



บทความวิจัย

การผลิตปุ๋ยหมักแบบไร้อากาศจากมูลช้างร่วมกับเศษอาหารช้างและกากมูลหมักโดยมีการหมุนเวียนก๊าซชีวภาพ

Anaerobic compost production from elephant dung in combination with elephant food wastes and fermented slurry by biogas recirculation

ปิติพร มโนคุณ¹ วิมลมาศ บุญยั้งยืน² ธันยียา รังษีสุริยะชัย^{3*}

¹ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ จังหวัดนนทบุรี 11000

² สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมและการจัดการภัยพิบัติ มหาวิทยาลัยมหิดล วิทยาเขตกาญจนบุรี จังหวัดกาญจนบุรี 71150

³ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110

Pitiporn Manokhoo¹ Wimonmas Boonyungyuen² Thaneeya Rangseesuriyachai^{3*}

¹ Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi, Nonthaburi, Thailand 11000

² Division of Environmental Engineering and Disaster Management, Mahidol University Kanchanaburi Campus, Kanchanaburi, Thailand 71150

³ Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathumthani, Thailand 12110

* Corresponding author.

E-mail: thaneeya.r@en.rmutt.ac.th; Telephone: 0 81733 9150

วันที่รับบทความ 14 ธันวาคม 2564; วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 1 8 มีนาคม 2565; วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 2 21 เมษายน 2565

วันที่ตอบรับบทความ 24 พฤษภาคม 2565

บทคัดย่อ

สถานที่เลี้ยงช้างเป็นแหล่งหนึ่งที่เกิดของเสียปริมาณมหาศาลโดยส่วนใหญ่เกิดจากเศษอาหารช้างและมูลช้างซึ่งสามารถนำมาหมักปุ๋ยแบบไร้อากาศเพื่อให้บรรลุเป้าหมายด้านการจัดการขยะที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์และช่วยลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาดังนี้ 1) เพื่อหาสูตรการหมักร่วมที่มีความเหมาะสมจากคุณลักษณะของปุ๋ยหมัก และ 2) เปรียบเทียบคุณค่าธาตุอาหารหลักของวัสดุหมักแต่ละสูตรที่มีการหมุนเวียนก๊าซชีวภาพที่มาสวมในถังหมักกับการหมักแบบไม่มีการหมุนเวียนก๊าซ โดยทำการแปรเปลี่ยนอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C:N ratio) เริ่มต้นที่ 30 50 และ 75 ด้วยการคำนวณและเลือกวัสดุหมักที่ทำให้มีค่าเริ่มต้นจากวัสดุหมัก ได้แก่ มูลช้างสด ใบหญ้าเนเปียร์ ลำต้นหญ้าเนเปียร์ ใบสับปะรด เหง้าสับปะรด ฟางข้าว และกากมูลหมัก ทำการแปรเปลี่ยนรูปแบบการหมุนเวียนก๊าซชีวภาพ (Recirculate biogas; RB) โดยมีการสะสมก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในระบบและไม่มีการสะสมก๊าซชีวภาพ (Non-recirculate biogas; NRB) ผลการทดลองพบว่า การหมุนเวียนก๊าซชีวภาพและอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนซึ่งเกิดจากวัสดุหมักที่แตกต่างกันมีผลต่อลักษณะการเกิดเป็นปุ๋ยหมักที่สมบูรณ์ โดยผลิตภัณฑ์ที่มีค่า C:N เท่ากับ 30 NRB และ 50 RB มีคุณลักษณะผ่านเกณฑ์การเป็นปุ๋ยอินทรีย์ตามมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ที่กรมวิชาการเกษตรกำหนด โดยมีค่าธาตุอาหารไนโตรเจนเท่ากับ 1.77 และ 1.64 %wt ฟอสฟอรัสเท่ากับ 1.06 และ 0.62 %as P₂O₅ และโพแทสเซียมเท่ากับ 4.7 และ 2.1 %wt สำหรับชุดการทดลองที่ C:N 30 NRB และ C:N 50 RB ตามลำดับ ดังนั้นการทำปุ๋ยหมักแบบไร้อากาศจากของเสียที่เกิดจากการเลี้ยงช้างจึงเป็นการพัฒนาที่ยั่งยืนต่อชุมชนและสามารถทำให้เกิดการจัดการขยะเป็นศูนย์ได้

คำสำคัญ

ปุ๋ยหมัก การหมักปุ๋ยแบบไร้อากาศ มูลช้าง กากมูลหมัก

Abstract

Elephant camps are the source of massive amounts of waste, mainly from elephant food scraps and dung. These wastes can be used for anaerobic composting to achieve usable waste management goal and reduce greenhouse gas emissions. The objective of this study was 1) to study the appropriate co-fermentation formula based on the characteristics of the compost and 2) to compare the macronutrient value of each formulation of compost with recirculating biogas accumulated in the compost bin with non-recirculating fermentation. The initial carbon to nitrogen ratio (C:N ratio) was varied at 30, 50, and 75 by calculation. The substrates used were fresh elephant dung, Napier grass, Napier grass stems, pineapple leaves, pineapple rhizomes, rice straw, and fermented slurry. This experiment modified the biogas recirculation model with biogas accumulation occurring in the system and no biogas accumulation. The results showed that biogas recirculation and the carbon to nitrogen ratio resulting from different compost materials affect the complete composting characteristics. The products with C:N ratio of 30 NRB and 50 RB are qualified to be organic fertilizer according to the organic fertilizer standard set by the Department of Agriculture. Nitrogen contents were 1.77% and 1.64%wt, phosphorus contents were 1.06 and 0.62% as P_2O_5 , and potassium contents were 4.7 and 2.1%wt for the experimental set at C:N 30 NRB and C:N 50 RB, respectively. Therefore, anaerobic composting from the wastes produced by elephant husbandry is a sustainable development for the community and can lead to zero waste management. In addition, circulating gas back into the system without being released into the atmosphere can help reduce greenhouse gas emissions as well.

Keywords

compost; anaerobic composting; elephant dung; fermented slurry

1. บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีความเกี่ยวข้องกับการเลี้ยงช้างมาเป็นเวลานานตามประวัติศาสตร์ของชาติไทย โดยในปัจจุบันมีการเลี้ยงช้างอยู่เป็นจำนวนมากในหลายภูมิภาค มีปางช้างที่สำคัญในหลายๆ จังหวัด เช่น สุรินทร์ เชียงใหม่ พระนครศรีอยุธยา เป็นต้น ช้างเป็นสัตว์ขนาดใหญ่ที่มีการบริโภคอาหารต่อตัวต่อวันเป็นจำนวนมากโดยสามารถบริโภคอาหารคิดเป็น 5-10% ของน้ำหนักตัวเฉลี่ยต่อเชือก และก่อให้เกิดของเสียจากมูลช้างถึงวันละ 150 kg ต่อตัว และช้างเลี้ยงในประเทศไทยที่ใช้ในอุตสาหกรรมการท่องเที่ยวมีจำนวนเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยข้อมูลสำรวจในเดือนมกราคม 2563 มีช้างเลี้ยงทั้งสิ้นประมาณ 2,779 ตัว เมื่อคิดเป็นมูลช้างที่ผลิตต่อวันก็จะมากถึงประมาณ 420 ton/d [1] รวมถึงเศษอาหารที่ช้างกินไม่ได้ซึ่งก่อให้เกิดเป็นของเสียเช่นกัน ดังนั้นจะเห็นได้ว่าของเสียที่เกิดจากการขับถ่ายของช้างรวมไปถึงเศษอาหารที่เหลือจากการบริโภคของช้างจำพวกเศษผัก ผลไม้ และหญ้าที่เป็นอาหารสัตว์เป็นปริมาณมหาศาลต่อวัน ของเสียเหล่านี้ล้วนเป็นขยะอินทรีย์ที่เป็นปัญหาในเรื่องการจัดการขยะในระบบฝังกลบมาอย่างยาวนานอันเนื่องมาจากการย่อยสลายที่เร็ว ก่อให้เกิดปัญหากลิ่นและเชื้อโรค และเป็นปัญหารบกวนชุมชน

