

การศึกษาการหมักปุ๋ยจากเศษอินทรีย์วัตถุด้วยการเติมอากาศ ร่วมกับการใช้ครูดเอนไซม์

Study of Organic Waste Composting with Aeration and Use of Crude Enzyme

ฐนียา รังษีสुरิยะชัย^{1*} และกุลยา สาริชีวิน²

Thaneeya Rangseesuriyachai^{1*} Kullaya Saricheewin²
thaneeya.r@en.rmUTT.ac.th^{1*}, kullaya.s@en.rmUTT.ac.th²

¹⁻² ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

¹⁻² Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi

Received: January 31, 2017
Revised: November 30, 2017
Accepted: December 20, 2017

บทคัดย่อ

การศึกษาการหมักปุ๋ยจากเศษอินทรีย์วัตถุด้วยการเติมอากาศร่วมกับการใช้ครูดเอนไซม์ ได้แก่ ครูดเอนไซม์จากเชื้อเดี่ยว *Trichoderma reesei* และเชื้อผสมระหว่าง *Trichoderma reesei* และ *Saccharomyces cerevisiae* โดยศึกษาคุณลักษณะที่ได้จากการหมักปุ๋ยที่มีการเติมครูดเอนไซม์ผงทั้งสองแบบเปรียบเทียบกัน โดยการแปรเปลี่ยนปริมาณครูดเอนไซม์ที่เติมและปรับเวลาการเติมอากาศที่ 24 ชม. และเปิด-ปิด สลับกัน 6 ชม. จากผลการทดลองพบว่า อุณหภูมิในระหว่างการหมักของถังทั้ง 8 ถัง มีอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกัน คืออยู่ในช่วงระหว่าง 28-41 องศาเซลเซียส ซึ่งถือว่าเป็นอุณหภูมิในช่วง Mesophilic ความชื้นในถังหมักปุ๋ยมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 47-90 ซึ่งความชื้นสูงจะเกิดในช่วงต้นของการทดลองทำให้การหมักเกิดช้าในช่วงแรกเมื่อสิ้นสุดการทดลองค่าความเป็นกรด-ด่าง อยู่ในช่วง 8-9 และฟอสฟอรัสอยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 0.66-1.05 ในด้านคุณลักษณะของปุ๋ยหมักในเรื่องของธาตุอาหาร N, P, K เกือบทุกถังมีค่าเป็นไปตามมาตรฐานปุ๋ยหมัก ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของปุ๋ยหมักมีเฉพาะถังที่ 1 (มีการเติมอากาศ 24 ชั่วโมง เติมครูดเอนไซม์ 180 กรัม) ที่มีค่าเป็นไปตามมาตรฐานคือ 20:1 ถังที่ 2-8 มีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนประมาณ 30:1 โดยเมื่อพิจารณารูปแบบการเติมอากาศที่ดีที่สุดคือมีการเติมอากาศตลอด 24 ชั่วโมง และถังที่ดีที่สุดคือ ถังที่ 1 ซึ่งมีวัสดุหมักร่วมกับครูดเอนไซม์ผงจากเชื้อเดี่ยวโดยมีการเติมอากาศ 24 ชั่วโมงร่วมกับการเติมครูดเอนไซม์ 180 กรัม

คำสำคัญ: ครูดเอนไซม์, เศษอินทรีย์, ปุ๋ยหมัก, ถังเติมอากาศ

Abstract

The study of organic waste composting with aeration and by adding crude enzyme powder from *Trichoderma reesei* and mixed-type between *Trichoderma reesei* and *Saccharomyces cerevisiae* was conducted to compare the characteristics of compost using 24 hours operated and periodically every 6 hours operated aerator combined with the different amounts of crude enzyme. The results showed that the temperature during the experimental process is in the range of 28-41 °C which is usually called mesophilic phase. The moisture content ranged between 47-90% of which the higher humidity occurred at the beginning caused the slow process of fermentation. At the end of the experiment, pH was found in the range of 8-9 and phosphorus contained in the compost was in the range between 0.66 to 1.05%. The characteristics of the fertilizer nutrients N, P, K, in almost compost crates met the requirements nutrients for standard compost. Carbon to Nitrogen ratio (C/N ratio) of crate no.1 (24 hrs. operated aerator with 180g *Trichoderma reesei* added) is the only crate that met the standard composting with C/N of 20:1. The C/N ratio of crates no.2-8 were approximately 30:1. By considering the aeration patterns, the 24 hrs. operated aerator was considered the best condition for this study and a crate no.1 (24 hrs. operated aerator with 180g *Trichoderma reesei* added) demonstrated the best results to satisfy the standard compost.

Keywords: crude enzyme, organic waste, compost, aeration bin.

1. บทนำ

ขยะได้กลายมาเป็นปัญหาสำคัญระดับชาติ อันเนื่องมาจากจำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้นและมีการอุปโภคบริโภคในแต่ละวันเป็นจำนวนมาก จากการสำรวจข้อมูลของกรมควบคุมมลพิษ พบว่าในปี 2558 มีปริมาณขยะมูลฝอยทั้งสิ้น 26.85 ล้านตัน โดยมีขยะมูลฝอยที่ถูกนำมาใช้ประโยชน์ได้ทั้งสิ้น 4.94 ล้านตัน หรือคิดเป็นร้อยละ 18 ของปริมาณขยะมูลฝอยทั้งหมด [1] โดยขยะมูลฝอยที่นำมาใช้ประโยชน์ได้นั้นส่วนใหญ่คือขยะมูลฝอยประเภทขยะอินทรีย์วัตถุ เศษอาหาร และเศษผักผลไม้ ซึ่งขยะมูลฝอยเหล่านี้ถ้านำไปกำจัดด้วยการนำไปฝังกลบหรือการเผาจะทำให้เป็นภาระค่าใช้จ่ายในการกำจัดเป็นมูลค่าสูง จากคุณสมบัติของความชื้นที่มีมาก รวมถึงเสียคุณสมบัติของประโยชน์เนื่องจากขยะมูลฝอยเหล่านี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อได้หลายรูปแบบ รูปแบบหนึ่งที่เป็นทางเลือกที่นิยมในการนำขยะอินทรีย์เหล่านี้ไปใช้ ได้แก่ การนำไปทำปุ๋ยหมัก เนื่องจากขยะอินทรีย์สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติและมีเสถียรภาพโดยเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ผลิตภัณฑ์สุดท้ายของกระบวนการนี้คือปุ๋ยหมักซึ่งเป็นวัตถุดิบที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทางการเกษตร มีความเหมาะสมกับประเทศไทยเนื่องจากเป็นประเทศเกษตรกรรม ทำให้ลดการนำเข้าของปุ๋ยเคมีที่ทำลายดิน

ในการทำปุ๋ยหมักการย่อยสลายปุ๋ยหมักเกิดขึ้นได้จากกระบวนการย่อยสลาย 3 ระยะ โดยในขั้นแรกเกิดได้จากแมลงหรือสิ่งมีชีวิตขนาดใหญ่ซึ่งย่อยสลายสารอินทรีย์ให้มีขนาดเล็ก จากนั้นกลุ่มจุลินทรีย์ในดิน ได้แก่ แบคทีเรีย เชื้อราและยีสต์ จะทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ขนาดเล็กต่อจนเกิดระยะที่สามเมื่อกองปุ๋ยมีความร้อนเกิดขึ้นและจุลินทรีย์ในกลุ่มเทอร์โมฟิลิกจะเข้ามาย่อยสลายต่อจนเกิดเสถียรภาพกลายเป็นปุ๋ยหมักโดยสมบูรณ์ [2] โดยงานวิจัยส่วนใหญ่ที่เกี่ยวข้องกับการทำปุ๋ยหมักจะใช้จุลินทรีย์ที่มาจากมูลสัตว์เป็นหลัก โดยการใช้มูลสัตว์ในการทำปุ๋ยหมักมีมานานแล้ว เนื่องจากมูลสัตว์เป็นตัวเร่ง

