

การศึกษาระยะของช่องว่างในถังหมักที่ส่งผลต่อปริมาณธาตุอาหารพืช

Study of the Distance of Head Space in Fermented Tank Affect to Plant Nutrients

นันทวัน หัตถมาต^{1*} ลัดดาวัลย์ จำปา² และนัฐพงษ์ ทองปาน³
Nanthawan Hadthamard^{1*}, Laddawan Champa² and Natthapong Thongpan³

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาระยะของช่องว่างเหนือวัสดุหมักที่มีผลต่อคุณภาพและปริมาณธาตุอาหารหลักของน้ำหมักชีวภาพ วัสดุหมักเศษอาหารปริมาณ 5 ลิตร ถูกหมักในถังพลาสติกขนาดแตกต่างกัน เพื่อให้เกิดความแตกต่างของระยะช่องว่างในถังหมัก หมักนาน 14 วัน วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ จำนวน 5 ชุดการทดลอง ได้แก่ น้ำหมักจากเศษมะระจีนที่ไม่เหลือช่องว่าง (ชุดควบคุม: HS-C) น้ำหมักจากเศษอาหารที่ไม่เหลือช่องว่าง (HS0) น้ำหมักจากเศษอาหารที่เหลือช่องว่างร้อยละ 25 (HS25) ร้อยละ 50 (HS50) และร้อยละ 75 (HS75) ตามลำดับ เมื่อครบเวลาหมักพบว่าน้ำหมักชีวภาพทุกชุดการทดลองมีสีน้ำตาล มีฟองก๊าซที่ผิวหน้าของน้ำหมักเล็กน้อย มีค่าการนำไฟฟ้าเท่ากับ 6.32-7.59 ซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เท่ากับ 1,412.24-1,772.50 ส่วนในล้านส่วน ค่าความเป็นกรด-ด่างในช่วง 4.25-5.14 มีจุลินทรีย์ที่ยังมีชีวิตจำนวน $14.90-20.60 \times 10^6$ โคโลนีต่อมิลลิลิตร ปริมาณฟอสฟอรัสมีค่าร้อยละ 0.05-0.06 ซึ่งทุกชุดการทดลองไม่แตกต่างกันในทางสถิติ น้ำหมักชีวภาพชุดควบคุม (HS-C) มีไนโตรเจนน้อยที่สุด (ร้อยละ 0.26) แต่มีโพแทสเซียมปานกลาง (ร้อยละ 0.74) น้ำหมักชีวภาพจากเศษอาหารที่เหลือช่องว่างน้อยกว่าร้อยละ 50 มีไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมน้อยที่สุด คือ ร้อยละ 0.30-0.31 0.05-0.06 และ 0.50-0.51 ตามลำดับ ส่วนการหมักเศษอาหารครึ่งถัง (HS50) จะมีไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมมากที่สุด คือ ร้อยละ 0.53 0.06 และ 1.12 ตามลำดับ และข้อมูลนี้สามารถใช้เป็นแนวทางปรับปรุงคุณภาพดินได้

คำสำคัญ: ช่องว่างในถังหมัก ธาตุอาหารพืช น้ำหมักชีวภาพ เศษอาหาร

¹ สาขาวิชาเทคโนโลยีสมัยใหม่เพื่อการจัดการพืช คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี

² สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี

³ สาขาวิชาเทคโนโลยีอัตโนมัติและหุ่นยนต์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี

* Corresponding author e-mail: nanthawan.aor04@kru.ac.th

DOI: <https://doi.org/10.65217/wichchajinstru.2025.v44i2.263638>

Received: 9 June 2024, Revised: 6 November 2024, Accepted: 25 November 2024

Abstract

The objectives of this research were to study the effect of headspace distance above fermented materials on the quality and main nutrient contents of bio-fermented water. Five liters of food scrap composting materials were fermented in plastic buckets of different sizes, creating variations in headspace distance within fermentation tanks. The experimental design was a completely randomized design (CRD) with five treatments: bitter melon-fermented in a full tank (control: HS-C), and food waste-fermented water in a full tank (HS0), 25% headspace (HS24), 50% headspace (HS50), and 75% headspace (HS75). The results showed that all treatment was brown. Slight gas bubbles were observed on the surface of the bio-fermented water. Electrical conductivity (EC) ranged from 6.32-7.59 S/cm; total dissolved solids (TDS) from 1,412.24-1,772.50 ppm; pH from 4.25-5.14; and total viable counts (TVC) from $14.90-20.60 \times 10^6$ cfu/mL. Phosphorus content ranged from 0.05-0.06%, with no significant differences among treatments ($p < 0.05$). Food waste-fermented water in tanks with less than 50% volume contained the lowest nitrogen (0.30-0.31%), phosphorus (0.05-0.06%), and potassium (0.50-0.51%). HS50 was the best headspace condition, with the highest nitrogen (0.53%), phosphorus (0.06%), and potassium (1.12%). and these data can serve as a guideline for improving soil quality.

Keywords: Head space in fermented tank, Plant nutrient, Bio-fermented water, Food waste

บทนำ

ขยะเศษอาหารเกิดจากอาหารเหลือทิ้งจากการบริโภคและอาหารที่หลุดออกจากห่วงโซ่การผลิต ตั้งแต่ผลผลิตจากขั้นตอนเกษตรกรรม ขนส่ง เก็บรักษา แปรรูป จนถึงการจัดจำหน่าย ทั้งในลักษณะผลผลิตสดและผลิตภัณฑ์อาหาร จากรายงานของกรมควบคุมมลพิษในปี พ.ศ. 2560 ประเทศไทยมีขยะอาหารมากถึงร้อยละ 64 ของปริมาณขยะมูลฝอยจำนวน 26.77 ล้านตัน ซึ่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และอาจนำมาสู่มลพิษทางสิ่งแวดล้อม (สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงาน นครพิงค์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2564)

ปัจจุบันการทำธุรกิจก๋วยเตี๋ยวไก่มะระบุฟเฟต์กำลังเป็นที่นิยม แต่ทุกวันร้านอาหารจะเหลือทิ้งเศษผักมะระจีน เส้นก๋วยเตี๋ยว และเศษกระดูกไก่ จำนวนมาก หากย่อยสลายแล้วจะได้ธาตุอาหารพืชหลายชนิด โดยเฉพาะมะระจีนเป็นผักที่มีสารประกอบฟีนอลหลายชนิด จึงมีการนำมะระจีนมาหมักเป็นสารไล่แมลง อีกทั้งมีโปรตีน วิตามินซี ฟอสฟอรัส และแคลเซียมสูง (เมตไทย, 2563) อย่างไรก็ตามวิธีการย่อยสลายเป็นหนึ่งในปัจจัยที่ควรพิจารณาให้เหมาะสมกับวัสดุหมัก การหมักแบบฝังกลบในสภาวะเปิดตามธรรมชาติ เสี่ยงต่อการเกิดกลิ่นเหม็น และเป็นแหล่งพาหะเชื้อโรคปนเปื้อนสู่ดินและแหล่งน้ำ นอกจากนี้ระหว่างหมักจะเกิดก๊าซมีเทนที่สร้างภาวะเรือนกระจก กลายเป็นปัญหา

