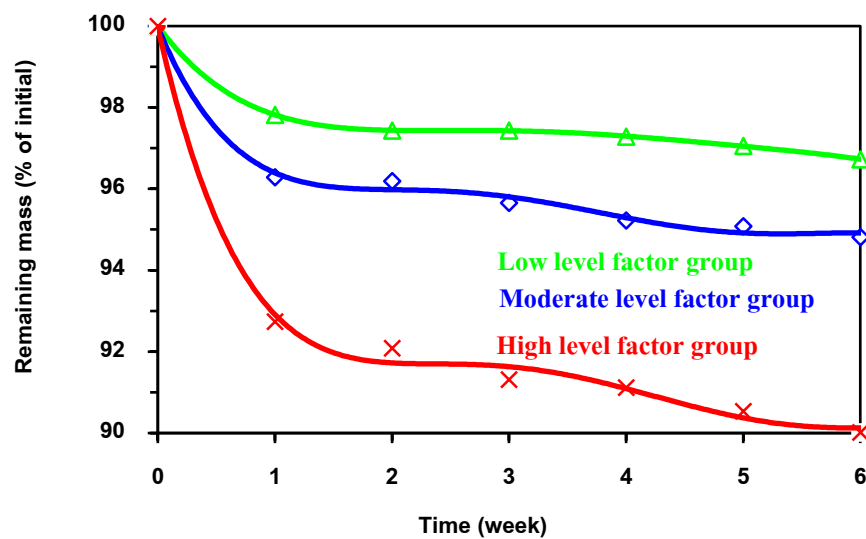


Figure 3 Remaining cricket frass compared with initial mass at various group level factors

