การศึกษาเปรียบเทียบค่าฟอสฟอรัสในกระบวนการหมักปุ๋ยแบบไร้อากาศเมื่อมีการเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

Comparative study of phosphorus in anaerobic fermentation process with carbon dioxide addition

ศศิประภา เกตุพิมล[1*], คฑาพล ปิ่นพัฒนพงศ์[1], ฐนียา รังษีสุริยะชัย[1] และภาวัต น้ำใส[1]

[1] ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จ.ปทุมธานี
**Corresponding author; E-mail address: meen41241gmail.com[1].*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นเกี่ยวกับการเปรียบเทียบค่าฟอสฟอรัสในกระบวนการหมักปุ๋ยแบบไร้อากาศเมื่อมีการเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบปริมาณฟอสฟอรัสที่เกิดขึ้นจากการเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในกระบวนการหมักปุ๋ยแบบไร้อากาศจากมูลช้างร่วมกับกากมูลหมักและเศษอาหารช้าง ในการทดลองได้ทำการเลือกเศษอาหาร ได้แก่ เหง้าสับปะรดและหญ้าเนเปียร์ โดยทำการผสมหญ้าเนเปียร์ : เหง้าสับปะรด : มูลช้าง : กากมูลหมักจากกระบวนการหมักแก๊สชีวภาพ เท่ากับ 2.5 : 2.5 : 3.5 : 1.5 โดยปริมาตร ตามลำดับ ทำการหมักแบบไร้อากาศเป็นระยะเวลา 45 วัน ในระบบปิดด้วยชุดการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ โดยในการทดลองประกอบด้วยการทดลองทั้งหมด 2 ชุด คือ ชุดทดลองที่ 1 เป็นชุดควบคุม จะไม่มีการเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และชุดทดลองที่ 2 จะมีการเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาตร 2 ลิตรต่อนาที โดยทำการเติมแบบกะ เป็นเวลา 20 นาทีต่อวัน ผลการทดลองพบว่าลักษณะทางกายภาพของปุ๋ยหมักขวดที่ 1 และ 2 เมื่อสิ้นสุดการหมักในระยะเวลาที่ 45 วัน มีลักษณะเป็นปุ๋ยของแข็งกึ่งเหลว สีน้ำตาลและมีกลิ่นเปรี้ยว เหมือนกันทั้ง 2 ชุดการทดลอง ค่าความเป็นกรด-ด่างของชุดควบคุมเท่ากับ 6.16 และชุดการเติมก๊าซเท่ากับ 5.19 ปริมาณความชื้นของทั้ง 2 ชุดจะอยู่ในช่วงร้อยละ 75-85 ในส่วนของค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดพบว่าในชุดควบคุมมีปริมาณร้อยละฟอสฟอรัสมากกว่าเมื่อมีการเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยมีค่าร้อยละ 0.58 และ 0.09 ตามลำดับ การเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เข้าไปในระบบทำให้จุลินทรีย์บางตัวที่ไม่ชอบก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยใช้ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารเพื่อช่วยในการเจริญเติบโตทำให้ต้องใช้ฟอสฟอรัสเพิ่มมากขึ้น จึงมีค่าฟอสฟอรัสในปุ๋ยลดลง

คำสำคัญ: การหมักแบบไร้อากาศ, เศษอาหารช้าง, กากมูลหมัก, ฟอสฟอรัส

Abstract

This research focused on the comparative study of phosphorus in anaerobic fermentation process with carbon dioxide addition. The objective of this study aims to compare the amount of phosphorus from carbon dioxide addition in anaerobic fermentation process from elephant dung, fermented slurry and elephant food wastes. In the experiment, the elephant food wastes are pineapple rhizomes and Napier grass. The mixture of materials consists of Napier grass : pineapple rhizomes : Elephant dung : slurry from biogas fermentation equal to 2.5 : 2.5 : 3.5 : 1.5 by volume. Lab-scale experiment was set as two conditions: 1) control reactor without carbon dioxide addition and 2) batch reactor with adding 2 L/min of carbon dioxide for 20 min, to operate anaerobic fermentation for 45 days in closed vessels. The results of this study showed that the physical characteristics of both composting reactors at the end of the 45-day period was brown liquid fertilizer and has a sour smell. The pH values of control reactor and batch reactor with carbon dioxide addition were 6.16 and 5.19, respectively. The moisture content of both sets is in the range of 75-85 percent. In terms of total phosphorus values It was found that in the control, the amount of phosphorus is higher than when adding carbon dioxide. With the percentage of 0.58 and 0.37 respectively. Adding carbon dioxide to the system causes some microbes that disfavor carbon dioxide, decompose organic matter by using phosphorus as a nutrient. Therefore, it causes more phosphorus to be used and then made the phosphorus in manure decreased.