บริเวณข้างเคียง ดังนั้นเพื่อเป็นการลดปัญหาดังกล่าวจึงควรมีการจัดการขยะที่เกิดขึ้นนี้อย่างเหมาะสมและเกิดประโยชน์สูงสุด โดยงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการนำของเสียอินทรีย์จากมูลช้างและเศษวัสดุทางการเกษตรไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ เช่น การทำปุ๋ยหมัก [2] การผลิตก๊าซชีวภาพ [3] ไบโอมีเทน [4] ไบโอดีโรเจน [5] เป็นต้น

จากสถานการณ์ของโลกในปัจจุบันทั่วโลกจึงได้มีการร่วมมือกันในการที่โลกกำลังเผชิญอยู่ เช่น ความยากจน ความไม่เท่าเทียม สภาวะโลกร้อน และสันติสุข ผ่านการจัดทำเป้าหมายเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals –SDGs) ทั้งหมด 17 ข้อ มุ่งหวังจะช่วยแก้ปัญหาดังกล่าวให้สำเร็จได้ภายในปี 2030 ซึ่งในเป้าหมายข้อที่ 12 และ 13 ในด้านแผนการบริโภคและการพัฒนาที่ยั่งยืน และการรับมือการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศนั้นเป็นเป้าหมายทางด้านการกำจัดขยะและการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญในการสร้างความยั่งยืนทางด้านสิ่งแวดล้อม [6] หนึ่งในตัวเลือกที่ก่อให้เกิดประโยชน์ทั้งในด้านการกำจัดของเสียแล้วนั้น ยังก่อให้เกิดเป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้ทางด้านการเกษตรปลอดภัยซึ่งเป็นประโยชน์ต่อเกษตรกรไทยแล้วมีผลพลอยได้เป็นเชื้อเพลิงชีวภาพอีกด้วย ได้แก่ การทำปุ๋ย

หมักแบบไม่ใช้อากาศ ปุ๋ยหมักเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางในการเปลี่ยนของเสียอินทรีย์ให้เป็นผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในสภาพเสถียรและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งปุ๋ยหมักประกอบไปด้วยธาตุอาหารที่สำคัญต่อพืชอย่างครบถ้วน กล่าวคือมีไนโตรเจนทั้งหมดประมาณ 0.4 - 2.5 %wt ฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชประมาณ 0.2 - 2.5 %as P₂O₅ และโพแทสเซียมในรูปละลายน้ำได้ประมาณ 0.5 - 1.8 %wt [7] ธาตุอาหารเหล่านี้เป็นสารอาหารสำหรับการเจริญเติบโตของพืช จะมีการสลายตัวอย่างช้าๆ ค่อยๆ ปลดปล่อยธาตุอาหารอย่างสม่ำเสมอให้แก่พืช รวมทั้งช่วยปรับปรุงคุณสมบัติของดินทั้งทางด้านกายภาพ เคมี และชีวภาพ อย่างไรก็ตามการหมักปุ๋ยแบบไม่ใช้อากาศซึ่งเป็นกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่โดยอาศัยจุลินทรีย์กลุ่มสร้างกรดและกลุ่มสร้างมีเทนเพื่อให้เกิดสารที่มีโมเลกุลขนาดเล็กใช้สำหรับการสร้างเซลล์และกระบวนการเมตาบอลิซึมของจุลินทรีย์ในแต่ละประเภทและสารอินทรีย์โมเลกุลขนาดเล็กเหล่านี้จะถูกออกซิไดส์ในขั้นตอนต่างๆ ได้แก่ ขั้นตอนการไฮโดรไลซิส การสร้างกรด การสร้างกรดอะซิติก จากกรดไขมันระเหยอื่นๆ และการสร้างมีเทน จนก่อให้เกิดผลิตภัณฑ์ส่วนหนึ่งเป็นก๊าซชีวภาพ ได้แก่ ก๊าซมีเทน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซอื่นๆ ซึ่งมีส่วนประกอบที่ก่อให้เกิดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gases Emission: GHG Emission) โดยการหมักแบบไร้อากาศก่อให้เกิดการปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์จากกากมูลหมักได้ถึงประมาณ 13% นอกจากนี้ยังปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการย่อยสลายสารอินทรีย์ในปริมาณมาก รวมถึงก๊าซมีเทนที่ปลดปล่อยออกมาอยู่ในปริมาณประมาณ 0.5-50% เช่นกัน [8] ซึ่งอาจทำให้การหมักปุ๋ยเกิดข้อกังวลในด้านการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าก๊าซแอมโมเนียมีความสามารถในการดักจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อเก็บกักไว้ในการใช้ประโยชน์ในด้านธาตุอาหารแก่พืชได้ [9] นอกจากนี้กากมูลหมักที่เหลือจากการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศนั้นมีความเข้มข้นของแอมโมเนียที่สูง [10] สามารถนำมาใช้เป็นตัวดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ได้ดีในช่วงอุณหภูมิ 35-55°C โดยสาร อัลคาไลน์แอมโมเนียให้กลายเป็นแอมโมเนียมคาร์บอเนต ซึ่งสามารถนำกากมูลหมักที่ได้ดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไปใช้

ประโยชน์ในการเพาะปลูกพืชได้ [11] ดังนั้นการนำกากมูลหมัก (Fermented Slurry) ซึ่งเป็นกากที่เหลือจากกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนมาใช้เป็นวัสดุหมักร่วม รวมถึงทำการหมนเวียนก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นภายในถังมาสะสมไว้ในถังหมักปุ๋ยจะสามารถช่วยลดข้อกังวลในด้านการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกสู่ชั้นบรรยากาศและจะสามารถช่วยเพิ่มธาตุอาหารให้แก่ปุ๋ยหมักได้อีกทางหนึ่งด้วย อย่างไรก็ตามยังมีข้อมูลในการนำมูลขี้มาหมักร่วมกับเศษอาหารข้างและกากมูลหมักเพื่อผลิตเป็นปุ๋ยหมักด้วยกระบวนการแบบไร้อากาศที่มีการหมนเวียนก๊าซชีวภาพมาสะสมไว้ในถังหมักปุ๋ย

ดังนั้นงานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายในการผลิตปุ๋ยหมักจากของเสียที่เกิดขึ้นจากการเลี้ยงช้างด้วยกระบวนการแบบไร้อากาศที่มีการหมนเวียนก๊าซชีวภาพจากระบบเข้าสู่ถังหมัก โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาสูตรการหมักร่วมที่มีความเหมาะสมในการผลิตปุ๋ยจากมูลขี้ เศษอาหารข้างและกากมูลหมักจากกระบวนการหมักแบบไร้อากาศ และศึกษาเปรียบเทียบผลของลักษณะการเปลี่ยนแปลงของปุ๋ยหมักที่มีการหมนเวียนก๊าซชีวภาพที่เหมาะสมในถังหมักปุ๋ยกับการหมักแบบปกติ รวมถึงปริมาณของก๊าซเรือนกระจกที่ลดได้จากการปลดปล่อยออกมาในระหว่างการผลิตปุ๋ยหมักถ้ามีการหมนเวียนก๊าซชีวภาพกลับเข้ามาสะสมแทนที่การปล่อยส่วนเกินที่ออกไป โดยในการผลิตปุ๋ยหมักจากงานวิจัยนี้จะสามารถส่งเสริมการเกษตรรูปแบบใหม่ที่เรียกกันว่า “เกษตรปลอดภัย” อันส่งผลดีต่อสุขภาพของผู้บริโภค รวมถึงการบรรลุเป้าหมายของการพัฒนาอย่างยั่งยืนตามเป้าหมายของ SDGs ในการจัดการการใช้ทรัพยากรธรรมชาติร่วมกันอย่างมีประสิทธิภาพ การกำจัดขยะและลดมลพิษด้วย