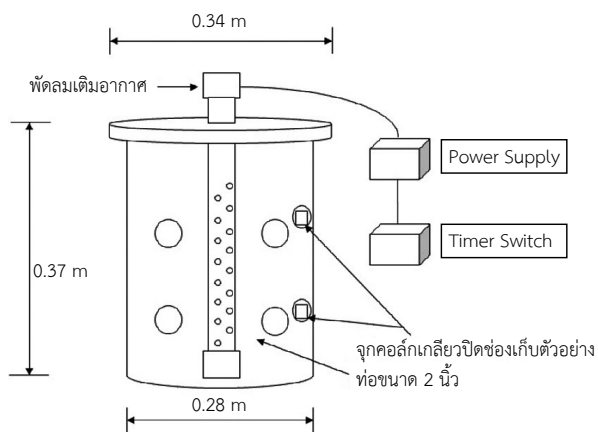
อัตราการย่อยสลายเศษพืชภายในกองปุ๋ยให้เร็วขึ้น และเป็นแหล่งไนโตรเจนและแหล่งจุลินทรีย์ของกองปุ๋ย มูลสัตว์ที่นิยมใช้ในการหมักปุ๋ยได้แก่ มูลวัว มูลไก่ มูลสุกร อย่างไรก็ตาม การทำปุ๋ยหมักยังมีจุลินทรีย์ประเภทอื่นที่อาจไม่ได้อยู่ในมูลสัตว์จำพวกนี้ อาจมีส่วนช่วยในการหมักปุ๋ยให้ได้คุณภาพที่ดีขึ้นหรือเร็วขึ้น เช่น เชื้อรา ยีสต์ เป็นต้น โดยจากการศึกษา งานวิจัยพบว่าเชื้อราและยีสต์มีส่วนช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพการหมักเอทานอลและการหมักปุ๋ย [3-5] นอกจากนี้การหมักด้วยวิธีตามธรรมชาตินั้นต้องใช้ระยะเวลาในการหมักค่อนข้างนานและใช้พื้นที่มาก ดังนั้นการเติมอากาศจึงเป็นวิธีการที่ช่วยให้การหมักเร็วขึ้นและไม่มีการเหม็นอีกด้วย [6-7]

ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณลักษณะของปุ๋ยหมัก ที่เกิดขึ้นจากการหมักปุ๋ยด้วยเศษอินทรีย์วัตถุโดยการเพิ่มครูดอเมโซมฟงสองชนิดคือจากเชื้อเดี่ยว *Trichoderma reesei* และเชื้อผสมระหว่าง *Trichoderma reesei* และ *Saccharomyces cerevisiae* รวมถึงเพื่อเปรียบเทียบรูปแบบการเติมอากาศในถังหมักที่แตกต่างกัน เพื่อเป็นการพัฒนาเป็นถังหมักปุ๋ยในครัวเรือนต่อไปในอนาคต

2. วิธีดำเนินงานวิจัย

2.1. อุปกรณ์และเครื่องมือ

ถังหมักที่ใช้ในการทดลองมีทั้งหมด 8 ถัง ทำจากพลาสติกทึบสีดำโดยมีปริมาตรทั้งสิ้นประมาณ 37 ลิตร ทำการเจาะรูเพื่อระบายอากาศและตรงกลางถังได้เจาะเพื่อใส่ท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว เจาะรูรอบและด้านบนได้ติดตั้งพัดลมเป่าอากาศไว้ ด้านข้างได้ทำการเจาะรูไว้เพื่อเก็บตัวอย่าง ดังแสดงลักษณะถังหมักตามรูปที่ 1



รูปที่ 1 ลักษณะของถังหมักปุ๋ย

ถังหมักทั้งหมด 8 ถังได้ทำการใส่วัสดุหมักที่ประกอบไปด้วยเศษผักผลไม้ เศษอาหาร ใบไม้แห้ง และปุ๋ยคอก และได้มีการเติมครูดเอนไซม์ผง 2 ชนิดด้วยกัน ได้แก่ เชื้อเดี่ยว *Trichoderma reesei* (T) และเชื้อผสมระหว่าง *Trichoderma reesei* และ *Saccharomyces cerevisiae* (TY) โดยในการเติมครูดเอนไซม์แต่ละชนิดจะมีการแปรเปลี่ยนปริมาณของครูดเอนไซม์ด้วย คือ 180 กรัม และ 360 กรัม ตามลำดับ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

ถังที่ 1 วัสดุหมักร่วมกับครูดเอนไซม์ผงจากเชื้อเดี่ยวโดยมีการเติมอากาศ 24 ชั่วโมง เติมครูดเอนไซม์ 180 กรัม, T1(24)

ถังที่ 2 วัสดุหมักร่วมกับครูดเอนไซม์ผงจากเชื้อเดี่ยวโดยมีการเติมอากาศ 24 ชั่วโมง เติมครูดเอนไซม์ 360 กรัม, T2(24)

ถังที่ 3 วัสดุหมักร่วมกับครูดเอนไซม์ผงจากเชื้อเดี่ยวโดยมีการเติมอากาศสลับเปิด-ปิดทุกๆ 6 ชั่วโมง เติมครูดเอนไซม์ 180 กรัม, T1(6)

ถังที่ 4 วัสดุหมักร่วมกับครูดเอนไซม์ผงจากเชื้อเดี่ยวโดยมีการเติมอากาศสลับเปิด-ปิดทุกๆ 6 ชั่วโมง เติมครูดเอนไซม์ 360 กรัม, T2(6)

ถังที่ 5 วัสดุหมักร่วมกับครูดเอนไซม์ผงจากเชื้อผสมโดยมีการเติมอากาศ 24 ชั่วโมง เติมครูดเอนไซม์ 180 กรัม, TY1(24)

ถังที่ 6 วัสดุหมักร่วมกับครูดเอนไซม์ผงจากเชื้อผสมโดยมีการเติมอากาศ 24 ชั่วโมง เติมครูดเอนไซม์ 360 กรัม, TY2(24)

ถังที่ 7 วัสดุหมักร่วมกับครูดเอนไซม์ผงจากเชื้อผสมโดยมีการเติมอากาศสลับเปิด-ปิดทุกๆ 6 ชั่วโมง เติมครูดเอนไซม์ 180 กรัม TY1(6)

ถังที่ 8 วัสดุหมักร่วมกับครูดเอนไซม์ผงจากเชื้อผสมโดยมีการเติมอากาศสลับเปิด-ปิดทุกๆ 6 ชั่วโมง เติมครูดเอนไซม์ 360 กรัม TY2(6)

2.2. ขั้นตอนการทดลอง

1) ทำการเพาะครูดเอนไซม์จากเชื้อเดี่ยว *Trichoderma reesei* และเชื้อผสมระหว่าง *Trichoderma reesei* และ *Saccharomyces cerevisiae* ให้ได้ปริมาณเพียงพอตามที่ต้องการโดยทำการเพาะเชื้อแล้วทำการคลุกผสมกับกากมะพร้าวแห้ง

