

ประสิทธิภาพของรูปแบบการหมักที่ต่างกันต่อคุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์ Efficiency of Different Composting Patterns on Organic Fertilizer Quality

พงศกร นิตยมี^{1,*} เรวัต จินดาเจีย¹ วิเชน ดวงสา¹ จักรกฤษณ์ ศรีแสง¹ พงษ์ศักดิ์ แก้วศรี¹
และ สุรสิทธิ์ วงษ์สัจจนันท์¹

Pongsakorn Nitmee^{1,*}, Rewat Chindachia¹, Wisen Doungsa¹, Jakkrit Sreesaeng¹, Pongsak Kaewsri¹
and Surasit Wongsatchanan¹

¹ สถานีวิจัยลำตะคอง ศูนย์เชี่ยวชาญนวัตกรรมเกษตรสร้างสรรค์ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ปทุมธานี 12120

¹ Lamtakong Research Station, Expert Centre of Innovative Agriculture, Thailand Institute of Scientific and Technological Research, Pathum Thani 12120

รับเรื่อง: 21 มกราคม 2565 Received: 21 January 2022

ปรับแก้ไข: 15 มีนาคม 2565 Revised: 15 March 2022

รับตีพิมพ์: 31 มีนาคม 2565 Accepted: 31 March 2022

* Corresponding author: pongsakorn@tistr.or.th

ABSTRACT: The production of compost with aeration by turning piles is a method that is preferred by most farmers, but it requires a lot of labor and time for turning piles. The objectives of this experiment were to test the composting pattern and to study the quality of the organic fertilizer that was undergone the fermentation process at Organic Fertilizer Production Learning Center, Lamtakong Research Station, Nakhon Ratchasima province. The experimental design was 3 x 2 factorial in completely randomized design with a total of 4 replications. Factor 1 was composting patterns which consisted of static piles, turning pile every 7 days and active aeration using mechanical roof's ventilation fan. Factor 2 was composting pile patterns which included circular and rectangular. The results found that the composting by active aeration using mechanical roof's ventilation fan resulted in a significant difference in the quality of composting ($P < 0.01$), namely potential of hydrogen (pH) and germination index (GI). The composting pile patterns did not result in the statistically different quality of composting ($P > 0.05$). And when considering the interaction between different composting patterns and composting pile patterns, the germination index was significantly different ($P < 0.01$). The composting by active aeration using mechanical roof's ventilation fan with circular type had the highest germination index ($86.53 \pm 2.31\%$), not different from the rectangular type ($83.37 \pm 1.87\%$). As a result, composting decompose completely faster than other patterns of composting. In addition, resulting in the quality of composting in accordance with the standards of organic fertilizers. The farmers can adopt an active aeration composting pattern using mechanical roof's ventilation fan in combination with circular or rectangular types to reduce the amount of labor and time for composting.