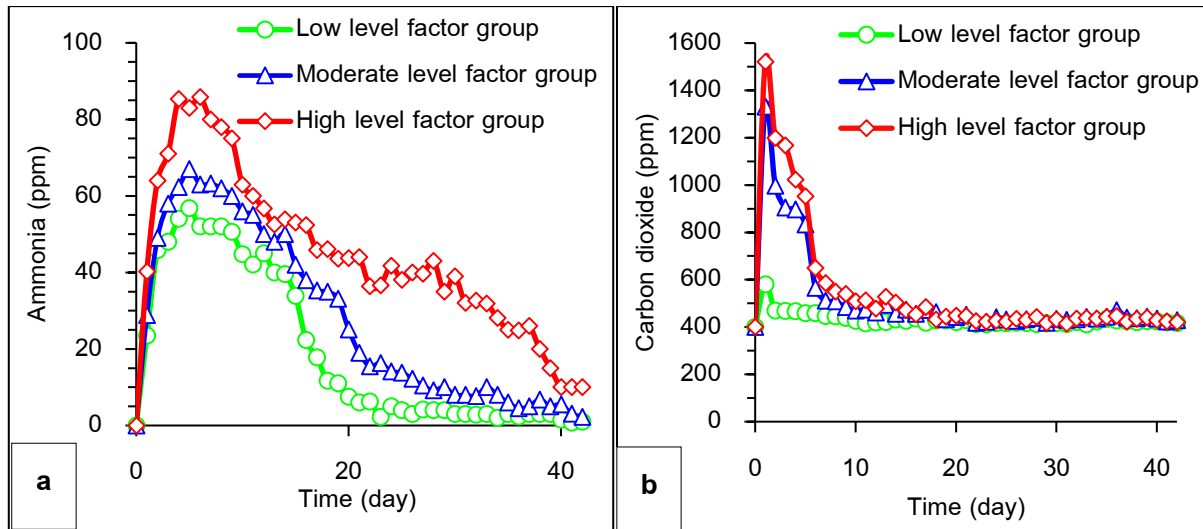


Figure 4 Behavior of NH_3 and CO_2 generation over 42 days (a) NH_3 (b) CO_2

3.2 การเกิด NH_3 และ CO_2

Figure 4a และ Figure 4b เป็นพฤติกรรมการณ์เกิด NH_3 และ CO_2 ตามลำดับ พฤติกรรมของแก๊สทั้งสองจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและค่อย ๆ ลดลงอย่างต่อเนื่องตลอด 42 วัน อาหารจิ้งหรีดมีปริมาณโปรตีนสูง มูลจิ้งหรีดขับออกรูปกรดยูริก ยูเรียและมีปริมาณไนโตรเจนมาก ตามรายงานของ Yaemkong *et al.* (2022); Halloran *et al.* (2017); Treelokes (2013) มูลจิ้งหรีดได้รับอุณหภูมิ ความชื้น ทำให้เกิดการไฮโดรไลซิสของยูเรียและกรดยูริกเพื่อสร้าง NH_3 ระเหยสู่บรรยากาศเกิดอย่างรวดเร็วในช่วงวันที่ 2-7 มีค่าในช่วง 60-90 ppm สอดคล้องกับการรายงานของ Olesen and Sommer (1993) NH_3 เกิดขึ้นจากการทำงานของแบคทีเรียบนพื้นฐานของสารไนโตรเจนอินทรีย์เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วซึ่งอยู่ในรอบเวลาตั้งแต่ชั่วโมงถึงสองสามวันสามารถคิดเป็นสัดส่วนได้ถึง 35% ของกระบวนการทั้งหมด การเกิด CO_2 (Figure 4b) จะมีปริมาณสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงสั้น ๆ 1-3 วัน หลังจากนั้นก็จะลดลงอย่างรวดเร็ว

เช่นกัน แสดงให้เห็นว่าแก๊สนี้จะมีน้ำหนักใกล้เคียงกับอากาศเพราะเป็นแก๊สของส่วนผสมของอากาศปกติ 400-500 ppm ซึ่งสังเกตจากการวัดที่ตำแหน่งทดสอบจะพบได้ทั่วไปไปทั่วทั้งบ่อทดลอง ปริมาณ CO_2 มากมีค่าระหว่าง 900-1500 ppm และลดลงอย่างรวดเร็ว ดังนั้นจึงทำให้เกิดการสลายรวมกันไปในสภาพอากาศปกติได้ง่าย

NH_3 และ CO_2 ที่เกิดขึ้นรายสัปดาห์ (Figure 5) พบว่า NH_3 เกิดขึ้นต่อเนื่องตลอดเวลาทดสอบ มีปริมาณมากในช่วงสัปดาห์แรก กลุ่มของระดับปัจจัยสูง กลางและต่ำ มีค่า 66 50 และ 44 ppm ตามลำดับ และ ตลอดสัปดาห์ 1-6 NH_3 มีค่าระหว่าง เป็น 66-24, 50-6 และ 44-4 ppm ตามลำดับ ส่วนปริมาณ CO_2 (Figure 5b) มีค่ามากในสัปดาห์แรกระหว่าง 1000 811 และ 475 ppm ของกลุ่มระดับปัจจัยสูง กลางและต่ำ ตามลำดับ และหลังจากนั้น CO_2 มีค่าไม่แตกต่างกัน ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่ากระบวนการเกิด CO_2 จากมูลจิ้งหรีดได้สิ้นสุด ปริมาณที่ตรวจพบมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ตรวจพบในอากาศ