สิ่งแวดล้อมตามมา ซึ่งการทำน้ำหมักเศษอาหารในถังหมักแบบปิดฝาสามารถแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้ วิธีนี้ง่าย สามารถทำได้ทุกครัวเรือน และมีสูตรหมักให้เลือกใช้มากมาย หลักการ คือ การนำวัสดุอินทรีย์มาใส่ร่วมกับสารให้ความหวาน ซึ่งในวัสดุอินทรีย์จะมีจุลินทรีย์หลายชนิดทำหน้าที่ย่อยสลายอินทรีย์วัตถุอยู่แล้วหรือจะเพิ่มจุลินทรีย์ลงไปก็ได้ จุลินทรีย์เหล่านั้นจะใช้สารให้ความหวานเป็นแหล่งคาร์บอนและแหล่งพลังงานสำหรับการเจริญเติบโตและการย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ ขณะนั้นน้ำหมักจะอยู่ในสภาวะไฮเพอร์โทนิค (hypertonic condition) ที่มีความเข้มข้นสูง น้ำในวัสดุหมักจะแพร่ออกมาพร้อมกับสารอินทรีย์ กระทั่งเซลล์และสลายไปเมื่อเข้าสู่สภาวะพลาสโมไลซิส (plasmolysis) (สมเกียรติ, 2555; Walker, 2018) ผลิตภัณฑ์ที่ได้ขึ้นอยู่กับวัสดุหมัก ระยะเวลาหมัก และชนิดของจุลินทรีย์ เช่น สารระเหยจากอนุพันธ์ของกรดไขมัน กรดแลคติก แอลกอฮอล์ กรดอะมิโน ธาตุอาหารพืช และฮอโมน เป็นต้น (Battista *et al.*, 2022)

งานวิจัยของวัฒนธรงค์ และคณะ (2560) เปรียบเทียบปริมาณธาตุอาหารในน้ำหมักที่หมักในถังหมักนาน 1 เดือน แต่ใช้เศษขยะต่างชนิดกัน ระหว่างเศษอาหาร ไล่ปลา หรือเศษผัก พบว่าน้ำหมักจากไล่ปลาปริมาณฟอสฟอรัสเพียง 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนไนโตรเจนและโพแทสเซียมมีปริมาณใกล้เคียงกับน้ำหมักจากเศษอาหารและเศษผัก คือ 0.20 และ 0.60 มิลลิกรัมต่อลิตร อย่างไรก็ตามเศษอาหารเป็นวัสดุหมักที่มีความหลากหลายของวัสดุอินทรีย์ ปริมาณธาตุอาหารในน้ำหมักชีวภาพจึงมีความแปรปรวนสูง หากเป็นเศษอาหารประเภทโปรตีนจะมีธาตุไนโตรเจนสูงกว่าเศษพืช และส่วนใหญ่เป็นขยะเปียกที่มีความชื้นสูงถึงร้อยละ 78.05 และมีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 4.20 แต่เศษผักจะเต็มไปด้วยน้ำ วิตามินและเกลือแร่ ความเป็นกรด-ด่างจึงค่อนข้างเป็นกลาง มีค่าประมาณ 6.20-6.45 (สุธีรา, 2553; Selvam *et al.*, 2021) ทั้งนี้การทำน้ำหมักชีวภาพนิยมเติมสารเร่งจุลินทรีย์เพื่อให้ย่อยสลายเร็วขึ้น ในสูตรน้ำหมักชีวภาพจากเศษผักและผลไม้ของกองเทคโนโลยีชีวภาพทางดินกรมพัฒนาที่ดิน (ม.ป.ป.) จะเติมสารเร่ง พด.2 ที่ประกอบด้วยกลุ่มจุลินทรีย์ที่ทำงานเกื้อกูลกัน เช่น แบคทีเรียผลิตกรดแลคติก แบคทีเรียย่อยสลายโปรตีนและไขมัน แบคทีเรียละลายอินทรีย์ฟอสฟอรัส แอคติโนมัยซิส ยีสต์ และรา

การย่อยสลายอินทรีย์วัตถุในน้ำหมักชีวภาพเป็นการทำงานร่วมกันของกลุ่มจุลินทรีย์ชนิดที่ต้องการออกซิเจนและไม่ต้องการออกซิเจน ซึ่งจุลินทรีย์แต่ละชนิดต้องการออกซิเจนในปริมาณที่เหมาะสมแตกต่างกัน หากจุลินทรีย์เจริญเติบโตได้ดี ย่อมส่งผลต่อคุณภาพของน้ำหมักชีวภาพ (ขวัญตา, 2567) ในงานวิจัยของ Zhang *et al.* (2023) รายงานว่าการผลิตน้ำหมักชีวภาพจากผักผลไม้แบบไม่เติมอากาศ จะมีปริมาณออกซิเจนจำกัด จุลินทรีย์ในถังหมักแบบไม่เติมอากาศจึงมีน้อยกว่าถังหมักแบบเติมอากาศ ดังนั้นในการหมักแบบปิด จึงมักติดตั้งระบบเติมอากาศหรือไบโอดักอากาศ เพื่อเติมออกซิเจนเข้าไปในถังระหว่างการหมัก หรือหากเป็นการหมักแบบให้อากาศน้อย (semi-aerobic fermentation) จะอาศัยช่องว่างในถังหมักและการเปิดถังหมักกวนเป็นระยะ เพื่อให้จุลินทรีย์ทุกกลุ่มสามารถเจริญเติบโตได้ วิธีนี้ใช้งบประมาณน้อยกว่าและไม่เกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์ต่อสภาพแวดล้อม แต่จะใช้เวลาในการแปรรูปสารอินทรีย์ให้กลายเป็นปุ๋ยช้ากว่าแบบเติมอากาศ (ไพฑูรย์, 2562)

จากงานวิจัยของ Laureys *et al.* (2018) รายงานว่า ปริมาณออกซิเจนที่เหมาะสมกับปริมาณวัสดุหมัก จะทำให้ได้น้ำหมักชีวภาพที่มีธาตุอาหารและปริมาณจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์สูงกว่าน้ำหมักที่ไม่เติมอากาศ แต่ด้วยข้อจำกัดของการกำจัดขยะครัวเรือนที่ต้องการวิธีที่ไม่ยุ่งยาก ง่าย สะดวก และค่าใช้จ่ายน้อย การหมักในถังพลาสติกปิดฝาและเปิดฝากวนระหว่างหมัก จึงเป็นวิธีที่นิยมกันมาก อย่างไรก็ตามในแต่ละวันร้านอาหารจะมีปริมาณเศษอาหารไม่เท่ากัน หากเก็บสะสมไว้นานเกินไปเพื่อรอนำเข้ากระบวนการหมัก จะทำให้เศษอาหารเน่าเสียไม่สามารถนำมาหมักได้ ดังนั้นการหมักแต่ละครั้งอาจไม่เท่ากัน และเหลือช่องว่างเหนือวัสดุหมักต่างกันด้วย ส่งผลโดยตรงต่อปริมาณออกซิเจนในถังหมัก ด้วยเหตุนี้คณะนักวิจัยจึงต้องการศึกษาระยะของช่องว่างเหนือวัสดุหมักที่มีผลต่อปริมาณธาตุอาหารหลักในน้ำหมักชีวภาพ โดยใช้เศษอาหารจากร้านก๋วยเตี๋ยวโก่มะระเป็นกรณีศึกษา และอ้างอิงสูตรการหมักผักของกองเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน กรมพัฒนาที่ดิน. (ม.ป.ป.) ที่ใช้ระยะเวลาการหมักสั้น ข้อมูลที่ได้รับนี้สามารถใช้เป็นแนวทางในการทำน้ำหมักชีวภาพจากเศษอาหารในครัวเรือนที่มีค่าใช้จ่ายน้อย ไม่ต้องติดตั้งระบบเติมอากาศ แต่ใช้วิธีการหมักเศษอาหารให้เหมาะสมกับระยะช่องว่างในถังหมัก นอกจากนี้แล้ว ยังทำให้ทราบระดับความเข้มข้นของธาตุอาหารเพื่อประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพดินให้เหมาะสมกับชนิดของพืชได้

