

ประสิทธิภาพและความพึงพอใจต่อถังหมักปุ๋ยครัวเรือนขนาดเล็ก
สำหรับขยะอินทรีย์และเศษอาหาร
Efficiency and Satisfaction of Small Household Compost Bin
for Organic and Food Waste

ฐปน ชื่นบาล และศิริภรณ์ ชื่นบาล*

Tapana Cheunbarn and Siraporn Cheunbarn*

สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

Program in Environmental Technology, Faculty of Science, Maejo University, Chiang Mai, Thailand 50290

*Corresponding author: siraporn@mju.ac.th

Received: April 05, 2023

Revised: October 11, 2023

Accepted: November 10, 2023

Abstract

The objective of this research was to develop a small household compost bin for organic and food waste, to study its efficiency and the satisfaction of compost bin users. The study was divided into three treatments; T1) without core ventilation pipe compost bins, 2) core ventilation pipe compost bins and T3) core ventilation pipe compost bins and 10% immobilized microorganisms. The fermentation materials include vegetable waste, fruit waste, rice, and dried leaves in the ratio of 1:1:1:1 by weight with an initial C/N ratio of 48 were investigated. One kilogram of material was added continuously for a period of 15 days, stopped feeding for 15 days, and then started the process one more. The results showed that temperature in all treatments were not different while the pH and EC were statistically different at the 95% confidence level. After the end of the experiment, the properties of soil amendments of T3 were better than the other treatments with pH, EC and C/N at 7.2, 1.2260 dS/cm, and 18, respectively. In addition, the fermented water showed the highest humic acid content of 1.1%. The T3 condition that consisted of core ventilation pipe bin and 10% immobilized microorganisms were tested back to a sample of 10 households. After 2 months of using, the users assessed their satisfactions through questionnaires. The overall satisfaction of compost bin was 4.5 ± 0.8 .

Keywords: compost bin, organic and food waste, soil amendments

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาถังหมักปุ๋ยคั้วเรือนขนาดเล็กสำหรับขยะอินทรีย์และเศษอาหาร และเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของถังหมักและความพึงพอใจของผู้ใช้งานถังหมัก การศึกษาแบ่งออกเป็น 3 ชุดการทดลอง ได้แก่ T1) ถังหมักแบบไม่มีท่อระบายอากาศเป็นแกนกลาง T2) ถังหมักแบบมีท่อระบายอากาศเป็นแกนกลาง และ T3) ถังหมักแบบมีท่อระบายอากาศเป็นแกนกลางและหัวเชื้อจุลินทรีย์ 10% โดยวัสดุหมัก ได้แก่ เศษผัก เศษผลไม้ ข้าว และใบไม้แห้ง ในอัตราส่วน 1:1:1:1 โดยน้ำหนัก มีค่า C/N เริ่มต้นที่ 48 ใส่วัสดุหมักจำนวน 1 กิโลกรัม อย่างต่อเนื่อง เป็นระยะเวลา 15 วัน ปล่อยหมักทิ้งไว้ 15 วัน และทำซ้ำเช่นเดิมอีกครั้ง ผลการทดลองพบว่าอุณหภูมิในถังหมักทั้ง 3 ชุดการทดลองไม่แตกต่างกัน ในขณะที่ค่า pH และ EC มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% หลังสิ้นสุดการทดลอง พบว่าคุณสมบัติของวัสดุปรับปรุงดินที่ได้ T3 มีคุณสมบัติที่ดีกว่าในชุดการทดลองอื่น ๆ โดยพบว่ามีค่า pH EC และ C/N ที่ 7.2, 1.2260 dS/CM และ 18 ตามลำดับ นอกจากนี้ น้ำหมักมีปริมาณกรดฮิวมิก 1.1% เมื่อนำชุดการทดลอง T3 ซึ่งประกอบด้วยถังหมักแบบมีท่อระบายอากาศเป็นแกนกลางและเชื้อจุลินทรีย์ที่ถูกตรึง 10% ไปทดสอบกับกลุ่มตัวอย่างจำนวน 10 คั้วเรือน หลังจาก 2 เดือนของการใช้ ผู้ใช้งานประเมินความพึงพอใจผ่านแบบสอบถาม พบว่ามีระดับความพึงพอใจของการใช้ถังหมักปุ๋ยโดยรวมอยู่ที่ 4.5 ± 0.8

คำสำคัญ: ถังหมักปุ๋ย ขยะอินทรีย์และเศษอาหาร
วัสดุปรับปรุงดิน

คำนำ

ขยะถือได้ว่าเป็นปัญหาที่สำคัญ โดยเฉพาะขยะชุมชนที่มีเป็นปริมาณมากและมีความเกี่ยวเนื่องกับชีวิตประจำวันของประชาชนส่วนใหญ่ องค์ประกอบของขยะที่พบในชุมชนประกอบด้วย ขยะอินทรีย์ 64% ขยะรีไซเคิล 30% ขยะทั่วไป 3% และขยะอันตราย 3% (PCD, 2020) ขยะจากเศษอาหารนั้นถือว่าเป็นขยะอินทรีย์ที่มีมากที่สุดในการคั้วเรือน จากรายงานดัชนีขยะอาหารปี พ.ศ. 2564 ของโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งองค์การสหประชาชาติ (UNEP, 2021) พบว่าปริมาณขยะอาหารจากคั้วเรือนของประเทศไทย ในปี พ.ศ. 2562 เกิดขึ้นประมาณ 5.47 ล้านตันต่อปี หรือ 79 กิโลกรัมต่อคนต่อปี โดยมีการทิ้งขยะอาหารประเภท ผลไม้ ผัก และอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรต เช่น ข้าวและแป้ง เป็นต้น จะเห็นได้ว่าตัวเลขปริมาณของขยะอาหารเป็นตัวเลขที่สูงมาก การนำกลับไปใช้ประโยชน์อยู่เป็นจำนวนน้อย ส่วนมากไปสิ้นสุดที่การฝังกลบ และหากมีการจัดการที่ไม่ถูกต้อง จะเกิดการย่อยสลายในสภาวะไร้อากาศและก่อให้เกิดก๊าซมีเทนซึ่งเป็นก๊าซเรือนกระจก โดยพบว่ามีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการฝังกลบและการเผาขยะที่รายงานในบัญชีก๊าซเรือนกระจกปี พ.ศ. 2554 เท่ากับ 4.93 และ 0.09 ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า คิดเป็นร้อยละ 43.10 และ 0.83 เมื่อเทียบกับการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดจากภาคของเสีย (Panitpichet, 2017) สำหรับการกำจัดขยะอินทรีย์ ณ แหล่งกำเนิดถือเป็นวิธีที่สามารถลดปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นได้ เช่น ปัญหาในการจัดเก็บ การขนส่ง ปัญหาด้านสุขภาพและอนามัยของประชาชน เป็นต้น