Keywords: Anaerobic fermentation, elephant food wastes, fermented slurry, phosphorus

1.คำนำ

ปุ๋ยหมักเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติในการปรับปรุงสภาพของดินให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช เป็นแหล่งธาตุอาหารที่ปลดปล่อยออกมาให้แก่พืชอย่างช้าๆ สม่ำเสมอ โดยทั่วไปแล้วปุ๋ยหมักจะมีแร่ธาตุอาหารพืชที่สำคัญครบถ้วน กล่าวคือมีไนโตรเจนทั้งหมดประมาณร้อยละ 0.4-2.5 ฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชประมาณร้อยละ 0.2-2.5 และโพแทสเซียมในรูปที่ละลายน้ำ ได้ร้อยละ 0.5-1.8 ปริมาณธาตุอาหารดังกล่าวจะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุหมักและประเภทของวัสดุหมักที่นำมาใช้ในการหมักปุ๋ย โดยนอกจากคุณสมบัติในการเพิ่มปริมาณธาตุอาหารพืชแล้ว ปุ๋ยหมักยังมีคุณค่าในแง่การปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ของดินอีกหลายประการอีกด้วย[1]

การทำปุ๋ยหมักเป็นวิธีที่สามารถนำของเสียอินทรีย์มาใช้ให้เกิดประโยชน์ได้เป็นอย่างดี มีประโยชน์ทั้งทางตรงและทางอ้อม ซึ่งรูปแบบการผลิตปุ๋ยหมักแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ คือ การหมักปุ๋ยแบบเติมอากาศ และการหมักปุ๋ยแบบไร้อากาศ การหมักปุ๋ยแบบเติมอากาศเป็นที่นิยมใช้โดยทั่วไปเนื่องจากใช้ระยะเวลาหมักที่สั้นและไม่มีกลิ่นรบกวน แต่อย่างไรก็ตามการหมักปุ๋ยแบบไร้อากาศนั้นใช้ระยะเวลาในการหมักที่นานกว่าแต่จะได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นมูลค่าเพิ่มอยู่ 2 ชนิด นั้นคือ ก๊าซชีวภาพ และกากมูลหมัก หรือปุ๋ยเหลว ซึ่งกากมูลหมักจากระบบไร้อากาศมีจุลินทรีย์ที่จำเป็นในการทำปุ๋ยและสามารถใช้เป็นหัวเชื้อในการผลิตปุ๋ยได้ โดยจุลินทรีย์ในกากมูลหมักนั้นสามารถตรึงไนโตรเจนแล้วเปลี่ยนเป็นแอมโมเนียได้ทำให้ไนโตรเจนในปุ๋ยสูงขึ้นเนื่องจากปกติแล้วในการทำปุ๋ยหมักจะเกิดปัญหาการลดลงของไนโตรเจนทำให้คุณสมบัติไม่พอที่จะเป็นปุ๋ยหมัก[2] นอกจากนี้การหมุนเวียนก๊าซชีวภาพสามารถช่วยในการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อเพิ่มธาตุคาร์บอนแก่ปุ๋ยได้อีกด้วย[3]

แหล่งวัสดุหมักที่มีปริมาณของวัสดุเหลือทิ้งเป็นจำนวนมากนั้นส่วนหนึ่งมาจากพื้นที่ทำการเกษตรและปศุสัตว์ นอกจากนี้อีกส่วนหนึ่งที่มีปริมาณขยะอินทรีย์เป็นจำนวนมากมาจากแหล่งเลี้ยงสัตว์ขนาดใหญ่ได้แก่ปางช้างต่างๆ หรือฟาร์มปศุสัตว์ ซึ่งในประเทศไทยมีปางช้างอยู่หลายแห่งด้วยกัน ในแต่ละวันช้างจะบริโภคอาหารวันละ 200 กิโลกรัม คิดเป็นร้อยละ 5-10 ของน้ำหนักตัวเฉลี่ยต่อเชือก ช้างจะถ่ายมูลวันละ 15 – 20 ครั้ง ครั้งละประมาณ 5-8 ก้อน น้ำหนักมูลช้างอยู่ที่ 1-2.5 กิโลกรัม โดยในแต่ละวันจะมีมูลช้าง 150 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน[4] โดยอาหารหลักได้แก่พืชและผลไม้ เช่น สับปะรด หญ้าเนเปียร์ เป็นต้น ซึ่งทำให้เกิดเป็นมูลช้างที่เป็นกากของเสียอีกชนิดหนึ่งเป็นจำนวนมาก ซึ่งของเสียที่เกิดขึ้นจากช้างสามารถสามารถนำกลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์ และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมได้ในการทำเป็นปุ๋ยหมักได้ นอกจากนั้นในกระบวนการหมักปุ๋ยแบบไร้อากาศนั้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีความสำคัญในขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์รวมถึงการดูดซับในตัววัสดุหมักจะมีผลต่อการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนและการตรึงคาร์บอนในวัสดุหมัก อย่างไรก็ดีการศึกษาถึงผลของการเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เข้าไปในระบบที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสฟอรัสนั้นยังไม่พบข้อมูล ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อทำการเปรียบเทียบค่าฟอสฟอรัสในกระบวนการหมักปุ๋ยแบบไร้อากาศเมื่อมีการเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เข้าไปในระบบกับการหมักปุ๋ยโดยทั่วไป เพื่อให้สามารถปรับปรุงกระบวนการหมักแบบไร้อากาศให้มีศักยภาพมากขึ้นในการผลิตปุ๋ยหมักให้ได้ตามมาตรฐาน เพื่อการผลิตปุ๋ยหมักที่มีประสิทธิภาพสูง อีกทั้งเป็นการยกระดับของปุ๋ยหมักที่หมักจากของเสียอินทรีย์ให้สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้ตามหลักปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียงเพื่อสร้างชุมชนขยะเป็นศูนย์และชุมชนปลอดภัย สร้างความยั่งยืนของเศรษฐกิจและสังคมไทยต่อไป