วิธีดำเนินการวิจัย

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design: CRD) จำนวน 5 ชุดการทดลอง ๆ ละ 3 ซ้ำ ใช้เศษข้าวสุก เส้นก๋วยเตี๋ยวสุก เศษไก่สุก มะระจีนดิบ และมะระจีนที่เหลือจากในอาหารเป็นวัสดุหมัก รวบรวมจากร้านขายก๋วยเตี๋ยวโก่มะระ เพื่อนำมาหมักในถังหมักขนาดแตกต่างกัน 4 ขนาด ได้แก่ ถังพลาสติกที่มีฝาปิดปริมาตร 5.0 6.5 7.5 และ 9.0 ลิตร แต่ละถังคำนวณปริมาตรทั้งหมดจากกันถึงจนถึงขอบบนถัง แล้วแบ่งออกเป็น 4 ระยะ คือ ร้อยละ 25 50 75 และ 100 ของปริมาตรถัง

การหมักใช้สูตรน้ำหมักชีวภาพดัดแปลงจากสูตรน้ำหมักชีวภาพจากผักและผลไม้ของกองเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน กรมพัฒนาที่ดิน (ม.ป.ป.) หมักในที่ร่มนาน 14 วัน รายละเอียดดังนี้

1. การเตรียมชุดการทดลอง

การเตรียมน้ำหมักชีวภาพชุดควบคุม (HS-C) โดยล้างมะระจีนดิบด้วยน้ำสะอาด 1 ครั้ง นำผ่านกระชอนให้สะเด็ดน้ำนาน 10 นาที แล้วหั่นให้มีขนาดเล็กประมาณ 1 x 1 เซนติเมตร ชั่งน้ำหนักให้ได้ 3.5 กิโลกรัม ใส่ลงในถังพลาสติกขนาด 5 ลิตร จากนั้นเติมน้ำตาลปริมาตร 800 มิลลิลิตร สารเร่ง พด.2 น้ำหนัก 2.10 กรัม และน้ำจนครบ 5 ลิตร (เต็มถังหมัก) ใช้ไม้กวนส่วนผสมให้เข้ากันนาน 3 นาที ปิดฝาให้สนิท (ภาพที่ 1)

การเตรียมวัสดุหมักเศษอาหาร โดยนำเศษข้าวสุก เส้นก๋วยเตี๋ยวสุก เศษไก่สุก และเศษมะระจีน (ปนมากับเศษอาหาร) มาล้างด้วยน้ำสะอาด 1 ครั้ง นำผ่านกระชอนให้สะเด็ดน้ำนาน 10 นาที แล้วหั่นให้มีขนาดเล็กประมาณ 1 x 1 เซนติเมตร นำมาผสมรวมกัน และชั่งน้ำหนักรวมให้ได้ 14.0 กิโลกรัม ใส่ลงในถังพลาสติกขนาด 30 ลิตร จากนั้นเติมน้ำตาลปริมาตร 3.2 ลิตร สารเร่ง พด.2 น้ำหนัก 8.4 กรัม และเติมน้ำจนครบ 20 ลิตร ใช้ไม้กวนส่วนผสมให้เข้ากันนาน 3 นาที และนำไปแบ่ง

บรรจุในถังพลาสติกขนาดประมาณ 5.0 6.5 7.5 และ 9.0 ลิตร ถังละ 5.0 ลิตร ปิดฝาให้สนิท (ภาพที่ 1) จะได้ชุดการทดลองดังนี้

- 1) ชุดการทดลอง HS0 คือ น้ำหมักจากเศษอาหารที่หมักโดยไม่มีช่องว่างในถังหมัก
- 2) ชุดการทดลอง HS25 คือ น้ำหมักจากเศษอาหารที่หมักโดยมีช่องว่างในถังหมักร้อยละ 25 ของถังหมัก
- 3) ชุดการทดลอง HS50 คือ น้ำหมักจากเศษอาหารที่หมักโดยมีช่องว่างในถังหมักร้อยละ 50 ของถังหมัก
- 4) ชุดการทดลอง HS75 คือ และน้ำหมักจากเศษอาหารที่หมักโดยมีช่องว่างในถังหมักร้อยละ 75 ของถังหมัก

ถังหมักทุกชุดการทดลองนำไปหมักในที่ร่ม เปิดฝากลังหมักเพื่อคนทุกวัน ๆ ละ 10 วินาที จนครบ 14 วัน และระวังไม่ให้แมลงวันวางไข่ในถังหมัก



ภาพที่ 1 ลักษณะการหมักเศษวัสดุปริมาณ 5.0 ลิตรต่อถัง ชุดควบคุม HS-C (ก) ชุดการทดลอง HS0 (ข) HS25 (ค) HS50 (ง) และ HS75 (จ)

2. การเก็บข้อมูล

สุ่มเก็บน้ำหมักชีวภาพแต่ละชุดการทดลองมากรองให้ได้ปริมาตร 1 ลิตร แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ๆ ละ 500 มิลลิลิตร ส่วนหนึ่งส่งไปยังห้องปฏิบัติการที่ได้รับการรับรองมาตรฐาน ISO 17025 เพื่อตรวจวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนด้วยวิธี Total Kjeldahl Nitrogen อ้างอิงตามวิธี AOAC 991.20 (AOAC International, 1995a) ส่วนปริมาณฟอสฟอรัส (P_2O_5) และโพแทสเซียม (K_2O) ตรวจสอบด้วย ICP-OES อ้างอิงตามวิธี AOAC 975.03 (AOAC International, 1995b) และ AOAC 984.27 (AOAC International, 1995c) ตามลำดับ อีกส่วนนำไปให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 คน ประกอบด้วยผู้เชี่ยวชาญด้านเกษตร 3 คน และด้านเทคโนโลยีชีวภาพ 2 คน ทำการประเมินความเข้มข้น ปริมาณฟองก๊าซ และระดับกลิ่นเหม็น (หากไม่มีกลิ่นเหม็น ให้คะแนนเป็น 0) โดยใช้แบบประเมิน 5 ระดับ ตั้งแต่คะแนน 1-5 แสดงระดับจากน้อยไปมาก จากนั้นนำไปตรวจสอบคุณภาพตามรายการดังนี้ (กฤตเมธ และกรรณิกา, 2566)

1) วัดค่าการนำไฟฟ้า (electrical conductivity: EC) ด้วยเครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้าแบบพกพา รายงานผลในหน่วยซีเมนตต่อเซนติเมตร (S/cm)

2) วัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (total dissolved solids: TDS) ด้วยเครื่องวัดค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้แบบพกพา รายงานผลในหน่วย ส่วนในล้านส่วน (ppm)

3) วัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ด้วยเครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (FP20, Mettler Toledo)

4) วัดปริมาณจุลินทรีย์ที่มีชีวิตทั้งหมด (total viable count: TVC) รายงานผลในหน่วย โคโลนีต่อมิลลิลิตร (cfu/mL)

3. การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลจากแบบประเมินมาหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และแปลความหมาย เพื่อวิเคราะห์เชิงเนื้อหา ได้แก่ 1.00-1.80 คือ น้อยที่สุด 1.81-2.60 คือ น้อย 2.61-3.40 คือ ปานกลาง 3.41-4.20 คือ มาก และ 4.21-5.00 คือ มากที่สุด