สำหรับถังหมักขยะในระดับครัวเรือนนั้นสามารถนำมาใช้เพื่อตอบโจทย์เหล่านี้ได้ โดยหลักการของการทำปุ๋ยหมักจากขยะอินทรีย์นั้นอาศัยการทำงานของจุลินทรีย์ในสภาวะที่มีออกซิเจนเพื่อช่วยในการย่อยสลาย (Aerobic compost) (Tancho, 2015; Riddech, 2013) ในการให้อากาศหรือออกซิเจนนั้นมี 2 รูปแบบ ได้แก่ แบบแพสซีฟ (Passive) เป็นการให้อากาศไหลเข้าไปสู่ตุ่มหมักแบบธรรมชาติ และแบบแอคทีฟ (Active) เป็นการใช้เครื่องเติมอากาศเข้าไปในวัสดุหมัก สำหรับถังหมักที่เติมอากาศแบบแอคทีฟนั้นจะมีค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นแต่มีระยะเวลาการหมักที่สั้น ในขณะที่ถังหมักแบบแพสซีฟนั้นไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการเติมอากาศ แต่ก็มีระยะเวลานานกว่าแบบแอคทีฟ ทำให้มีปัญหาในเรื่องของกลิ่นได้ง่ายวิธีหนึ่งที่สามารถนำมาใช้เพิ่มประสิทธิภาพของถังหมักปุ๋ยให้มีประสิทธิภาพและมีระยะเวลาการหมักที่สั้นลง คือ การใช้จุลินทรีย์ สำหรับจุลินทรีย์ที่ใช้ในขบวนการหมักสำหรับการย่อยสลายเศษอินทรีย์นั้นมีหลายกลุ่ม ได้แก่ แบคทีเรีย แอคติโนมัยซีต และเชื้อรา (Pan *et al.*, 2012; Pedro *et al.*, 2003) โดยจุลินทรีย์ที่มีบทบาทในการย่อยสลายเศษพืช ได้แก่ *Bacillus* sp., *Cellulomonas* sp., *Aspergillus* sp., *Trichoderma* sp., *Nocardia* sp., และ *Streptomyces* sp. เป็นต้น (Mala, 2003; Tancho, 2015) อย่างไรก็ตามสำหรับการหมักเศษอาหารจากครัวเรือนนั้นจำเป็นที่จะต้องใช้จุลินทรีย์ที่มีคุณสมบัติเหมาะสมเข้าร่วมเนื่องจากการหมักที่อยู่ในครัวเรือน ซึ่งถ้าจุลินทรีย์ที่ไม่มีประสิทธิภาพอาจทำให้เกิดกลิ่นรบกวน และเนื่องจากเศษอาหารอาจมีบางส่วนที่เป็นน้ำมันหรือไขมันปะปนอาจเป็นอุปสรรคต่อขั้นตอนในการหมักได้ สำหรับถังหมัก

ปุ๋ยครัวเรือนขนาดเล็กสำหรับขยะอินทรีย์และเศษอาหารนั้นนิยมใช้และมีจำหน่ายอย่างแพร่หลายในหลาย ๆ ประเทศ แต่มักจะมีราคาแพงและมีการใช้พลังงานที่สิ้นเปลืองทำให้ไม่เหมาะสมกับประเทศไทย จึงถูกนำมาใช้งานค่อนข้างน้อย ส่วนมากพบในงานวิจัยเป็นหลัก (Lankongpoo, 2017; Karnchanawong and Suriyanon, 2011) สำหรับการศึกษาครั้งนี้จะทำการศึกษาการทำงานของถังหมักเศษอาหารสำหรับครัวเรือน โดยเน้นที่ความสะดวกสบายและราคาที่ประหยัดสำหรับผู้ใช้เป็นหลัก โดยใช้ถังหมักแบบแพสซีฟ (Passive) และจุลินทรีย์จำนวน 3 ชนิด ได้แก่ *Bacillus subtilis* B001, *Bacillus thuringiensis* W2A และ *Trichoderma* sp. และนำถังหมักที่ได้ไปทดสอบการใช้กับกลุ่มตัวอย่างจำนวน 10 ครัวเรือน เพื่อหาระดับความพึงพอใจ ซึ่งจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการพัฒนาเพื่อการใช้งานถังหมักปุ๋ยในอนาคต

อุปกรณ์และวิธีการ

1. สร้างถังหมักต้นแบบ: โดยองค์ประกอบและรายละเอียดของถังหมักแสดงใน Table 1 สำหรับถังหมักที่ใช้ในการทดลองแบ่งออกเป็น 2 แบบ ถังหมักแบบที่ 1 แบบไม่มีแกนกลาง และถังหมักแบบที่ 2 แบบมีแกนกลางสำหรับแกนกลางทำจากท่อ PVC ขนาด 2 นิ้ว มีรูระบายอากาศอยู่รอบแกน ด้านบนของแกนมีข้อต่อ PVC ขนาด 1.5-2.0 นิ้ว สำหรับตรึงแครงใส่ Activated carbon ลักษณะของถังหมัก (Figure 1A) และชุดแกนกลาง (Figure 1B)

Table 1 components and details of composted bin

Components	Details	Bin type 1	Bin type 2
Part 1 Set of composted bins (60-liter HDPE tank)	Cover	✓	✓
	Core ventilation pipe set	X	✓
	Door for compost outlet	✓	✓
	Fermented water storage	✓	✓
	Tap for fermented water	✓	✓
Part 2 Set of stands (steel-stand)	Axis	✓	✓
	Base and wheel	✓	✓

**Figure 1** (A) External characteristic of bin and (B) Core ventilation pipe in compost bin

2. การเตรียมเชื้อจุลินทรีย์: นำจุลินทรีย์จำนวน 3 ชนิด *Bacillus subtilis* B001, *Bacillus thuringiensis* W2A (ที่คัดแยกได้จากห้องปฏิบัติการ มีคุณสมบัติในการย่อยน้ำมันและไขมัน มีค่ากิจกรรมเอนไซม์ไลเปส เท่ากับ 140.75 U/ml) และ *Trichoderma* sp. มาเพาะเลี้ยงบนอาหารเหลว Nutrient broth บ่มที่อุณหภูมิ 37°C. เขย่าที่ความเร็วรอบ 120 rpm เป็นเวลา 18-24 ชั่วโมง จนได้เชื้อเริ่มต้นที่มีค่าการดูดกลืนแสง 0.2 ที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร นำมาเพิ่มปริมาณโดยการผสมอัตราส่วน 1:1:1 ในอาหารตามสูตรของ Cheunbam *et al.*, (2020) และนำหัวเชื้อที่ได้มาทำการตรึงลงบน

Activated carbon โดยทำการคลุกเคล้าให้เข้ากันดีพอหมด ๑ (หัวเชื้อน้ำ 0.5 ลิตร:วัสดุ 1 กก.) อบที่อุณหภูมิ 40-45°C. เป็นเวลา 2-3 วัน หรือจนกว่าจะแห้ง โดยต้องมีความเข้มข้นของจุลินทรีย์ $>10^6$ CFU/ml ถ้าไม่ได้ให้ทำการตรึงซ้ำใหม่

3. การทดลองประสิทธิภาพของถังหมัก: แบ่งเป็น 3 ชุดการทดลอง การทดลองละ 3 ซ้ำ ดังนี้
ชุดการทดลองที่ 1 (T1): ถังหมักแบบที่ 1 ไม่มีแกนกลาง (ไม่มีท่อระบายอากาศ) และเศษอาหาร
ชุดการทดลองที่ 2 (T2): ถังหมักแบบที่ 2 มีแกนกลาง (มีท่อระบายอากาศ) และเศษอาหาร