2) ทำการรวบรวมเศษอาหาร เศษผักผลไม้ จากตลาดและร้านค้า เพื่อใช้เป็นวัสดุในการหมักปุ๋ย จากนั้นทำการคัดแยกมูลฝอย ซึ่งไม่สามารถย่อยสลายได้ออกก่อนนำไปหมัก เช่น พลาสติก โฟม ยาง กระดุก เป็นต้น

3) นำเศษผักผลไม้ เศษอาหาร ใบไม้แห้ง และปุ๋ยคอกไปหาร้อยละของคาร์บอน ร้อยละของไนโตรเจน อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน และค่าความชื้น เพื่อคำนวณหาปริมาณของเศษอาหาร เศษผักผลไม้ ใบไม้แห้ง และปุ๋ยคอก ที่ใช้ในการหมักปุ๋ย โดยทำการหมักด้วยอัตราส่วนผสมของเศษผักผลไม้ต่อเศษอาหารต่อใบไม้แห้งต่อปุ๋ยคอกเท่ากับ 2:1:1:1 ตามลำดับ และหาค่าคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N) เริ่มต้นของวัสดุหมักแต่ละชนิด ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าคาร์บอนต่อไนโตรเจนของวัสดุหมัก

วัสดุหมัก	ค่าคาร์บอนต่อไนโตรเจน
เศษอาหาร	51.10
เศษผักผลไม้	32.18
ใบไม้แห้ง	75.26
ปุ๋ยคอก	58.03

4) นำส่วนผสมต่างๆ ลงหมักในถังหมัก และขณะทำการหมักจะทำการวัดอุณหภูมิของอากาศภายในถังและอุณหภูมิของอากาศภายนอกถังหมักโดยใช้เทอร์โมมิเตอร์ ทุกๆ วัน วัดความชื้นของวัสดุหมักในถังหมักจำลองทุกสัปดาห์ตลอดระยะเวลาการทดลอง ซึ่งทดสอบได้โดยการบีบวัสดุหมักและการทดลองตามวิธีตามตารางที่ 2

5) เก็บตัวอย่างสัปดาห์ละ 1 ครั้งตลอดระยะเวลาการหมัก โดยการสุ่มเก็บเป็นจุดทั้งถังตามช่องเก็บตัวอย่างในรูปที่ 1 คือช่วงล่างของถัง ตรงกึ่งกลางและช่วงบน จุดละ 3 ตัวอย่าง แล้วนำตัวอย่างของทุกจุดมาคละเคล้ากัน เพื่อเป็นตัวแทนตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์ ซึ่งใช้น้ำหนักประมาณ 500 กรัม แล้วนำไปใส่ภาชนะสุญญากาศเพื่อนำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (อ้างอิงวิธีการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM) แล้วนำไปวิเคราะห์หาค่าความชื้น ค่าความเป็นกรด-ด่าง และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) และทำการตรวจวิเคราะห์ฟอสฟอรัสด้วยวิธีการเก็บตัวอย่างดังกล่าว 2 สัปดาห์ต่อครั้ง

6) กำหนดระยะเวลาในการหมัก 49 วัน โดยพิจารณาปุ๋ยหมักที่เสร็จสมบูรณ์จากอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) รวมถึงดูจากลักษณะทางกายภาพของวัสดุหมัก ได้แก่ สี ลักษณะของวัสดุหมัก กลิ่น และความร้อนในกองปุ๋ย ที่เป็นไปตามทฤษฎีถือว่าสามารถสิ้นสุดการทดลองได้ [2] จึงสุ่มตัวอย่างปุ๋ยหมักที่ได้ในแต่ละถัง นำมาเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อวิเคราะห์หาค่าคาร์บอน, ไนโตรเจน, โพแทสเซียม และฟอสฟอรัส เพื่อศึกษาคุณลักษณะโดยทั่วไปของปุ๋ยหมัก

2.3. วิธีการวิเคราะห์

พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์วัสดุหมักและปุ๋ยหมัก เป็นไปตามคู่มือวิธีวิเคราะห์ปุ๋ยอินทรีย์ ของกรมวิชาการเกษตร [8] (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 วิธีการวิเคราะห์ตัวอย่างในแต่ละพารามิเตอร์ [8]

พารามิเตอร์	วิธีการวิเคราะห์
อุณหภูมิ	Thermometer
ค่าความชื้น	Oven-drying method
ค่าความเป็นกรด-ด่าง	pH meter
คาร์บอนทั้งหมด	Walkley-Black method
ไนโตรเจนทั้งหมด	Kjeldahl method
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (P ₂ O ₅)	Spectrophotometric Molybdovanadophosphate method

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

3.1 อุณหภูมิ

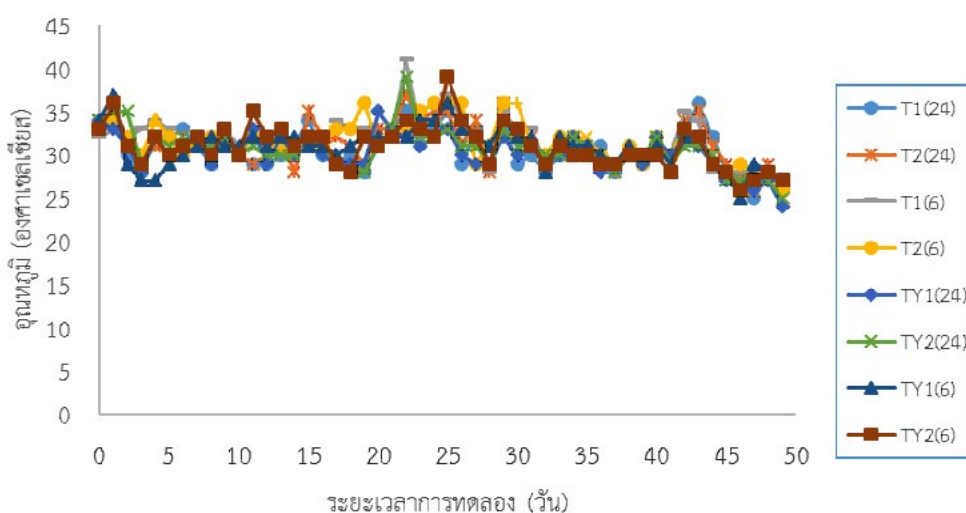
อุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญในการตรวจสอบกระบวนการหมักปุ๋ยและสามารถบอกถึงอัตราการย่อยสลายภายในถัง อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นภายในกองหมักเป็นผลของความร้อนที่เกิดขึ้นจากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์แต่ละประเภท [8] ผลการทดลองระหว่างอุณหภูมิและระยะเวลาในการหมักปุ๋ยพบว่าอุณหภูมิในแต่ละถังหมักมีอุณหภูมิค่อนข้างต่ำ และแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิแต่ละถังนั้นมีความใกล้เคียงกัน โดยอุณหภูมิตลอดระยะเวลาการทดลองของถังที่ 1 ถึง ถังที่ 8 มีค่าอยู่ในช่วง 28-36, 28-37, 28-41, 28-36, 28-33, 27-39, 28-37 และ 28-39 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ดังแสดงอุณหภูมิตลอดระยะเวลาการทดลองในรูปที่ 2 เห็นได้ว่าอุณหภูมิมีการเพิ่มสูงขึ้นในช่วง 2-3 วันแรก อันเนื่องมาจากการเป่าอากาศและการมีท่อเป่าอากาศอยู่ตรงกึ่งกลางของถังทำให้อากาศหมุนเวียนเข้าไปในถังและเร่งกระบวนการหมัก [9] หลังจากนั้นอุณหภูมิมีแนวโน้มคงที่ตลอดช่วงการทดลอง ยกเว้นในช่วงระยะเวลาการหมักผ่านไปประมาณ 22 วัน พบว่าอุณหภูมิมีการสูงขึ้นโดยส่วนใหญ่ อันเนื่องมาจากในช่วงก่อนวันดังกล่าวได้ทำการพลิกกลับกองปุ๋ยทำให้วัสดุหมักเกิดการคลุกผสมในส่วนของวัสดุหมักที่ยัง