2. อุปกรณ์และวิธีการดำเนินงาน

2.1 อุปกรณ์และวัสดุหมัก

การทดลองนี้เป็นกระบวนการหมักปุ๋ยแบบไร้อากาศโดยทำการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ ซึ่งใช้วัสดุหมักที่ได้จากหมู่บ้านช้างเพนียดหลวง ต.สวนพริก อ.เมืองพระนครศรีอยุธยา จ.พระนครศรีอยุธยา โดยได้ทำการเลือกเศษอาหารช้างที่จะนำมาหมัก ได้แก่ เหง้าสับปะรด (ซึ่งจะใช้เฉพาะในส่วนของลำต้นและใบ ขนาดที่ใช้ประมาณ 0.5 – 1 เซนติเมตร) และหญ้าเนเปียร์ พันธุ์ปากช่อง 1 ที่มีอายุประมาณ 30-45 วัน (เฉพาะส่วนลำต้นและใบ) โดยทำการหมักร่วมกับมูลช้าง และกากมูลหมักที่ได้จากกระบวนการหมักก๊าซชีวภาพที่สิ้นสุดกระบวนการแล้วที่ใช้วัสดุหมักประเภทเดียวกันกับปุ๋ยหมักที่จะทำการทดลอง โดยวัสดุหมักทั้งที่นำมาใช้ในการหมักปุ๋ยจะมีสัดส่วนดังนี้ หญ้าเนเปียร์ 2.5 ส่วน เหง้าสับปะรด 2.5 ส่วน มูลช้าง 3.5 และกากมูลหมักจากกระบวนการหมักชีวภาพ 1.5 ส่วน โดยปริมาตรและทำการผสมให้เข้ากัน ซึ่งวัสดุหมักที่ได้จะมีน้ำหนักประมาณ 375 กรัม ทำการหมักด้วยชุดการทดลอง 2 ชุดการทดลอง ได้แก่ 1) ชุดการทดลองที่ 1 เป็นชุดควบคุมโดยทำการหมักโดยไม่มีการเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เข้าสู่ระบบ และ 2) ชุดการทดลองที่ 2 เป็นชุดที่มีการเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เข้าสู่ระบบในอัตรา 2 ลิตรต่อนาที โดยทำการเติมแบบกะ เป็นเวลา 20 นาทีต่อวัน ทำการหมักในขวดแก้วใสมีฝาเกลียวและทำการซีลที่ฝาเพื่อไม่ให้มีอากาศเข้าไปในระบบ ปริมาตร 1 ลิตร ทำการเจาะรูที่ฝาปิดด้านบนเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 0.5 เซนติเมตร เพื่อใช้สำหรับใส่เทอร์โมมิเตอร์ในการวัดอุณหภูมิและซีลโดยรอบรอยต่อ และทำช่องสำหรับเก็บตัวอย่างในการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ขนาด 1.5 × 1.5 เซนติเมตร และปิดช่องให้สนิททุกครั้ง ชุดการทดลองจะถูกควบคุมอุณหภูมิโดยเครื่องอังไอน้ำ (Water bath) ที่ 55 องศาเซลเซียสตลอดระยะเวลาการทดลอง

2.2ขั้นตอนการดำเนินงาน

ในการศึกษาเปรียบเทียบค่าฟอสฟอรัสในกระบวนการหมักปุ๋ยแบบไร้อากาศเมื่อมีการเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มีขั้นตอนการดำเนินงานโดยเริ่มต้นจากการเตรียมวัสดุสำหรับการหมัก ได้แก่ หญ้าเนเปียร์ เหง้าสับปะรด มูลช้าง และกากมูลหมักจากกระบวนการหมักชีวภาพ โดยนำหญ้าเนเปียร์และเหง้าสับปะรดมาตัดให้มีขนาดเล็กประมาณ 0.5-1 ซม. นำ

วัสดุหมักมาทำการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าความชื้น อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) และฟอสฟอรัสก่อนเริ่มการทดลอง แล้วทำการผสมวัสดุหมักในอัตราส่วนที่ 2.5 : 2.5 : 3.5 : 1.5 โดยปริมาตร เพื่อนำไปทำการหมัก เมื่อนำวัสดุหมักใส่ลงในชุดการทดลองเรียบร้อยแล้ว ทำการตรวจเช็ครอยรั่วต่างๆ ของชุดการทดลองและดำเนินการหมักเป็นระยะเวลา 45 วัน โดยในระหว่างการหมักในชุดการทดลองที่ 2 จะทำการเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เข้าไปในขวดหมักในอัตรา 2 ลิตรต่อนาที เป็นระยะเวลา 20 นาทีต่อวัน ในช่วงเวลาเดียวกันของทุกๆ วัน และบันทึกค่าอุณหภูมิและความเป็นกรด-ด่างทุกวัน ในแต่ละสัปดาห์จะทำการวิเคราะห์ค่าความชื้น และฟอสฟอรัสของตัวอย่าง รวมถึงเมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 45 วัน ด้วย นำผลการทดลองที่ได้มาทำการเปรียบเทียบค่าฟอสฟอรัส

ตารางที่ 1 วิธีวิเคราะห์ตัวอย่างปุ๋ยตามพารามิเตอร์ต่าง ๆ

พารามิเตอร์	วิธีการวิเคราะห์
อุณหภูมิ	วิเคราะห์โดยเครื่องเทอร์โมมิเตอร์
ค่าความชื้น	วิเคราะห์โดยวิธี Oven-drying method
ค่าความเป็นกรด-ด่าง	วิเคราะห์โดยเครื่องพีเอชมิเตอร์
คาร์บอนทั้งหมด	วิเคราะห์โดยวิธี Walkley-Black method
ไนโตรเจนทั้งหมด	วิเคราะห์โดยวิธี Kjeldahl method
ฟอสฟอรัสทั้งหมด	วิเคราะห์โดยวิธี Spectrophotometric Molybdovanadophosphate method