2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 การเตรียมวัสดุหมัก

วัสดุหมักที่ใช้ในการทดลองประกอบไปด้วยวัสดุที่เป็นของเสียที่เกิดขึ้นภายในสถานที่เลี้ยงช้างโดยรวบรวมมาจากหมู่บ้านข้างเพนียดหลวง ตำบลสวนพริก อำเภอมะเอย่ง พระนครศรีอยุธยา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา ประกอบไปด้วย 1) มูลขี้สด 2) ใบหญ้าเนเปียร์ 3) ลำต้นหญ้าเนเปียร์ 4) ใบสับปะรด 5) เหนังสับปะรด 6) ฟางข้าว และ 7) กากมูลหมัก

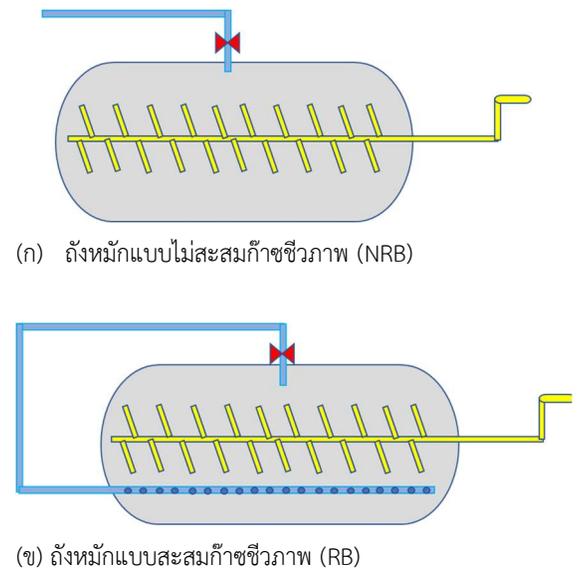
เป็นส่วนที่เหลือในกระบวนการหมักก๊าซชีวภาพจากมูลช้าง และเศษอาหารข้างที่สิ้นสุดการหมักแล้ว โดยทำการสุมเก็บครั้งเดียว จากนั้นนำตัวอย่างวัสดุหมักที่ได้มาทำให้มีขนาดเล็กลงโดยการสับให้มีขนาดประมาณ 4-5 cm เพื่อเตรียมนำเข้าถังหมักตามอัตราส่วนที่กำหนดในแต่ละถัง และสุมเก็บตัวอย่างวัสดุหมักแต่ละชนิดไปทำการวิเคราะห์หาค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C:N ratio) เพื่อใช้ในการพิจารณาอัตราส่วนวัสดุหมักตั้งต้นที่มีค่า C:N ratio ที่แตกต่างกัน และวิเคราะห์หาค่าธาตุอาหารหลักในวัสดุหมักแต่ละชนิด โดยค่า C:N ratio และปริมาณธาตุอาหารของวัสดุหมักแต่ละชนิดแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปริมาณธาตุอาหารของวัสดุหมักแต่ละชนิด

วัสดุหมัก	ปริมาณธาตุอาหาร (%wt)				
	C:N ratio	C	N	P	K
มูลช้าง	44.27	54.90	1.24	3.18	0.73
ใบสับปะรด	48.07	53.84	1.12	1.51	0.38
เหง้าสับปะรด	63.69	49.04	0.77	2.14	0.32
ใบหญ้าเนเปียร์	26.58	51.84	1.95	1.41	1.51
ลำต้นหญ้าเนเปียร์	56.89	48.36	0.85	0.94	1.19
ฟาง	88.76	48.82	0.55	0.17	0.52
กากมูลหมัก	31.07	37.91	1.22	0.19	1.27

2.2 การเตรียมถังหมัก

ชุดทดลองในการศึกษานี้เป็นถังหมักปุ๋ยขนาด 20 L แบบทรงกระบอกวางในแนวนอน ทำจากวัสดุที่เป็นเหล็กประกอบ โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางของถัง 24 cm และความยาวของถัง 45 cm ภายในถังประกอบด้วยใบพัดสำหรับกวนวัสดุให้เข้ากันอย่างทั่วถึง ด้านบนของถังทำการเจาะช่องสำหรับใส่วัสดุหมัก ช่องระบายและหมุนเวียนก๊าซชีวภาพ และช่องเก็บตัวอย่างเพื่อนำไปวิเคราะห์ระหว่างทำการทดลอง ดังแสดงรูปแบบชุดทดลองในการทำปุ๋ยหมักแบบไร้อากาศที่มีการสะสมและไม่สะสมก๊าซชีวภาพในรูปที่ 1



รูปที่ 1 รูปแบบถังหมักปุ๋ยแบบไร้อากาศแบบไม่สะสมและสะสมก๊าซชีวภาพ

โดยในการทดลองได้ออกแบบชุดการทดลองออกเป็น 6 ชุดด้วยกัน โดยมีเป้าหมายของการวิจัยเพื่อหาสูตรในการหมักที่ใช้ในการทำเป็น co-composting ให้มีความเหมาะสมตามชนิดของเศษอาหารที่ข้างกินเหลือโดยใช้ค่า C:N ratio เป็นปัจจัยในเบื้องต้นในการพิจารณาชนิดของเศษอาหารที่เหลือที่มีความเหมาะสมในการผสมสัดส่วนตามค่า C:N ratio ของวัสดุหมักโดยวิเคราะห์คุณลักษณะสารตั้งต้นแต่ละชนิดตามตารางที่ 3.1 โดยพิจารณาสูตรอาหารหลายๆ สูตรให้มีค่า C/N ที่นำมาคำนวณแล้วมีค่าตามที่ได้ออกแบบไว้ ซึ่งจะได้ค่า C:N ratio ในการออกแบบการวิจัยเริ่มต้นเท่ากับ 30 50 และ 75 เนื่องจากวัสดุกากของเสียภายในวังช้างจะมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของวัสดุอินทรีย์อยู่ในช่วงการย่อยสลายง่ายจึงทำการแปรเปลี่ยนช่วงของค่า C:N ratio ให้มีค่าสูงขึ้นจากค่าที่เป็นที่นิยมโดยทั่วไป และในแต่ละอัตราส่วนจะมีการแปรเปลี่ยนสภาวะการหมุนเวียนก๊าซชีวภาพโดยทำการสะสมก๊าซชีวภาพในระบบ (Recirculate biogas; RB) และไม่มีการสะสมก๊าซชีวภาพในระบบ (Non-Recirculate biogas; NRB) โดยก๊าซชีวภาพที่นำกลับเข้ามาภายในถังจะทำการต่อท่อหมุนเวียนเข้าทางด้านล่างของถังที่มีเนื้อของวัสดุหมักอยู่ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

ชุดการทดลองที่ 1 และ 2 C:N ratio เท่ากับ 30 โดยประกอบไปด้วย มูลข้าง 27.2% ใบหญ้าเนเปียร์ 63.6% และกากมูลหมัก 9.1% โดยปริมาตร โดยมีการผสมและไม่มีการผสมก๊าซชีวภาพ (C:N 30 RB and C:N 30 NRB)

ชุดการทดลองที่ 3 และ 4: C:N ratio เท่ากับ 50 โดยประกอบไปด้วย มูลข้าง 27.2% ใบสับปะรด 18.2% เหง้าสับปะรด 18.2% ฟางข้าว 9.1% ลำต้นหญ้าเนเปียร์ 9.1% ใบหญ้าเนเปียร์ 9.1% และกากมูลหมัก 9.1% โดยปริมาตร โดยมีการผสมและไม่มีการผสมก๊าซชีวภาพ (C:N 50 RB and C:N 50 NRB)

ชุดการทดลองที่ 5 และ 6: C:N ratio เท่ากับ 75 โดยประกอบไปด้วย มูลข้าง 37.3% ฟางข้าว 63.6% และกากมูลหมัก 9.1% โดยปริมาตร โดยมีการผสมและไม่มีการผสมก๊าซชีวภาพ (C:N 75 RB and C:N 75 NRB)