ไม่เกิดการย่อยสลาย ทำให้เกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายเกิดขึ้น ซึ่งจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิกับอัตราส่วนการลดลงของ C/N ratio มีความสอดคล้องกัน [7]

3.2 ความชื้น

ความชื้นเป็นปัจจัยที่สำคัญอีกตัวหนึ่งในการหมักปุ๋ยเพื่อใช้ในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ ทั้งนี้เนื่องจากน้ำจะถูกใช้ในกระบวนการดูดซึมสารอาหารและกระบวนการขับถ่ายของเสียของจุลินทรีย์โดยปกติจะควบคุมความชื้นในกองปุ๋ยไว้ในช่วงร้อยละ 40-65 [2] อย่างไรก็ตามการหมักด้วยวัสดุต่างๆ กันก็ควรมีความเหมาะสมในการควบคุมความชื้นที่แตกต่างกัน โดยเฉพาะอาหารควรปรับการ

ควบคุมความชื้นให้ได้ประมาณร้อยละ 60 หรือวัสดุหมักบางประมาณ เช่น เศษผักผลไม้อาจสามารถควบคุมความชื้นได้ถึงร้อยละ 70-80 [10-11] อย่างไรก็ตามไม่ควรมีความชื้นต่ำเกินไปถึงแม้ว่าจุลินทรีย์มีการย่อยสลายได้เมื่อความชื้นเพียงร้อยละ 12-15 แต่การย่อยสลายอินทรีย์สารในสภาพดังกล่าวจะช้ามากใช้เวลานานกว่าปกติ ในทางตรงกันข้ามหากความชื้นสูงเกินร้อยละ 70 ปริมาณความชื้นส่วนเกินจะเป็นตัวขัดขวางการระบายอากาศภายในกองปุ๋ยหมักเกิดสภาพขาดอากาศหรือการหมักแบบไม่ใช้อากาศได้โดยง่าย [2] จากการทดลองความชื้นในการหมักปุ๋ยแต่ละถังสามารถอธิบายได้ดังตารางที่ 3



รูปที่ 2 อุณหภูมิกับระยะเวลาในการทดลอง

ตารางที่ 3 ผลการทดลองค่าช่วงความชื้นตลอดระยะเวลาการทำปุ๋ยหมัก

ระยะเวลาทดลอง (วัน)	ความชื้น (ร้อยละ)							
	ถังที่ 1	ถังที่ 2	ถังที่ 3	ถังที่ 4	ถังที่ 5	ถังที่ 6	ถังที่ 7	ถังที่ 8
เริ่มต้น	81	85	79	73	86	80	82	84
7	82	82	81	80	85	79	78	82
14	78	77	79	77	77	72	73	74
21	79	63	75	74	62	69	64	69
28	75	64	74	73	66	58	68	68
35	69	67	65	59	62	66	63	60
42	54	58	53	56	54	52	50	49
49	45	43	50	48	43	41	42	44

จากตารางที่ 3 พบว่าในวันเริ่มต้นการทดลอง ความชื้นของวัสดุหมักมีค่าสูงอยู่ในช่วงร้อยละ 80-86 เนื่องจากวัสดุหมักที่นำมาทดลองเป็นพวกเศษอาหาร และผักผลไม้ซึ่งเป็นวัสดุอินทรีย์ที่มีความชื้นสูง จะสังเกตได้จากบริเวณด้านล่างของถังจะมีน้ำขัง เมื่อสุ่มตัวอย่างมาตรวจวิเคราะห์ในบริเวณกันดั้มมีลักษณะเป็นโคลน การที่ในถังปุ๋ยหมักมีความชื้นสูงจะส่งผลต่อระยะเวลาการหมักที่นานขึ้น อย่างไรก็ตามจะเห็นว่าหลังจากการทดลองผ่านไป 14 วัน ความชื้นเริ่มน้อยกว่าร้อยละ 80 ในทุกถังและมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ จนกระทั่งอยู่ในช่วงร้อยละ 40-50 ซึ่งเป็นความชื้นที่เหมาะสมของการเกิดปุ๋ยหมักที่สมบูรณ์ [10] โดยการลดความชื้นในถังหมักปุ๋ยสามารถทำได้โดยการพลิกกลับกองปุ๋ยให้เกิดการกระจายความชื้นออกไป ซึ่งเป็นวิธีแก้ไขปัญหาคความชื้นสูงในกองปุ๋ยวิธีหนึ่ง รวมถึงการเติมอากาศให้มีอากาศหมุนเวียนภายในถังหมัก [2]

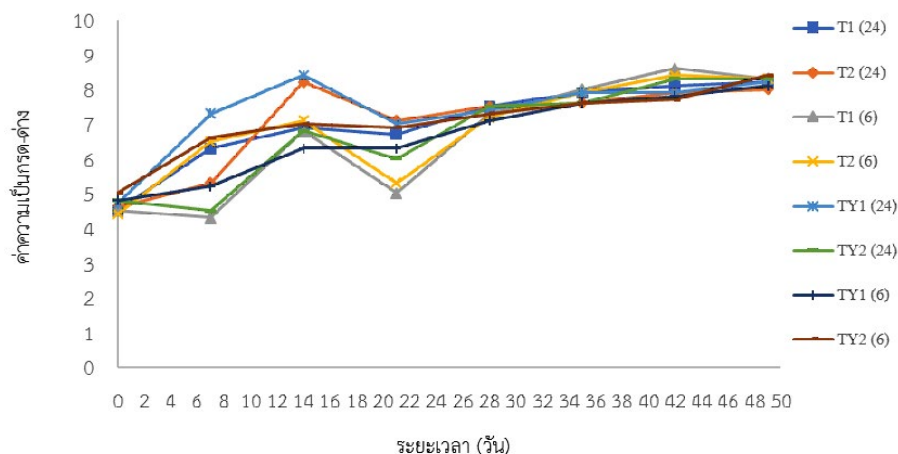
3.3 ค่าความเป็นกรด-ด่าง

ค่าความเป็นกรด-ด่าง คือ ค่าที่บอกถึงความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออน (H^+) ที่มีความสัมพันธ์ต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ โดยเป็นการแสดงถึงสภาพความเป็นกรดหรือเป็นด่างในปุ๋ยหมัก การหมักปุ๋ยไม่ควรต่ำกว่า 5.5 และไม่เกิน 9 อันเป็นช่วงที่จุลินทรีย์และราสามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ดีจากการทดลองซึ่งแสดงในรูปที่ 3 พบว่าในช่วงเริ่มต้นการทดลองถึงที่ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 และ 8 มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เท่ากับ 4.5, 4.6, 4.5, 4.4, 4.7,