ชุดการทดลองที่ 3 (T3): ถังหมักแบบที่ 2 มีแกนกลาง (มีท่อระบายอากาศ) เศษอาหาร และ เชื้อจุลินทรีย์ 10% โดยน้ำหนัก

นำวัสดุหมัก ได้แก่ เศษผัก เศษผลไม้ ข้าวสุก และใบไม้แห้ง อัตราส่วน 1:1:1:1 ปริมาณวันละ 1 กก. ใส่ลงในถังหมักต่าง ๆ แบบต่อเนื่อง เป็นระยะเวลา 15 วัน หลังจากนั้นปล่อยทิ้งไว้ 15 วัน เริ่มใส่วัสดุหมักต่อเนื่องอีก 15 วัน และปล่อยทิ้งไว้จนจบการทดลอง รวมการศึกษากลับเป็นระยะเวลา 2 เดือน ในทุกวันทำการวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ค่าการนำไฟฟ้า (EC) อุณหภูมิของถังหมัก บริเวณด้านล่างของถัง และอุณหภูมิภายนอกถัง สำหรับทุกเดือนตลอดการหมัก ทำการเก็บตัวอย่างปุ๋ยบริเวณชั้นล่างสุดของถังบริเวณประตูเปิด-ปิด วิเคราะห์อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N) หลังจากสิ้นสุดการทดลอง สุ่มตัวอย่างปุ๋ยหมักที่ได้ในแต่ละถังมาวิเคราะห์เพื่อศึกษาคุณลักษณะโดยทั่วไปของปุ๋ยหมัก ประกอบด้วย C/N ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total N) ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (OM) pH ค่าการนำไฟฟ้า (EC)

4. ทดสอบการใช้งานของถังหมักจากชุดการทดลองที่ให้ประสิทธิภาพมากที่สุดกับกลุ่มตัวอย่างจำนวน 10 ครัวเรือน ในจังหวัดเชียงใหม่ เป็นระยะเวลา 2 เดือน ทดสอบความพึงพอใจของการใช้งานของถังหมักด้วยแบบสอบถาม

5. การวิเคราะห์ข้อมูล 1) เปรียบเทียบความแตกต่างของสถานะในการหมักของแต่ละชุดการทดลองด้วยค่าความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วย LSD ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% 2) การทดสอบการใช้งานถังหมักจากแบบสอบถามวิเคราะห์ระดับความพึงพอใจ ใช้การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)

ผลการวิจัยและวิจารณ์

ผลการทดลองการใช้งานของถังหมักปุ๋ยสำหรับขยะอินทรีย์และเศษอาหาร

หลังจากมีการใส่วัสดุหมัก ได้แก่ ใบไม้แห้ง เศษผลไม้ เศษผัก และข้าว ในอัตราส่วน 1:1:1:1 โดยน้ำหนัก ในถังหมักทั้ง 3 ชุดการทดลอง ทำการหมักเป็นเวลา 2 เดือน ผลการทดลองมีดังต่อไปนี้

สถานะในการหมัก

อุณหภูมิ ผลการทดลองทั้ง 2 ระยะ พบว่ารูปแบบของอุณหภูมิมีรูปแบบที่ใกล้เคียงกัน แต่ในรอบที่ 2 จะมีระยะเวลาพักตัวเริ่มต้นที่ยาวนานกว่าครั้งแรก เนื่องจากอุณหภูมิภายนอกที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าทำให้จุลินทรีย์ต้องการการพักตัวที่ยาวนานกว่า และใช้เวลาที่ยาวนานกว่าในการสิ้นสุดขบวนการหมัก โดยใช้เวลาทั้งสิ้น 18 วัน ในขณะที่รอบที่ 1 ใช้เวลาเพียง 15 วัน (Figure 2) แต่อย่างไรก็ตามอุณหภูมิของถังหมักค่อนข้างต่ำ โดยเฉพาะในระยะคงที่ ซึ่งอุณหภูมิตลอดการทดลองประมาณ 37.7-42.7°ซ. ซึ่งเป็นช่วงระหว่างมีสปีลิด ที่มีอุณหภูมิอยู่ในช่วงระหว่าง 25-40°ซ. และช่วงต้นของเทอร์โมฟิลิก ซึ่งจะมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 40-70°ซ. (Ahmad *et al.*, 2007) ทั้งนี้เนื่องจากถังหมักมีขนาดเล็ก มีการใส่วัสดุหมักทุกวันอย่างต่อเนื่อง ทำให้มีการถ่ายเทความร้อนสู่ภายนอกได้ง่าย อีกทั้งการค่อย ๆ ใส่วัสดุหมักหรือเศษอาหารทุกวันทีละน้อยเป็นอีกส่วนหนึ่งที่ทำให้อุณหภูมิของถังหมักมีค่าไม่สูงมากและอาจทำให้การหมักเป็นไปได้ช้ากว่าการใส่วัสดุเริ่มต้นจำนวนมาก ๆ ภายใต้วงเดียว (McKinley, 2008) สำหรับอุณหภูมิในช่วงนี้ถือเป็นช่วงที่จุลินทรีย์มีความหลากหลายสูง และมีอัตราการย่อยสลายที่ดี แต่ไม่สามารถฆ่าเชื้อโรคหรือ

เมล็ดของพืชที่อาจเป็นเศษเหลือทิ้งจากครัวเรือนในถังหมักได้เนื่องจากมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่า 55°C. (Stentiford, 1996) เมื่อทำการทดสอบทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่าอุณหภูมิของทั้ง 3 ชุดการทดลอง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าเฉลี่ยของการทดลอง ของ T1, T2 และ T3 คือ 34.91 ± 4.03 ,

34.52 ± 4.21 และ 34.61 ± 4.68 °C. ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากปริมาณของถังที่มีขนาดเล็ก และมีการใส่อาหารทุกวัน ทำให้อุณหภูมิภายนอกเข้ามากระทบค่อนข้างมากต่อระบบ ทำให้อุณหภูมิของถังหมักทั้ง 3 ถังไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 2)

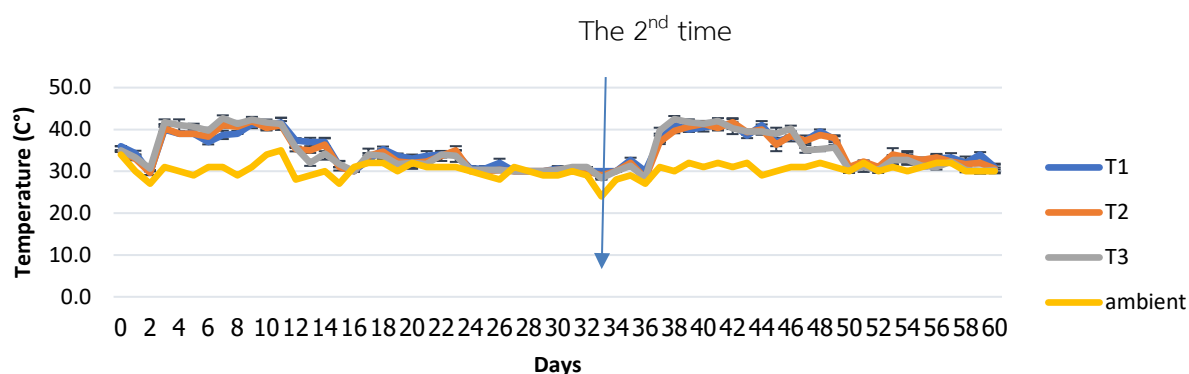


Figure 2 Temperature change during composting

Table 2 Fermentation conditions of the fermentation bins in each treatment

Treatments	Bin detail	Temperature (°C)	pH	EC (μS/cm)
T1	Plastic bin	34.91 ± 4.03	6.61 ± 0.66^a	995.50 ± 249.82^a
T2	Super green bin	34.52 ± 4.21	6.39 ± 0.66^b	961.42 ± 212.53^a
T3	Super green bin and microorganism	34.61 ± 4.68	6.39 ± 0.65^b	1285.60 ± 250.59^b

Values with the same letters within a column were not significantly different (LSD test, $P < 0.05$).

