

อิทธิพลของกระบวนการหมักต่อการปลดปล่อยธาตุอาหารไนโตรเจน

ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม

EFFECT OF COMPOSTING PROCESS ON RELEASING NITROGEN

PHOSPHORUS AND POTASSIUM

นัทธีรา สรรมนณี¹ ปิยกมล อาจจินดา^{1*} และ กมลชนก พาณิชการ²

Natdhera Sanmanee¹, Piyakamol Artjinda^{1*}, and Kamolchanok Panishkan²

¹สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

²สาขาวิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

¹Department of Environmental Science, Faculty of Science, Silpakorn University

²Department of Statistics, Faculty of Science, Silpakorn University

*corresponding author e-mail: artjinda_s@silpakorn.edu

(Received: 19 October 2022; Revised: 22 January 2023; Accepted: 31 January 2023)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการปลดปล่อยธาตุอาหารไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ภายใต้สภาวะการหมักในกระสอบที่สามารถระบายอากาศได้ซึ่งมีวัตถุประสงค์หมัก ประกอบด้วย มูลสุกร มูลโค กากน้ำตาล รำละเอียด น้ำหมักปลา และมูลค่างควา ในสัดส่วนร้อยละ 53.89 37.50 3.43 3.15 1.14 และ 0.94 ตามลำดับ ทำการหมักเป็นระยะเวลา 105 วัน โดยเก็บตัวอย่าง ปุ๋ยหมักในวันที่ 0 3 7 14 21 28 35 42 49 63 77 91 และ 105 จากการศึกษาปุ๋ยหมักแบ่งตาม อุณหภูมิได้เป็น 3 ระยะ ได้แก่ ระยะเริ่มผสม (วันที่ 0) ระยะอุณหภูมิสูง (1-27) และระยะที่ปุ๋ยหมัก พัฒนาเต็มที่ตั้งแต่วันที่ 28 เป็นต้นไป พบว่า การย่อยสลายอินทรีย์วัตถุของจุลินทรีย์ทำให้ปริมาณ อินทรีย์วัตถุและอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมีแนวโน้มลดลงสัมพันธ์กับระยะเวลาการหมัก อย่างมีนัยสำคัญ ($r=-0.387$, $P<0.05$ และ $r=-0.630$, $P<0.01$ ตามลำดับ) และปริมาณธาตุ อาหารไอออนที่มีประจุเพิ่มขึ้นสอดคล้องกับค่าการนำไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นและสัมพันธ์กับระยะเวลา หมัก ($r=0.895$, $P<0.01$) โดยอินทรีย์วัตถุที่ถูกย่อยสลายปลดปล่อยธาตุอาหารไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมเพิ่มขึ้นด้วยอัตรา 0.0737 0.1681 และ 0.1217 มิลลิกรัมต่อวัน ตามลำดับ และมีค่าสูงสุดวันที่ 49 จากนั้นมีแนวโน้มลดลงเมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมัก นอกจากนี้ ในช่วงท้ายของการหมักปุ๋ยมีค่าการนำไฟฟ้าสูงกว่ามาตรฐานกรมวิชาการเกษตรเล็กน้อย จึงไม่ควร เก็บไว้นานเกิน 63 วัน จะทำให้คุณภาพของปุ๋ยหมักมีแนวโน้มลดลงและไม่เหมาะแก่การนำไปใช้

คำสำคัญ: ปุ๋ยหมัก ธาตุอาหาร ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม

Abstract

This research studied the release of nitrogen (N), phosphorus (P), and potassium (K) under composting conditions in ventilated sacks containing fermented raw materials which consist of pig manure, cow manure, molasses, bran, fish marinade and bat guano in the proportion of 53.89%, 37.50%, 3.43%, 3.15%, 1.14% and 0.94% respectively for a period of 105 days. The samples were collected on days 0, 3, 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49, 63, 77, 91, and 105. From this studied, the development of compost maturity was divided after temperature into 3 stages: the initial stage (day 0), the thermophilic stage (day 1–27), and the mature stage (since day 28). The results showed that organic matter (OM) together with carbon by nitrogen ratio decreased throughout composting ($r=-0.387$, $P<0.05$ and $r=-0.630$, $P<0.01$, respectively). This indicated the activities of microorganisms utilizing the OM along with releasing ionic nutrients as shown by elevating electrical conductivity (EC) corresponding with time ($r=0.895$, $P<0.01$). The N, P, and K were increased and reached their summits within 49 days with the rate of 0.0737, 0.1681, and 0.1217 mg/day, respectively. Later, the amounts of all three elements tended to decline towards the end of composting. Moreover, the latter ECs were slightly increased over the criteria of Thai compost standard. Therefore, the compost should not be kept longer than 63 days. Otherwise, the qualities tended to decline and were not appropriate to use.