2.3 ขั้นตอนวิธีและกระบวนการหมัก

การหมักปุ๋ยใช้ระยะเวลาในการทดลองทั้งสิ้น 60 วัน โดยเมื่อทำการเตรียมวัสดุหมักและชุดการทดลองทั้ง 6 ชุดเรียบร้อยแล้ว จะทำการทดสอบการร่วซึมของถังหมักปุ๋ยและจะได้เริ่มทำการหมักด้วยวิธีการหมักแบบกะ (Batch Experiment) โดยทำการใส่วัสดุหมักทั้งหมดตามอัตราส่วนที่ได้ออกแบบไว้และคลุกเคล้าให้เข้ากันใส่ลงไปในถังหมักเพียงครั้งเดียวและเริ่มทำการหมักปุ๋ยแบบไร้อากาศ ทำการสูมเก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ค่าคุณสมบัติของวัสดุหมักเบื้องต้น ระหว่างการหมัก และสิ้นสุดกระบวนการหมัก โดยทำการวิเคราะห์ค่าไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม (K) คาร์บอน (C) ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) อุณหภูมิ และความชื้น รวมถึงระหว่างการทดลองได้ทำการเก็บข้อมูลปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นด้วยการแทนที่น้ำ ทุกๆ 3 วัน และเมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักได้นำตัวอย่างปุ๋ยไปวิเคราะห์คุณภาพของปุ๋ยหมักเบื้องต้น ได้แก่ อินทรีย์คาร์บอน ไนโตรเจนทั้งหมด คาร์บอนต่อไนโตรเจน ฟอสฟอรัสทั้งหมด โพแทสเซียมทั้งหมด ความชื้น ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าการนำไฟฟ้า และดัชนีการงอกของเมล็ด ดังแสดงวิธีวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 วิธีวิเคราะห์ตัวอย่างปุ๋ยตามพารามิเตอร์ต่างๆ

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์
อุณหภูมิ	วิเคราะห์โดยเครื่องเทอร์โมมิเตอร์
ค่าความเป็นกรด-ด่าง	วัดด้วยเครื่อง pH meter (Bench pH Meter 3510 Jenway, England)
ค่าความชื้น (%wt)	วัดด้วยการอบที่อุณหภูมิ 75 °C 24 hr.
ฟอสฟอรัส (total P ₂ O ₅) (%as P ₂ O ₅)	วิเคราะห์โดยใช้วิธี Spectrophotometer
คาร์บอน (C) (%wt)	วิเคราะห์โดยวิธี Walkley-Black method
ไนโตรเจน (N) (%wt)	วิเคราะห์โดยวิธี Kjeldahl method
โพแทสเซียม (K ₂ O) (%wt)	วิเคราะห์โดยวิธี spectroquant potassium cell test

ที่มา: วิธีวิเคราะห์คู่มือการปฏิบัติงานกระบวนการวิเคราะห์พืช ปุ๋ย และสิ่งปรับปรุงดิน กรมพัฒนาที่ดิน กันยายน 2553

2.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์คุณสมบัติของวัสดุหมักเบื้องต้น ระหว่างการหมัก และสิ้นสุดกระบวนการหมัก ได้แก่ ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) อุณหภูมิ และความชื้น รวมถึงระหว่างการทดลองได้ทำการเก็บข้อมูลปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นด้วยการแทนที่น้ำ หากค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน สำหรับการวิเคราะห์ค่าไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม (K) คาร์บอน (C) ทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน (one-Way ANOVA) และมีการทดสอบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติของปุ๋ยหมักจากมูลข้างและเศษอาหารข้าง

3. ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

3.1 คุณสมบัติของวัสดุหมัก

วัสดุหมักที่ใช้เป็นของเสียที่เกิดขึ้นจากการเลี้ยงช้างซึ่งประกอบไปด้วย มูลข้าง เศษอาหารข้าง (ในการทดลองครั้งนี้ ได้แก่ ใบสับปะรด เหง้าสับปะรด ใบหญ้าเนเปียร์ ลำต้นหญ้าเนเปียร์ ฟางข้าว) และกากมูลหมักจากการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลข้างและเศษอาหารข้าง จากการวิเคราะห์ลักษณะเบื้องต้น

ของวัสดุหมักพบว่ามูลข้างเป็นวัสดุหมักที่มีธาตุอาหารสูงดังตารางที่ 1 มีปริมาณไนโตรเจน 1.24%wt ฟอสฟอรัส 72.91%wt และโพแทสเซียม 0.73%wt ซึ่งเป็นวัสดุหมักที่มีความเหมาะสมในการนำมาทำเป็นปุ๋ยหมักเป็นอย่างดี รวมถึงในมูลสัตว์จะมีจุลินทรีย์ที่ใช้ในการย่อยสลายอยู่แล้วจึงทำให้มีส่วนช่วยให้การหมักสมบูรณ์และรวดเร็วยิ่งขึ้น ไนโตรเจนเป็นส่วนสำคัญของพืชที่มีอยู่มากในส่วนของใบ ดังจะเห็นได้จากค่าไนโตรเจนที่มีค่าสูงในใบสับปะรดและใบหญ้าเนเปียร์ และโพแทสเซียมจะพบมากในหญ้าเนเปียร์ทั้งส่วนใบและลำต้นและฟางข้าวเป็นวัสดุหมักที่มีธาตุอาหารต่ำแต่มีคาร์บอนสูง จึงใช้เพื่อทำให้มีคาร์บอนที่พอเหมาะต่อจุลินทรีย์ในการย่อยสลายในส่วนของกากมูลหมักนั้นมีค่าคาร์บอนต่ำมีค่าเท่ากับ 37.91%wt ดังตารางที่ 1 แต่มีปริมาณไนโตรเจนและโพแทสเซียมที่สูงเนื่องจากเป็นวัสดุหมักที่ผ่านการย่อยสลายมาแล้ว รวมถึงกากมูลหมักจะประกอบไปด้วยจุลินทรีย์ที่เหมาะสมสำหรับการหมักแบบไร้อากาศเนื่องจากเราได้นำมาจากส่วนที่เหลือในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ [12] ลักษณะทางกายภาพของวัสดุหมักที่คลุกเคล้าเข้าด้วยกันแล้วในแต่ละอัตราส่วนจะมีลักษณะสีน้ำตาลอ่อนและมีลักษณะเป็นเส้นใยของพืช มีความแห้งของเนื้อวัสดุ และเมื่อผ่านการหมักเป็นระยะเวลา 60 วัน ขนาดของวัสดุหมักมีการเปลี่ยนแปลงไป วัสดุหมักมีขนาดเล็กลง และมีสีที่เปลี่ยนไปจากสีเดิมเป็นสีน้ำตาลเข้มไปจนถึงสีดำและมีน้ำออกมาผสมกับเนื้อวัสดุโดยแสดงลักษณะทางกายภาพของวัสดุหมักในแต่ละอัตราส่วนดังตารางที่ 3

3.2 อุณหภูมิและค่าความเป็นกรด-ด่าง

ในกระบวนการหมักแบบไม่ใช้อากาศนั้นเป็นกระบวนการที่เปลี่ยนวัสดุหมักหรือสารอินทรีย์ที่ย่อยสลาย ให้กลายเป็นผลิตภัณฑ์ที่ประกอบไปด้วยก๊าซชีวภาพ (ก๊าซมีเทน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ก๊าซแอมโมเนีย และก๊าซอื่นๆ) และน้ำ อุณหภูมิและค่าความเป็นกรด-ด่างเป็นปัจจัยที่ใช้ในการเฝ้าระวังในการหมักปุ๋ยเนื่องจากมีผลต่อการย่อยสลายของวัสดุหมักและการทำงานของจุลินทรีย์ในระบบ เนื่องจากจุลินทรีย์มีความสามารถในการเจริญเติบโตที่ต่างกัน ในอุณหภูมิและค่าความเป็นกรด-ด่างที่แตกต่างกัน ผลการศึกษาอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในระหว่างการหมักปุ๋ยพบว่าทั้งชุด