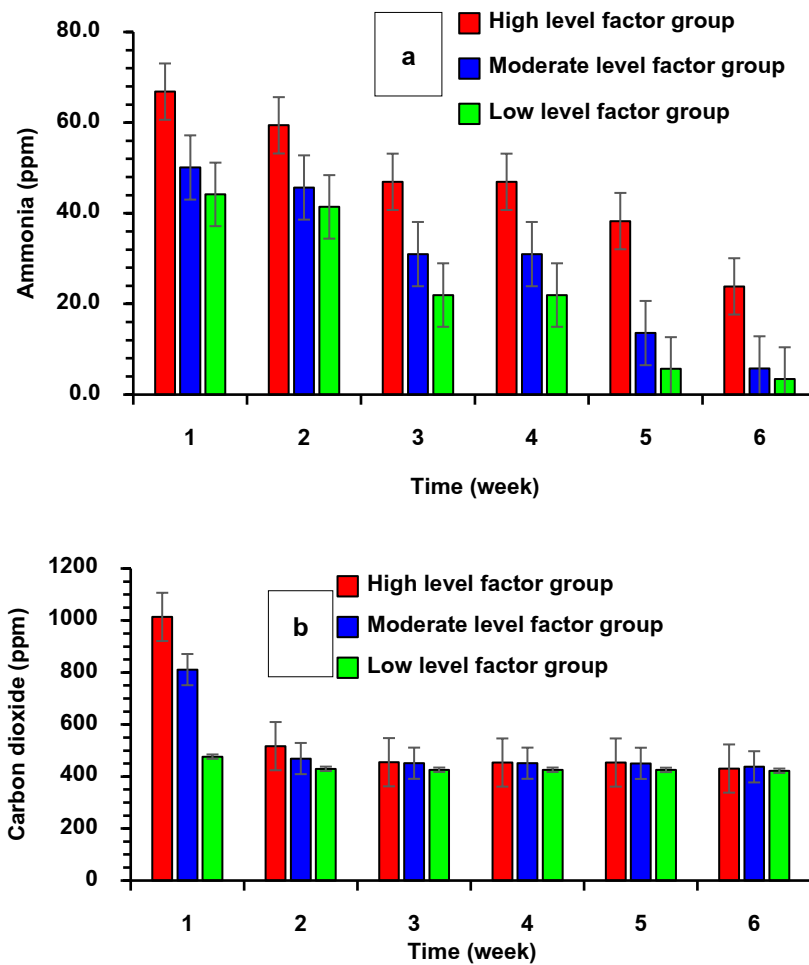


Figure 5 NH₃ and CO₂ gas generation at the time as various group treatment factors (a) NH₃ (b) CO₂

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 ขณะที่ NH₃ และ CO₂ มีค่าเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิสูงขึ้นในอัตราที่ใกล้เคียงกัน และมีค่าแตกต่างกันทางสถิติตลอดช่วงอุณหภูมิทดสอบระหว่าง 28-40 °C ปัจจัยความชื้นระหว่าง 20-30%w.b. ค่า k มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติในระดับความชื้นต่ำถึงปานกลาง แต่มีค่าเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญของระดับความชื้นสูงมีค่า 0.093 ขณะที่ NH₃ และ CO₂ มีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญตลอดช่วงความชื้นที่ทดสอบ แสดงให้เห็นว่ากระบวนการย่อยสลายยังไม่ตอบสนองกับความชื้นในระดับต่ำถึงปานกลาง แต่ความชื้นทำให้เกิด

แก๊สเพิ่มขึ้นต่อเนื่อง โดยเฉพาะ NH₃ มีอัตราการเพิ่มอย่างรวดเร็วกว่า CO₂ ซึ่งความชื้นของ NH₃ มีค่า 7.80 และ CO₂ มีความชื้น 6.44 และพิจารณาปัจจัยของปริมาณมูลจิ้งหรีดต่อ ค่า k NH₃ และ CO₂ เพิ่มขึ้นในอัตราใกล้เคียงกัน แต่เมื่อมูลจิ้งหรีดมีปริมาณปานกลางถึงระดับสูง ค่า k เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และ CO₂ มีอัตราเพิ่มสูงขึ้นมากกว่า NH₃ อย่างเห็นได้ชัด นอกเหนือจากปัจจัยดังกล่าว การรายงานของ Bernal *et al.* (2009); Chen *et al.* (2020); Alarefee *et al.* (2023) เกี่ยวกับการเกิด NH₃ ขึ้นกับความเข้มข้นของปริมาณไนโตรเจน pH อุณหภูมิ ความเร็วลม กิจกรรมของจุลินทรีย์ พื้นที่ปล่อยก๊าซขนาดใหญ่ พื้นที่และความเร็วลมที่สูง อาจเพิ่มการระเหยของ NH₃ Sommer and Olesen (1991) แสดงให้เห็นว่า NH₃ เพิ่มขึ้นแบบไม่เชิงเส้นกับอุณหภูมิ ความเร็วลม และ pH ของสารละลาย แต่จะเพิ่มขึ้นเชิงเส้นตรงกับความเข้มข้นของปริมาณไนโตรเจนรวม