Keywords: Compost, Nutrients, Nitrogen, Phosphorus, Potassium

บทนำ

ปุ๋ยหมัก เป็นปุ๋ยอินทรีย์ที่มีคุณสมบัติในการปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพและชีวภาพของดินและยังเป็นแหล่งธาตุอาหารหลักของพืช ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ซึ่งกระบวนการหมักจะทำให้จุลินทรีย์ย่อยสลายองค์ประกอบที่ย่อยสลายยากและปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาเป็นประโยชน์แก่พืช

องค์ประกอบของวัสดุที่นำมาหมักจะมีผลต่ออัตราการย่อยสลายรวมถึงปริมาณของธาตุอาหารที่ถูกปลดปล่อยออกมา เช่น การศึกษาของ Zhou (2017) ที่ศึกษาปุ๋ยหมักจากมูลสุกร ผลมวัสดุเพาะเห็ดที่ใช้แล้วร่วมกับหินฟอสเฟต โดยทำการแปรผันอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน

ด้วยรำข้าว พบว่า ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมเพิ่มขึ้นสูงสุดถึงร้อยละ 10.70 41.96 และ 34.65 ตามลำดับ เมื่ออัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนลดลงตามปริมาณของรำข้าว เช่นเดียวกับการเติมขี้เลื่อยและปุ๋ยหมักที่พัฒนาเต็มทีลงในเศษอาหารของ Wang, Tang & Yuan (2022) โดยปุ๋ยกองที่มีการเติมเพียงขี้เลื่อยที่ย่อยสลายยากและมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูงจะมีอัตราการย่อยสลายต่ำกว่าการเติมขี้เลื่อยผสมปุ๋ยหมักที่มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำกว่า เนื่องจากในปุ๋ยหมักที่พัฒนาเต็มทีจะมีจุลินทรีย์อาศัยอยู่ ซึ่งช่วยเพิ่มอัตราการย่อยสลายและช่วยลดระยะเวลาการหมักลง เช่นเดียวกับการศึกษาปุ๋ยหมักมูลสุกรผสมฟางข้าวโพดของ Li et al. (2019) ที่พบว่าปุ๋ยหมักที่เติมจุลินทรีย์จะมีอัตราการย่อยสลายรวดเร็วและมีแนวโน้มของปริมาณธาตุอาหารฟอสฟอรัสที่เพิ่มขึ้น และการศึกษาของ ฅัญญ์ชยธร และชูลีมาศ (2561) ที่ศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาการหมักและเก็บรักษาปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินต่อปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ซึ่งปริมาณธาตุอาหารทั้ง 3 ชนิด มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกันในช่วง 3 เดือนแรก และมีแนวโน้มลดลงจากการนำไปใช้ของจุลินทรีย์

ดังนั้นการศึกษากระบวนการหมักและระยะเวลาที่เหมาะสมในการเก็บรักษาปุ๋ยหมักจึงมีความสำคัญในการกำหนดคุณภาพปุ๋ยตลอดจนสัดส่วนที่จะนำไปใช้จากอิทธิพลของ กระบวนการหมักต่อการเปลี่ยนแปลงธาตุอาหารเชิงปริมาณ โดยในการศึกษานี้ศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวของปุ๋ยหมักจากมูลโคและมูลสุกรเพื่อเป็นข้อมูลเชิงคุณภาพสำหรับการจัดการปุ๋ยหมักเพื่อให้เกิดประโยชน์แก่เกษตรกรในอนาคตต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมและเก็บตัวอย่างปุ๋ยหมัก

วัตถุประสงค์หลักของปุ๋ยหมักนี้ประกอบด้วยมูลสัตว์ ได้แก่ มูลสุกร และมูลโค ร้อยละ 53.89 และ 37.50 ตามลำดับ ส่วนประกอบน้ำหมัก ได้แก่ กากน้ำตาล และน้ำหมักปลา ร้อยละ 3.43 และ 1.14 ตามลำดับ และส่วนประกอบของแห้ง ได้แก่ รำละเอียด และมูลค่างควา ร้อยละ 3.15 และ 0.94 ตามลำดับ นำวัตถุประสงค์ทั้งหมดมาคลุกเคล้าให้เข้ากันจะได้ปุ๋ยหมักผสมมูลโคและมูลสุกร จากนั้นนำปุ๋ยหมักที่ได้บรรจุใส่กระสอบปุ๋ยที่สามารถถ่ายเทอากาศได้ จำนวน 10 กระสอบ กระสอบละประมาณ 15 กิโลกรัม นำไปไว้ในที่ร่มที่มีอากาศถ่ายเทได้ดี

วัตถุประสงค์ที่กึ่งกลางกระสอบปุ๋ยและพลิกกระสอบปุ๋ยไปมา 2-3 ครั้ง ก่อนเก็บตัวอย่างทุกครั้ง โดยสุ่มดักตัวอย่างปุ๋ยกระสอบละ 250 กรัม จำนวน 10 กระสอบ รวมเป็นตัวอย่างเดียว ณ วันที่เก็บ โดยเก็บตัวอย่างถี่ในช่วงแรกที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิสูง และทุก 7 และ 14 วัน เมื่อปุ๋ยอุณหภูมิเริ่มคงที่ โดยเก็บตัวอย่างเมื่อปุ๋ยหมักมีอายุ 0 3 7 14 21 28 35 42 49 63 77 91 และ 105 ตามลำดับ

2. ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างเพื่อนำมาวิเคราะห์

นำตัวอย่างปุ๋ยหมักมาลดความชื้นด้วยวิธีผึ่งให้แห้งในห้องปฏิบัติการที่มีความสะอาด จากนั้นเตรียมตัวอย่างปุ๋ยหมักตามมาตรฐานคุณภาพปุ๋ยอินทรีย์ของ กรมวิชาการเกษตร (2557) ได้แก่ การคัดแยกพลาสติก แก้ว วัสดุมีคม และโลหะอื่นๆ ออก และคัดแยกขนาดของอนุภาคปุ๋ย โดยร่อนผ่านตะแกรง ขนาด 2 มิลลิเมตร ปุ๋ยหมักบางส่วนจะนำไปวิเคราะห์พารามิเตอร์พื้นฐานที่ต้องทำการวิเคราะห์โดยทันที ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้น ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าการนำไฟฟ้า และปริมาณอินทรีย์วัตถุ และส่วนที่เหลือจะนำไปเก็บรักษาไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ -15 องศาเซลเซียส เพื่อร่อนนำไปวิเคราะห์ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด และโพแทสเซียมทั้งหมดต่อไป

3. วิธีการวิเคราะห์

ทำการวิเคราะห์ความชื้นจากผลต่างของน้ำหนักปุ๋ยก่อนอบและหลังอบที่อุณหภูมิ 103–105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง ปริมาณอินทรีย์วัตถุสามารถวิเคราะห์ได้โดยเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 4 ชั่วโมง (Tong et al., 2019) และคาร์บอนอินทรีย์คำนวณจากปริมาณอินทรีย์วัตถุคูณด้วย Van Bemmelen (0.58) (Heaton, Fullen & Bhattacharyya, 2016) ค่าความเป็นกรด-ด่าง และค่าการนำไฟฟ้า สามารถวิเคราะห์ได้จากพีเอชมิเตอร์ (pH meter) และเครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity meter) ตามลำดับ

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total nitrogen) วิเคราะห์ด้วยวิธี Kjeldahl Method ของ AOAC Official Method 955.04 (Latimer, 2012) ซึ่งเป็นการย่อยด้วยกรดซัลฟูริกเข้มข้นและเติมกรดซาลิไซลิก โดยให้ความร้อนและนำไปกลั่นในสภาวะที่เป็นต่าง เพื่อให้ไนโตรเจนระเหยอยู่ในรูปแอมโมเนีย โดยใช้ตัวดักจับเป็นสารละลายกรดไฮโดรคลอริก และนำไปไตเตรทด้วยสารละลายต่าง โซเดียมไฮดรอกไซด์ ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total phosphorus) วิเคราะห์ด้วยวิธีมาตรฐานของ Method of Soil Analysis Part 3 (Kuo, 1996) ซึ่งเป็นการย่อยฟอสฟอรัสด้วยกรด HClO_4 และ HNO_3 เข้มข้นและให้ความร้อน จากนั้นนำสารละลายที่ได้ไปวัดความเข้มข้นของฟอสฟอรัสด้วยวิธีแอสคอร์บิก (Ascorbic method) ซึ่งวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 880 นาโนเมตร และปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด (Total potassium) วิเคราะห์ด้วยวิธี Flame Atomic Absorption Spectrometry; FLAA โดยการย่อยด้วยกรดไนตริกและนำสารละลายที่ย่อยได้ไปวัดความเข้มข้นของโพแทสเซียม

4. การวิเคราะห์ทางสถิติ

การวิเคราะห์ทางสถิติใช้โปรแกรมสำเร็จรูป IBM SPSS Statistics Version 23 เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ที่ทำการศึกษาในปุ๋ยหมักด้วยสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน หาตัวแบบความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์และระยะเวลาในการหมักด้วยการวิเคราะห์

การถดถอยเชิงเส้น และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างระยะเวลาในการหมักของพารามิเตอร์ต่างๆ ด้วยการใช้วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และสถิติทดสอบของ Duncan

ผลการวิจัย

การศึกษานี้ศึกษาอิทธิพลของกระบวนการหมักต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม รวมถึงคุณลักษณะของปุ๋ยหมักต่างๆ ตลอดกระบวนการหมักเปรียบเทียบกับมาตรฐานกรมวิชาการเกษตร มีรายละเอียดดังนี้