ค่าความเป็นกรดต่าง (pH): ช่วงแรกของการเริ่มระบบ พบว่าค่า pH ลดลง ซึ่งมีความคล้ายกันทั้ง 2 ช่วงของการทดลอง (Figure 3) เนื่องจากการทำงานของจุลินทรีย์ในระบบ ทำให้วัสดุโมเลกุลขนาดใหญ่ถูกย่อยสลายเป็นสารอินทรีย์โมเลกุลขนาดเล็ก ได้แก่ กรดอินทรีย์ชนิดต่าง ๆ (Tchobanglous *et al.*, 1993) และจากวัสดุหมักจำพวกเศษผักและเศษผลไม้ที่มีความเป็นกรด อย่างไรก็ตามหลังจากนั้น pH จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้น

เนื่องจากจุลินทรีย์ย่อยสลายธาตุไนโตรเจน ทำให้เกิดแอมโมเนีย ส่งผลให้ค่า pH ในถังหมักสูงขึ้น อย่างไรก็ตามเมื่อระบบคงที่ ค่า pH จะอยู่ในช่วง 5.5-7.2 ซึ่งจะเป็นกลางที่ค่อนข้างกรดเล็กน้อย แต่พบว่าไม่กระทบต่อการทำงานของจุลินทรีย์ เนื่องจากการปรับตัวของจุลินทรีย์ในช่วงแรกมาแล้ว สำหรับ pH ที่เหมาะสมสำหรับการทำงานของจุลินทรีย์อยู่ในช่วง 6.5-8.0 แต่ระบบสามารถมี pH อยู่ได้ในช่วง 5.0-9.0 ซึ่งในระบบ

พบว่าบางครั้งมี pH 5.5 ซึ่งอาจจะทำให้การย่อยสลายช้าลง แต่เนื่องจากการผสมวัสดุหมักหลายชนิด จึงเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อระบบการหมัก เนื่องจากในระบบหมักมีจุลินทรีย์ที่หลากหลายชนิด ที่สามารถเจริญในระดับ pH ที่แตกต่างกัน ทำให้ระบบของการหมักปุ๋ยสามารถปรับตัวได้ในที่สุด (USDA, 2019) จากผลการทดลองพบว่า ค่า pH ของชุดการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และจากทดสอบ LSD พบว่าการทดลอง T1 เป็นถังหมักที่ไม่มีท่อระบายอากาศนั้น pH มีค่าเฉลี่ย 6.61 ± 0.66

แตกต่างจากชุดการทดลอง T2 ซึ่งเป็นถังหมักที่มีท่อระบายอากาศ และ T3 ซึ่งเป็นถังหมักที่มีท่อระบายอากาศ และเชื้อจุลินทรีย์ ที่มีค่า pH เฉลี่ยใกล้เคียงกัน คือ 6.39 ± 0.66 และ 6.39 ± 0.66 ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากการมีอากาศเข้าไปในถังสามารถทำให้จุลินทรีย์เจริญและทำงานได้ดีกว่าชุดการทดลองที่ไม่มีท่อระบายอากาศ (T1) อากาศที่เข้าไปนั้นสามารถทำให้จุลินทรีย์ที่อยู่ตามธรรมชาติในชุดการทดลอง T2 และจากเชื้อจุลินทรีย์ช่วยย่อยที่ใส่เพิ่มในชุดการทดลอง T3 เจริญได้ดี (Table 2)

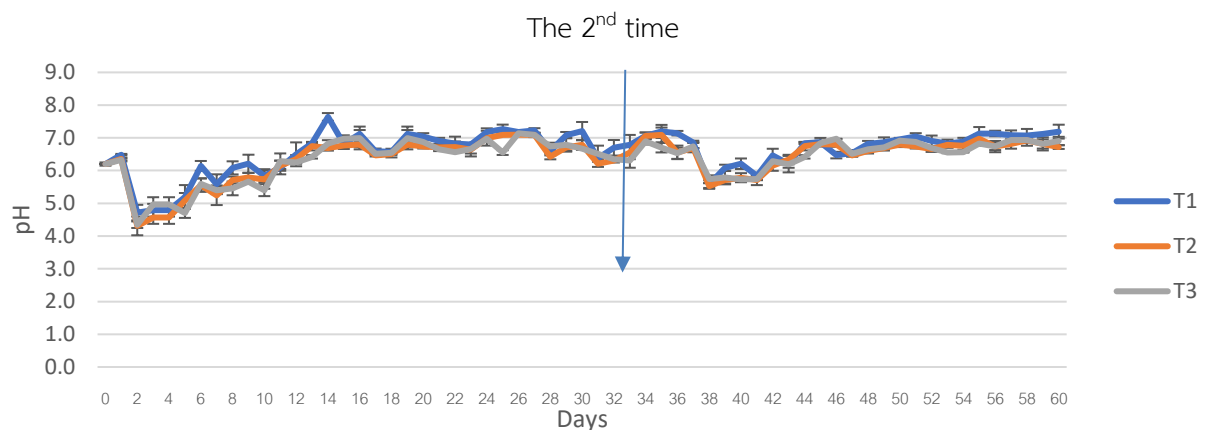


Figure 3 pH change during composting

ค่าการนำไฟฟ้า (EC, $\mu\text{S}/\text{cm}$): ค่าการนำไฟฟ้านั้นแสดงถึงความสามารถในการนำกระแสไฟฟ้า เกลือหรือสารเคมีอื่น ๆ ที่ละลายในน้ำ ช่วยให้การเข้าถึงปริมาณของสารอาหารที่มีอยู่ เมื่อความเข้มข้นของแร่ธาตุในน้ำสูงจะทำให้ EC สูงขึ้น เนื่องจากปริมาณไอออนของสารอนินทรีย์อยู่ในสารละลายที่สูงขึ้น จากผลการทดลองพบว่าค่า EC มีการเปลี่ยนแปลงในรูปแบบเดียวกับอุณหภูมิ โดยเมื่ออุณหภูมิเริ่มสูงขึ้น ค่า EC จะเริ่มสูงขึ้น และเมื่ออุณหภูมิลดลงค่า EC ก็จะลดตามลงไปด้วย โดย T3 มีค่า EC ที่เพิ่มขึ้นชัดเจน ทั้งนี้เกิดการทำงานของจุลินทรีย์ตั้งต้นที่ใส่ลงไปในระบบ โดยมีค่ามากที่สุดเฉลี่ยที่ $1,285.60 \pm 250.59 \mu\text{S}/\text{cm}$ ในขณะที่ T1 และ T2 มีค่า