Keywords: Compost, composting pattern, germination index

บทคัดย่อ

การผลิตปุ๋ยหมักด้วยระบบเติมอากาศโดยการกลับกองเป็นวิธีการที่เกษตรกรส่วนใหญ่นิยมใช้ แต่เนื่องจากต้องใช้แรงงานและเวลาค่อนข้างสูงสำหรับการกลับกอง การทดลองนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบวิธีการหมักปุ๋ย และศึกษาคุณภาพของปุ๋ยหมักที่ผ่านกระบวนการหมัก ณ ฐานการเรียนรู้การผลิตปุ๋ยอินทรีย์ สถานีวิจัยลำตะคอง จังหวัดนครราชสีมา วางแผนการทดลองแบบ 3×2 factorial in completely randomized design โดยทดลองทั้งหมดจำนวน 4 ซ้ำ ปัจจัยที่ 1 คือ รูปแบบการหมัก ประกอบด้วย การหมักแบบกองสเถียร การหมักโดยพลิกกลับกองทุก 7 วัน และการหมักโดยการเติมอากาศแบบใช้ลูกหมุน ปัจจัยที่ 2 คือ รูปแบบของหมัก ประกอบด้วย ซองหมักแบบวงกลม และแบบสี่เหลี่ยม ผลการศึกษพบว่า รูปแบบการหมักโดยการเติมอากาศแบบใช้ลูกหมุนส่งผลให้คุณภาพของปุ๋ยหมักมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) ในส่วนของค่าความเป็นกรด-ด่าง และการย่อยสลายสมบูรณ์ ส่วนรูปแบบของหมักไม่ส่งผลให้คุณภาพของปุ๋ยหมักแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) และเมื่อพิจารณาปฏิสัมพันธ์ระหว่างรูปแบบการหมักที่แตกต่างกับรูปแบบของหมักมีผลทำให้ค่าการย่อยสลายสมบูรณ์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) โดยการหมักโดยการเติมอากาศร่วมกับซองหมักในรูปแบบวงกลมมีค่าการย่อยสลายสมบูรณ์สูงที่สุด (ร้อยละ 86.53 ± 2.31) ไม่แตกต่างกับแบบสี่เหลี่ยม (ร้อยละ 83.37 ± 1.87) ส่งผลทำให้ปุ๋ยหมักมีการย่อยสลายที่สมบูรณ์รวดเร็วกว่าการหมักในรูปแบบอื่น ๆ นอกจากนี้ ยังส่งผลทำให้คุณภาพของปุ๋ยหมักเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ เกษตรกรสามารถนำรูปแบบการหมักโดยการเติมอากาศแบบใช้ลูกหมุนร่วมกับซองปุ๋ยหมักแบบวงกลมหรือแบบสี่เหลี่ยมนี้ไปปรับใช้เพื่อลดการใช้แรงงานและระยะเวลาในการหมักปุ๋ย

คำสำคัญ: ปุ๋ยหมัก, รูปแบบการหมัก, การย่อยสลายสมบูรณ์

บทนำ

ปุ๋ยหมัก (Compost) เป็นปุ๋ยอินทรีย์ชนิดหนึ่งที่ได้จากการนำวัสดุอินทรีย์จากพืช สัตว์ทางการเกษตร และจากชุมชนมาผลิตด้วยกรรมวิธีทำให้ขึ้น สับ บด ร่อน และผ่านกรรมวิธีการหมักอย่างสมบูรณ์ จนแปรสภาพจากเดิม ซึ่งกระบวนการหมักเป็นการย่อยสลายทางชีววิทยา โดยอาศัยกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์บางชนิดภายใต้สภาวะที่เหมาะสม ซึ่งจะย่อยสลายสารอินทรีย์จนกลายเป็นปุ๋ยที่มีลักษณะนุ่มยุ่ยขาดจากกันได้ง่าย มีอุณหภูมิไม่สูงกว่าอุณหภูมิอากาศ ซึ่งเหมาะที่จะใส่บำรุงดินเพื่อช่วยปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพของดิน ช่วยให้ดินร่วนซุยและอุ้มน้ำได้มากขึ้น (Department of Agriculture, 2005a) ซึ่งเป็นแหล่งอินทรีย์วัตถุที่มีความสำคัญต่อการปรับปรุงบำรุงดิน และแหล่งธาตุอาหาร ได้แก่ ธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง และจุลธาตุ ค่อนข้างครบถ้วนที่พืชใช้ในการเจริญเติบโต แม้แต่ละธาตุจะมีปริมาณที่น้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับปุ๋ยเคมี แต่ธาตุอาหารส่วนมากปลดปล่อยออกมาอย่างช้า ๆ เพราะธาตุอาหารบางส่วนเป็นองค์ประกอบของสารอินทรีย์และบางส่วนอยู่ในรูปคีเลต จึงมีการสูญเสียเนื่องจากการชะละลายน้อย (Mala, 2003)

กระบวนการหมักของปุ๋ยสามารถแบ่งตามกระบวนการย่อยของจุลินทรีย์ได้ 2 แบบ คือ การหมักแบบไม่เติมอากาศ โดยใช้จุลินทรีย์ชนิดที่ไม่ใช้อากาศ (Anaerobic) และการหมักแบบเติมอากาศ โดยอาศัยจุลินทรีย์ชนิดที่ใช้อากาศ (Aerobic) การหมักแบบเติมอากาศ เช่น การหมักโดยการกลับกอง การเติมอากาศภายในกองปุ๋ยหมักด้วยวิธีต่าง ๆ Saricheewin and Rangseesuriyachai (2016) ศึกษาการทำปุ๋ยหมักจากของเสียอินทรีย์โดยใช้ถังเติมอากาศ เพื่อศึกษาคูณลักษณะสุดท้ายของปุ๋ยหมักที่ผลิตจากเศษอาหาร