1. คุณลักษณะของปุ๋ยหมัก

ในการหมักปุ๋ย พบว่า กิจกรรมการย่อยสลายของจุลินทรีย์มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของปุ๋ยหมัก สามารถแบ่งคุณสมบัติตามการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิได้เป็น 3 ระยะ ได้แก่ ระยะเริ่มผสมในวันที่ 0 ปุ๋ยหมักมีอุณหภูมิ 33.3 องศาเซลเซียส ใกล้เคียงบรรยากาศภายนอกและยังคงมองเห็นวัสดุหมักชัดเจน จากนั้นอุณหภูมิจะสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 3 วันแรก และสูงมากกว่า 50.0 องศาเซลเซียส และจะค่อยๆ ลดลงจนเท่ากับอุณหภูมิภายนอกในวันที่ 28 ในช่วงอุณหภูมิสูงนี้เรียกว่าระยะอุณหภูมิสูง (Thermophilic phase) จากนั้นปุ๋ยหมักจะเข้าสู่ระยะที่พัฒนาเต็มที่ (Mature phase) อุณหภูมิปุ๋ยหมักเท่ากับอุณหภูมิภายนอก นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณอินทรีย์วัตถุและอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องสัมพันธ์กับระยะเวลาการหมักอย่างมีนัยสำคัญ ($r = -0.387, P < 0.05$ และ $r = -0.630, P < 0.01$ ตามลำดับ) ดังภาพที่ 1 สามารถเขียนสมการความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างการลดลงของอินทรีย์วัตถุและอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนกับเวลาการหมักได้ ดังสมการที่ 1-2

$$OM (\%) = - 0.0269t + 62.944 \quad R^2 = 0.1829 \quad (1)$$

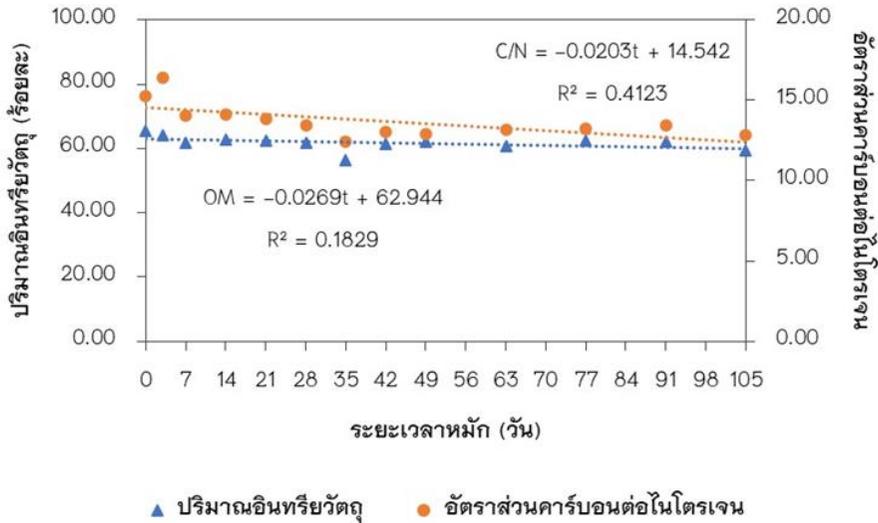
$$C/N = - 0.0203t + 14.542 \quad R^2 = 0.4123 \quad (2)$$

เมื่อ OM หมายถึง ปริมาณอินทรีย์วัตถุ

C/N หมายถึง อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน

t หมายถึง ระยะเวลาการหมัก (วัน)

พบว่า ปริมาณร้อยละของอินทรีย์วัตถุและอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนลดลงคิดเป็นอัตรา 2.69×10^{-2} และ 2.03×10^{-2} ต่อวัน ตามลำดับ



ภาพที่ 1 ความสัมพันธ์เชิงเส้นของปริมาณอินทรีย์วัตถุและอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนกับระยะเวลาการหมัก ($r=-0.387$, $P<0.05$ และ $r=-0.630$, $P<0.01$)

นอกจากนี้การย่อยสลายอินทรีย์วัตถุยังปลดปล่อยธาตุอาหารที่มีประจุเพิ่มขึ้นทำให้ค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้นสัมพันธ์กับระยะเวลาการหมักอย่างมีนัยสำคัญ ($r=0.895$, $P<0.01$) โดยคุณลักษณะของปุ๋ยหมักเมื่อเริ่มผสมวันที่ 0 วันที่ปุ๋ยเข้าสู่ระยะพัฒนาเต็มในวันที่ 28 และวันสิ้นสุดกระบวนการหมักวันที่ 105 ดังตารางที่ 1 เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับมาตรฐานกรมวิชาการเกษตร (2557) พบว่า อยู่ในช่วงตามประกาศมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์เพื่อการจำหน่ายตามประกาศกรมวิชาการเกษตร (2557) ดังนี้ ค่าความเป็นกรด-ด่างมีค่าอยู่ในช่วง 6.82-8.16 ร้อยละปริมาณความชื้นมีค่าอยู่ในช่วง 11.56-25.42 ปริมาณร้อยละของอินทรีย์วัตถุมีค่าอยู่ในช่วง 56.56-62.36 และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมีค่าอยู่ในช่วง 12.45-13.44 อย่างไรก็ตามค่าการนำไฟฟ้าในช่วงท้ายๆ ของการหมักวันที่ 77 และ 105 สูงกว่ามาตรฐานเล็กน้อย โดยมีค่าอยู่ในช่วง 4.68-6.07 เดซิซีเมนต์/เมตร จากปริมาณธาตุอาหารที่ปลดปล่อยออกมา