การทดลองที่มีการสะสมและไม่สะสมก๊าซชีวภาพมีค่าใกล้เคียงกัน โดยในช่วงเริ่มต้นมีอุณหภูมิอยู่ในช่วงระหว่าง 28-32°C และเมื่อผ่านไปในช่วงวันที่ 4-8 ของการทดลองเป็นช่วงที่จุลินทรีย์ย่อยสลายสารอินทรีย์ในถังหมักทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นไปอยู่ในช่วง 48-57°C หลังจากนั้นอุณหภูมิเริ่มคงที่ในช่วง 30-33°C ในช่วงวันที่ 10 ถึงวันที่ 60 (สิ้นสุดระยะเวลาการทดลอง) เนื่องจากในช่วงของการทดลองเป็นฤดูหนาวจึงทำให้อุณหภูมิที่เกิดขึ้นค่อนข้างต่ำ ซึ่งการทดลองดังกล่าวเป็นการหมักแบบไม่ควบคุมอุณหภูมิซึ่งทำให้อุณหภูมิจะอยู่ในช่วง Mesophilic ที่จะเปลี่ยนสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างซับซ้อนไปเป็นสารประกอบที่มีลักษณะคงตัวและเมื่ออุณหภูมิในถังหมักใกล้เคียงกับอุณหภูมิบรรยากาศโดยรอบแสดงว่ากระบวนการผลิตปุ๋ยเสร็จสมบูรณ์

ตารางที่ 3 ลักษณะทางกายภาพของวัสดุหมักในแต่ละอัตราส่วน

อัตราส่วนวัสดุหมัก	วัสดุก่อนเริ่มหมัก	วัสดุหลังหมักในถังหมักปุ๋ยแบบปุ๋ย 60 วัน	
		สะสมก๊าซชีวภาพ (RB)	ไม่สะสมก๊าซชีวภาพ (NRB)
C:N 30			
C:N 50			
C:N 75			

ความเป็นกรด-ด่างในระหว่างการหมักปุ๋ยพบว่าทุกชุดการทดลองในช่วงเริ่มต้นการหมักค่าเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 6.3-8.5 และเริ่มมีค่าลดลงในช่วงวันที่ 21 ของการหมักอยู่ในช่วง 5.5 - 6.8 ซึ่งอยู่ในสภาวะเป็นกรด เนื่องจากกรดอินทรีย์จากการย่อยสลายสารประกอบคาร์บอน เป็นสภาวะกรดที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของเชื้อราแบคทีเรีย และจากการย่อยสลายของเซลลูโลสกลายเป็นน้ำตาล จากนั้นน้ำตาลจะถูกย่อยสลายต่อเป็นกรดไขมันหรือกรดอินทรีย์จากนั้นความ

เป็นกรด-ด่างจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเนื่องจากจุลินทรีย์มีการใช้กรดที่สร้างขึ้นในการย่อยสลาย และเมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการหมัก 60 วัน พบว่า ค่า pH ของกระบวนการหมักเริ่มสูงขึ้นและมีค่าใกล้เคียงกับการปุ๋ยหมักที่สมบูรณ์ในช่วง 7.70-8.81 ซึ่งโดยทั่วไปค่า pH ของปุ๋ยหมักควรอยู่ระหว่าง 7 และ 8 [13]

3.3 การเปลี่ยนแปลงธาตุอาหารไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และ โปแทสเซียม

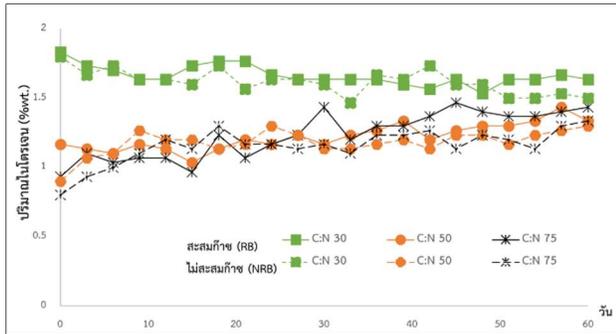
ค่าพารามิเตอร์ที่แสดงความเหมาะสมของการหมัก ได้แก่ ธาตุอาหารหลักที่มีอยู่ในปุ๋ย อันได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปแทสเซียม โดยค่าไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปแทสเซียมเริ่มต้นของแต่ละชุดการทดลอง เท่ากับ 1.80%, 19.84 %, และ 0.87% สำหรับ C/N 30 NRB, 1.83%, 20.09%, และ 0.93% สำหรับ C/N 30 RB, 0.90, 21.28%, และ 0.68% สำหรับ C/N 50 NRB, 1.17, 19.36%, และ 0.65% สำหรับ C/N 50 RB, 0.80, 12.82%, และ 0.73% สำหรับ C/N 75 NRB, และ 0.93, 10.72%, และ 0.67% สำหรับ C/N 75 RB, ตามลำดับ ซึ่งในการทดลองนี้ได้ทำการศึกษาโดยเน้นไปที่การเกิดผลของก๊าซชีวภาพที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงไนโตรเจนในระบบการหมักปุ๋ยเนื่องจากสำหรับการหมักในระบบไร้อากาศที่มีการหมุนเวียนก๊าซชีวภาพจะมีผลโดยตรงต่อไนโตรเจนที่เกิดการเปลี่ยนแปลงในระบบ ผลของการเปลี่ยนแปลงไนโตรเจนต่อเวลาแสดงในรูปที่ 2(ก) จากรูปพบว่าไนโตรเจนมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาการทดลองเพิ่มขึ้นในเกือบทุกชุดการทดลอง ยกเว้นชุดการทดลองที่ C:N 30 ทั้ง NRB และ RB ที่มีแนวโน้มปริมาณไนโตรเจนลดลงจนถึงจุดสิ้นสุดการทดลอง โดยเมื่อเริ่มทำการหมักวัสดุที่ C:N ต่างๆ พบว่า ปริมาณไนโตรเจนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากเริ่มต้นในช่วง 0.80-1.83 %wt. เมื่อระยะเวลาในการหมักเพิ่มขึ้นเป็น 1.17 - 1.63 %wt. ซึ่งจากการเปรียบเทียบปริมาณไนโตรเจนจากชุดการทดลอง RB ที่มีการหมุนเวียนก๊าซชีวภาพโดยทำการสะสมก๊าซชีวภาพในระบบ พบว่ามีปริมาณไนโตรเจนมากกว่าระบบ NRB อย่างชัดเจนเมื่อเทียบในแต่ละอัตราส่วนพบความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากมีการย่อยสลายสารประกอบอินทรีย์คาร์บอนเปลี่ยนรูปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์สูญเสียไปในบรรยากาศ และจากการตรึงไนโตรเจนของจุลินทรีย์ในกองปุ๋ย โดยเมื่อนำก๊าซชีวภาพเข้ามา

หมุนเวียนส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงไนโตรเจนในระบบ เนื่องจากคาร์บอนไดออกไซด์จะถูกดูดซับเข้าไปในเนื้อวัสดุและทำให้แอมโมเนียในเนื้อวัสดุมีค่าเพิ่มขึ้น [14] จากระยะเวลาในการหมักเพิ่มขึ้น จะสามารถส่งผลทำให้ปริมาณไนโตรเจนภายในปุ๋ยหมักเพิ่มขึ้นจากการย่อยสลายทำให้อัตราการปล่อยไนโตรเจนออกมามากกว่าการนำไปใช้ของจุลินทรีย์ และปริมาณไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้นมาจากการย่อยสลายให้วัสดุหมักมีขนาดเล็กลง ซึ่งสอดคล้องกับคุณลักษณะทางกายภาพที่มีขนาดเล็กลง [15] และภายในมูลข้างยังมีเชื้อแบคทีเรียอะซิโตแบคเตอร์ ที่มาสามารถตรึงไนโตรเจนให้อยู่ภายในปุ๋ยหมัก [16]