นำค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ค่าความเป็นกรด-ด่าง และปริมาณ จุลินทรีย์ที่มีชีวิตอยู่ทั้งหมด มาวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยและหาความแตกต่างทางสถิติระหว่างชุดการทดลอง โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ผลการวิจัย

หลังจากหมักเศษวัสดุอินทรีย์นาน 14 วัน ได้น้ำหมักชีวภาพสีน้ำตาล พบเส้นใยสีขาวและ ฟองก๊าซขนาดเล็กกระจายอยู่ผิวหน้าของน้ำหมัก กันถึงหมักมีเศษมะระจีนและเศษอาหารที่ยังย่อย ไม่หมดเหลืออยู่ เมื่อประเมินลักษณะภายนอกของน้ำหมักชีวภาพได้ผลดังตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่า น้ำหมักในชุดการทดลอง HS0 HS75 และ HS50 มีสีน้ำตาลเข้มมากที่สุด ด้วยคะแนนเฉลี่ย 4.40 4.40 และ 4.60 ตามลำดับ ส่วนน้ำหมักในชุดการทดลอง HS-C และ HS25 มีสีน้ำตาลที่ความเข้มระดับมาก ด้วยคะแนนเฉลี่ย 4.20 และ 3.60 ตามลำดับ สำหรับปริมาณฟองก๊าซ และบนผิวหน้าของน้ำหมักชุด การทดลอง HS-C HS50 และ HS75 อยู่ในระดับน้อย มีคะแนนเฉลี่ย 2.60 2.60 และ 2.40 ตามลำดับ ส่วนน้ำหมักชุดการทดลอง HS0 และ HS25 อยู่ในระดับปานกลาง มีคะแนนเฉลี่ย 2.80 และ 2.60 ตามลำดับ เมื่อทดสอบดมกลิ่นแล้วไม่พบกลิ่นเหม็นในน้ำหมักชุดการทดลอง HS50 และ HS75 แต่ น้ำหมักชุดการทดลอง HS-C HS0 และ HS25 มีกลิ่นเหม็นในระดับน้อยที่สุดด้วยคะแนนเฉลี่ย 1.20 1.20 และ 1.00 ตามลำดับ

ตารางที่ 1 ลักษณะภายนอกของน้ำหมักชีวภาพอายุหมัก 14 วัน

ชุดการทดลอง	สี	ความเข้มสี	ปริมาณฟองก๊าซ	กลิ่นเหม็น
HS-C	น้ำตาล	4.20±0.45	2.60±0.55	1.20±0.45
HS0	น้ำตาล	4.40±0.55	2.80±0.45	1.20±0.45
HS25	น้ำตาล	3.60±0.55	3.00±0.00	1.00±0.00
HS50	น้ำตาล	4.60±0.55	2.60±0.55	0.00±0.00
HS75	น้ำตาล	4.40±0.55	2.40±0.55	0.00±0.00

หมายเหตุ: - รายงานในรูปแบบค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean $\pm$ SD)

การเปรียบเทียบคุณภาพทางกายภาพและจุลินทรีย์ของน้ำหมักชีวภาพทั้ง 5 ชุดการทดลอง (ตารางที่ 2) พบว่าค่าการนำไฟฟ้าและปริมาณจุลินทรีย์ที่มีชีวิตอยู่ของน้ำหมักจากเศษอาหาร มีปริมาณมากกว่าน้ำหมักจากเศษมะระจีนในชุดควบคุม ซึ่งน้ำหมักชุดการทดลอง HS50 มีค่าการนำไฟฟ้ามากที่สุด รองลงมา คือ HS75 HS25 HS0 และ HS-C เท่ากับ 7.59 7.24 7.17 6.56 และ 6.32 ซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ตามลำดับ (ภาพที่ 2 (ก)) ส่วนปริมาณจุลินทรีย์ที่มีชีวิตอยู่มากที่สุดพบในชุดการทดลอง HS50 รองลงมา คือ HS75 HS25 HS0 และ HS-C เท่ากับ 20.60×10^6 19.70×10^6 18.20×10^6 16.40×10^6 และ 14.90×10^6 โคโลนีต่อมิลลิเมตร ตามลำดับ (ภาพที่ 2 (ง)) แตกต่างจากปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ที่น้ำหมักจากเศษมะระจีน (ชุดควบคุม HS-C) มีค่ามากที่สุด รองลงมา คือ HS50 HS75 HS25 และ HS0 เท่ากับ 1,772.50 1,672.28 1,659.20 1,462.39 และ 1,412.24 ส่วนในล้านส่วน ตามลำดับ (ภาพที่ 2 (ข)) สำหรับค่าความเป็นกรด-ด่าง พบว่าน้ำหมักทั้ง 5 ชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) มีค่าอยู่ในช่วง 4.25-5.14 (ภาพที่ 2 (ค))

ตารางที่ 2 คุณภาพทางกายภาพและปริมาณจุลินทรีย์ของน้ำหมักชีวภาพอายุหมัก 14 วัน

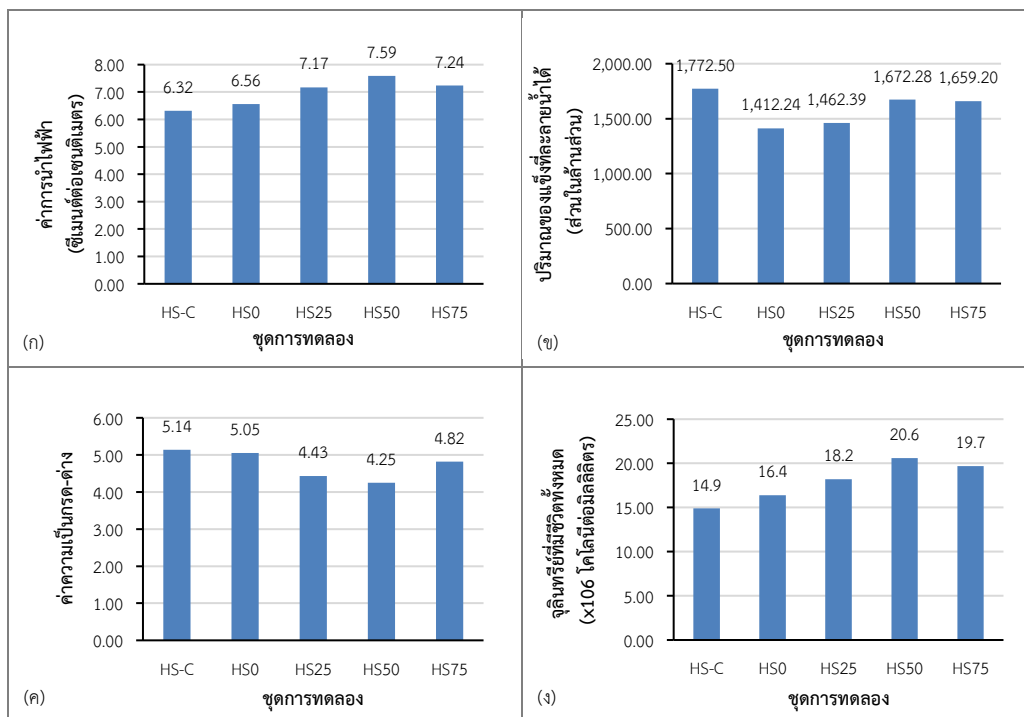
ชุดการทดลอง	ค่าการนำไฟฟ้า (ซีเมนต์ต่อเซนติเมตร)	ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (ส่วนในล้านส่วน)	ค่าความเป็นกรด-ด่าง	ปริมาณจุลินทรีย์ที่มีชีวิตอยู่ (โคโลนีต่อมิลลิเมตร)
HS-C	6.32±1.03 ^a	1,772.50±103.56 ^{bc}	5.14±1.23	14.90×10 ^{6a}
HS0	6.56±1.38 ^a	1,412.24±149.08 ^a	5.05±1.07	16.40×10 ^{6a}
HS25	7.17±0.82 ^{ab}	1,462.39±118.48 ^a	4.43±1.18	18.20×10 ^{6b}
HS50	7.59±0.95 ^b	1,672.28±117.03 ^b	4.25±1.73	20.60×10 ^{6b}
HS75	7.24±1.06 ^b	1,659.20±104.50 ^{ab}	4.82±1.39	19.70×10 ^{6b}