ตารางที่ 1 คุณลักษณะของปุ๋ยหมัก

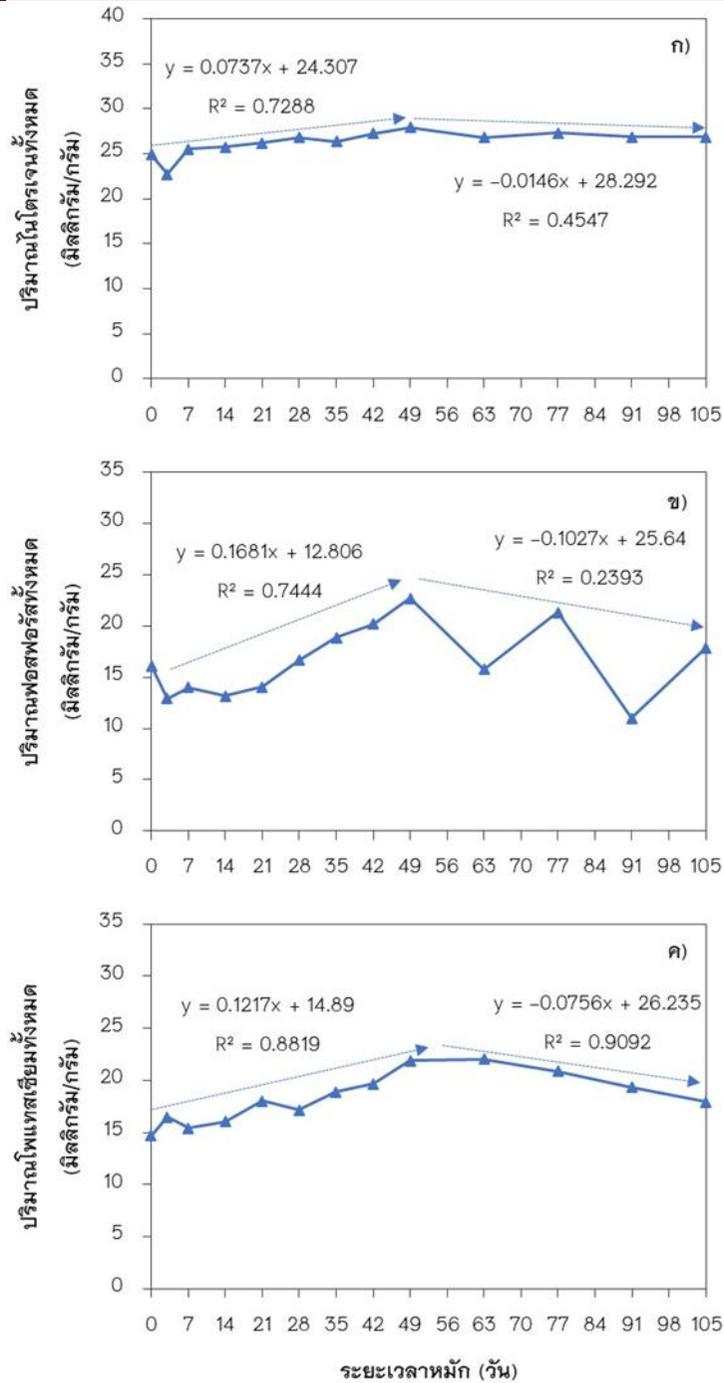
พารามิเตอร์	มาตรฐาน*	วันที่ 0	วันที่ 28	วันที่ 105
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ไม่กำหนด	33.3±(0.58)	28.3±(1.53)	20.7±(0.58)
ค่าความเป็นกรด-ด่าง	5.5–8.5	7.52±(0.05)	8.10±(0.02)	7.75±(0.07)
ค่าการนำไฟฟ้า (เดซิซีเมนต์/เมตร)	≤6	3.38±(0.09)	4.68±(0.03)	6.04±(0.04)
ความชื้น (ร้อยละ)	≤35	54.19±(0.11)	25.42±(0.52)	11.56±(0.17)
อินทรีย์วัตถุ (ร้อยละ)	≥30	65.48±(0.82)	61.96±(1.53)	59.46±(1.15)
อัตราส่วนคาร์บอน ต่อไนโตรเจน	≤20 : 1	15.24±(0.27)	13.41±(0.36)	12.83±(0.10)

หมายเหตุ * มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์เพื่อการจัดจำหน่ายตามประกาศกรมวิชาการเกษตร (2557)

2. อิทธิพลของกระบวนการหมักต่อไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม

กระบวนการย่อยสลายโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ในกระบวนการหมักจะช่วยปลดปล่อยธาตุอาหารและองค์ประกอบที่ย่อยสลายยากออกมาเพิ่มขึ้น สำหรับในการศึกษานี้ พบว่าปริมาณธาตุไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด และโพแทสเซียมทั้งหมด มีความเข้มข้นอยู่ในช่วง 22.71–27.95 11.03–22.69 และ 14.70–22.06 มิลลิกรัม/กรัม ตามลำดับ โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วง 49 วันแรก จากนั้นจะค่อยๆ ลดลง ดังภาพที่ 2 ก)–ค) โดยอัตราการเพิ่มขึ้นในช่วงแรกนี้มีค่า 0.0737 0.1681 และ 0.1217 มิลลิกรัมต่อวัน ตามลำดับ สอดคล้องกับการจัดกลุ่มเปรียบเทียบเชิงปริมาณด้วย Duncan ที่พบว่า วันที่ 49 อยู่ในกลุ่มที่มีปริมาณสูงที่สุดทั้ง 3 ธาตุ ดังตารางที่ 2 จากนั้นปริมาณไนโตรเจนจะลดลงเล็กน้อยในอัตรา 0.0146 ต่อวัน ขณะที่ฟอสฟอรัสค่อนข้างแปรปรวนและมีแนวโน้มลดลงในอัตรา 0.1027 ต่อวัน ส่วนโพแทสเซียมยังคงมีค่าที่ค่อนข้างสูงและจัดอยู่ในกลุ่มที่มีค่ามากที่สุดไปจนถึงวันที่ 91 จึงจะลดลงในวันที่ 105

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์เชิงปริมาณของธาตุอาหารทั้ง 3 ธาตุ ดังภาพที่ 3 พบว่าวันที่ 49 เป็นวันที่เหมาะสมในการเลือกปุ๋ยหมักไปใช้ประโยชน์ จากนั้นปริมาณธาตุอาหารจะเริ่มลดลงจากการนำไปใช้ของจุลินทรีย์

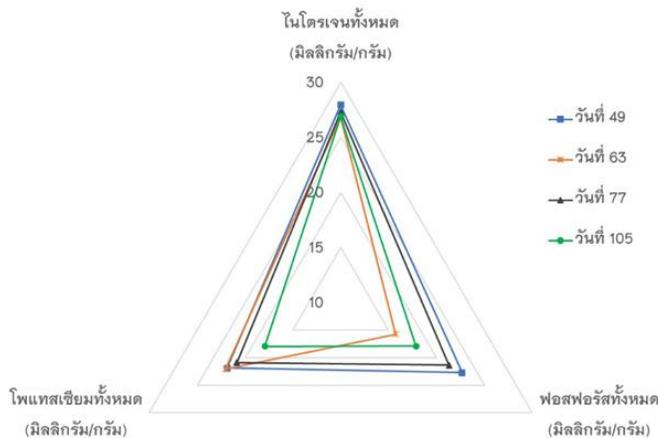


ภาพที่ 2 ปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ก) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด
 ข) ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด และ ค) ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด

ตารางที่ 2 การแบ่งกลุ่มเปรียบเทียบเชิงปริมาณของไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด และ โปแทสเซียมทั้งหมด

ปริมาณ	กลุ่ม	ไนโตรเจนทั้งหมด	ฟอสฟอรัสทั้งหมด	โปแทสเซียมทั้งหมด
<div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <div style="border-left: 1px solid black; height: 100%; margin-right: 5px;"></div> <div style="text-align: center;"> <p>↓</p> <p>มากที่สุด</p> </div> </div>	a	วันที่ 3	วันที่ 3 7 14 21 และ 91	วันที่ 0 7 และ 14
	b	วันที่ 0	วันที่ 0 3 7 14 21 28 และ 63	วันที่ 3 7 และ 14
	c	วันที่ 7 และ 14	วันที่ 0 7 21 28 63 และ 105	วันที่ 3 14 และ 28
	d	วันที่ 21 และ 35	วันที่ 0 28 35 63 และ 105	วันที่ 3 21 28 และ 105
	e	วันที่ 28 63 91 และ 105	วันที่ 28 35 42 และ 105	วันที่ 21 35 91 และ 105
	f	วันที่ 42 และ 77	วันที่ 35 42 77 และ 105	วันที่ 21 35 42 และ 91
	g	วันที่ 49	วันที่ 42 49 และ 77	วันที่ 42 77 และ 91
	h	-	-	วันที่ 49 63 และ 77

หมายเหตุ อักษร a b c d e f g และ h แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ด้วยสถิติทดสอบของ Duncan



ภาพที่ 3 ปริมาณความเข้มข้นของไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด และโปแทสเซียมทั้งหมดในกลุ่มวันที่ปุ๋ยหมักพัฒนาเต็มที่และอยู่ในกลุ่มที่มีค่ามากที่สุด