3.ผลการทดลอง

3.1 คุณสมบัติของวัสดุหมัก

3.1.1 มูลช้าง

ช้างเป็นสัตว์กินพืชขนาดใหญ่ โดยทั่วไปช้างจะกินพืชประเภทหญ้า เช่น ไผ่ หญ้าเนเปียร์ หญ้าปล้อง กก อ้อ เป็นต้น มูลช้างประกอบไปด้วยเซลลูโลสอยู่ร้อยละ 71.67 และลิกนินร้อยละ 30.50 ปัจจุบันประเทศไทยมีช้างอยู่ประมาณ 3500 เชือก ส่งผลให้ในหนึ่งวัน ช้างสามารถถ่ายอุจจาระได้ถึงวันละ 450,000 กิโลกรัม โดยช้างหนึ่งตัวสามารถถ่ายอุจจาระได้วันละ 150 กิโลกรัม/ตัว/วัน ซึ่งเป็นปริมาณมาก[4] มูลช้างมี เส้นใยและธาตุอาหารปริมาณที่สามารถนำไปผลิตปุ๋ยที่มีคุณภาพได้ จากกการวิเคราะห์ปุ๋ยหมักมูลช้าง ดังนี้ pH 7.3 อินทรียวัตถุ 36.56% ปริมาณไนโตรเจน 1.2% ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 3.75% และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ 1.35%

3.1.2 เศษอาหารช้าง

เศษอาหารช้าง เกิดจากการบริโภคของช้างได้แก่ ใบสับปะรด เศษหญ้าเป็นต้น(วังช้างอยุธยา แล เพนียด) ซึ่งเป็นวัสดุชีวมวลที่มีคุณสมบัติในการนำมาผลิตเป็นพลังงานในรูปแบบต่างๆได้ เศษอาหารช้างที่เหลือทิ้งเป็นวัสดุประเภทลิกโนเซลลูโลส (lignocellulose) มีองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญ คือ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินโดยชีวมวลในกลุ่ม ข้าวโพด จะมีเซลลูโลส 50–60% เฮมิเซลลูโลส 25–38% และลิกนิน 9-20% ชีวมวลในกลุ่มหญ้าที่เป็นอาหารช้างจะมี เซลลูโลส 38-48% 17-32% และลิกนิน 6-12%[5] นอกจากผักและผลไม้ที่นิยมนำมาเป็นอาหารช้างแล้วนั้น หญ้าหลายชนิดที่เป็นหญ้าที่ใช้ในการเลี้ยงสัตว์ก็นิยมนำมาให้ช้างกินเช่นกัน โดยในปัจจุบันหญ้าเนเปียร์เป็นหญ้าที่นิยมมาใช้เลี้ยงสัตว์เนื่องจากมีคุณสมบัติทางด้านอาหารเป็นอย่างดี มีความทนทานต่อทุกสภาพการเพาะปลูก

3.1.3 หญ้าเนเปียร์ (Napier grass)

หญ้าเนเปียร์ หรือวิทยาศาสตร์ว่า Pennisetum purpureum ชื่อสามัญ Napier grass หรือ Elephant grass มีถิ่นกำเนิดในแถบประเทศแอฟริกา ปัจจุบันพบมีการปลูกอย่างแพร่หลายกระจายไปทั่วโลกในแถบประเทศอบอุ่น นิยมใช้ในการเลี้ยงสัตว์นิยมนำมาใช้เป็นอาหารสัตว์ประเภท วัว ช้าง เป็นต้น เนื่องจากหญ้าเนเปียร์สามารถเก็บเกี่ยวได้ปีละ 5 – 6 ครั้ง ผลผลิตที่สูงในช่วง 40 - 100 ตันสด/ไร่/ปี ซึ่งมากกว่าหญ้าชนิดอื่นถึง 7 เท่าและคุณค่าทางอาหารที่สูง ลำต้น และใบมีปริมาณแป้ง และน้ำตาลสูง ซึ่งในหญ้าเนเปียร์ส่วนใหญ่จะมีส่วนประกอบหลักๆ คือ เซลลูโลส (Cellulose) เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) และลิกนิน (Lignin) ในปริมาณที่ต่างกันขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของหญ้า

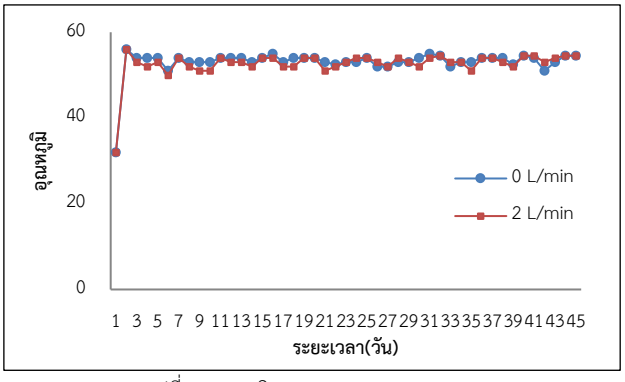
3.1.4 กากมูลหมัก (Slurry)