ใบไม้แห้ง และมูลโค โดยใช้ถังเติมอากาศ และความเหมาะสมของระยะเวลาการเติมอากาศที่จะให้ปุ๋ยหมักที่ดี พบว่า ถังที่มีการเติมอากาศ 24 ชั่วโมง ให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 1.08 ปริมาณฟอสเฟตทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 20.0 และค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 21.09 ซึ่งผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าระยะเวลาการเติมอากาศมีผลต่อการย่อยสลายของปุ๋ยหมัก โดยในถังหมักที่มีการเติมอากาศจะเป็นปุ๋ยหมักได้เร็วกว่าถังหมักที่ไม่มีการเติมอากาศ Jaroenkul and Sakulrat (2016) ศึกษาประสิทธิภาพการย่อยสลายมูลฝอยอินทรีย์ในถังหมักขนาดเล็กแบบเติมอากาศ พบว่า คุณภาพของวัสดุหมักที่ได้หลังสิ้นสุดการหมักจากถังหมักขนาดเล็กแบบเติมอากาศ (Active system) และแบบให้อากาศเข้าโดยธรรมชาติ (Passive system) ไม่แตกต่างกันมากนัก แต่ถังหมักขนาดเล็กแบบเติมอากาศทำให้องค์หมักมีอุณหภูมิภายในสูงกว่า ซึ่งมีความสำคัญต่อการทำลายเชื้อโรค โดยอุณหภูมิที่สูงกว่า 55 องศาเซลเซียส และการเติมอากาศที่ 0.7 L/min-kg เป็นอัตราที่เหมาะสมต่อกิจกรรมการย่อยสลายของจุลินทรีย์มากที่สุด และสารอินทรีย์ถูกย่อยสลายสูงสุดร้อยละ 70 โดยการหมักเสร็จสิ้นใน 21 วัน และวัสดุหมักที่ได้มีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ที่ 8.24 ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 9.92 โพลีแซคคาไรด์ทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 3.20 และค่าการนำไฟฟ้า 1.48 เดซิซีเมนต่อเมตร ซึ่งตรงตามมาตรฐานของการหมักปุ๋ยที่กำหนดไว้ (Department of Agriculture, 2005b)

การเติมอากาศในกองปุ๋ยหมักมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มออกซิเจนในกองวัสดุให้เพียงพอ สำหรับกระบวนการชีวเคมีที่ใช้ออกซิเจน การเติมอากาศแบบธรรมชาติ (Passive aeration) อาศัยกลไกที่ทำให้อากาศเคลื่อนไหว 3 แบบ (Osotsapha *et al.*, 2008) คือ 1) การแพร่โมเลกุล เกิดเนื่องจากการใช้ออกซิเจนในการหมัก ดังนั้น ความเข้มข้นของออกซิเจนภายนอกกองย่อมสูงกว่าภายในกองเสมอ จึงเกิดการแพร่ของออกซิเจนเข้าปอดอย่างต่อเนื่อง เพื่อทำให้เกิดสมดุล แต่กระบวนการนี้เกิดขึ้นค่อนข้างช้า จึงไม่ถือเป็นกลไก

สำคัญของการเติมอากาศให้กองปุ๋ย 2) การเคลื่อนที่ของอากาศ สามารถเติมออกซิเจนสำหรับกองวัสดุในทึ่โล่งและมีลมโกรก อาจเห็นไอน้ำไยออกมากจากกองวัสดุ และ 3) การพาความร้อน เป็นกลไกที่สำคัญของการเติมอากาศแบบธรรมชาติ เพราะความร้อนที่เกิดจากการหมัก ทำให้อุณหภูมิของอากาศและวัสดุในกองสูงขึ้นและอากาศลอยออกจากกอง เป็นสาเหตุทำให้อากาศใหม่ภายนอกกองที่เย็นกว่าเข้าไปแทนที่ ดังนั้น อัตราการถ่ายเทอากาศจึงขึ้นอยู่กับความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายในและภายนอกกองปุ๋ย และความต้านทานการไหลของอากาศผ่านวัสดุในกองปุ๋ยนั้น จึงทำให้องค์หมักมีอุณหภูมิสูงขึ้นเพื่อขับเคลื่อนการพาความร้อนและสภาพของกองปุ๋ยมีความพรุนมากพอและมีช่องต่อเนื่อง จะทำให้การเติมอากาศแบบธรรมชาติเกิดขึ้นได้ดี