$995.50 \pm 249.82 \mu\text{S}/\text{cm}$ และ $961.42 \pm 212.53 \mu\text{S}/\text{cm}$ ตามลำดับ (Figure 4) จะเห็นได้ว่าค่า EC ที่ได้จากถังหมักปุ๋ยทั้ง 3 ชุดการทดลองมีค่าต่ำ ซึ่งสามารถนำไปเพาะปลูกพืชสวนครัวบางชนิดที่ต้องการ EC ปริมาณน้อย ๆ ได้ เช่น ผักกาดหอมและสลัดใบอ่อน มีค่า EC อยู่ระหว่าง $1,000-1,500 \mu\text{S}/\text{cm}$ สำหรับใบโหระพา มีค่า EC อยู่ระหว่าง $1,000-1,600 \mu\text{S}/\text{cm}$ เป็นต้น แต่ถ้าจะปลูกพืชชนิดอื่น ๆ ที่ต้องการธาตุอาหารและค่า EC สูง เช่น พริก มีค่า EC อยู่ระหว่าง $1,800-2,000 \mu\text{S}/\text{cm}$ แตงกวา มีค่า EC อยู่ระหว่าง $1,700-2,500 \mu\text{S}/\text{cm}$ นั้น อาจจะต้องมีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์อื่น ๆ เสริมลงไปด้วย โดยค่า EC ของพืชแต่ละชนิดศึกษาได้จาก Ezgarden

(2023) จากการทดลองพบว่าค่า EC ของชุดการทดลอง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และจาก LSD พบว่าชุดการทดลอง T3 มีค่า EC สูงที่สุด และแตกต่างจากชุดการทดลอง T2 และ

T1 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าชุดการทดลอง T3 ที่มีอากาศและหัวเชื้อจุลินทรีย์นั้นสามารถที่จะทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ และเศษอาหารต่าง ๆ ได้ดี ทำให้สารอาหารและแร่ธาตุ มีปริมาณมากกว่าใน T1 และ T2 (Table 2)

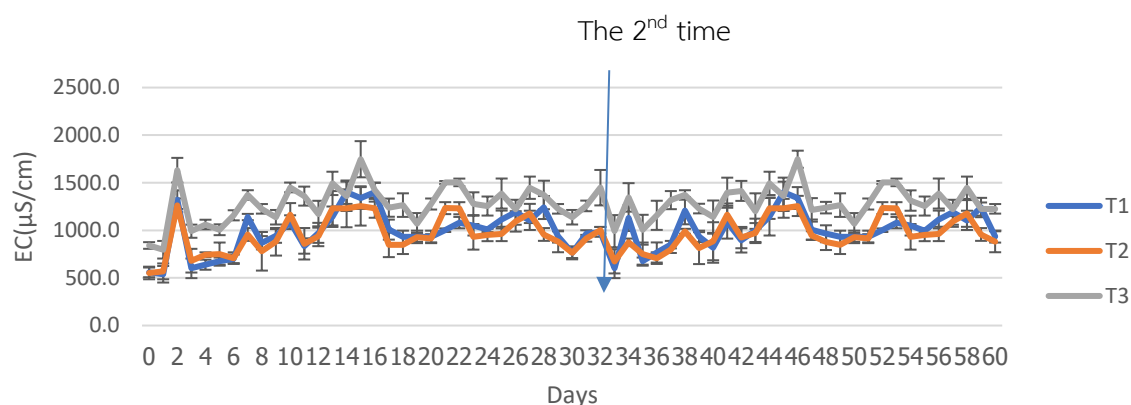


Figure 4 EC change during composting

อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio):
C/N เป็นหนึ่งในปัจจัยหลักที่มีส่วนสำคัญในกระบวนการหมักปุ๋ย โดยค่าที่เหมาะสมในการหมักประมาณ 30 เนื่องจากจุลินทรีย์ต้องการใช้คาร์บอน 30 ส่วนต่อไนโตรเจน 1 ส่วนในการย่อยสลายวัตถุดิบอินทรีย์ สำหรับวัสดุหมักที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ ได้แก่ เศษผัก เศษผลไม้ ข้าว และใบไม้แห้ง โดยมีอัตราส่วน 1:1:1:1 โดยน้ำหนัก ให้เศษผลไม้ เศษผัก และข้าว เป็นตัวแทนของเศษอาหาร ในครัวเรือนที่มีไนโตรเจน ในขณะที่ใบไม้แห้งเป็นส่วนของคาร์บอนในวัสดุหมัก C/N มีค่าเริ่มต้น 48 ซึ่งเป็นค่าเริ่มต้นที่ค่อนข้างสูง ซึ่งนอกจากเพื่อความสมดุลของการหมักแล้ว การใส่เศษอาหารมากเกินไปจะทำให้วัสดุหมักมีส่วนผสมของคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำ จะเกิดการสูญเสีย

ไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียสู่บรรยากาศ และจะเกิดกลิ่นเหม็นได้ (Chandenduang, 2007) ซึ่งจะเป็นปัญหาอย่างมากต่อการใช้งานถึงหมักปุ๋ยในครัวเรือน ดังนั้นในการหมักจึงจำเป็นต้องคำนึงถึงสมดุลของ C/N เป็นสำคัญ สำหรับอุณหภูมิของถังหมักพบว่าอยู่ในระดับปานกลางหรืออยู่ในช่วงเมโซฟิลิก (Mesophilic phase) โดยมีอุณหภูมิอยู่ที่ 25-40°C. และช่วงต้นของเทอร์โมฟิลิก (Thermophilic phase) 40-70°C. เป็นส่วนใหญ่ ทำให้การย่อยสลายเป็นไปได้ค่อนข้างช้า รวมไปถึงปริมาณของใบไม้แห้งค่อนข้างมากเนื่องจากมีน้ำหนักที่เบา ค่า C/N จึงสูง ในขณะที่อาหารสดอื่น ๆ พบว่าจะย่อยสลายไปภายใน 2 สัปดาห์ ผลของ C/N ในถังหมักแสดงใน Figure 5