เป็นกากที่เหลือจากการหมักก๊าซชีวภาพแบบไม่ใช้อากาศ ซึ่งกากที่เหลือนี้สามารถนำมาใช้เป็นปุ๋ยเพื่อใช้ในการเพาะปลูกได้ Ruirui C.(2555) ได้กล่าวว่ากากที่เหลือจากการหมักก๊าซชีวภาพนั้นสามารถนำมาใช้เป็นปุ๋ยอินทรีย์ได้ โดยเปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมีของดินและกากของเหลือจากการหมักก๊าซชีวภาพลักษณะโดยทั่วไป คือ เป็นของเหลวที่เกือบจะไม่มีกลิ่น มีธาตุคาร์บอนที่ผ่านการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ในระบบและมีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่ต่ำลงกว่าวัสดุหมักเริ่มต้น เนื่องจากคาร์บอนถูกย่อยสลายและไนโตรเจนที่เพิ่มมากขึ้น (C/N ratio) เมื่อเปรียบเทียบกับมูลสัตว์ที่เป็นแหล่งอินทรีย์ กากมูลหมักที่เกิดจากการย่อยสลายจากก๊าซชีวภาพยังประกอบไปด้วยสารอาหารทั้งมาโครและจุลธาตุจำนวนมาก ปริมาณสารอินทรีย์ในกากมูลหมักยังมีปริมาณที่มากกว่าปุ๋ยอินทรีย์ชนิดอื่นๆ[6]

3.2 อุณหภูมิ

อุณหภูมิในการหมักถือเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญการหมักปุ๋ย เนื่องจากอุณหภูมิเป็นปัจจัยที่มีผลโดยตรงต่อชนิดและการเจริญเติบโตของแบคทีเรียจุลินทรีย์แต่ละชนิดจะเจริญเติบโตได้ดีในอุณหภูมิที่แตกต่างกัน โดยทั่วไปในกระบวนการหมักปุ๋ยนั้นอุณหภูมิจะเป็นปัจจัยที่ใช้ในการสังเกตปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในการหมักได้ ในทางทฤษฎีพบว่าในช่วงอุณหภูมิที่ 50 – 60 องศาเซลเซียส จะเป็นช่วงที่จุลินทรีย์มีการเจริญเติบโตได้ดี และหากยิ่งอุณหภูมิสูงขึ้น 60 – 70 ก็จะส่งผลให้เกิดการย่อยสลายวัสดุได้เร็วขึ้นทำให้วัสดุหลายเป็นปุ๋ยหมักสมบูรณ์ได้เร็วกว่าอุณหภูมิห้อง[7] นอกจากนี้การเปลี่ยนของอุณหภูมิในปุ๋ยนั้นมีปัจจัยมากจากชนิดของวัสดุ ขนาดและของวัสดุที่ใช้ในการหมักด้วย การควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วงเทอร์โมฟิลิกนั้นจะสามารถทำให้การหมักปุ๋ยมีระยะเวลาที่สั้น ในการทดลองจึงได้ควบคุมอุณหภูมิในระหว่างการหมักไว้ที่ 55 องศาเซลเซียส จากผลการทดลอง

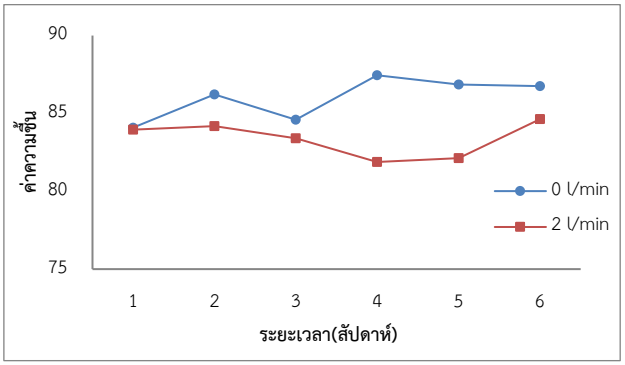
พบว่าการควบคุมอุณหภูมิที่ 55 องศาเซลเซียส อุณหภูมิในชุดปุ๋ยหมักตั้งแต่วันที่ 1 – 45 วัน มีแนวโน้มคงที่ดังแสดงลักษณะดังรูปที่ 1 โดยจากการหมักพบว่าอุณหภูมิที่ได้ตลอดระยะเวลาในการหมักทั้ง 2 ชุดการทดลองนั้นจะมีค่าสูงที่สุดไม่เกิน 56 องศาเซลเซียส โดยมีอุณหภูมิในการหมักใกล้เคียงกัน



รูปที่ 1 อุณหภูมิตลอดระยะเวลาการทดลอง

3.3 ความชื้น

จุลินทรีย์ที่จะช่วยในการสลายวัสดุให้กลายเป็นปุ๋ยนั้นต้องอาศัยน้ำหรือความชื้นในการดำรงชีพ วัสดุที่นำมาหมักจึงต้องมีความชื้นเพียงพอไม่มากหรือน้อยเกินไปเพื่อให้จุลินทรีย์ในกองปุ๋ยสามารถเจริญเติบโตได้ดีที่สุดโดยหญ้าเนเปียร์และเศษอาหารช้างที่นำมาใช้ มักจะแห้งเกินไปเมื่อนำมาผสมจึงมีการใช้น้ำผสมเพิ่มด้วย ความชื้นของการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนนั้นจะสูงกว่าการหมักแบบใช้ออกซิเจน โดยจะอยู่ในช่วงร้อยละ 70[7] เป็นต้นไปดังแสดงลักษณะดังรูปที่ 2