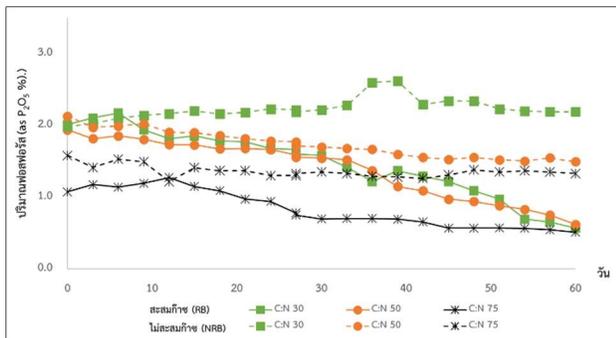
ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารหลักที่เป็นส่วนประกอบของกรดนิวคลีอิกในพืช โดยฟอสฟอรัสในปุ๋ยหมักจะอยู่ในรูปของไดฟอสฟอรัสเพนตะออกไซด์ (P_2O_5) โดยปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในทุกชุดทดลองมีการเปลี่ยนแปลงที่ไม่แตกต่างกันมากนักในทุกชุดการทดลองจากเริ่มต้นในช่วง 1.07-2.13%. เมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการทดลองลดลงเป็น 0.54- 2.48%. ดังรูปที่ 2(ข) เนื่องจากจุลินทรีย์แบบไม่ใช้อากาศจะมีการปลดปล่อยฟอสฟอรัสรวมถึงมีการนำฟอสฟอรัสที่มีอยู่ไปสะสมไว้ในเซลล์ ทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสมีการเปลี่ยนแปลงแต่ไม่มากนัก รวมถึงฟอสฟอรัสที่อยู่ในธรรมชาติจะมีหลายรูปแบบทำให้ฟอสฟอรัสเปลี่ยนรูปให้เกิดความสมดุลของระบบ [15] ปริมาณฟอสฟอรัสของชุดการทดลอง NRB พบว่ามีปริมาณฟอสฟอรัสมากกว่าระบบ RB อย่างชัดเจนเมื่อเทียบในแต่ละอัตราส่วนพบความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

โปแทสเซียมเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อพืชที่มีประจุบวกที่พืชดูดซึมไปใช้ในปริมาณมากเมื่อเทียบกับบรรดาประจุบวกอื่นๆ โดยแตกต่างกับไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่เป็นส่วนประกอบของเนื้อเยื่อ แต่โปแทสเซียมมีบทบาทสำคัญในกระบวนการชีวเคมีของพืช โดยปริมาณโปแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในทุกชุดทดลองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากเริ่มต้นในช่วง 0.65-0.93 %wt. เมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการทดลองเพิ่มขึ้นเป็น 1.07-1.57 %wt. ดังรูปที่ 2(ค) เนื่องจากโปแทสเซียมในปุ๋ยหรือในดินมีอยู่หลายรูปและสามารถเปลี่ยนรูปให้เกิดความสมดุลของโปแทสเซียมในดินได้ เมื่อเกิดการหมักก็จะเกิดการเปลี่ยนรูปให้ออกมาในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อ

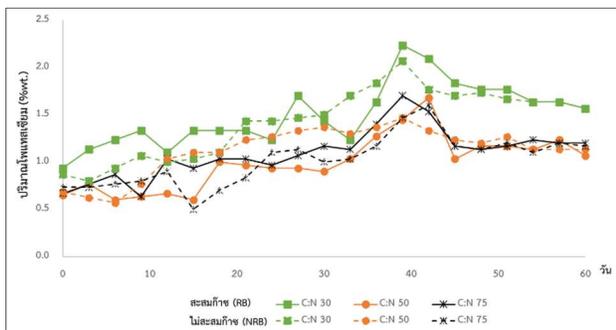
พืช มีอยู่ประมาณ 90% ของโพแทสเซียมในดิน ดังนั้นปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืชมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของพืชเมื่อนำปุ๋ยหมักไปใช้ [17] ปริมาณโพแทสเซียมของชุดการทดลอง RB และ NRB ไม่พบความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ



(ก) ไนโตรเจน



(ข) ฟอสฟอรัส



(ค) โพแทสเซียม

รูปที่ 2 การเปลี่ยนแปลงธาตุอาหาร ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมตลอดระยะเวลาการทดลอง

3.4 คุณภาพของปุ๋ยหมัก

จากการหมักระยะเวลาที่ติดตามผลประมาณ 60 วัน พบว่าปริมาณปุ๋ยหมักที่ได้จากการย่อยสลายในวันสุดท้ายลดลง

เหลือประมาณ 50% ของปริมาณเดิม ปุ๋ยหมักมีลักษณะทางเคมีมีค่าดังแสดงในตารางที่ 4 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ที่กรมวิชาการเกษตรกำหนด [13] ผลลัพธ์ที่ได้มีคุณลักษณะผ่านเกณฑ์การเป็นปุ๋ยอินทรีย์เพียง 2 ชุดการทดลอง ได้แก่ ชุดการทดลองที่ 2 (C:N 30 (NRB)) และ ชุดการทดลองที่ 3 (C:N 50 (RB)) ในส่วนของชุดการทดลองอื่นๆ นั้นคุณสมบัติของวัสดุหมักที่ได้สามารถเป็นสารปรับปรุงดินได้โดยมีค่าใกล้เคียงกับการเป็นปุ๋ยในทุกชุดการทดลอง เมื่อทำการสังเกตลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ในทุกชุดการทดลองพบว่าเนื้อวัสดุหมักมีสีเข้มจากเดิมคล้ายสีดำและมีกลิ่นคล้ายดินซึ่งทำให้สามารถคาดการณ์ได้ว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้เป็นการหมักอย่างสมบูรณ์แล้ว นอกจากนี้พบว่าวัสดุที่ได้จากการหมักนั้นถือว่าการหมักที่สมบูรณ์ในทุกชุดการทดลอง เนื่องจากค่า C:N ratio ต่ำกว่าค่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ที่ 20:1 การหมักร่วระหว่างมูลสัตว์และวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมีค่าดัชนีการงอก (Germination index: GI) ที่สูงมาก โดยเฉพาะเมื่อมีค่า C:N ratio ที่ 50 และ 75 มีค่า %GI มากกว่า 95% โดยที่ชุดการทดลองที่ 4 C:N ratio ที่ 50 แบบไม่มีการหมุนเวียนสะสมของก๊าซชีวภาพมีค่าดัชนีการงอกสูงถึง 100% และชุดการทดลองที่ 5 C:N ratio ที่ 50 แบบมีการหมุนเวียนสะสมของก๊าซชีวภาพ ซึ่งมีค่าถึง 99.80% ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการใช้วัสดุหมักจากของเสียที่มาจากเลี้ยงช้างมีคุณลักษณะที่ดีต่อการนำไปใช้เป็นปุ๋ยสำหรับพืช เนื่องมาจากวัสดุหมักตั้งต้นที่ประกอบไปด้วย มูลช้าง หญ้าเนเปียร์ ฟางข้าว ใบสับปะรด และเหง้าสับปะรด เป็นวัสดุที่มีเซลลูโลสเป็นส่วนใหญ่ และในมูลช้างมีปริมาณเซลลูโลสอยู่ 71.67% มีปริมาณลิกนิน 30.50% จึงทำให้ปุ๋ยหมักมีคุณสมบัติที่เหมาะสมต่อการนำไปเพาะปลูกพืชซึ่งพืชสามารถการงอกและแทงรากได้ [15] คุณลักษณะเด่นอีกอย่างของการหมักปุ๋ยในการศึกษาครั้งนี้คือ ค่าธาตุอาหารที่ได้มีค่าสูง โดยเฉพาะไนโตรเจนและโพแทสเซียม โดยเมื่อพิจารณาตามวัตถุประสงค์ของการวิจัยในการหาสูตรการหมักปุ๋ยแบบไร้อากาศโดยการหมักร่วระหว่างเศษอาหารช้างที่เหลือทิ้งซึ่งในแต่ละช่วงเวลาจะมีเศษอาหารที่ไม่เหมือนกันตามฤดูกาลและปัจจัยอื่นๆ รวมถึงการเพิ่มการหมุนเวียนก๊าซที่สะสมอยู่กลับมาในระบบเพื่อลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกนั้นพบว่า ปุ๋ยหมักที่เป็นสูตรผสมในชุดการทดลองที่มี C:N ratio 30 และไม่มีการหมุนเวียนก๊าซ