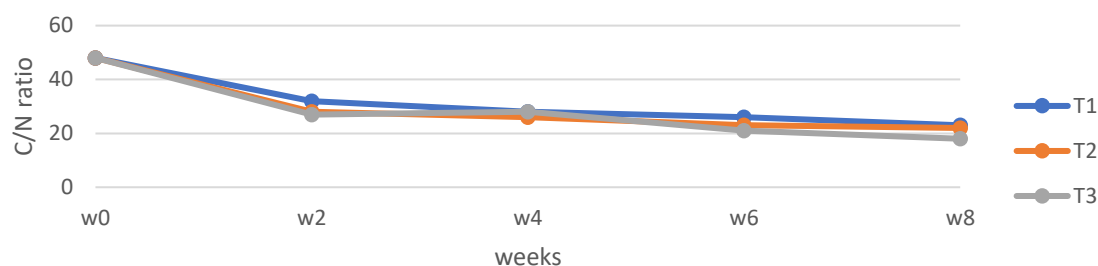


Figure 5 Changes of C/N ratio during the composting process

ถึงหมักปุ๋ยที่ได้พัฒนาขึ้นนี้ใช้กระบวนการหมักแบบใช้อากาศ (Aerobic) โดยให้อากาศแบบพาสซีฟ (Passive) ผ่านเข้าไปทางท่อแกนกลางของถังที่เจาะรูระบายอากาศไว้โดยรอบในชุดการทดลอง T2 และ T3 ทำให้จุลินทรีย์ที่ใช้อากาศเหล่านี้เจริญได้ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลอง T1 ที่ไม่มีท่อระบายอากาศ โดยผลผลิตเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และปุ๋ยหรือวัสดุหมักที่เสถียร แต่ถ้ามีอากาศไม่เพียงพออาจทำให้จุลินทรีย์ทำงานได้ไม่ดีและเกิดเป็นการย่อยแบบไม่ใช้อากาศ (Anaerobic) ขึ้นได้ ทำให้เกิดก๊าซมีเทนและก๊าซไข่เน่า ซึ่งจะทำให้ถังหมักปุ๋ยเกิดปัญหาเรื่องกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ขึ้นได้ (Tchobanoglous *et al.*, 1993) นอกจากนี้ยังพบว่าเชื้อจุลินทรีย์ที่ถูกคัดเลือกทั้ง 3 ชนิดในชุดการทดลอง T3 ได้แก่ *Bacillus subtilis* B001, *Bacillus thuringiensis* W2A และ *Trichoderma* sp. นั้นจากคุณสมบัติในการย่อยสลายเซลลูโลส น้ำมัน และไขมันได้ดี สามารถที่จะทำการย่อยสลายสารอินทรีย์และเศษอาหารต่าง ๆ จากครัวเรือนได้ดีกว่าชุดการทดลองที่ T1 ที่ไม่มีท่อระบายอากาศ หรือ T2 ที่ได้รับเพียงเชื้อจากธรรมชาติเท่านั้น เนื่องจากเชื้อจากธรรมชาติมีความสามารถในการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่าง ๆ ได้ไม่ดีเท่ากับจุลินทรีย์ที่ถูกคัดเลือก โดย Saithep (2009) พบว่าการใส่หัวเชื้อจุลินทรีย์ที่คัดเลือกที่เหมาะสมทำให้อายุระยะเวลาในการหมักปุ๋ยสั้นกว่าการใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์ที่ได้จากท้องตลาดหรือที่ไม่ได้เติมจุลินทรีย์

คุณลักษณะของปุ๋ยหมัก

เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า วัสดุหมักที่ได้จากทุกชุดการทดลองมีคุณสมบัติที่ใกล้เคียงกัน มีค่าค่อนข้างเป็นกลาง โดย pH ของ T1, T2 และ T3 มีค่า 6.9, 6.7 และ 7.2 ตามลำดับ และอยู่ในค่าเกณฑ์มาตรฐานของกรมวิชาการเกษตรที่ pH อยู่ในช่วง 5.5-8.5 เมื่อสิ้นสุดการทดลอง T3 มีปริมาณ C/N 18 ในขณะที่ T1 และ T2 มีค่า 23 และ 22 ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าค่ามาตรฐานของปุ๋ยหมักที่ 20 เล็กน้อย ในทางปฏิบัติแล้วถือว่าปุ๋ยหมักที่มีค่า C/N สูงไปบ้างเล็กน้อยนั้น ไม่ได้ทำให้เกิดผลเสียหลายต่อพืช เพียงแต่คุณสมบัติในการปรับปรุงดินอาจลดน้อยลง (Rangseesuriyachai and Saricheewin, 2017) อย่างไรก็ตามถ้าปุ๋ยหมักที่มีค่า C/N มากกว่า 25 นั้นพบว่าไม่เหมาะสมต่อการนำไปคลุมดิน ทั้งนี้เนื่องจากการย่อยสลายยังไม่สมบูรณ์ แต่สามารถนำไปคลุมดินในแปลงปลูกเพื่อรักษาความชื้น และค่อย ๆ ปลดปล่อยธาตุอาหารให้แก่ดินได้ (Tancha, 2015) จากคุณสมบัติของปุ๋ยที่ได้พบว่ายังมีค่าด้อยอยู่โดยเฉพาะ N และ OM สำหรับ EC มีค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานทุกชุดการทดลอง (Table 3) จากคุณสมบัติเหล่านี้อาจจะไม่สามารถเรียกว่าเป็นปุ๋ยอินทรีย์ เนื่องจากมีคุณสมบัติที่ต่ำกว่าคุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ (LDD, 2013) ทั้งนี้หลังจากการหมักเศษขยะอินทรีย์ในครัวเรือนแม้พบว่ามีธาตุอาหารที่ไม่มากนัก แต่ก็ยังมีธาตุอาหารที่หลงเหลืออยู่ จึงเหมาะสำหรับการใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดิน เพื่อเพิ่มคุณภาพของดินให้ดีขึ้น

ช่วยให้ดินมีความเหมาะสมต่อการเพาะปลูก โดยช่วยให้ดินเก็บกักน้ำได้ดี ระบายอากาศได้ดี ผลพลอยได้อีกชนิดหนึ่งคือ น้ำหมัก โดยน้ำหมักที่ได้มีลักษณะใส มีสีน้ำตาลคล้ำ ไม่มีกลิ่น pH อยู่ในช่วง 6.5 ± 0.5 ซึ่งค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานของปุ๋ยน้ำหมักที่ต้องไม่เกิน 4.0 เนื่องมาจากน้ำหมักที่ได้นั้นไม่ได้มาจากการหมักกากน้ำตาลหรือผักผลไม้ จึงเกิดกรดแลคติกไม่มากนัก โดยสามารถนำไปใช้ได้

ในทันทีโดยไม่ต้องคำนึงถึงการปรับ pH สำหรับกรดฮิวมิกของ T1, T2 และ T3 ได้เป็น 0.7, 1.0 และ 1.1% ตามลำดับ โดยค่ามาตรฐานของปริมาณกรดฮิวมิกของน้ำหมักนั้นต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 1 (LDD, 2013) โดยทั่วไปแล้วน้ำหมักจากพืชผักจะมีกรดฮิวมิกอยู่ระหว่าง 0.48-1.07% (Tancho, 2006)

Table 3 Characteristics of final compost under tree difference types of treatments

Treatments	pH	C/N	N (%)	OM (%)	EC (dS/cm)	The standard of compost under The Fertilizer Act.*
T1	6.9	23	0.5	19.4	0.9343	pH (5.5-8.5)
T2	6.7	22	0.5	19.9	0.9567	C/N (≤ 20), EC (≤ 10 dS/cm)
T3	7.2	18	0.5	15.2	1.2260	OM ($\geq 30\%$), N (1%)

*LDD (2013)

เมื่อพิจารณาถึงคุณสมบัติของวัสดุปรับปรุงดินที่ได้ของ T3 พบว่ามีคุณสมบัติที่ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองอื่น ๆ โดยเฉพาะ ค่าของ C/N ในระยะเวลาการหมัก 2 เดือน มีค่า 18 รวมทั้งน้ำหมักที่ได้มีกรดฮิวมิกมากที่สุดคือ 1.1% ดังนั้นในการทดสอบการใช้งานจึงใช้การหมักในรูปแบบ T3 โดยเป็นถังหมักปุ๋ยแบบมีแกนกลาง (มีท่อระบายอากาศ) และเชื้อจุลินทรีย์ สำหรับการทดสอบความพึงพอใจของผู้ใช้งาน