การผลิตปุ๋ยอินทรีย์แบบไม่มีการพลิกกลับกองมักจะมีการให้อากาศโดยการเป่าหรือฉีดเข้าไป ซึ่งเป็นวิธีที่ประหยัดพลังงานและช่วยเก็บความชื้นและอุณหภูมิในกองปุ๋ยอินทรีย์ (Chanathaworn, 2017) แต่ต้องรักษาความชื้นภายในกองปุ๋ยให้มีความเหมาะสมอยู่เสมอ บริเวณใดที่แห้งเกินไปหรือแฉะเกินไป จุลินทรีย์จะไม่สามารถย่อยสลายได้ ทำให้วัสดุไม่ย่อยสลาย กระบวนการอาจใช้เวลานานถึง 6 เดือน ถึง 1 ปี (Sawangpanyangkura, 2015) และสำหรับการผลิตปุ๋ยด้วยระบบเติมอากาศโดยการกลับกอง นับว่าเป็นวิธีการที่เกษตรกรส่วนใหญ่นิยมใช้ แต่เนื่องจากมีข้อจำกัดในการปฏิบัติค่อนข้างมาก เช่น ต้องใช้แรงงานและเวลา ค่อนข้างสูงสำหรับการกลับกอง และต้องใช้พื้นที่ค่อนข้างกว้าง เป็นต้น เกษตรกรจึงมักไม่ให้ความสนใจที่จะผลิตปุ๋ยหมักขึ้นใช้เอง และจากปัญหาดังกล่าวจึงมีวัตถุประสงค์ในการศึกษาวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ในรูปแบบต่าง ๆ เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของรูปแบบการหมักและรูปแบบของกองหมักปุ๋ยหมัก ตลอดจนศึกษาคุณภาพของปุ๋ยที่ผ่านกระบวนการหมัก ซึ่งสามารถทำให้เกษตรกรลดขั้นตอนและระยะเวลาในการผลิตปุ๋ยหมัก

อุปกรณ์และวิธีการ

การเตรียมของหมักปุ๋ยอินทรีย์

การทำของหมักปุ๋ยอินทรีย์ ประกอบด้วย 2 แบบ ได้แก่ แบบวงกลม และแบบสี่เหลี่ยม โดยแบบวงกลม เริ่มจากการก่อบล็อกประสาน ให้มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เมตร สูง 1.2 เมตร โดยมีปริมาตร 3.77 ลูกบาศก์เมตร (Figure 1A) และแบบสี่เหลี่ยม เริ่มต้นด้วยการก่อบล็อกประสานเป็นรูปสี่เหลี่ยมกว้าง 1.5 เมตร ยาว 2.5 เมตร และสูง 1.2 เมตร ปริมาตร 4.50 ลูกบาศก์เมตร (Figure 1B) จากนั้น นำลูกหมุนที่

ดัดแปลงให้ฐานสามารถสวมกับท่อพีวีซีหรือพีวีซีแบบเจาะร่อง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 13 เซนติเมตร ยาว 2 เมตร ซึ่งปลายข้างหนึ่งสวมลูกหมุนที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 35 เซนติเมตร ไปปักลงตรงกึ่งกลางของของหมักปุ๋ยทั้งแบบวงกลม (Figure 1C) และแบบสี่เหลี่ยม (Figure 1D) จนถึงพื้น จากนั้น นำฟางข้าวและมูลโคที่ปรับความชื้นประมาณร้อยละ 60 วางสลับกันในอัตราส่วนฟางข้าวต่อมูลโค (1:1) จนเต็มของหมัก คลุมด้านบนของของปุ๋ยหมักด้วยฟางที่พรมน้ำจนมีความชื้นประมาณร้อยละ 60 ให้หนาประมาณ 10–15 เซนติเมตร ซึ่งฟางและมูลโคมีคุณสมบัติดังแสดง Table 1