หมายเหตุ: - รายงานในรูปแบบค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean±SD)

- ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันในสมมติเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

การเปรียบเทียบปริมาณธาตุอาหารหลักของพืชที่มีในน้ำหมักชีวภาพทั้ง 5 ชุดการทดลอง (ตารางที่ 3) 3 พบว่าน้ำหมักชีวภาพที่หมักด้วยเศษมะระจีน (ชุดควบคุม HS-C) มีปริมาณไนโตรเจนน้อยกว่าน้ำหมักชีวภาพจากเศษอาหาร เมื่อเรียงลำดับปริมาณไนโตรเจนที่พบในน้ำหมักแต่ละชนิดพบว่า ชุดการทดลอง HS50 และ HS75 มีไนโตรเจนมากที่สุดและมีปริมาณเท่ากัน คือ ร้อยละ 0.53 รองลงมา คือ HS0 และ HS25 ซึ่งปริมาณไม่แตกต่างกันในทางสถิติ ($p \leq 0.05$) คือ ร้อยละ 0.30 และ 0.31 ตามลำดับ และน้ำหมักจากเศษมะระจีนมีไนโตรเจนน้อยที่สุด คือ ร้อยละ 0.26 (ภาพที่ 3 (ก)) ส่วนปริมาณธาตุฟอสฟอรัสไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ระหว่างการหมักด้วยเศษมะระจีนและหมักด้วยเศษอาหาร ซึ่งมีค่าร้อยละ 0.05-0.06 (ภาพที่ 3 (ข)) สำหรับโพแทสเซียมมีปริมาณมากที่สุดในน้ำหมักจากเศษอาหารชุดการทดลอง HS50 รองลงมา คือ HS75 HS-C HS25 และ HS0 ปริมาณร้อยละ 1.12 0.82 0.74 0.51 และ 0.50 ตามลำดับ (ภาพที่ 3 (ค)) ตามค่ามาตรฐาน

ของกรมวิชาการเกษตร (2557) น้ำหมักชีวภาพควรมีปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ไม่น้อยกว่าอย่างละร้อยละ 0.50 โดยน้ำหนัก หรือมีปริมาณรวมกันไม่น้อยกว่าร้อยละ 1.50 โดยน้ำหนัก แสดงให้เห็นว่าทุกชุดการทดลองมีปริมาณโพแทสเซียมผ่านค่ามาตรฐาน แต่ปริมาณฟอสฟอรัสต่ำกว่า ค่ามาตรฐาน ยกเว้นน้ำหมักชีวภาพชุดการทดลอง HS50 และ HS75 ที่มีปริมาณไนโตรเจนและ โพแทสเซียมผ่านค่ามาตรฐานที่กำหนด



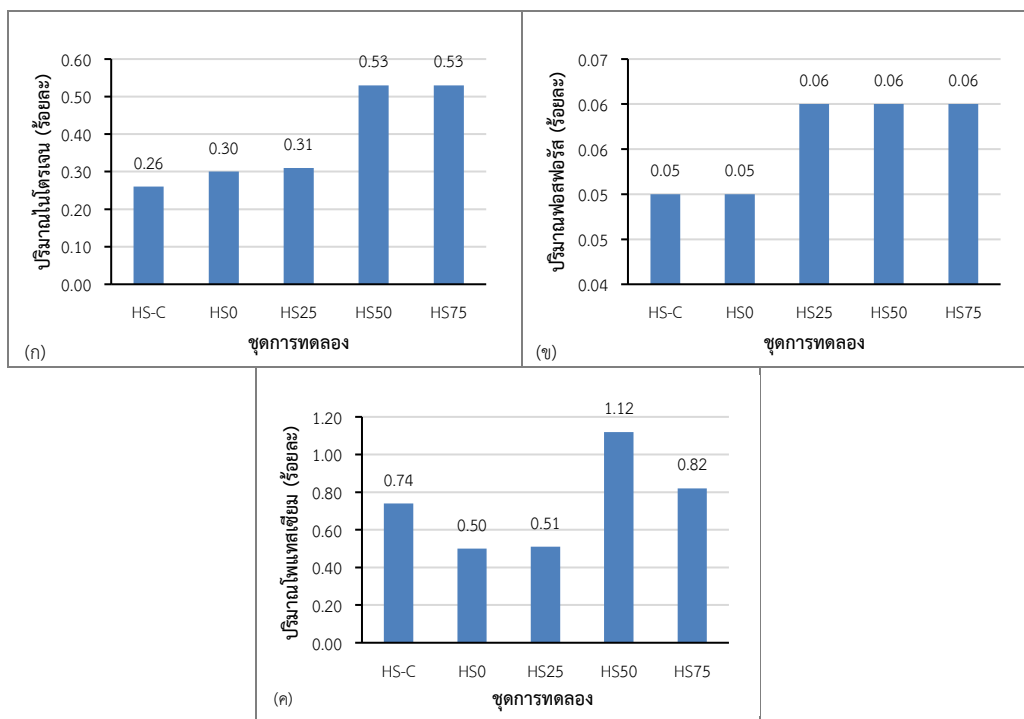
ภาพที่ 2 คุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ ค่าการนำไฟฟ้า (ก) ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (ข) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (ค) และปริมาณจุลินทรีย์ของน้ำหมักชีวภาพอายุหมัก 14 วัน

ตารางที่ 3 ปริมาณธาตุอาหารหลักของพืชของน้ำหมักชีวภาพอายุหมัก 14 วัน

ชุดการทดลอง	ปริมาณธาตุอาหารหลัก (ร้อยละ)		
	ไนโตรเจน	ฟอสฟอรัส	โพแทสเซียม
HS-C	0.26±0.01 ^a	0.05±0.00	0.74±0.01 ^b
HS0	0.30±0.02 ^b	0.05±0.00	0.50±0.01 ^a
HS25	0.31±0.01 ^b	0.06±0.00	0.51±0.01 ^a
HS50	0.53±0.02 ^c	0.06±0.00	1.12±0.01 ^c
HS75	0.53±0.01 ^c	0.06±0.00	0.82±0.01 ^b

หมายเหตุ: - รายงานในรูปแบบค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean±SD)

- ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันในสดมภ์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



ภาพที่ 3 ปริมาณธาตุอาหารหลักของพืช ได้แก่ ไนโตรเจน (ก) ฟอสฟอรัส (ข) และโพแทสเซียม (ค) ของน้ำหมักชีวภาพอายุหมัก 14 วัน