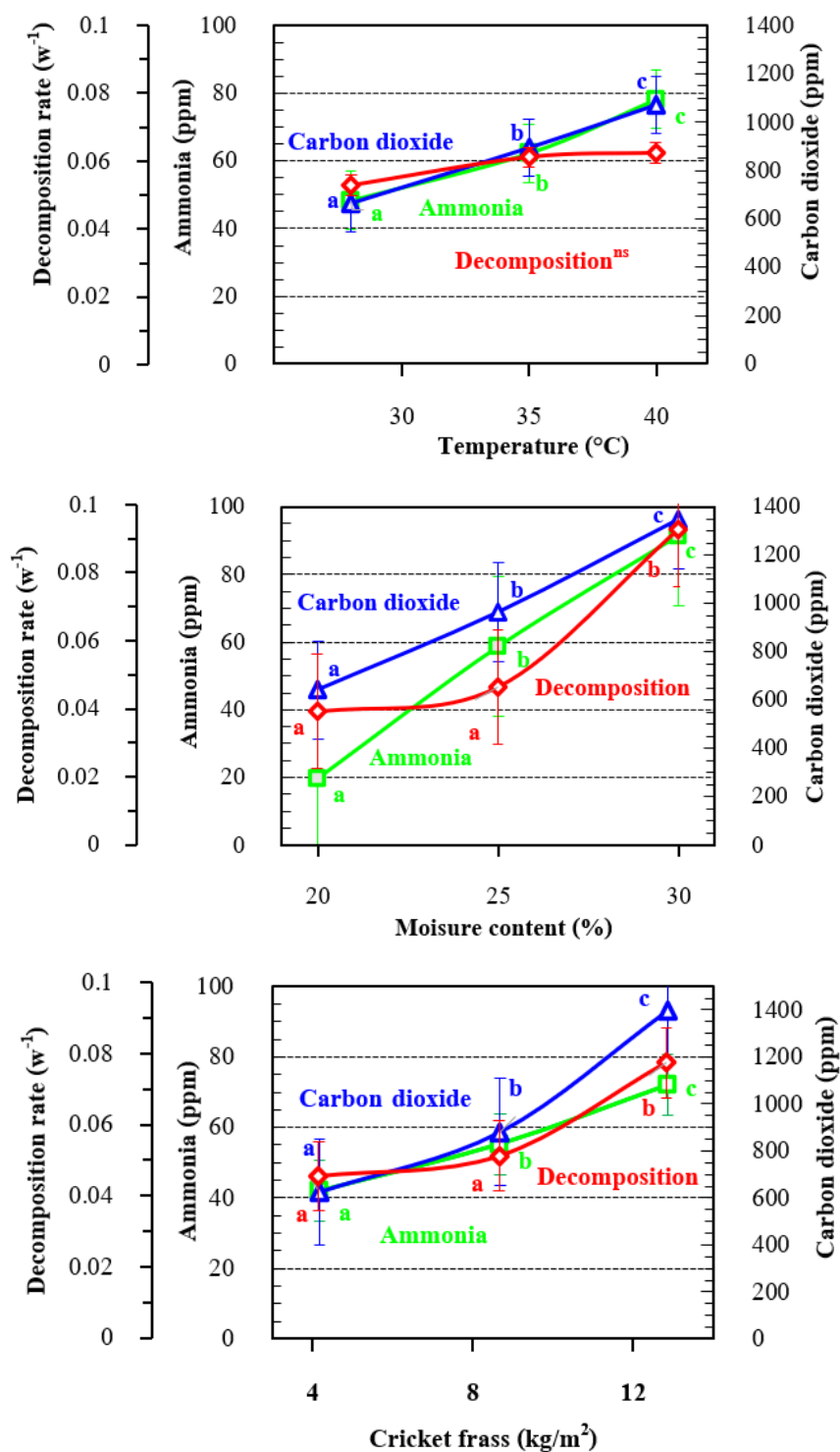


Figure 6 Interaction between decomposition and NH_3 , CO_2 related with factors; (a) Temperature, (b) Moisture content, and (c) Cricket frass

4. สรุป

ปัจจัยอุณหภูมิ ความชื้นและมูลจิ้งหรีดต่อการย่อยสลาย การเกิด NH_3 และ CO_2 สามารถสรุปผลได้ดังนี้ การย่อยสลายของกลุ่มระดับปัจจัยสูงมีมากกว่าระดับปานกลาง และกลุ่มระดับต่ำ โดยตลอดระยะเวลาการทดสอบจำนวน 6 สัปดาห์ มวลของมูลจิ้งหรีดลดลงประมาณ 10% เปรียบเทียบกับมวลเริ่มต้น การย่อยสลายมีนัยสำคัญทางสถิติกับปัจจัยการศึกษาคืออุณหภูมิ 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 และมีค่าใกล้เคียงกับปริมาณนอากาศ

ค่าปฏิสัมพันธ์ของ k NH_3 และ CO_2 ต่ออุณหภูมิ ความชื้น และมูลจิ้งหรีด เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นค่า k เปลี่ยนแปลงเล็กน้อย แต่ NH_3 และ CO_2 มีค่าเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิสูงขึ้นในอัตราที่ใกล้เคียงกัน และมีค่าแตกต่างกันทางสถิติตลอดช่วงอุณหภูมิทดสอบระหว่าง 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 เพิ่มขึ้นในอัตราที่ใกล้เคียงกัน เมื่อมูลจิ้งหรีดมีจำนวนมาก

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ ศูนย์เรียนรู้เศรษฐกิจพอเพียง บ้านดอนมัน ตำบลขามเรียง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม และคณะวิศวกรรมศาสตรมหาวิทยาลัยมหาสารคาม 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., Albuquerque, 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 (IJEES)** 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 matiere 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., Ratompoarison, 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.
- Ssepuuya, G., Sengendo, F., Ndagire, C., Karungi, J., Fiaboe, K. K. M., Efitre, 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.