4.7, 4.8, และ 5 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าในการเริ่มต้นของการหมักจะมีสภาพเป็นกรดอันเนื่องมาจากวัสดุหมักที่ใช้เป็นจำพวกเศษผักผลไม้ทำให้มีสภาพเป็นกรด ในช่วง 21 วันแรกของการทดลองนั้นค่าความเป็นกรด-ด่างมีแนวโน้มที่สูงขึ้นโดยจะเริ่มสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนในการเริ่มสัปดาห์ที่ 4 (วันที่ 28) โดยถึงที่ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 และ 8 มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เท่ากับ 6.9, 8.2, 6.8, 7.1, 8.4, 6.8, 6.3 และ 7 ตามลำดับ และเริ่มมีค่าคงที่โดยในสัปดาห์สุดท้ายของการทดลองค่าความเป็นกรด-ด่างของถังที่ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 และ 8 มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เฉลี่ยอยู่ที่ 8.1, 7.9, 8.6, 8.4, 7.9, 8.3, 7.8 และ 7.7 ตามลำดับ ซึ่งเริ่มเข้าสู่ช่วงระยะเสถียรของการหมัก จะพบว่าค่า pH ของระบบมีค่าที่ค่อนข้างเป็นกลาง คือ pH มีค่าเท่ากับ 7 – 8 ดังแสดงรูปแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด-ด่างในรูปที่ 2

3.4 ค่าคาร์บอน

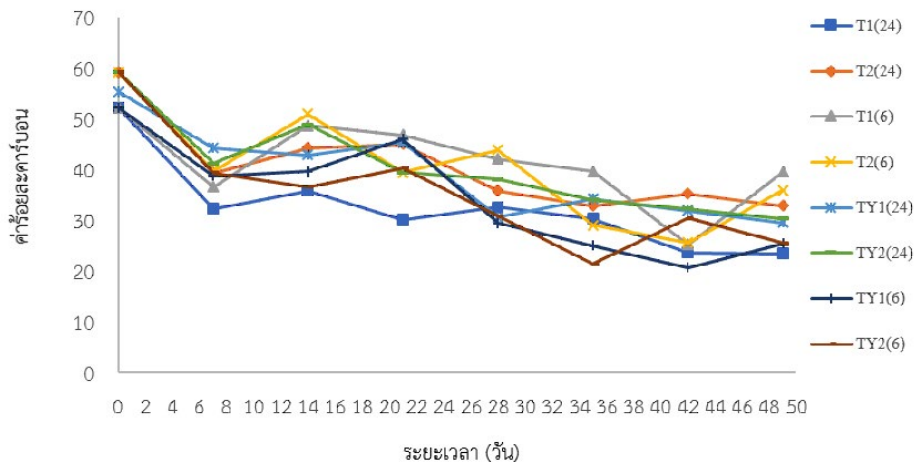
ค่าคาร์บอนที่มีอยู่ในสารอินทรีย์มีความสำคัญต่อกระบวนการทำปุ๋ยหมักเพราะจุลินทรีย์จะย่อยสลายสารอินทรีย์เพื่อนำเอาคาร์บอนไปใช้สร้างองค์ประกอบของเซลล์ในการเจริญเติบโต ซึ่งจะเติบโตช้าหรือเร็วขึ้นอยู่กับปริมาณของธาตุอาหารอื่น ๆ ด้วยว่ามีเพียงพอหรือไม่ จากการทดลองค่าคาร์บอนเริ่มต้นและสิ้นสุดการหมักในแต่ละถัง คาร์บอนเริ่มต้นมีค่าประมาณร้อยละ 52-60 โดยค่าคาร์บอนของทุกถังมีแนวโน้มลดลงดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 3 ค่าความเป็นกรด-ด่างกับระยะเวลาในการทดลอง

จากรูปที่ 4 จะเห็นว่าแนวโน้มค่าคาร์บอน จะเริ่มคงที่หลังจากระยะเวลาการทดลองผ่านไป 28 วัน แสดงให้เห็นถึงอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ลดลง ซึ่งพิจารณาได้ว่าวัสดุหมักเริ่มเกิดการเปลี่ยนแปลง เป็นปุ๋ยแล้ว [7] โดยค่าร้อยละคาร์บอนเริ่มต้นถึงที่ 1-8 เท่ากับ 52.14, 59.23, 52.14, 59.23, 55.32, 59.23, 52.14 และ 59.23 ตามลำดับ และเมื่อสิ้นสุด

การทดลองร้อยละคาร์บอนของถังที่ 1-8 ลดลงเหลือ 23.38, 32.86, 39.48, 35.84, 29.48, 30.26, 25.32 และ 25.45 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาการลดลงของ คาร์บอนในถังหมักที่เติมครูดอเมไรม์เชื้อเดี่ยวมี แนวโน้มการลดลงของคาร์บอนมากกว่าการเติม ครูดอเมไรม์จากเชื้อผสม



รูปที่ 4 ร้อยละคาร์บอนกับระยะเวลาในการทดลอง

3.5 ค่าไนโตรเจน

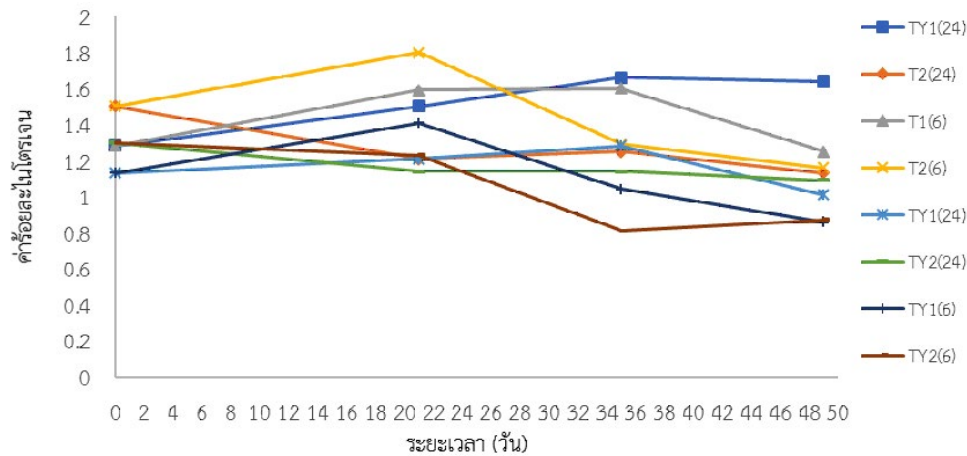
ไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารที่จุลินทรีย์ต้องการ ในปริมาณมากเพื่อใช้ในการเจริญเติบโต เนื่องจาก ส่วนประกอบของเซลล์จุลินทรีย์ส่วนใหญ่เป็นพวก โปรตีนและกรดนิวคลีอิกซึ่งมีไนโตรเจนเป็นองค์ ประกอบที่สำคัญ แต่ในทางกลับกันในการหมักปุ๋ย การมีไนโตรเจนมากเกินไปก็เป็นสิ่งไม่ดี เพราะอาจ จะทำให้เกิดอันตรายต่อจุลินทรีย์ เนื่องจากไนโตรเจน ในรูปแอมโมเนียเป็นพิษต่อจุลินทรีย์อย่างมาก [12] และไนโตรเจนไม่ควรน้อยกว่า ร้อยละ 1.0 โดยน้ำหนัก [8] เนื่องจากในกระบวนการที่จุลินทรีย์ย่อยสลายสาร อินทรีย์ มีความต้องการใช้ปริมาณธาตุไนโตรเจนเป็น องค์ประกอบช่วยในการย่อยสลายด้วย (จุลินทรีย์จะ ย่อยสลายคาร์บอนขึ้นกับตามปริมาณไนโตรเจนที่มี ให้ใช้) [10]