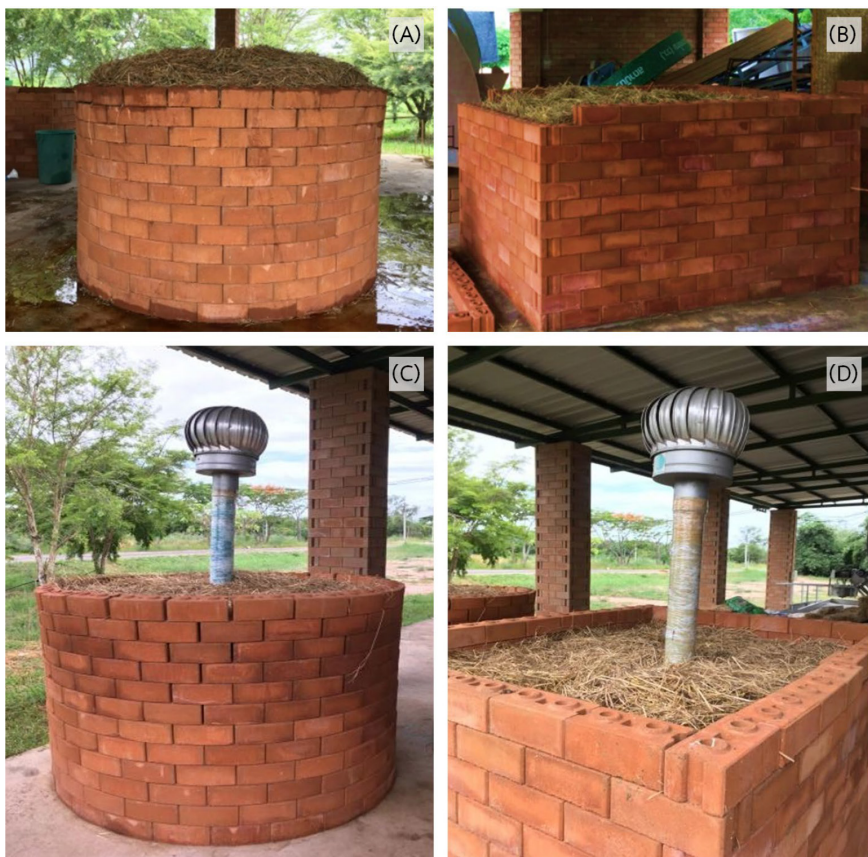


Figure 1 Model of compost bin with different placement: (A) static pile: circular type, (B) static pile: rectangular type, (C) active aeration by using mechanical roof's ventilation fan: circular type, (D) active aeration by using mechanical roof's ventilation fan: rectangular type

การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ 3 x 2 Factorial in completely randomized design ปัจจัยที่ 1 คือ รูปแบบการหมัก ประกอบด้วย การหมักแบบกองสเถิด การหมักโดยพลิกกลับกองทุก 7 วัน และการหมักโดยการเติมอากาศแบบใช้ลูกหมุน ปัจจัยที่ 2 คือ รูปแบบ

ของหมัก ประกอบด้วย แบบวงกลม และแบบสี่เหลี่ยม โดยทดลองทั้งหมดจำนวน 4 ซ้ำ ซึ่งงานวิจัยนี้เป็นงานทดลองที่ศึกษาต่อเนื่องจาก Tanpanich *et al.* (2009) โดยนำรูปแบบการหมักทั้ง 3 รูปแบบ ร่วมกับของหมักแบบสี่เหลี่ยมเพื่อศึกษาเพิ่มเติมในของหมักแบบวงกลม และสมบัติเคมีบางประการของปุ๋ยหมัก

Table 1 Physical and chemical properties of cow manure and rice straw used for the experiments