และ C:N ratio 50 แบบมีการหมุนเวียนก๊าซมีคุณสมบัติที่เหมาะสม ซึ่งการหมุนเวียนก๊าซมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของไนโตรเจนเป็นหลักเมื่อเทียบในอัตราส่วน C:N ratio เดียวกัน โดยค่าไนโตรเจนสูงกว่าเมื่อเป็นชุดที่มีการหมุนเวียนก๊าซโดยเมื่อเทียบในแต่ละอัตราส่วนพบความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ส่วนการเปลี่ยนแปลงฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมนั้นไม่ขึ้นกับการหมุนเวียนก๊าซ ดังนั้นถ้าต้องการเพิ่มปริมาณไนโตรเจนให้แก่ปุ๋ยสามารถทำได้โดยการหมุนเวียนก๊าซหรือนำก๊าซปล่อยทิ้งจากระบบการผลิตก๊าซชีวภาพมาเติมให้แก่ระบบปุ๋ยหมักแบบไร้อากาศได้ นอกจากนี้ค่าโพแทสเซียมที่วิเคราะห์ได้จะเห็นว่ามีค่าสูงในอัตราส่วนที่ C:N 30 ทั้ง 2 ชุดการทดลอง เนื่องจากในไบโกลูบูลินเปียร์พบโพแทสเซียมเป็นองค์ประกอบที่สูงและในชุดการทดลองดังกล่าวมีส่วนประกอบของไบโกลูบูลินเปียร์สูงกว่าชุดการทดลองอื่นๆ มากทำให้เห็นความแตกต่างของปริมาณโพแทสเซียมอย่างชัดเจน ดังนั้นถ้าต้องการเพิ่มธาตุอาหารที่เป็นโพแทสเซียมสำหรับการหมักปุ๋ยสามารถนำไบโกลูบูลินเปียร์เข้าไปเป็นวัสดุหมักได้ซึ่งเป็นข้อได้เปรียบของการหมักร่วมในกรณีที่มีของเสียเหลือทิ้งหลาย

ชนิด ทำให้เพิ่มประสิทธิภาพการหมักและทำให้เกิดการจัดการขยะที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น

อย่างไรก็ตามพารามิเตอร์ในการกำหนดลักษณะสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ยังต้องมีการวิเคราะห์เพิ่มเติมอีกหลายตัว ได้แก่ โลหะหนักชนิดต่างๆ ซึ่งเป็นข้อจำกัดของการศึกษาในครั้งนี้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีข้อเสนอแนะให้ทำการตรวจวิเคราะห์โลหะหนักเพิ่มเติมเพื่อให้ปุ๋ยที่ได้สามารถใช้เป็นปุ๋ยอินทรีย์ที่ต้องการตามมาตรฐานได้ นอกจากนี้ควรทำการศึกษาเพิ่มเติมในการหมักปุ๋ยที่มืองค์ประกอบในการทำทดลองที่เหมือนกันเพื่อให้ทราบถึงปัจจัยในการเปลี่ยนแปลงธาตุอาหารในแต่ละสภาวะที่สามารถเปรียบเทียบกันได้ ดังนั้นในงานวิจัยครั้งนี้สามารถสรุปได้ว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้นั้นมีธาตุอาหารหลักที่พอเหมาะเป็นไปตามมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ที่สามารถนำไปพัฒนาสูตรและวิเคราะห์ค่าอื่นๆ เพื่อขยายขนาดในการผลิตระดับสากลจริงเพื่อให้เกิดความยั่งยืนตามเป้าหมาย SDGS และเกษตรปลอดภัยให้กับคนในท้องถิ่นรวมถึงต่อยอดพัฒนาในระดับประเทศต่อไป

ตารางที่ 4 ค่าการทดลองพารามิเตอร์ของปุ๋ยหมักเมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของปุ๋ยหมัก

พารามิเตอร์	C:N 30 (RB)	C:N 30 (NRB)	C:N 50 (RB)	C:N 50 (NRB)	C:N 75 (RB)	C:N 75 (NRB)	มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ที่กรมวิชาการเกษตรกำหนด [13]
อินทรีย์คาร์บอน (%wt)	34.28	40.05	30.03	48.34	43.72	47.62	ไม่น้อยกว่า 20%wt
ค่าไนโตรเจนทั้งหมด (%wt)	2.67	1.77	1.64	1.57	1.70	1.66	ไม่น้อยกว่า 1.0 %wt
ค่าคาร์บอนต่อไนโตรเจน	10.27	13.12	10.62	17.86	14.82	16.68	ไม่เกิน 20:1
ค่าฟอสฟอรัสทั้งหมด (as P ₂ O ₅) (%wt)	0.42	1.06	0.62	1.05	0.51	1.22	ไม่น้อยกว่า 0.5 %wt
ค่าโพแทสเซียมทั้งหมด (as K ₂ O) (%wt)	4.3	4.7	2.1	2.6	2.4	2.4	ไม่น้อยกว่า 0.5 %wt
ความชื้น (%wt)	35.79	40.00	30.03	48.34	43.72	47.62	ไม่เกิน 40-70 %wt
ค่าความเป็นกรด-ด่าง	8.60	7.70	8.30	8.60	8.59	8.81	5.5-8.5
ค่าการนำไฟฟ้า (ds/m)	10.54	7.04	3.47	4.58	4.98	3.99	ไม่เกิน 10 ds/m
ดัชนีการออกของเมล็ด (%)	86.60	88.10	99.80	100.0	95.60	97.10	ไม่น้อยกว่า 80%
เทียบกับมาตรฐาน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน	

3.5 ศักยภาพการหมุนเวียนก๊าซชีวภาพ

กระบวนการหมักแบบไม่ใช้อากาศ วัสดุหมักหรือสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ ประมาณ 80% จะถูกย่อยสลายเปลี่ยนเป็นมีเทน คาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ โดยเริ่มต้นการย่อยสลายเปลี่ยนสารโมเลกุลขนาดใหญ่ เช่น เซลลูโลส เฮมิ

เซลลูโลส และลิกนิน ให้กลายเป็นสารโมเลกุลเล็ก เช่น น้ำตาล กรดอะมิโนและไขมัน จากนั้นจะถูกจุลินทรีย์กลุ่มสร้างกรดเปลี่ยนให้กลายเป็นกรดอินทรีย์ และถูกเปลี่ยนต่อให้กลายเป็นกรดอะซิติก สุดท้ายจะถูกจุลินทรีย์กลุ่มเมทาโนเจน ใช้กรดอะซิติกและไฮโดรเจนให้เป็นก๊าซชีวภาพต่อไป โดยก๊าซชีวภาพ

สะสมที่เกิดขึ้นตลอด 60 วันในการศึกษาครั้งนี้มีปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมมากที่สุดที่อัตราส่วน C:N 75 มีการผลิตก๊าซชีวภาพมากที่สุดได้ปริมาณ 355 ml. รองลงมาคือ C:N 50 (232 ml.) และ C:N 30 (185 ml) ตามลำดับ