จากการทดลองหาค่าร้อยละไนโตรเจน เริ่มต้นของถังที่ 1-8 มีค่าเท่ากับ 1.28, 1.5, 1.28,

1.5, 1.13, 1.3, 1.13 และ 1.3 ตามลำดับ และร้อยละ ไนโตรเจนเมื่อสิ้นสุดการทดลองของถังที่ 1-8 มีค่า ร้อยละ 1.64, 1.13, 1.25, 1.16, 1.01, 1.09, 0.86 และ 0.87 ตามลำดับ รูปที่ 5 แสดงร้อยละไนโตรเจน ตลอดระยะเวลาการทดลอง ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าปริมาณไนโตรเจนมีแนวโน้มลดลง ซึ่งอ้างอิง จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าสาเหตุที่ไนโตรเจนมีการ สูญเสียในกระบวนการหมักปุ๋ยมาจากการระเหยไป อย่างรวดเร็วของแอมโมเนีย (NH₃-volatilization) ซึ่งเป็นผลมาจากคุณลักษณะของวัสดุหมักเริ่มต้น และ ผลของกระบวนการเติมอากาศ ความชื้น และอุณหภูมิ อันเป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่ออัตราการสูญเสียของ ไนโตรเจน อีกทั้งยังค้นพบว่า pH ที่ค่อนข้างสูง (pH > 8) ยังช่วยกระตุ้นการปล่อยปล่อยของแอมโมเนียด้วย เช่นกัน ในขณะที่การทำให้ pH ต่ำ (ประมาณ 5.8-6.6) ช่วยรักษาระดับปริมาณไนโตรเจนในกองปุ๋ยได้มากขึ้น [12] นอกจากนี้ปริมาณการเติมอากาศจะส่งผลกระทบ

ต่อไนโตรเจนโดยพบว่าถ้ามีการเพิ่มปริมาณอากาศมากขึ้นจะส่งผลให้เกิดการสูญเสียไนโตรเจนเพิ่มขึ้น เนื่องจากการช่วยเร่งให้เกิดปฏิกิริยาทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปแอมโมเนียจากสถานะของเหลวกลายเป็น

ก๊าซแอมโมเนียได้ง่ายขึ้น โดยปัจจัยปริมาณและช่วงระยะเวลาในการเติมอากาศนั้นจะส่งผลต่อเสถียรภาพของการหมักมากที่สุด [13]



รูปที่ 5 ร้อยละไนโตรเจนกับระยะเวลาในการทดลอง

3.6 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน

คาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) เป็นตรรกะที่สำคัญสำหรับการทำปุ๋ยหมัก โดย C/N ratio ในการเริ่มต้นหมักทำปุ๋ยตามทฤษฎีมีค่าอยู่ระหว่าง 25-30 หรือในทางปฏิบัติอาจจะมีค่าได้ถึง 35-45 ซึ่งถ้าค่า C/N ratio สูงขึ้นก็จะทำให้ระยะเวลาในการหมักนานขึ้นด้วย [8, 10] ถ้าการผสมวัสดุหมักที่มีปริมาณไนโตรเจนไม่เพียงพอหรือค่อนข้างต่ำจะทำให้ อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนค่อนข้างสูงอาจส่งผลให้อัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์เป็นไปอย่างช้าๆ และค่อนข้างต่ำ เนื่องจากจุลินทรีย์ขาดแคลนไนโตรเจนสำหรับการเจริญเติบโต ในทางกลับกัน หากวัสดุหมักมีค่า C/N ค่อนข้างต่ำ หมายความว่าระบบการหมัก

มีปริมาณไนโตรเจนที่เกินพอจะส่งผลให้การเจริญเติบโต และการย่อยสลายของจุลินทรีย์เป็นไปอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้การที่มีปริมาณไนโตรเจนมากเกินไป อาจอยู่ในรูปของก๊าซแอมโมเนียที่ระเหย ขณะเดียวกันปริมาณแอมโมเนียที่เข้มข้นอาจมีความเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ได้เช่นกัน [10]

จากการทดลองพบว่าค่าคาร์บอนต่อไนโตรเจนในการหมักเริ่มต้นและสิ้นสุดของกระบวนการหมักของแต่ละถังมีค่าดังตารางที่ 4 ซึ่งจะเห็นว่าค่าคาร์บอนต่อไนโตรเจนอยู่ที่ 1-8 มีค่าลดลง โดยถังที่ 1 มีค่าคาร์บอนต่อไนโตรเจนน้อยที่สุด และถังที่ 2-8 มีค่าประมาณช่วง 28-32 ซึ่งยังคงมากกว่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนตามมาตรฐานปุ๋ยหมัก

ตารางที่ 4 ค่าคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นและสิ้นสุดการหมัก

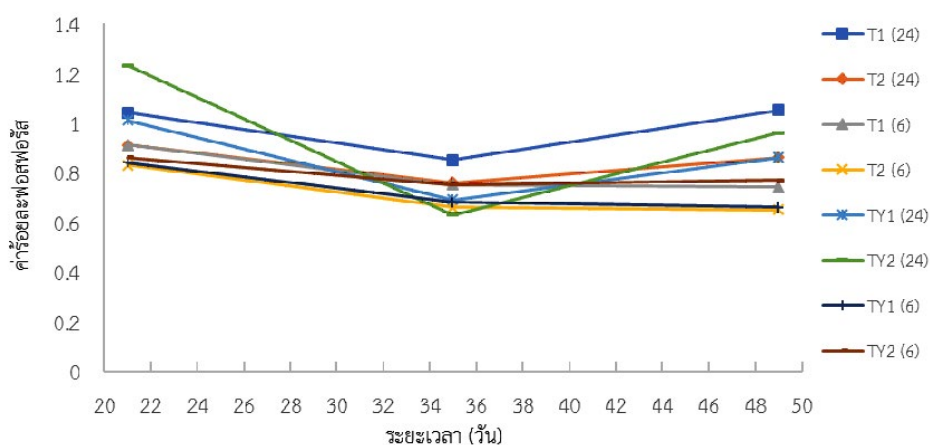
เวลา	ค่าคาร์บอนต่อไนโตรเจน							
	ถังที่ 1	ถังที่ 2	ถังที่ 3	ถังที่ 4	ถังที่ 5	ถังที่ 6	ถังที่ 7	ถังที่ 8
เริ่มต้น	40.73	39.47	35.23	43.55	48.96	45.56	46.14	45.56
สิ้นสุด	14.19	29.08	31.58	30.90	29.14	27.85	29.60	29.36