Chemical properties ¹	Cow manure	Rice straw
Fertilizer size (mm ²)	≤ 12.5 × 12.5	≤ 12.5 × 12.5
Moisture content and volatile matter (%)	43.03	0.78
Number of stones, gravel and sand	Undetectable	Undetectable
Plastic, glass, sharp materials and other metals	Undetectable	Undetectable
pH	8.81	7.69
Electrical conductivity (dS/m)	5.78	2.05
Organic matter (%)	57.91	68.09
Total N (%)	2.01	0.77
Total P ₂ O ₅ (%)	2.13	0.18
Total K ₂ O (%)	1.89	1.39
C/N ratio	17:1	51:1
Germination index (%)	58.65	33.27
As (mg/kg)	< 5.00	< 5.00
Cd (mg/kg)	< 1.00	< 1.00
Pb (mg/kg)	55.19	65.07
Cr (mg/kg)	< 2.00	< 2.00
Cu (mg/kg)	24.20	< 1.00

¹ Department of Agriculture (2008)

การเก็บข้อมูลและการวิเคราะห์ตัวอย่าง

เก็บบันทึกข้อมูลอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) ภายในกองปุ๋ยอินทรีย์กองละ 4 จุด ลึกลงไป 10 เซนติเมตรจากผิวกองปุ๋ย ซึ่งจะเก็บในช่วงเวลา 09.00–09.30 น. ทุก 2 สัปดาห์ จนครบ 8 สัปดาห์ ด้วย

เครื่องวัดอุณหภูมิ หรือ Thermometer (Leitenberger รุ่น K3) จากนั้น นำปุ๋ยอินทรีย์ที่ผ่านกระบวนการหมักจนครบ 8 สัปดาห์ มาวิเคราะห์หาค่าการย่อยสลายที่สมบูรณ์หรือดัชนีการงอก (Germination index; GI) โดยคำนวณจากสมการ (3)

$$\text{RSG (\%)} = \frac{\text{Number of seeds germinated in compost extract}}{\text{Number of seeds germinated in control}} \times 100 \quad \text{----- (1)}$$

$$\text{RRG (\%)} = \frac{\text{Mean root length in compost extract}}{\text{Mean root length in control}} \times 100 \quad \text{----- (2)}$$

$$\text{Germination index (GI)} = \text{RSG} \times \text{RRG} \times 100\% \quad \text{----- (3)}$$

วิเคราะห์หาค่าความเป็นกรด-ด่าง (Potential of hydrogen; pH) อัตราส่วนปุ๋ยต่อน้ำ 1 : 2 ด้วย pH meter ส่วนค่าการนำไฟฟ้า (Electrical conductivity; EC) อัตราส่วนปุ๋ยต่อน้ำ 1 : 10 ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (Organic carbon; OC) ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (Organic matter; OM) วิเคราะห์ด้วย Walkley & Black method อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ได้จากค่าอินทรีย์-คาร์บอนหารด้วยค่าไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total N) วิเคราะห์ด้วย Kjeldahl method ใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้นและกรดซาลิไซลิกในการย่อยปุ๋ย และปริมาณฟอสเฟตทั้งหมด (Total P_2O_5) วิเคราะห์ด้วย Spectrophotometric molybdovanadophosphate method ใช้กรดผสม (กรดเปอร์คลอริก : กรดไนตริก = 1 : 1) ในการย่อยปุ๋ย (Department of Agriculture, 2008)

การวิเคราะห์ทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (Analysis of variance) เพื่อหาค่า F-test พร้อมทั้งเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 ด้วยโปรแกรม R

ผลการทดลองและวิจารณ์

ในการพิจารณาประสิทธิภาพของรูปแบบการหมักที่แตกต่างกันต่อคุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์ โดยทำการวิเคราะห์และศึกษาคุณสมบัติของกองปุ๋ยหมักที่ใช้รูปแบบการหมักที่แตกต่างกันร่วมกับรูปแบบของหมักของปุ๋ยอินทรีย์ได้ผล ดังนี้

อุณหภูมิ

อุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญในการตรวจสอบกระบวนการหมักปุ๋ยและสามารถบ่งบอกถึงอัตราการ