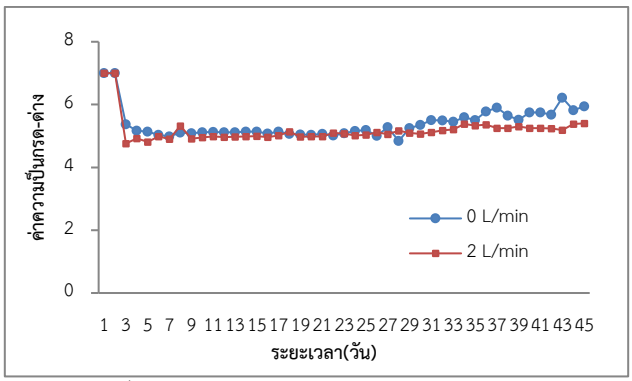


รูปที่ 2 ค่าความชื้นตลอดระยะเวลาการทดลอง

จากรูปที่ 2 พบว่าความชื้นของชุดควบคุมมีค่าสูงกว่าชุดการทดลองที่มีการเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ตลอดระยะเวลาการทดลอง เนื่องจากการในชุดการทดลองที่มีการเติมก๊าซจะทำให้เกิดการไล่ความชื้นออกไปจากระบบคล้ายกับการหมักแบบไร้อากาศซึ่งจะมีความชื้นในระบบต่ำกว่าการหมักแบบไร้อากาศที่เป็นระบบปิด โดยเมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักนั้นความชื้นของวัสดุหมักจะมีค่าสูงและลักษณะทางกายภาพของวัสดุหมักจะมีลักษณะกึ่งเหลว ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยในการหมักแบบไร้อากาศโดยทั่วไป[8]

3.4 ค่าความเป็นกรด – ด่าง

ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ตลอดระยะเวลาลาของการหมักปุ๋ยไม่ควรต่ำกว่า 5.5 และไม่เกิน 9 อันเป็นช่วงที่จุลินทรีย์ สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ดี โดยทั่วไปปุ๋ยที่หมักเสร็จสมบูรณ์แล้วจะมีค่าความเป็นกรด-ด่างที่ 6-8 เป็นกลางหรือเป็นกรดเล็กน้อย[9] วัสดุหมักที่ผสมเรียบร้อยแล้วจะมีค่าความเป็นกรด-ด่างที่เป็นกลางมีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 7 เมื่อเริ่มทำการหมักในช่วงสัปดาห์แรกค่าความเป็นกรด-ด่างจะลดลงอย่างรวดเร็วเนื่องจากสารอินทรีย์อยู่ในขั้นตอนการสร้างกรดโดยมีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 4.7 – 5.4 ทั้งสองชุดการทดลอง ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อระยะเวลาการหมักผ่านไปประมาณ 1 เดือน ค่าความเป็นกรด-ด่าง ของชุดควบคุมมีแนวโน้มสูงขึ้นแสดงให้เห็นว่าวัสดุหมักเริ่มเข้าใกล้ความเป็นปุ๋ยหรือสิ้นสุดกระบวนการหมัก แต่ชุดการทดลองที่ 2 ซึ่งมีการเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์นั้นมีค่าความเป็นกรด-ด่างที่ต่ำกว่าแต่มีแนวโน้มแบบเดียวกับชุดควบคุม โดยมีค่าความเป็นกรด-ด่างเมื่อสิ้นสุดการทดลองของชุดควบคุมและชุดการทดลองที่ 2 เท่ากับ 5.9 และ5.4 ตามลำดับ ดังแสดงผลการทดลองค่าความเป็นกรด-ด่างในแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 ค่าความเป็นกรด-ด่างตลอดระยะเวลาการทดลอง

3.5 ค่าฟอสฟอรัส

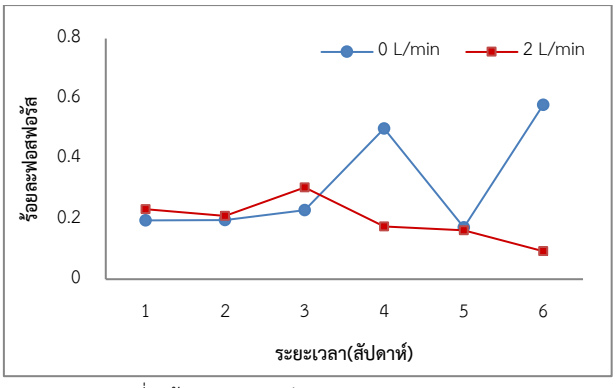
ฟอสฟอรัสเป็นธาตุสารอาหารสำคัญอีกตัวหนึ่งที่จุลินทรีย์ใช้ในการเจริญเติบโตในกองปุ๋ยหมัก จุลินทรีย์ในกองปุ๋ยหมักจะใช้ฟอสฟอรัสจากวัสดุหมักในรูปของไดฟอสฟอรัสเพนตะออกไซด์ (P_2O_5) ปกติแล้วมาตรฐานคุณภาพปุ๋ยหมักจะมีปริมาณฟอสฟอรัส (Total P_2O_5) ไม่น้อยกว่า 0.5 โดยน้ำหนัก จากการทดลองในหญ้าเนเปียร์, กากมูลหมัก และเศษอาหารช้าง เมื่อถูกย่อยสลายจะอยู่ในรูปน้ำได้ ซึ่งเมื่อสิ้นสุดกระบวนการทำปุ๋ยหมักเมื่อนำปุ๋ยที่ได้ไปใช้ประโยชน์พืชจะสามารถนำฟอสฟอรัสไปใช้ได้ ซึ่งเป็นไปตามวัฏจักรฟอสฟอรัส ซึ่งวัฏจักรฟอสฟอรัส คือ การหมุนเวียนของฟอสฟอรัสต่างจากธาตุอื่นตรงที่ไม่มีการหมุนเวียนผ่านรูปที่เป็นก๊าซ ฟอสฟอรัสส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของหินฟอสเฟตหรือแร่ฟอสเฟตเมื่อถูกกัดกร่อนโดยน้ำการชะล้างโดยฝนและกระแสลมปะปนอยู่ในดินจะกลายเป็นรูปที่ละลายน้ำซึ่งพืชสามารถนำไปใช้ได้และจะถ่ายทอดไปในระบบนิเวศ