ทดสอบการใช้งานของถังหมักปุ๋ยและจุลินทรีย์กับตัวอย่างกลุ่มทดลอง จำนวน 10 ครั้วเรือน

จากผลการสำรวจระดับความพึงพอใจต่อการใช้งานถังหมักปุ๋ย พบว่ากลุ่มตัวอย่างมีระดับความพึงพอใจโดยรวมอยู่ที่ 4.5 ± 0.8 โดยหัวข้อลำดับที่ 3 การใช้ประโยชน์ของน้ำหมัก และลำดับที่ 9 รูปลักษณะของถัง (โดยรวม) ได้ระดับความพึงพอใจมากที่สุด โดยมีความพึงพอใจเท่ากันคือ 4.7 ± 0.5 อยู่ในเกณฑ์ดีมาก ในขณะที่หัวข้อลำดับที่ 6 ไม่มีปัญหาเรื่องของแมลง มีระดับ

ความพึงพอใจที่น้อยที่สุดคือ 3.9 ± 1.4 อยู่ในเกณฑ์ดี ผลการสำรวจแสดงใน Table 3 โดยทุกครั้วเรือนมีความพึงพอใจในน้ำหมักค่อนข้างมาก เนื่องจากใช้เวลาน้อย โดยสามารถนำไปใช้เป็นปุ๋ยน้ำหมักสำหรับผลผลิตในครั้วเรือนซึ่งให้ผลผลิตที่ดี สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำหมักที่ได้จากชุดการทดลอง T3 พบว่ามีกรดฮิวมิกอยู่มาก ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้พืชเจริญเติบโตได้ดี อีกทั้งผู้ใช้งานส่วนใหญ่จะได้รับข่าวสารจากสื่อต่าง ๆ เกี่ยวกับคุณสมบัติของปุ๋ยน้ำหมักอยู่แล้ว ทำให้มีความคุ้นชินในการใช้ปุ๋ยน้ำหมัก จึงถือเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้ได้รับความพึงพอใจในระดับสูง และระดับความพึงพอใจต่อรูปลักษณะของถัง (โดยรวม) ในหัวข้อที่ 9 มีระดับความพึงพอใจในระดับสูงเช่นกัน ทั้งนี้เนื่องจากรูปลักษณะที่ดูแปลกใหม่ สำหรับในหัวข้อลำดับที่ 6 ไม่มีปัญหาเรื่องแมลงนั้น ได้คะแนนน้อยที่สุด เนื่องจากในบางครั้วเรือนมีปัญหาเรื่องแมลง ได้แก่ แมลงวันและแมลงหวี่ จึงได้ทำการแก้ปัญหาเป็น 2 หัวข้อที่สำคัญ ได้แก่ การป้องกันไม่ให้แมลงเข้าถัง และการแก้ไขปัญหามี

แมลงจำนวนมาก โดยเน้นการตัดวงจรชีวิตของแมลงเป็นสำคัญ ซึ่งสามารถใช้เป็นแนวทางที่สามารถแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้

จากการสำรวจเหตุผลในการที่จะเลิกใช้งานถังหมักปุ๋ยในการกำจัดขยะเศษอาหารในครัวเรือน พบว่ากลุ่มตัวอย่างส่วนมากเลิกใช้ถังหมักเพื่อตอบโจทยปัญหาเรื่องการกำจัดขยะจากเศษอาหารเป็นอันดับแรก ในขณะที่รูปลักษณะภายนอกเป็นเรื่องรองลงไป และสำหรับช่วยในเรื่องของการรักษาสภาพโลกมาเป็นอันดับสุดท้าย ผลสำรวจยังพบว่า ผู้ใช้งานส่วนมากไม่ต้องการขั้นตอนที่ยุ่งยาก

และไม่ต้องการทำความเข้าใจเกี่ยวกับขั้นตอนการทำงานของถัง ดังนั้นในการปรับปรุงถังหมักเพื่อสามารถตอบโจทยหรือความต้องการของผู้ใช้เหล่านี้ได้ จำเป็นต้องเน้นถังหมักที่มีการทำงานที่ง่าย สะดวกต่อการใช้งาน การดูแลรักษาง่าย โดยที่ผู้ใช้งานไม่จำเป็นต้องมีความรู้หรือเทคนิคทางการหมักก็สามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ การใช้คำโฆษณาหรือแนวคิดรักษาสภาพโลกมีความสำคัญที่น้อยต่อแนวคิดของการตัดสินใจใช้ถังหมักเพื่อกำจัดเศษอาหารในครัวเรือน

Table 3 Satisfaction of 10 families sample group for using compost bins with immobilize microorganism

No.	Issue	$\bar{X}$	S.D.	Meaning
1	Food waste and organic waste disposal	4.5	0.7	Excellent
2	Utilization of the compost	4.4	0.8	Excellent
3	Utilization of the fermented water	4.7	0.5	Excellent
4	Suitable fermentation time	4.5	0.8	Excellent
5	No smell problems	4.3	0.9	Excellent
6	No insect problems	3.9	1.4	Good
7	No disease-carrying animals	4.6	0.7	Excellent
8	Bin style	4.4	0.8	Excellent
9	Bin appearance (overall)	4.7	0.5	Excellent
10	Out come from using bin (overall)	4.6	0.7	Excellent
Total		4.5	0.8	Excellent

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาการพัฒนาถังหมักปุ๋ยครัวเรือนขนาดเล็กสำหรับขยะอินทรีย์และเศษอาหารในครั้งนี้ได้ทำการศึกษากลังหมักปุ๋ยโดยแบ่งเป็น 3 ชุดการทดลอง ได้แก่ T1) ถังหมักแบบไม่มีท่อระบายอากาศเป็นแกนกลาง T2) ถังหมักแบบมีท่อระบายอากาศเป็นแกนกลาง และ T3) ถังหมักแบบมีท่อระบายอากาศเป็นแกนกลางและหัวเชื้อจุลินทรีย์ 10% จากผลการทดลองสภาวะในการหมักนั้นพบว่า อุณหภูมิในถังหมักทั้ง 3 ชุดการทดลองไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

โดยมีอุณหภูมิตลอดการทดลองอยู่ในช่วง 37.7-42.7°C. ในขณะที่ค่า pH และ EC มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่าการทดลอง T1 มี pH เฉลี่ย 6.61 ± 0.66 ซึ่งแตกต่างจากชุดการทดลอง T2 และ T3 ซึ่ง pH เฉลี่ยใกล้เคียงกัน 6.39 ± 0.66 และ 6.39 ± 0.66 ตามลำดับ สำหรับ T3 นั้นพบว่า EC มีค่ามากที่สุดเฉลี่ย $1,285.60 \pm 250.59 \mu\text{S/cm}$ ในขณะที่ T1 และ T2 มีค่าเฉลี่ย $995.50 \pm 249.82 \mu\text{S/cm}$ และ $961.42 \pm 212.53 \mu\text{S/cm}$ ตามลำดับ เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าคุณสมบัติของวัสดุปรับปรุงดินที่ได้ T3 มีคุณสมบัติที่ดีกว่าชุดการทดลองอื่น ๆ โดยพบว่ามี pH, EC และ C/N เท่ากับ