อภิปรายผล

การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในระยะต่างๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการหมักซึ่งเกิดจากกิจกรรมการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุของจุลินทรีย์ในปุ๋ยหมักและมีการปลดปล่อยความร้อนออกมาทำให้อุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักสูงขึ้น ซึ่งในช่วงนี้กลุ่มเชื้อราและแอคติโนมัยซีทที่ชอบอุณหภูมิสูงมักเป็นจุลินทรีย์ที่เด่นในการย่อยสลายเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน (Do et al., 2021; Insam & de Bertoldi, 2007) หลังจากนั้นจะค่อยๆ ลดบทบาทลงในระยะที่ปุ๋ยหมักเข้าสู่ระยะพัฒนาเต็มที่แต่ยังคงมีจุลินทรีย์กลุ่มอุณหภูมิปานกลาง (Mesophilic organisms) ที่ยังย่อยสลายปุ๋ยอย่างต่อเนื่อง (Wang, Tang & Yuan, 2022) และเกิดสารอินทรีย์ที่มีความเสถียรเพิ่มขึ้น เช่น สารฮิวมิก (Yu et al., 2019) นอกจากนี้กิจกรรมการย่อยสลายของจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นสามารถบ่งชี้ได้จากปริมาณของอินทรีย์วัตถุและอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่มีอัตราลดลงแสดงให้เห็นถึงการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุที่ทำให้ปริมาณคาร์บอนลดลงและบางส่วนถูกปลดปล่อยเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ขณะที่ปริมาณไนโตรเจนที่เกิดจากกระบวนการย่อยสลายไม่ได้สูญเสียไปในรูปแก๊สแอมโมเนียมากนักและยังคงทยอยปลดปล่อยออกมาในปุ๋ยหมักทำให้มีปริมาณไนโตรเจนเพิ่มขึ้นส่งผลให้อัตราการลดลงของอินทรีย์วัตถุสูงกว่าอัตราการลดลงของอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนดังกล่าว สอดคล้องกับการศึกษาของ Zhou (2017) ที่แม้จะมีการปรับเปลี่ยนอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนด้วยรำข้าวในการหมักปุ๋ยหมักมูลสุกรผสมวัสดุเพาะเห็ดเป็น 16.3 19.1 24.1 และ 29.6 พบว่า ทุกชุดทดสอบปริมาณอินทรีย์วัตถุลดลงตลอดระยะเวลาการหมักขณะที่ปริมาณไนโตรเจนในช่วงที่ปุ๋ยหมักพัฒนาเต็มที่เพิ่มขึ้นโดยเฉพาะในปุ๋ยที่มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นที่ต่ำกว่าจะเกิดการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุได้มากกว่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่มีค่าสูงและมีปริมาณไนโตรเจนที่ถูกปลดปล่อยออกมาสูงกว่าชุดทดสอบอื่นๆ ซึ่งอัตราส่วนที่ต่ำที่สุดนี้เป็นอัตราส่วนที่ใกล้เคียงกับงานวิจัยที่มีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นที่ 15.2

สำหรับกระบวนการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุจะปลดปล่อยธาตุอาหารที่มีประจุออกมาอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้ค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจึงมีค่าเกินมาตรฐานกรมวิชาการเกษตรในช่วงท้ายๆ ของการหมักวันที่ 77 และ 105 ดังนั้นปุ๋ยในระยะนี้จึงไม่ค่อยเหมาะสมที่จะนำไปใช้ เพราะอาจเกิดปัญหาดินเค็มจากไอออนของธาตุอาหารที่ค่อนข้างสูงดังกล่าว นอกจากนี้กระบวนการหมักจะปลดปล่อยธาตุอาหารไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมออกมามากในช่วงแรกของการหมักที่ยังคงมีวัตถุตั้งต้นเพียงพอต่อความต้องการของจุลินทรีย์ หลังจากนั้นธาตุอาหารทั้ง 3 ชนิด จะมีแนวโน้มลดลงจากการที่สารตั้งต้นหมดไป โดยการลดลงของฟอสฟอรัสจะมีความแปรปรวน เนื่องจากฟอสฟอรัสอินทรีย์ที่เกิดจากกระบวนการหมักถูกจุลินทรีย์นำไปใช้แทน (Wang et al., 2019) แสดงให้เห็นว่าอัตราการย่อยสลายปลดปล่อยธาตุอาหารหลักทั้ง 3 ธาตุ

ในช่วง 49 วันแรก มีความคล้ายคลึงกัน แต่เมื่อวัตถุดิบตั้งต้นหมดไป การนำไปใช้ของจุลินทรีย์ต่อธาตุอาหารทั้ง 3 ธาตุ มีอัตราการนำไปใช้ที่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตามก็มีการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุยังคงเป็นปัจจัยที่เด่นในการเพิ่มธาตุอาหารเชิงปริมาณโดยปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม สัมพันธ์กับการลดลงของอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนตลอดกระบวนการหมักอย่างมีนัยสำคัญ ($r=-0.891, P<0.01$ $r=-0.469, P<0.01$ และ $r=-0.604, P<0.01$ ตามลำดับ) สอดคล้องกับการศึกษาของ Li et al (2019) ที่ศึกษาปุ๋ยหมักมูลสุกรผสมฟางข้าวโพดทั้งในสถานะที่เดิมและไม่เดิมจุลินทรีย์ก็มีการเพิ่มขึ้นของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม สัมพันธ์กับการลดลงของอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเช่นกัน และการศึกษาของ Abdellah et al. (2021) ที่ศึกษาปุ๋ยหมักมูลสุกรที่พบว่าธาตุอาหารทั้ง 3 ธาตุ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงระยะที่อุณหภูมิสูง สัมพันธ์กับการลดลงของอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่ค่อยๆ ลดลงทั้งในสถานะที่เดิมและไม่เดิมจุลินทรีย์ แม้ว่าการศึกษาทั้งสองจะแสดงให้เห็นว่าการเติมจุลินทรีย์เพิ่มปริมาณการปลดปล่อยธาตุอาหารเพิ่มขึ้นก็ตาม