การอภิปรายผลการวิจัย

เมื่อหมักเศษผักหรือเศษอาหารจนครบ 14 วัน น้ำหมักชีวภาพในชุดควบคุมที่หมักด้วยเศษมะระจีนและน้ำหมักจากเศษอาหารมีสีน้ำตาลเหมือนกัน ซึ่งเป็นสีจากกากน้ำตาล แต่สีของน้ำหมักจากเศษอาหารมีสีเข้มกว่าน้ำหมักจากเศษมะระจีน (ชุดควบคุม HS-C) เนื่องจากในเศษอาหารมีเนื้อไก่ผสมอยู่ สอดคล้องกับงานวิจัยของสุภาพร และศิริศศิฎฐาร (2560) พบว่าน้ำหมักชีวภาพจากเศษปลา มีสีน้ำตาลเข้มกว่าสีน้ำหมักจากเศษผักและมีไนโตรเจนสูงกว่าด้วย เมื่อนำน้ำหมักจากเศษปลาไปใช้งานร่วมกับปุ๋ยสูตรผสม ผักกาดหอมกรีนโอ๊คเจริญเติบโตดีกว่าการใช้น้ำหมักจากเศษผักเพียงอย่างเดียว เมื่อพิจารณาความสมบูรณ์ของการหมักจากปริมาณฟองก๊าซและกลิ่นเหม็น พบว่าทุกชุดการทดลองมีฟองก๊าซขนาดเล็กกระจายบนผิวน้ำหมักอยู่ในระดับน้อยจนถึงปานกลาง ด้วยคะแนน 2.40-3.00 น้ำหมักในชุดการทดลอง HS-C HS0 และ HS25 มีกลิ่นเหม็นอยู่ในระดับน้อย ด้วยคะแนน 1.00-1.20 แต่น้ำหมักในชุดการทดลอง HS50 และ HS75 ไม่มีกลิ่นเหม็น แสดงให้เห็นว่ากระบวนการหมักของน้ำหมักในชุดการทดลอง HS-C HS0 และ HS25 เกิดช้ากว่า เนื่องจากช่องว่างในถังหมักน้อย ออกซิเจนอาจไม่เพียงพอสำหรับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ขณะที่น้ำหมักชุดการทดลอง HS50 และ HS75 มีช่องว่างในถังหมักเพิ่มขึ้น ออกซิเจนจึงเพิ่มขึ้นด้วย ทำให้จุลินทรีย์เจริญเติบโตดีกว่า สอดคล้องกับการตรวจพบปริมาณจุลินทรีย์ที่มีชีวิตอยู่ของน้ำหมักในชุดการทดลอง HS50 และ HS75 มีปริมาณจุลินทรีย์มากถึง 20.60×10^6 และ 19.70×10^6 โคโลนีต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ ซึ่งมากกว่าการหมักแบบเต็มถัง อย่างไรก็ตามการที่น้ำหมักชุดการทดลอง HS75 มีปริมาณจุลินทรีย์น้อยกว่า

จุลินทรีย์ในน้ำหมักชุดการทดลอง HS50 ทั้งที่มีช่องว่างเหนือวัสดุหมักมากกว่า เนื่องจากช่องว่างมากเกินไป ส่งผลให้อุณหภูมิระหว่างการหมักลดลง แบคทีเรียที่ผลิตกรดแลคติกในช่วงแรกและเชื้อราที่ชอบอุณหภูมิสูงจึงเจริญเติบโตช้า เป็นผลให้การย่อยสลายเซลลูโลสและการสะสมของกรดอินทรีย์ลดลง (กิตติพงศ์ และคณะ, 2565)

ค่าการนำไฟฟ้าแสดงถึงความสามารถในการปลดปล่อยธาตุอาหาร (ตารางที่ 2) พบว่าน้ำหมักในชุดการทดลอง HS-C และ HS0 ที่หมักเต็มถังแต่ใช้วัสดุหมักแตกต่างกัน มีค่าการนำไฟฟ้า (6.32-6.56 ซีเมนตต่อเซนติเมตร) น้อยกว่าการหมักแบบเหลือช่องว่างในถังหมัก (7.17-7.59 ซีเมนตต่อเซนติเมตร) ส่วนค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้ของน้ำหมักแสดงถึงปริมาณธาตุอาหารที่ละลายในน้ำ น้ำหมักในชุดการทดลอง HS50 และ HS75 มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (1,672.28 และ 1,659.20 ส่วนในล้านส่วนตามลำดับ) มากกว่าน้ำหมักในชุดการทดลอง HS25 และ HS0 แสดงให้เห็นว่าการหมักเศษอาหารที่เหลือช่องว่างในถังหมักตั้งแต่วัยละ 50-75 เป็นสภาวะที่เกิดการย่อยสลายเร็วกว่าชุดการทดลองอื่น สารประกอบทางเคมีในวัสดุหมักจึงแพร่ออกมาได้มาก แม้ยังคงเหลือเศษอาหารขนาดเล็กอยู่ภายในถังหมักก็ตาม เช่นเดียวกับการหมักเปลือกผลไม้กับใบไม้แห้งที่เติมอากาศในอัตรา 0.7 ลิตรต่อนาที่ เมื่อสิ้นสุดการหมักครบ 21 วัน สารอินทรีย์จะถูกย่อยสลายสูงถึงร้อยละ 70 มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนและธาตุโพแทสเซียมสูงถึงร้อยละ 9.92 และ 3.20 ตามลำดับ (ตรีรัตน์ และจรีรัตน์, 2559) เพราะปริมาณออกซิเจนในถังหมักที่ระดับดังกล่าวเหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของสังคมจุลินทรีย์ในถังหมัก ทั้งกลุ่มที่ต้องการใช้ออกซิเจน (aerobe microorganism) และกลุ่มที่ไม่ใช้หรือใช้ออกซิเจนน้อย (anaerobe microorganism) เช่น แบคทีเรีย *Bacillus* sp. *Lactobacillus* sp. *Streptococcus* sp. เชื้อรา *Aspergillus niger* *Rhizopus* และ *Penicillium* และยีสต์ *Canida* sp. (Lanthier and Peters, 2013) การที่น้ำหมักจากเศษมะระจีนและจากเศษอาหารทุกชุดการทดลองพบเส้นใยสีขาวกระจายบนผิวน้ำหมัก สอดคล้องกับการพบเส้นใยในน้ำหมักชีวภาพจากเศษอาหารที่ได้จากสวนอาหารและร้านจำหน่ายสติกจากงานวิจัยของ Nitsuwat *et al.* (2013) แต่จำนวนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตอยู่ในน้ำหมักชุดการทดลอง HS-C HS0 HS25 HS50 และ HS75 มีจำนวน 14.90×10^6 - 20.60×10^6 โคโลนีต่อมิลลิลิตร ซึ่งน้อยกว่าน้ำหมักเศษอาหารของร้านอาหารและร้านจำหน่ายสติกที่มีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด 1.22×10^{11} โคโลนีต่อมิลลิลิตร และส่วนใหญ่เป็นยีสต์และแอคติโนมัยซิส เท่ากับ 1.35×10^5 และ 1.27×10^5 โคโลนีต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบธาตุอาหารหลักของพืชในน้ำหมักชีวภาพจากเศษมะระจีนกับน้ำหมักจากเศษอาหารที่ใช้อัตราส่วนผสมเดียวกัน พบว่าการใช้วัสดุหมักต่างชนิดกัน จะมีผลให้ปริมาณไนโตรเจนและโพแทสเซียมแตกต่างกันด้วย เห็นได้จากน้ำหมักในชุดควบคุม HS-C ที่ใช้มะระจีนเป็นวัสดุหมักเพียงอย่างเดียว มีไนโตรเจน (ร้อยละ 0.26) น้อยกว่าการหมักด้วยเศษอาหาร (ร้อยละ 0.30-0.53) แตกต่างจากงานวิจัยของวัฒนรงค์ และคณะ (2560) ที่พบว่าน้ำหมักชีวภาพจากเศษผักและเศษอาหารของมหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช มีปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมไม่แตกต่างกันในทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และมีปริมาณน้อยกว่าร้อยละ 0.20 0.04 และ 0.60 ตามลำดับ เพราะน้ำหมักจากเศษอาหารในงานวิจัยนี้ใช้เนื้อไก่จากร้านก๋วยเตี๋ยวไก่มะระเป็นส่วนผสม เนื้อไก่ต้มสุกเปื่อยถูกย่อยสลายง่ายกว่าเนื้อสัตว์ และเนื้อสัตว์เต็มไปด้วยโปรตีนที่มีธาตุไนโตรเจนเป็นส่วนประกอบสำคัญ เมื่อมีปริมาณช่องว่างอากาศที่เหมาะสม การย่อยสลายจึงยังทำงานดีขึ้น ทำให้