3.7. ค่าฟอสฟอรัส

ฟอสฟอรัสในสารอินทรีย์มีความสำคัญต่อกระบวนการหมักเช่นเดียวกับไนโตรเจน ฟอสฟอรัสคือปริมาณสารอาหารที่จุลินทรีย์ใช้ในกองปุ๋ยหมัก ซึ่งใช้ในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ปริมาณฟอสฟอรัสของกองปุ๋ยหมักจะอยู่ในรูปของไดฟอสฟอรัสเพนเตออกไซด์ (P_2O_5) ปกติแล้วมาตรฐานคุณภาพปุ๋ยหมักจะมีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (P_2O_5) ไม่น้อยกว่าร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก [2, 14] ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 6 พบว่าในช่วงเริ่มต้นการหมักถึงที่ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 และ 8 มีค่าร้อยละของฟอสฟอรัสเท่ากับ 1.04, 0.91, 0.91, 0.83, 1.01, 1.23, 0.84 และ 0.86 ตามลำดับ และในช่วงสิ้นสุดการหมักถึงที่ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 และ 8 มีค่าร้อยละฟอสฟอรัสเท่ากับ 1.05, 0.86, 0.74, 0.65, 0.86, 0.96, 0.66 และ 0.77 ตามลำดับ ค่าฟอสฟอรัสในทุก ๆ ถังนั้นมีแนวโน้มที่ลดลง เนื่องจากจุลินทรีย์มีการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยใช้ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารเพื่อช่วยในการเจริญเติบโต และในช่วงสิ้นสุดการหมักปริมาณฟอสฟอรัสที่เหลืออยู่ค่อนข้างเป็นไปตามทฤษฎี คือไม่น้อยกว่าร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก

3.8 คุณลักษณะของปุ๋ยหมัก

เมื่อครบระยะเวลาการทดลองทั้งสิ้น 49 วัน ได้นำตัวอย่างปุ๋ยในถังหมักทั้งหมดมาทำการศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพที่สังเกตเห็นคือขนาดของวัสดุหมักถูกย่อยสลายมีขนาดเล็กลง มีสีดำปนน้ำตาล และมีกลิ่นคล้ายกลิ่นดิน ไม่มีส่วนที่มีสภาพเหมือนกับเศษอาหาร ใบไม้ อีกต่อไป ค่าตัวชี้วัดมาตรฐานที่ใช้กำหนดสภาพของปุ๋ยหมัก ว่าแปรสภาพได้ดีแล้วหรือไม่ คือค่า C:N ratio โดยปกติถ้าปุ๋ยหมักมีค่า C/N ratio ประมาณ 26-35 ถือว่าสามารถนำปุ๋ยหมักดังกล่าวไปใช้ได้ แต่ถ้าค่า C:N ratio ต่ำกว่า 20:1 ถือว่าปุ๋ยหมักมีคุณภาพดีตามมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ แต่ในทางปฏิบัติการใช้ปุ๋ยหมักที่มีค่า C:N ratio สูงกว่านี้ไปบ้างเล็กน้อยก็มิได้เกิดผลเสียหายแก่พืชเพียงแต่คุณสมบัติในการเป็นสารปรับปรุงดินอาจด้อยคุณภาพลงไปบ้างเท่านั้น [10, 15] รวมถึงธาตุอาหารหลักอื่นๆ ก็เป็นปัจจัยที่ต้องพิจารณา ซึ่งการพิจารณาคุณลักษณะของปุ๋ยหมักตามเกณฑ์นั้นจะมีหลายพารามิเตอร์ซึ่งอาจเป็นไปได้ยากในการทดลอง ดังนั้นจึงอาจสรุปพารามิเตอร์หลักๆ ของตัวอย่างปุ๋ยทั้ง 8 ถังดังตารางที่ 5



รูปที่ 6 ร้อยละฟอสฟอรัสกับระยะเวลาในการทดลอง

ตารางที่ 5 ค่าพารามิเตอร์ของปุ๋ยหมักเมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของปุ๋ยหมัก

พารามิเตอร์ (ร้อยละ)	ถังที่ 1	ถังที่ 2	ถังที่ 3	ถังที่ 4	ถังที่ 5	ถังที่ 6	ถังที่ 7	ถังที่ 8	ค่ามาตรฐาน [9]
ค่าไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen)	1.64	1.13	1.25	1.16	1.01	1.09	0.86	0.87	ไม่น้อยกว่า ร้อยละ 1.0 โดยน้ำหนัก
ค่าคาร์บอน (Carbon)	23.28	32.86	39.48	35.84	29.48	30.26	25.32	25.45	-
ค่าคาร์บอนต่อ ไนโตรเจน (C/N ratio)	14.19	29.08	31.58	30.90	29.14	27.85	29.60	29.36	ไม่เกิน 20:1
ค่าฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total Phosphorus) (P ₂ O ₅)	1.05	0.86	0.74	0.65	0.47	0.50	0.58	0.42	ไม่น้อยกว่า ร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก
ค่าโพแทสเซียมทั้งหมด (Total Potassium) (K ₂ O)	4.69	3.91	5.32	4.84	3.85	4.79	3.33	3.71	ไม่น้อยกว่า ร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก
ความชื้น (Moisture content)	31	37	26	27	45.39	29.67	25.20	34.45	ไม่เกินร้อยละ 40-70 โดยน้ำหนัก
ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	8.1	7.9	8.6	8.4	7.9	8.3	7.8	7.7	5.5 - 8.5

3.9. รูปแบบการเติมอากาศที่เหมาะสม

เมื่อพิจารณารูปแบบการเติมอากาศจะเห็นได้ว่าทั้งการทดลองที่มีการใช้ครูดเอนไซม์ผงจากเชื้อเดี่ยว *Trichoderma reesei* และการใช้ครูดเอนไซม์ผงจากเชื้อผสมระหว่าง *Trichoderma reesei* และ *Saccharomyces cerevisiae* รูปแบบการเติมอากาศที่ดีที่สุดคือมีการเติมอากาศตลอด 24 ชั่วโมง ส่วนการพิจารณาปริมาณครูดเอนไซม์ที่เหมาะสมนั้นพบว่าสำหรับการใช้ครูดเอนไซม์ผงจากเชื้อเดี่ยว *Trichoderma reesei* ปริมาณครูดเอนไซม์ที่เหมาะสมจะเท่ากับ 180 กรัม ส่วนการใช้ครูดเอนไซม์ผงจากเชื้อผสมระหว่าง *Trichoderma reesei* และ *Saccharo-*

myces cerevisiae ปริมาณครูดเอนไซม์ที่เหมาะสมจะเท่ากับ 360 กรัม ซึ่งแตกต่างกัน โดยจากการศึกษานั้นอาจเกิดจากปริมาณของครูดเอนไซม์ที่น้อยเกินไป จึงทำให้ผลการทดลองที่ออกมานั้นไม่ชัดเจนมากนัก อย่างไรก็ตามถ้าพิจารณาทั้งรูปแบบการเติมอากาศและปริมาณครูดเอนไซม์และชนิดของครูดเอนไซม์ที่มีผลการทดลองดีที่สุด คือ ถังที่ 1 ซึ่งมีวัสดุหมักร่วมกับครูดเอนไซม์ผงจากเชื้อเดี่ยวโดยมีการเติมอากาศ 24 ชั่วโมง เติมครูดเอนไซม์ 180 กรัม เนื่องจากเชื้อเดี่ยวซึ่งอยู่ในตระกูลราและเชื้อผสมซึ่งได้แก่เชื้อราผสมกับยีสต์นั้น มีความสามารถในการย่อยสลายพวกกลีซิน เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส โดยใช้กระบวนการทางเอนไซม์