ย่อยสลายภายในกองหมัก อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นภายในกองหมักเป็นผลของความร้อนที่เกิดขึ้นจากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์แต่ละประเภท (Rangseesuriyachai and Saricheewin, 2018) จากการศึกษาประสิทธิภาพของรูปแบบการหมักที่แตกต่างกันต่อคุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์ที่ใช้รูปแบบการหมักที่แตกต่างกันร่วมกับรูปแบบของหมักของปุ๋ยอินทรีย์ พบว่า อุณหภูมิของกองปุ๋ยหมักเพิ่มสูงขึ้นในช่วง 2 สัปดาห์แรก และรูปแบบการหมักที่แตกต่างกันส่งผลให้อุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมักแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$; Table 2) โดยการหมักแบบกองสถิติมีอุณหภูมิสูงที่สุดคือ 51.2 ± 1.70 องศาเซลเซียส แตกต่างกับการหมักโดยการเติมอากาศแบบใช้ลูกหมุน และการหมักโดยพลิกกลับกองทุก 7 วัน ซึ่งมีอุณหภูมิอยู่ที่ 45.2 ± 0.40 และ 43.7 ± 1.75 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ส่วนรูปแบบของหมักของปุ๋ยอินทรีย์ไม่ส่งผลให้อุณหภูมิแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) และเมื่อพิจารณาปฏิสัมพันธ์ระหว่างรูปแบบการหมักที่แตกต่างกันร่วมกับรูปแบบของหมักของปุ๋ยอินทรีย์ พบว่า ไม่ส่งผลให้อุณหภูมิแตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$) ซึ่งสาเหตุที่ทำให้การหมักแบบกองสถิติมีอุณหภูมิที่สูงเกิดมาจากกองปุ๋ยสามารถเก็บกักความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาการย่อยสลายของจุลินทรีย์เอาไว้ในกองปุ๋ย (Sawangpanyangkura, 2015)

อุณหภูมิของกองปุ๋ยหมักค่อย ๆ ลดลงในช่วงสัปดาห์ที่ 4 และรูปแบบการหมักที่แตกต่างกันส่งผลให้อุณหภูมิแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) โดยการหมักแบบกองสถิติมีอุณหภูมิสูงที่สุดคือ 45.4 ± 1.64 องศาเซลเซียส แตกต่างกับการหมักโดยพลิกกลับกองทุก 7 วัน และการหมักโดยการเติมอากาศแบบใช้ลูกหมุน ซึ่งมีอุณหภูมิอยู่ที่ 40.2 ± 2.41 และ 37.3 ± 0.13 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ส่วนรูปแบบของหมักของปุ๋ยอินทรีย์ไม่ส่งผลให้อุณหภูมิแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) เช่นเดียวกับการพิจารณาปฏิสัมพันธ์ระหว่างรูปแบบการหมักที่แตกต่างกันร่วมกับรูปแบบของหมักของปุ๋ยอินทรีย์ ที่พบว่า

อุณหภูมิของกองปุ๋ยหมักไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$; Table 2) รูปแบบการหมักทั้ง 3 รูปแบบ มีอุณหภูมิแตกต่างกันชัดเจนในช่วง 2-4 สัปดาห์ เนื่องมาจากภายในกองปุ๋ยการหมักแบบกองสถิติมีปริมาณจุลินทรีย์เพิ่มขึ้น และมีการย่อยสลายอินทรีย์สารชนิดต่าง ๆ ทำให้เกิดพลังงานความร้อนขึ้น อุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักจึงสูงที่สุด รองลงมาคือ การหมักโดยพลิกกลับกองทุก 7 วัน ในขณะที่ การหมักโดยการเติมอากาศแบบใช้ลูกหมุนเนื่องจากภายในกองปุ๋ยหมักมีที่ระบายอากาศ และมีการถ่ายเทอากาศระหว่างภายในและภายนอกกองปุ๋ยอย่างต่อเนื่องผ่านลูกหมุน จึงส่งผลทำให้มีอุณหภูมิภายในกองปุ๋ยน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับอีก 2 รูปแบบที่ได้กล่าวข้างต้น

อุณหภูมิของกองปุ๋ยหมักค่อย ๆ ลดลงในช่วงสัปดาห์ที่ 6 และเริ่มคงที่ในช่วงสัปดาห์ที่ 8 โดยในช่วงสัปดาห์ที่ 6 รูปแบบการหมักที่แตกต่างกันส่งผลให้อุณหภูมิแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$; Table 2) โดยการหมักแบบกองสถิติมีอุณหภูมิสูงที่สุด คือ 33.6 ± 1.20 องศาเซลเซียส ซึ่งไม่แตกต่างกันกับการหมักโดยพลิกกลับกองทุก 7 วัน ที่มีอุณหภูมิอยู่ที่ 32.6 ± 1.28 องศาเซลเซียส แต่แตกต่างกับการหมักโดยการเติมอากาศแบบใช้ลูกหมุน ซึ่งมีอุณหภูมิอยู่ที่ 31.9 ± 1.12 องศาเซลเซียส ส่วนรูปแบบของหมัก