ตามห่วงโซ่อาหารเมื่อพืชตายลงก็จะถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรียกลุ่ม Phosphatizing Bacteria ให้อยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้ส่วนนี้นอกจากพืชจะนำไปใช้โดยตรงแล้วยังถูกกระบวนการชะล้างพัดพาลงสู่ทะเลสำหรับฟอสฟอรัสที่ไม่ถูกดูดซับจะไหลไปรวมกันในมหาสมุทรปะปนอยู่ในดินตะกอนทั้งทะเลตื้นและลึกถูกสิ่งมีชีวิตเล็ก ๆ ในทะเลนำมาใช้ถ่ายทอดไปตามห่วงโซ่อาหารจนถึงปลาขนาดใหญ่และนกทะเลเมื่อสัตว์พวกนี้ตายลงเกิดการสะสมเป็นชนิดกัวโน (guano) ซึ่งเกิดจากการสะสมของมูลนกและกระดูกนกธาตุไนโตรเจนที่เกิดร่วมอยู่ในมูลสัตว์เหล่านี้ละลายน้ำได้ดีมากจึงถูกพัดพาไปหมดคงเหลือไว้แต่ธาตุฟอสฟอรัสที่สลายตัวยากนำมาใช้ไม่ได้จะกระทั่งดินตะกอนกลายเป็นดินบนพื้นโลก อีกทั้งยังมีความสำคัญต่อพืชเนื่องจากเป็นองค์ประกอบสำคัญของสารประกอบที่ถ่ายทอดพลังงานในพวกพืชการดึงดูดและการเคลื่อนย้ายธาตุอาหารภายในพืชการสังเคราะห์โมเลกุลของสารประกอบหลายอย่างนอกจากนี้ยังเป็นองค์ประกอบสำคัญในกรดดีออกซีไรโบนิวคลีอิก (DNA) ซึ่งมีบทบาทในการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมทั้งในพืชและในสัตว์เป็นองค์ประกอบในโครงสร้างของฟอสโฟลิพิด (phospholipids) ซึ่งฟอสโฟลิพิดนี้จะมีบทบาทต่อการสร้างเสถียรภาพของเยื่อต่าง ๆ ของพืชทำให้เซลล์ของพืชแข็งแรงขึ้นพืชที่ขาดธาตุฟอสฟอรัสจะมีลำต้นที่แคระแกร็นเนื้อไม้จะแข็งแต่เปราะและหักง่ายใบมีสีเขียวคล้ำใบล่าง ๆ จะมีสีม่วงตามบริเวณขอบใบรากของพืชจะชะงักการเจริญเติบโตพืชไม่ออกดอกออกผล

จากการทดลองพบว่าค่าฟอสฟอรัสในช่วงสิ้นสุดการหมัก ชุดการทดลองที่ 1 และ 2 มีค่าร้อยละฟอสฟอรัสเท่ากับ 0.578 และ 0.093 ตามลำดับ

ตารางที่ 2 ฟอสฟอรัสตลอดระยะเวลาการทดลอง

ระยะเวลา(สัปดาห์)	0 L/min	2 L/min
1	0.195	0.233
2	0.197	0.21
3	0.23	0.305
4	0.501	0.175
5	0.172	0.163
6	0.578	0.093



รูปที่ 4 ร้อยละฟอสฟอรัสตลอดระยะเวลาการทดลอง

3.6 คุณลักษณะของปุ๋ยหมัก

เมื่อครบระยะเวลาการทดลองทั้งสิ้น 45 วัน ได้นำตัวอย่างปุ๋ยในชุดการทดลองทั้ง 2 ชุดมาทำการศึกษา คุณลักษณะทางกายภาพที่สังเกตเห็นคือขนาดของวัสดุหมักถูกย่อยสลายมีขนาดเล็กลง มีสีน้ำตาลปนเหลืองเข้มและมีกลิ่นคล้ายกลิ่นเปรี้ยว ไม่มีส่วนที่มีสภาพเหมือนกับ เหง้าสับรดหรือหญ้าเนเปียร์อีกต่อไป ค่าตัวชี้วัดมาตรฐานที่ใช้ กำหนดสภาพของปุ๋ยหมักว่าแปรสภาพได้ที่ดีแล้ว หรือไม่ คือค่า C:N ratio โดยปกติถ้าปุ๋ยหมักมีค่า C/N ratio ประมาณ 26-35 ถือว่าสามารถนำปุ๋ยหมัก ดังกล่าวไปใช้ได้ แต่ถ้าค่า C:N ratio ต่ำกว่า 20:1 ถือว่า ปุ๋ยหมักมีคุณภาพดีตามมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ แต่ใน ทางปฏิบัติการใช้ปุ๋ยหมักที่มีค่า C:N ratio สูงกว่านี้ ไปบ้างเล็กน้อยก็มิได้เกิดผลเสียหายแก่พืชเพียงแต่ คุณสมบัติในการเป็นสารปรับปรุงดินอาจด้อยคุณภาพ ลงไปบ้างเท่านั้น [10] รวมถึงธาตุอาหารหลักอื่นๆ ก็เป็นปัจจัยที่ต้องพิจารณา ซึ่งการพิจารณาคุณลักษณะ ของปุ๋ยหมักตามเกณฑ์นั้นจะมีหลายพารามิเตอร์ซึ่ง อาจเป็นไปได้ยากในการทดลอง