ปริมาณไนโตรเจนในน้ำหมักชุดการทดลอง HS50 และ HS75 มีมากกว่าชุดการทดลองอื่น ๆ และมากกว่าที่ตรวจพบในงานวิจัยของวัฒนรงค์ และคณะ (2560) อย่างไรก็ตามปริมาณไนโตรเจนในน้ำหมักจากเศษอาหารมากกว่าน้ำหมักจากเศษมะระจีน สอดคล้องกับงานวิจัยของอนุชา และคณะ (2564) ซึ่งทำการเปรียบเทียบสัดส่วนการหมักเศษผักกะหล่ำปลีกับเครื่องในปลาชนิดจำนวน 3 สูตร พบว่าสูตรที่มีการใช้เครื่องในปลาชนิดปริมาณมาก น้ำหมักชีวภาพจะมีธาตุไนโตรเจนสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติสำหรับปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำหมักจากเศษมะระจีนและเศษอาหารทุกชุด การทดลองไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) มีปริมาณร้อยละ 0.05-0.06 ส่วนปริมาณโพแทสเซียมพบว่าน้ำหมักจากเศษมะระจีน (ชุดควบคุม HS-C) มีโพแทสเซียมมากเป็นอันดับ 3 (ร้อยละ 0.74) รองจากชุดการทดลอง HS50 และ HS75 (ร้อยละ 1.12 และ 0.82 ตามลำดับ) เป็นผลจากมะระจีนเป็นผักที่มีโพแทสเซียมสูงประมาณ 314 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม (สำนักโภชนาการ กรมอนามัย, 2561)

น้ำหมักจากเศษอาหารมีธาตุอาหารพืชมากกว่าน้ำหมักจากเศษมะระจีน โดยเฉพาะปริมาณโพแทสเซียมที่มีมากที่สุด รองลงมา คือ ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ตามลำดับ ซึ่งน้ำหมักในชุดการทดลอง HS50 มีปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมมากที่สุด คือ ร้อยละ 0.53 0.06 และ 1.12 ตามลำดับ รองลงมา คือ น้ำหมักในชุดการทดลอง HS75 ที่มีปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเท่ากับ HS50 แต่มีปริมาณโพแทสเซียมน้อยกว่า คือ ร้อยละ 0.82 ส่วนน้ำหมักในชุดการทดลอง HS25 และ HS0 มีปริมาณธาตุอาหารทั้ง 3 ชนิด ไม่แตกต่างกันในทางสถิติ ($p \leq 0.05$) คือ มีไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม เท่ากับ 0.30-0.31 0.05-0.06 และ 0.50-0.51 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าปริมาณช่องว่างในถังหมักต้องเหมาะสมกับสัดส่วนของวัสดุหมัก (สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2565) สอดคล้องกับงานวิจัยของกุลยา และฐนียา (2559) พบว่าการเติมอากาศในกองปุ๋ยหมักเศษอาหาร ใบไม้แห้ง และมูลวัว เป็นเวลานาน 6 ชั่วโมง ปุ๋ยหมักจะมีไนโตรเจนและฟอสฟอรัสมากกว่าปุ๋ยหมักที่ให้อากาศอย่างต่อเนื่องนาน 24 ชั่วโมง และปุ๋ยหมักที่หมักโดยไม่เติมอากาศ เนื่องจากมีปริมาณอากาศเหมาะสมกับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่เป็นตัวกลางสำคัญในการย่อยสลายเศษวัสดุอินทรีย์ พิจารณาได้จากอุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักจะสูงขึ้นขณะย่อยสลาย

สรุปผลการวิจัย

การหมักเศษอาหารที่ใช้เศษข้าวสุก เส้นก๋วยเตี๋ยวสุก เศษไก่สุก และมะระจีน เป็นวัสดุหมักในถังพลาสติกปิดฝาและเปิดฝากวนทุกวัน ๆ ละ 10 วินาที เป็นเวลานาน 14 วัน โดยเว้นช่องว่างเหนือวัสดุหมักไว้ร้อยละ 50 ของถังหมัก (HS50) ซึ่งเป็นขนาดช่องว่างที่เหมาะสมที่สุด น้ำหมักชีวภาพที่ได้มีสีน้ำตาล เหลืองปนขาวที่ผิวหน้าของน้ำหมักเล็กน้อย มีค่าการนำไฟฟ้าเท่ากับ 7.59 ซีเมนตต่อเซนติเมตร ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เท่ากับ 1,672.28 ส่วนในล้านส่วน มีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 4.25 และมีจุลินทรีย์ที่ยังมีชีวิตอยู่จำนวน 20.60×10^6 โคโลนีต่อมิลลิลิตร โดยเฉพาะมีปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมมากที่สุด คือ ร้อยละ 0.53 0.06 และ 1.12 ตามลำดับ ดังนั้นหากต้องการทำน้ำหมักชีวภาพในถังหมักที่ไม่มีการติดตั้งระบบเติมอากาศ จึงควรเว้นช่องว่างเหนือวัสดุหมักไว้ 1 เท่าของปริมาณวัสดุหมัก เพื่อให้มีปริมาณออกซิเจนเพียงพอสำหรับการทำงานของจุลินทรีย์ในถังหมัก