ทำการย่อยสลายภายนอกเซลล์โดยใช้ระบบระบบไฮโดรไลติกซึ่งผลิตไฮโดรเจนออกมาเป็นกระบวนการในการย่อยสลายโพลีแซคคาไรด์และกระบวนการย่อยสลายของลิกนิน [16] ทำให้สามารถเร่งกระบวนการย่อยสลายและลดระยะเวลาการเป็นปุ๋ยหมักได้ดี โดยเฉพาะวัสดุที่มาจากเศษพืช หย้า ไม้ หรือจำพวกขยะมูลฝอยจากชุมชน [17] เนื่องจากในกระบวนการหมักนั้นจะมีค่าความเป็นกรดต่ำมาก แต่ยีสต์สามารถเจริญเติบโตได้ดีในสภาพที่เป็นกรดสูงระหว่าง 4.0–4.5 ซึ่งยีสต์ส่วนใหญ่จะเติบโตไม่ดีในสภาพที่เป็นด่าง [18]

4. บทสรุปและข้อเสนอแนะ

ข้อสรุปและข้อเสนอแนะเพื่อการประยุกต์ใช้ถังหมักปุ๋ยนี้ในการเป็นต้นแบบในครัวเรือนแสดงดังนี้

1) ในการทดลองนี้มีการควบคุมอุณหภูมิ ความชื้น ความเป็นกรด-ด่าง ซึ่งในทุก ๆ การทดลองมีค่าอยู่ในช่วงควบคุม ยกเว้นอุณหภูมิที่ต่ำเกินไปอยู่ในช่วง Mesophilic เท่านั้น และระหว่างการทดลองได้ทำการตรวจสอบค่า C/N และ ฟอสฟอรัส ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่า C/N มีค่าลดลงแต่ในบางถังอาจจะมีค่าสูงกว่า 20:1 ส่วนฟอสฟอรัสนั้นมีค่ามากกว่าร้อยละ 0.5 รวมถึงปุ๋ยหมักมีลักษณะการหมักที่สมบูรณ์และมีค่าคุณลักษณะที่ดี การหมักที่เติมครูดเอนไซม์แบบเดี่ยวที่การเติมอากาศ 24 ชม. ให้ผลการทดลองที่ดีที่สุด

2) ควรมีการปรับปรุงการระบายน้ำเสียที่ก้นถังหมักปุ๋ยให้ดีขึ้นและเนื่องจากการศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาให้ได้ต้นแบบของถังหมัก ในการทดลองครั้งต่อไปจึงควรจัดหาอุปกรณ์การเติมอากาศที่มีความทนทานและมีกำลังที่มากกว่าเพื่อยืดอายุการใช้งานของอุปกรณ์ รวมถึงปรับปรุงการกระจายอากาศให้ทั่วถึงกันถึง

3) จากการทดลองใช้ถังหมักที่เป็นการเติมอากาศจะเห็นว่าสามารถทำปุ๋ยหมักในระยะเวลาประมาณไม่เกิน 2 เดือนและได้ปุ๋ยซึ่งมีคุณภาพ โดยในการเติมครูดเอนไซม์จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการหมักให้ดียิ่งขึ้น ทั้งนี้อาจควรเพิ่มปริมาณของครูดเอนไซม์ลงไปในส่วนที่มากขึ้น

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีที่ได้ให้โอกาสและให้ทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดินประจำปี 2557 ทำให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Pollution Control Department. Action Plan “Thailand Free of Garbage” according to the “public” guidelines for a year (2016-2017) [Internet]. 2016 [cited 2017 Jan 1]: [about 1 p.]. Available from: <http://infofile.pcd.go.th/waste/ThaiPlans%20without%20Waste.pdf?CFID=2929130&CFTOKEN=49324635> (in Thai)
- [2] Srisatit T. Municipal Solid Waste Management Engineering. 1st ed. Bangkok: The Engineering Institute of Thailand under H.M. The King's Patronage; 2015. (in Thai)
- [3] Siwarasak P, Yaowalak T, Jutarat N, Nirun J, Tom M. Crude Enzyme Powder Utilization for Ethanol Fermentation from Pineapple Skins. 7th Conference On Energy Network of Thailand. 2011 May 3-5:13-8. (in Thai)
- [4] Siwarasak P, Pajantagate P, Prasertlertart K. Use of Trichoderma reesei RT-P1 Crude Enzyme Power for Ethanol Fermentation of Sweet Sorghum Fresh Stalks. Bioresource Technology. 2012; 107:200-4.

- [5] Zhang L, Sun X. Effects of Earthworm Casts and Zeolite on the Two-Stage Composting of Green Waste. *Waste Management*. 2015;39: 119-29.
- [6] Karnchanawang S, Suriyanon N. 2011. Household Organic Waste Composting using Bins with different types of passive aeration. *Resource, Conservation and Recycling*. 2011;55: 548-53.
- [7] Saricheewin K, Rangseesuriyachai T. Composting of Organic Waste Using Aeration Tank. *Journal of Engineering, RMUTT*. 2016;14(1):25-34. (in Thai)
- [8] Department of Agriculture. Manual of Organic Fertilizer Analysis. 1st ed. Bangkok: Department of Agriculture; 2008. (in Thai)
- [9] Manu, M.K., Kumar, R., Garg, A.. 2017. Performance Assessment of Improved Composting System for Food Waste with Varying Aeration and Use of Microbial Inoculum. *Bioresource Technology*. 2017;234: 167-77.
- [10] Osotspa Y, Wongmaneeroj A, Hongprayun C. Fertilizer for Sustainable Agriculture. 2nd ed. Bangkok: Kasetsart University Press; 2011. (in Thai)
- [11] Gaur A.C., Sadasivan K.U., Mathur R.S., Magu S.P. Role of Mesophilic Fungi in Composting. *Agricultural Waste*. 1982; 4:453-60.
- [12] Martins O., Dewes T. Loss of nitrogenous compounds during composting of animal wastes. *Bioresource Technology*. 1992;42: 103-11.
- [13] Land Development Department. Operational Guide: Plant, Fertilizer and Soil Analysis Processes [Internet]. 2010 [cited 2017 Sep 16]: [about 1 p.]. Available from: <http://www.ddd.go.th/PMQA/2553/Manual/OSD-07.pdf> (in Thai)
- [14] Chanchampee P. Thermophilic Composting of Food Waste and Farm Residue by Rotary Drum [dissertation]. Chiangmai: Chiangmai University; 1998. (in Thai)
- [15] Sánchez C. Lignocellulosic Residues: Biodegradation and Bioconversion by Fungi. *Biotechnology Advance*. 2009; 27:185-94.
- [16] Mohammad N., Zahaagir Alam Md., Nassereldeen A.K., Amimul, A. Effective Composting of Oil Palm Industrial Waste by Filamentous: A review. *Resources Conservation and Recycling*. 2012;58:69-78.
- [17] Zhisheng Y, Hongxun, Z. Ethanol Fermentation of Acid-Hydrolyzed Cellulosic Pyrolysate with *Saccharomyces cerevisiae*. *Bioresource Technology*. 2004;93: 199-204.
- [18] Rui G., Guoxue L., Tao J., and et al. Effect of aeration rate, C/N ratio and moisture content on the stability and maturity of compost. *Bioresource Technology*. 2012;112:171-78.