4. บทสรุป

จากการศึกษาวิจัยเพื่อเปรียบเทียบปริมาณธาตุอาหารฟอสฟอรัสที่เกิดการเปลี่ยนในกระบวนการหมักปุ๋ยแบบไร้อากาศด้วยมูลช้างร่วมกับกากมูลหมักและเศษอาหารช้างในสภาวะปกติและมีการเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ พบว่าในการทดลองนี้มีการควบคุมอุณหภูมิ ความเป็นกรด-ด่าง ซึ่งในทุก ๆ ชุดการทดลอง มีค่าอยู่ในช่วงควบคุม ส่วนความชื้นจะมีค่าที่สูงกว่าปกติเนื่องจากเป็นการหมักแบบไร้อากาศ การหมักแบบไร้อากาศนั้น คือ กระบวนการที่จุลินทรีย์ชนิดที่ดำรงชีพโดยไม่ใช้ออกวิเจนได้รับสารอาหารและเจริญเติบโต แล้วย่อยสลายอินทรีย์สารให้แปรสภาพเป็นแร่ธาตุ ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้เมื่อเสร็จกระบวนการ คือ คาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซมีเทน ก๊าซแอมโมเนีย ก๊าซไข่เน่า และความร้อน ในระหว่างการทดลองได้ ทำการตรวจสอบค่า C/N จะเห็นได้ว่าค่า C/N มีค่าลดลง แต่ในบางชุดการทดลองอาจจะยังมีค่า สูงกว่า 20:1 ซึ่งชุดการทดลองที่ไม่มีการเติมก๊าซเข้าสู่ระบบมีค่าฟอสฟอรัสเมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักเท่ากับร้อยละ 0.58 ส่วนชุดการทดลองที่มีการเติมก๊าซเข้าสู่ระบบมีปริมาณฟอสฟอรัสเท่ากับร้อยละ **0.09** แสดงให้เห็นว่าการเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีผลทำให้ฟอสฟอรัสมีปริมาณลดลงซึ่งจะส่งผลให้ปุ๋ยมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานปุ๋ยของกรมวิชาการเกษตร เนื่องจากเป็นการหมักแบบไม่ใช้อากาศ ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้จากระบบนี้ คือ คาร์บอนไดออกไซด์ อีกทั้งวัสดุหมักก็มีค่าคาร์บอนสูงอยู่แล้ว จึงทำให้เมื่อครบระยะเวลาทดลองค่าฟอสฟอรัสจึงไม่เป็นไปตามมาตรฐานปุ๋ย ดังนั้นเพื่อให้ปุ๋ยมีค่าที่ดีขึ้นจึงควรเลือกวัสดุหมักอื่นๆ ที่มีธาตุฟอสฟอรัสสูงในการหมักเพื่อให้ได้ปุ๋ยที่ตรงตามมาตรฐาน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฐนียา รังษีสุริยะชัย และอาจารย์คฑาพล ปิ่นพัฒนพงศ์ ที่ได้ให้โอกาสและให้คำแนะนำในการศึกษาวิจัยทำให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

[1] ธงชัย มาลา. (2546). ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยชีวภาพ. ภาควิชาปฐพีวิทยา, คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

[2] ยงยุทธ โอสถสภา, อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์ และ ชวลิต ฮงประยูร, 2554, ปุ๋ยเพื่อการเกษตร ยั่งยืน, พิมพ์ครั้งที่ 2, สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

[3] Wagner JD, Cafalu WT, Anthony MS, Litwak KN, Zhang L, Clarkson TB. Dietary soy protein and estrogen replacement therapy improve cardiovascular risk factors and decrease aortic cholesterylestervcontent in ovariectomizedcynomolgus monkey. Metabolism 1997;46:698-705.

[4] มูลนิธิช้างแห่งประเทศไทย (2553). มุมขบ. โรงพิมพ์ วี.เจ. พริ้นติ้ง, หน้า 14.

[5] รัชพล พะวงศ์รัตน์ (2558). กระบวนการปรับสภาพเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตเอทานอลจากวัสดุเหลือทิ้ง ทางการเกษตรประเภทลิกโนเซลลูโลส. วารสารวิชาการ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, ปีที่ 2, ฉบับที่ 1, หน้า 143-154.

[6] นายโสพส แซ่ลิ้ม (2559). ปุ๋ยอินทรีย์และการใช้ประโยชนในประเทศไทย. เอกสารวิชาการ. หน้า 71-103.

[7] ดร.ฉัตรชัย จันทร์ดวงเด่น (2550). ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ การทำหมักปุ๋ย วารสาร MTEC ฉบับเดือน กรกฎาคม – กันยายน 2550. หน้า 48 – 54

[8] วิกิตำรา. **ปุ๋ยหมัก** สืบค้นเมื่อ 17 พฤษภาคม 2562 จาก https://th.wikibooks.org/wiki/ปุ๋ยหมัก.

[9] จิติมา ยถาภูธานนท์ (2558). การพัฒนาระบบการตรวจวิเคราะห์พืชและปัจจัยการผลิตทางการเกษตร. รายงานโครงการวิจัย. หน้า 18-40.

[10] Sánchez C. Lignocellulosic Residues: Biodegradation and Bioconversion by Fungi. Biotechnology Advance. 2009; 27:185-94.