7.2, 1.2260 dS/cm และ 18 ตามลำดับ โดยเฉพาะน้ำหมักที่มีปริมาณกรดฮิวมิก 1.1% ในขณะที่ N เท่ากับ 0.5% และมี OM เท่ากับ 15.2% เมื่อนำชุดการทดลอง T3 ซึ่งประกอบด้วยถังหมักแบบมีท่อระบายอากาศเป็นแกนกลาง และเชื้อจุลินทรีย์ที่ถูกตรึง 10% ไปทดสอบกับกลุ่มตัวอย่างจำนวน 10 ครีวเรือน หลังจาก 2 เดือนของการใช้ ผู้ใช้งานประเมินความพึงพอใจผ่านแบบสอบถามพบว่ามีความพึงพอใจของการใช้ถังหมักปุ๋ย โดยรวมอยู่ที่ 4.5 ± 0.8 โดยหัวข้อการใช้ประโยชน์ของน้ำหมักและหัวข้อรูปลักษณะของถัง (โดยรวม) ได้รับความพึงพอใจมากที่สุด ซึ่งถือได้ว่าเป็นข้อดีของถังหมัก แต่อย่างไรก็ตามข้อด้อยของถังหมักนั้น ได้แก่ วัสดุปรับปรุงดินที่ได้จากถังหมักมีธาตุอาหารไม่มากนัก ทั้งนี้เนื่องจากเป็นเศษอาหารในครัวเรือน ดังนั้นธาตุอาหารจะขึ้นอยู่กับชนิดของเศษอาหารเป็นสำคัญ แต่ก็ถือได้ว่าเป็นกระบวนการที่สามารถกำจัดเศษอาหารในครัวเรือนที่ได้ผลดี และยังได้ผลพลอยได้เป็นวัสดุปรับปรุงดินไว้ใช้ในครัวเรือนอีกด้วย แต่อาจจะต้องมีการใส่ปุ๋ยอื่น ๆ ลงไปด้วยถ้าต้องการให้พืชได้รับสารอาหารมากขึ้น อย่างไรก็ตามอาจจะต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับธาตุอาหารอื่น ๆ เพิ่มเติม รวมไปถึงคุณสมบัติอื่น ๆ ของน้ำหมักอีกด้วย

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ สำหรับทุนอุดหนุนเพื่อการวิจัย ประจำปีงบประมาณ 2565 รหัสโครงการวิจัย มจ.1-65-04365

เอกสารอ้างอิง

- Ahmad, R., G. Jilani, M. Arshad, Z. Zahir and A. Khalid. 2007. Bio-conversion of organic wastes for their recycling in agriculture: an overview of perspectives and prospects. **Annals of Microbiology** 57(4): 471-479.
- Chandenduang, C. 2007. Composting. **Design & Manufacturing** 48: 48-54. [in Thai]
- Cheunbarn, T., S. Cheunbarn and R. Rinaphat. 2020. **Handbook on Technology Transfer for the Utilization of Agricultural Microorganisms**. 14 p. In Research Report. Chiang Mai: Maejo University. [in Thai]
- Ezgarden. 2023. **Article: EC and pH of each plant**. [Online]. Available <http://www.ezgarden.net> (February 10, 2023). [in Thai]
- Karnchanawong, S. and N. Suriyanon. 2011. Household organic waste composting using bins with different types of passive aeration resources. **Conservation and Recycling** 55(5): 548-553.
- Land Development Department (LDD). 2013. **Regulations on the use of agricultural production factors standard certification marks**. [Online]. Available <https://osd101.ddd.go.th/q/manual/A02.pdf> (February 10, 2023). [in Thai]

- Lankongpoon, T. 2017. **Effective Air Inlet and Outlet Pattern for Passive Composting Bin**. Master Thesis. Prince of Songkla University. 106 p.
- Mala, T. 2003. **Organic fertilizers; biofertilizers; production technology and utilization**. [Online]. Available https://kukr.lib.ku.ac.th/kukr_es/index.php?/kukr/search_detail/result/184338 (October 11, 2023). [in Thai]
- McKinley, S.P. 2008. **Physical Chemical Process and Environmental Impacts Associated with Home Composting**. Doctoral Dissertation. University of Southampton. 222 p.
- Pan, L., B. Dam and S.K. Sen. 2012. Composting of common organic wastes using microbial inoculants. **Biotech.** 2: 127-134.
- Panitpichet, P. 2017. **Greenhouse gas reduction from solid waste management**. [Online]. Available http://conference.tgo.or.th/download/tgo_or_th/Article/2017/Waste_GHG.pdf (February 10, 2023). [in Thai]
- Pedro, M.S., S. Haruta, K. Nakamura, M. Hazaka, M. Ishii and Y. Igarashi. 2003. Isolation and characterization of predominant microorganisms during decomposition of waste materials in a field-scale composter. **J. Biosci Bioeng.** 95: 368-373.
- Pollution Control Department (PCD). 2020. Report on the Situation of Municipal Solid Waste in Thailand 2016. [Online]. Available <https://www.pcd.go.th/publication/3811> (February 10, 2023). [in Thai]
- Rangseesuriyachai, T. and K. Saricheewin. 2017. Study of organic waste composting with aeration and use of crude enzyme. **Journal of Engineering, RMUT** 16(2): 1-12. [in Thai]
- Riddech, N. 2013. What should we consider before making compost? **KKU Science Journal** 41(3): 595-606. [in Thai]
- Saithep, N. 2009. **Selection of Bio-degrading Microorganism for Short-term Composting Process**. Doctoral Dissertation. Chiang Mai University. 186 p.
- Stentiford, E.T. 1996. Composting Control: Principle and Practice. pp. 49-59. *In* de Bertoldi, M., P. Sequi, B. Lemmes, T. Papi (eds.). **The Science of Composting: Past I**. London: Chapman & Hall.
- Tancho, A. 2006. **Applied Natural Agriculture: Principles, Concepts, and Practices of Thailand**. Pathum Thani: National Science and Technology Development Agency. 300 p. [in Thai]
- _____. 2015. Principles of high quality industrial organic fertilizer production. **Thai Journal of Soil and Fertilizer** 37(1-4): 30-39. [in Thai]

Tchobanoglous, G., H. Theisen and S. Vigil.
1993. **Integrated Solid Waste
Management: Engineering Principles
and Management Issues**. Singapore:
McGraw-Hill. 978 p.

United Nations Environment Programme (UNEP).
2021. **UNEP Food Waste Index Report
2021**. [Online]. Available [https://wedocs.
unep.org/handle/20.500.11822/35280;
jsessionid=B711DBAF2A01BD795E689595
F65C04CF](https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/35280;jsessionid=B711DBAF2A01BD795E689595F65C04CF) (August 1, 2022).

USDA. 2019. **Principles of Composting**.
Part 637 National Engineering Handbook.
Chapter 2. [Online]. Available
[https://directives.sc.egov.usda.gov/viewer
rFS.aspx?id=3850](https://directives.sc.egov.usda.gov/viewerFS.aspx?id=3850) (February 10, 2023).