ข้อเสนอแนะ

ควรมีการศึกษ้อัตราการใช้งานน้ำหมักชีวภาพให้เหมาะสมกับพืชแต่ละกลุ่ม ร่วมกับการศึกษาแนวทางการเพิ่มอากาศในถังหมัก เพื่อเพิ่มจำนวนวัสดุหมักแต่ละครั้งให้มากขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรีที่สนับสนุนทุนวิจัย งบประมาณประจำปีการศึกษา 2567 และขอบคุณร้านอาหารในมหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรีที่กรุณารวบรวมและคัดแยกเศษอาหารสำหรับการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- กรมวิชาการเกษตร. (2557). *ประกาศกรมวิชาการเกษตร เรื่อง กำหนดเกณฑ์ปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2557*. สืบค้นเมื่อ 3 พฤศจิกายน 2567, จาก: <https://www.doa.go.th/ard/wp-content/uploads/2019/11/FEDOA11.pdf>.
- กฤตเมธ ตะนัยศรี และกรรณิกา อัมพสุข. (2566). การใช้ประโยชน์จากหญ้าเนเปียร์และเศษผักสดในรูปน้ำหมักชีวภาพ: ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดและค่าความเป็นกรดต่าง. *วารสารเกษตรและอาหาร มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์*, 2(1), 36-42.
- กองเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน กรมพัฒนาที่ดิน. (ม.ป.ป.). การผลิตน้ำหมักชีวภาพโดยใช้สารเร่งซูเปอร์ พด.2. สืบค้นเมื่อ 2 มิถุนายน 2567, จาก: <https://www.ddd.go.th/www/files/81827.pdf>.
- กิตติพงศ์ แซ่เตียว ธนิศร มีสังเกต ไพฑูรย์ ทองสุข และชลิตา แก้วบุตรดี. (2565). การพัฒนาวิธีหมักปุ๋ยมูลสุกรแบบเติมอากาศและจุลินทรีย์อัดโนมิตี. *วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม*, 7(2), 104-112.
- กุลยา สาริชีวิน และฐนียา รังษิสุริยะชัย. (2559). การทำปุ๋ยหมักจากของเสียอินทรีย์โดยใช้ถังเติมอากาศ. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชชมงคลธัญบุรี*, 14(1), 25-33.
- ขวัญตา พิมพ์พันธ์ นิพนธ์ พิสุทธิไพศาล และอภิญา สวัสดิ์. (2567). ศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทนจากขยะเศษอาหารและเศษใบไม้. *วารสารวิชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช*, 43(1), 54-65, doi: <https://doi.org/10.65217/wichchajinstru.2024.v43i1.257299>.
- ตรีรัตน์ เจริญกุล และจรัสรัตน์ สกุรัตน์. (2559). ประสิทธิภาพการย่อยสลายมูลฝอยอินทรีย์ในถังหมักขนาดเล็กแบบเติมอากาศ. *วารสารวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมไทย*, 30(3), 85-93.
- ไพฑูรย์ พชรบำรุง. (2562). *การทำปุ๋ยหมักจากเศษใบจามจุรีกับเศษผักผลไม้ด้วยระบบภาชนะปิดขนาดเล็ก*. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- เมดไทย. (2563). *มะระ สรรพคุณและประโยชน์ของมะระจีน 33 ข้อ !*. สืบค้นเมื่อ 3 พฤศจิกายน 2567, จาก: <https://medthai.com/%E0%B8%A1%E0%B8%B0%E0%B8%A3%E0%B8%B0/>.

- วัฒนรงค์ มากพันธ์ เกษมสันต์ คำบุญมา และปิยะ ขวดแก้ว. (2560). ปริมาณธาตุอาหารของปุ๋ยหมักชนิดต่าง ๆ จากขยะอินทรีย์ในมหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช. *วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ*, 20(2), 19-28.
- สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงาน นครพิงค์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. (2564). *มลพิษจากขยะเศษอาหาร*. สืบค้นเมื่อ 31 พฤษภาคม 2567, จาก: <https://erdi.cmu.ac.th/?p=1155>.
- สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. (2565). *นวัตกรรมสำหรับกลุ่มวัสดุปรับปรุงดิน ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ และดินพร้อมปลูก: ดินผสมพร้อมปลูกจากผักตบชวา*. สืบค้นเมื่อ 6 มิถุนายน 2567, จาก: <https://www.tistr.or.th/tistrblog/?p=8602>.
- สมเกียรติ พรพิสุทธิมาศ. (2555). น้ำหมักชีวภาพกับการเกษตร. *วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้*, 3(1), 59-65.
- สำนักโภชนาการ กรมอนามัย. (2561). *มะระจีน*. สืบค้นเมื่อ 6 มิถุนายน 2567, จาก: <https://thaifcd.anamai.moph.go.th/nss/view.php?fid=04186>.
- สุธีรา สุนทรารักษ์. (2553). การวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารหลักในปุ๋ยหมักจากเศษอาหารร่วมกับเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร. *การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 48: สาขาทฤษฎีการธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม* (หน้า 173-180). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สุภาพร ราช และศิริศานธิญากร จันทร์ขศิริพร. (2560). ผลของน้ำหมักชีวภาพจากเศษปลาและผักที่มีต่อการเจริญเติบโตและลักษณะทางสรีรวิทยาของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊กที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิคส์. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*, 22(พิเศษ), 216-224.
- อนุชา เพียรชนะ ช่อผกา วงษ์สมบัติ และจิรญา แก้วปัทมชัย. (2564). การเปรียบเทียบปริมาณธาตุอาหารหลักของปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพประกอบผลิตจากเครื่องในปลานิลกับเศษผักกะหล่ำปลีในอัตราส่วนที่ต่างกัน. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 5(1), 15-24.
- AOAC International. (1995a). Official method 991.20: Nitrogen (total) in milk-Kjeldahl method. In Cuniff, P. (Ed.). *Official methods of analysis of AOAC International*, pp. 7-8. VA: The Association of Official Analytical Chemists.
- AOAC International. (1995b). *Official method 975.03: Phosphorus, potassium, and calcium in fertilizers-Inductively coupled plasma atomic emission spectrophotometric method*. In Cuniff, P. (Ed.). *Official methods of analysis of AOAC International*, pp. 12-13. VA: The Association of Official Analytical Chemists.
- AOAC International. (1995c). *Official method 984.27: Minerals in fertilizers-Inductively coupled plasma atomic emission spectrometric method*. In Cuniff, P. (Ed.). *Official methods of analysis of AOAC International*, pp. 20-21. VA: The Association of Official Analytical Chemists.

- Battista, F., Strazzera, G., Valentino, F., Gottardo, M., Vilano, M., Matos, M., Silva, F., Reis, M.A.M., Mata-Alvarez, J., Astals, S., Dosta, J., Jones, R.J., Massanet-Nicolau, J., Guwy, A., Pavan, P., Bolzonella, D. and Majone, M. (2022). New insights in food waste, sewage sludge and green waste anaerobic fermentation for short-chain volatile fatty acid production: A review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 10(5), 108319, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2022.108319>.
- Lanthier, M. and Peters, S. (2013). Microbial content of activity aerated compost tea after variations of ingredients or procedures. *Acta Horticulturae*, 1009, 219-224, doi: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2013.1009.26>.
- Laureys, D., Aerts, M., Vandamme, P. and Vuyst, L.D. (2018). Oxygen and diverse nutrients influence the water kefir fermentation process. *Food Microbiology*, 73, 351-361, doi: <https://doi.org/10.1016/j.fm.2018.02.007>.
- Nitsuwat, S., Sanjaya, S.E., Wiratthikowit, S. and Kunathigan, V. (2013). The study of the biodiversity in local bio-fermented solution and the treatment of community wastewater at laboratory scale: wastewater from restaurants. *The 25th Annual meeting of the Thai society for biotechnology and international conference* (pp. 632-638). Retrieved 6 June 2024, from: <https://shorturl.asia/oVi7m>.
- Selvam, A., Ilamathi, P.M.K., Udayakumar, M., Murugesan, K., Banu, J.R., Khanna, Y. and Wong, J. (2021). Chapter two-food waste properties. In Wong, J., Kaur, G., Taherzadeh, M., Pandey, A. and Lasaridi, K. (Eds.). *Sustainable Food Waste Management: Resource Recovery and Treatment*, pp. 11-41. Amsterdam: Elsevier Inc.
- Walker, G. M. (2018). *Fermentation biotechnology*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Zhang, Y., Wang, X., Zhu, W., Zhao, Y., Wang, N., Gao, M. and Wang, Q. (2023). Anaerobic fermentation of organic solid waste: Recent updates in substrates, products, and the process with multiple products co-production. *Environmental Research*, 233, 116444, doi: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.116444>.