ผลของการหมุนเวียนก๊าซชีวภาพกลับเข้ามาภายในถังบริเวณด้านล่างของถังที่มีเนื้อวัสดุอยู่มีผลโดยตรงต่ออัตราการย่อยสลายอินทรีย์คาร์บอนภายในถังหมักและไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้นภายในถังหมักเนื่องจากคาร์บอนไดออกไซด์ที่เป็นองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพจะถูกดักจับโดยก๊าซแอมโมเนียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการหมักแบบไร้อากาศเพื่อเก็บกักไว้ในการใช้ประโยชน์ในด้านธาตุอาหารแก่พืชได้ [18] และกากมูลหมักที่เกิดขึ้นในระบบก็จะดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เข้าไปด้วยเช่นกัน ทำให้มีแหล่งคาร์บอนให้กับจุลินทรีย์ นอกจากนี้ความร้อนที่เกิดขึ้นจากการหมักแบบไร้อากาศส่งผลให้อัตราในการย่อยสลายเร็วขึ้น ทำให้ระยะเวลาในการย่อยสลายลดลงและผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความชื้นที่ต่ำกว่า [19] การหมุนเวียนก๊าซชีวภาพไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโพแทสเซียมในการหมักปุ๋ย โดยพบว่าโพแทสเซียมที่ได้เมื่อครบระยะเวลา 60 วันไม่พบความแตกต่างทางสถิติ

4. สรุปผลการศึกษา

การผลิตปุ๋ยหมักจากของเสียที่เกิดขึ้นจากการเลี้ยงช้างด้วยกระบวนการแบบไร้อากาศที่มีสูตรในการหมักรวมทั้งแตกต่างกันและมีการเปรียบเทียบระหว่างอัตราส่วนระหว่างรูปแบบที่มีการหมุนเวียน (RB) และไม่หมุนเวียนก๊าซ (NRB) นั้นพบว่าสูตรการผสมที่ C:N ratio เท่ากับ 30 NRB และ 50 RB มีคุณสมบัติผ่านมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ที่กรมวิชาการเกษตรกำหนด โดยการหมุนเวียนก๊าซชีวภาพเข้ามาสะสมในถังหมักนั้นสามารถเพิ่มธาตุไนโตรเจนได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในทุกชุดการทดลองในอัตราส่วน C:N ratio เดียวกัน ส่วนค่าโพแทสเซียมในอัตราส่วน C:N ratio เดียวกันของชุดการทดลองที่มีการหมุนเวียนและไม่หมุนเวียนก๊าซชีวภาพไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ การผลิตปุ๋ยหมักแบบไร้อากาศจากของเสียที่เกิดขึ้นจากการเลี้ยงช้างช่วยให้เกิดการจัดการขยะที่ยั่งยืนและช่วยในด้านารับมือการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีที่ได้ให้โอกาสและให้ทุนสนับสนุนงานวิจัยจากกองทุนส่งเสริมงานวิจัยฯ ประจำปี 2563 ทำให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี และขอขอบคุณวังช้างอยุธยา แลเพนียดที่ให้การสนับสนุนในการให้ข้อมูลและวัสดุที่ใช้ในการทำงานวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] องค์การพิทักษ์สัตว์แห่งโลก. *มาร่วมกันยุติความโหดร้ายที่เกิดขึ้นนี้โดยด่วน*. เข้าถึงได้จาก: https://www.worldanimalprotection.or.th/elephant-breeding-ban?utm_source=facebook&utm_medium=social&utm_campaign=th_wine&utm_content=_24_september_2020_0330&fbclid=IwAR2sDq6JH5uu4usJLLFQXL4loVWIEtwQ8pX-uZvuhTl4kTVnu0H6b0JdCE. [เข้าถึงเมื่อ วันที่ 14 มีนาคม 2565].
- [2] Parajuli AP, Amatya IM, Sharma RK. Effect of feeding rate on the reduction of total volatile solids and organic carbon during combined composting and vermicomposting of elephant dung. *Journal of Advanced College of Engineering and Management*. 2018; 4: 1-9.
- [3] Abdulsalam S, Mohammed J. Production of biogas from cow and elephant dung. *Global Journal of Engineering and Technology*. 2012; 5(1): 51-56.
- [4] Sukasem N, Khanthi K, Prayoonkham S. Biomethane recovery from fresh and dry water hyacinth anaerobic co-digestion with pig dung, elephant dung and bat dung with different alkali pretreatments. *Energy Procedia*. 2017;138: 294-300.
- [5] Fiala K, Phabjanda M, Maneechom P. Biohydrogen production from xylose by anaerobic mixed cultures in elephant dung. *Walailak Journal of Science and Technology*. 2014;12(3): 267-278.

- [6] ชล บุนนาค. SDG Move (Moving towards sustainable future. SDG Insights | สถานะประเทศไทยจาก SDG Index: 4 ปีผ่านไป อะไรดีขึ้นหรือแย่ลงบ้าง?. เข้าถึงได้จาก: <https://www.sdgmovement.com/2020/02/17/sdg-insights-4years-of-sdgs-in-thailand/> [เข้าถึงเมื่อ วันที่ 1 ธันวาคม 2564].
- [7] ธงชัย มาลา. *ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยชีวภาพ เทคนิคการผลิตและการใช้ประโยชน์*. กรุงเทพฯ: ภาควิชาปฐพีวิทยา. คณะเกษตร กำแพงแสน. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน; 2546.
- [8] Yang B, Ma Y, Xiong Z. Effects of different composting strategies on methane, nitrous oxide, and carbon dioxide emissions and nutrient loss during small-scale anaerobic composting. *Environmental Science and Pollution Research*. 2019; 26: 446-455.
- [9] Yan S, He Q, Wang W, Li S. CO₂ absorption using biogas slurry: CO₂ absorption enhancement induced by biomass ash. *Energy Procedia*. 2017; 114: 890-897.
- [10] He Q, Xi J, Wang W, Meng L, Yan S, Zhang Y. CO₂ absorption using biogas slurry: Recovery of absorption performance through CO₂ vacuum regeneration. *International Journal of Greenhouse Gas Control*. 2017; 58: 103-113.
- [11] Yan S, Zhang L, Ai P, Wang Y, Zhang Y, Li S. CO₂ Absorption by using a low-cost solvent: Biogas slurry produced by anaerobic digestion of biomass. *Energy Procedia*. 2013; 37: 2172-2179.
- [12] Zheng Y, Wang X, Yang F. Improving the anaerobic digestion of switchgrass via cofermentation of rumen microorganisms (rumen bacteria, protozoa, and fungi) and a biogas slurry. *Energy & Fuels*. 2019;33:1185-1195.
- [13] กรมพัฒนาที่ดิน. *มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ (ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูง)*. เข้าถึงได้จาก: http://www1.ddd.go.th/ddd/Fertilizer/Organic_Fertilizer.pdf [เข้าถึงเมื่อ วันที่ 24 กรกฎาคม 2564].
- [14] Shuiping Y, Liqiang Z, Ping A, Yuanyuan W, Yanlin Z, Shefeng L. CO₂ absorption by using a low-cost solvent: biogas slurry produced by anaerobic digestion of biomass. *Energy Procedia*. 2013; 37: 2172-2179.
- [15] ทศนีย์ แก้วมรรคต. *การผลิตปุ๋ยหมักจากเศษหอยแดง กระดุกโคเผาป่น และมูลแพะ [วิทยานิพนธ์]*. วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทรัพยากรดิน. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์; 2557.
- [16] Lanta elephant sanctuary. *The knowledge of elephant dung*. Available from: <https://lantaelephantsanctuary.com/post/the-knowledge-of-elephant-dung/> [Accessed 25th November 2021]
- [17] Meng X, Liu B, Zhang H, Wu J, Yuan X, Cui Z. Co-composting of the biogas residues and spent mushroom substrate: Physicochemical properties and maturity assessment. *Bioresource Technology*. 2019; 276: 281-287.
- [18] Yan S, He Q, Wang W, Li S. CO₂ absorption using biogas slurry: CO₂ absorption enhancement induced by biomass ash. *Energy Procedia*. 2017; 114: 890-897.
- [19] Wang H, Xu J, Sheng L, Liu X. Effect of addition of biogas slurry for anaerobic fermentation of deer manure on biogas production. *Energy*. 2018; 165: 411-418.