สรุปผลการวิจัย

ปุ๋ยหมักที่ผลิตได้จากการวิจัยในครั้งนี้มีคุณลักษณะตามประกาศมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์เพื่อการจัดจำหน่ายตามประกาศกรมวิชาการเกษตร การย่อยสลายอินทรีย์วัตถุโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์มีผลต่อปริมาณธาตุอาหารหลักของพืชในปุ๋ยหมัก โดยปริมาณธาตุอาหารทั้ง 3 ชนิดจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องและเริ่มลดลงหลังจากวันที่ 49 ของระยะเวลาการหมัก โดยหลังจากนั้นจะเริ่มลดลงและเมื่อระยะเวลาการหมักถึงวันที่ 63 ปุ๋ยหมักจะมีค่าการนำไฟฟ้าสูงเกินค่ามาตรฐานทำให้ไม่เหมาะที่จะนำไปใช้ ซึ่งการศึกษาอิทธิพลของกระบวนการหมักต่อคุณลักษณะของปุ๋ยหมักและการปลดปล่อยธาตุอาหารจะเป็นแนวทางในการเลือกอายุปุ๋ยหมักและการจัดการที่เหมาะสมได้ในอนาคตต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร และสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษาผ่านสำนักบริหารการวิจัยนวัตกรรมและการสร้างสรรค์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

เอกสารอ้างอิง

- ณัฐรัชชยธร ชัดตียะพุดิเมธ, และชวลีมาศ บุญไทย อิวาย. (2561). ผลของระยะเวลาการเก็บรักษาต่อคุณภาพของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน. *วารสารดินและปุ๋ย*, 40(2), 31–38.
- ประกาศกรมวิชาการเกษตร. (2557). *ราชกิจจานุเบกษา*, 131 (ตอนพิเศษ 29 ง), 4.
- Abdellah, Y.A.Y., Li, T., Chen, X., Cheng, Y., Sun, S., Wang, Y., Jiang, C., Zhang, H., & Li, C. (2021). Role of psychrotrophic fungal strains in accelerating and enhancing the maturity of pig manure composting under low-temperature conditions. *Bioresource Technology*, 320, 124402.
- Do, T., Le, V., Ngo, C., Do, T., & Dang, T. (2021). Biological characteristics and classification of thermophilic actinomycetes showed extracellular hydrolytic enzymes producing ability isolated from compost. *E3S Web of Conferences*, 265, 04008.
- Heaton, L., Fullen, M., & Bhattacharyya, R. (2016). Critical Analysis of the van Bemmelen Conversion Factor used to Convert Soil Organic Matter Data to Soil Organic Carbon Data: Comparative Analyses in a UK Loamy Sand Soil. *Espaço Aberto*, 6, 35–44.
- Insam, H., & de Bertoldi, M. (2007). **Chapter 3 Microbiology of the composting process**. In L. F. Diaz, M. de Bertoldi, W. Bidlingmaier, & E. Stentiford (Eds.), *Waste Management Series* (8, 25–48): Elsevier.
- Latimer, G.W. (2012). **Official Methods of Analysis of AOAC International**. (19th ed.). Gaithersburg: AOAC International.
- Li, C., Li, H., Yao, T., Su, M., Ran, F., Han, B., Li, J., Lan, X., Zhang, Y., Yang, X., & Gun, S. (2019). Microbial inoculation influences bacterial community succession and physicochemical characteristics during pig manure composting with corn straw. *Bioresource Technology*, 289, 121653.
- Tong, B., Wang, X., Wang, S., Ma, L., & Ma, W. (2019). Transformation of nitrogen and carbon during composting of manure litter with different methods. *Bioresource Technology*, 293, 122046.
- Wang, L., Li, Y., Prasher, S.O., Yan, B., Ou, Y., Cui, H., & Cui, Y. (2019). Organic matter, a critical factor to immobilize phosphorus, copper, and zinc during composting under various initial C/N ratios. *Bioresource Technology*, 289, 121745.
- Wang, Y., Tang, Y., & Yuan, Z. (2022). Improving food waste composting efficiency with mature compost addition. *Bioresource Technology*, 349, 126830.
- Yu, H., Xie, B., Khan, R., & Shen, G. (2019). The changes in carbon, nitrogen components and humic substances during organic-inorganic aerobic co-composting. *Bioresource Technology*, 271, 228–235.
- Zhou, J.-M. (2017). The Effect of Different C/N Ratios on the Composting of Pig Manure and Edible Fungus Residue with Rice Bran. *Compost Science & Utilization*, 25(2), 120–129.