ของปุ๋ยอินทรีย์ไม่ส่งผลให้อุณหภูมิแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) และเมื่อพิจารณาปฏิสัมพันธ์ระหว่างรูปแบบการหมักที่แตกต่างกับรูปแบบของหมักของปุ๋ยอินทรีย์ พบว่า ไม่ส่งผลให้อุณหภูมิแตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$)

ในช่วงสัปดาห์ที่ 8 ทั้ง 2 ปัจจัย ไม่ส่งผลให้อุณหภูมิแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) และเมื่อพิจารณาปฏิสัมพันธ์ระหว่างรูปแบบการหมักที่แตกต่างกับรูปแบบของหมักของปุ๋ยอินทรีย์ พบว่า ไม่ส่งผลให้อุณหภูมิแตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$; Table 2) เนื่องจากในช่วงสัปดาห์ที่ 8 เป็นช่วงของการย่อยสลายขั้นสุดท้าย หรือ final rotting phase หลังจากที่มีการย่อยสลายอย่างเข้มข้นเสร็จสิ้นแล้ว อุณหภูมิของสารหมักจะค่อย ๆ ลดลงจนเหลือประมาณ 30 องศาเซลเซียส สารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ยาก เช่น เซลลูโลส จะถูกย่อยสลายในขั้นนี้ โดยใช้เวลาดั้งแต่ 3 เดือนขึ้นไป จนถึง 1 ปี การย่อยสลายในขั้นตอนนี้จะมีกลุ่มจุลินทรีย์พวกรา (Fungi) และแอคติโนมัยซิส (Actinomycetes) ช่วยในการย่อยสลายสารที่ย่อยสลายได้ยากที่เหลืออยู่ในระบบ (Chanathaworn, 2017) จึงทำให้อุณหภูมิในช่วง 8 สัปดาห์ ของทั้ง 2 ปัจจัย คงที่อยู่ในช่วง 31.1 ± 0.66 ถึง 32.6 ± 0.21 องศาเซลเซียส

Table 2 Temperature of different fermentation processes at 2, 4, 6 and 8 weeks

Fermentation pattern (A)	Temperature (°C)					
	2 weeks			4 weeks		
	Compost pile pattern (B)		Average (A)	Compost pile pattern (B)		Average (A)
	Circular	Rectangular		Circular	Rectangular	
Static pile	51.5 ± 1.69	50.8 ± 1.90	51.2 ± 1.70 ^a	45.7 ± 1.61	45.0 ± 1.84	45.4 ± 1.64 ^a
Turning pile every 7 days	44.3 ± 1.85	43.1 ± 1.66	43.7 ± 1.75 ^b	39.6 ± 3.24	40.8 ± 1.41	40.2 ± 2.41 ^b
Active aeration using mechanical roof's ventilation fan	45.0 ± 0.43	45.4 ± 0.31	45.2 ± 0.40 ^b	37.3 ± 0.12	37.4 ± 0.12	37.3 ± 0.13 ^c
Average (B)	46.9 ± 3.64	46.4 ± 3.63		40.9 ± 4.17	41.1 ± 3.49	
F-test; A		**			**	
B		ns			ns	
A*B		ns			ns	
CV (%)		3.14			4.30	
Fermentation pattern (A)	6 weeks			8 weeks		
	Compost pile pattern (B)		Average (A)	Compost pile pattern (B)		Average (A)
	Circular	Rectangular		Circular	Rectangular	
Static pile	33.6 ± 1.76	33.6 ± 0.52	33.6 ± 1.20 ^a	31.2 ± 1.32	32.6 ± 0.21	31.9 ± 1.13
Turning pile every 7 days	33.4 ± 1.34	31.8 ± 0.58	32.6 ± 1.28 ^{ab}	31.8 ± 1.25	31.7 ± 0.65	31.7 ± 0.92
Active aeration using mechanical roof's ventilation fan	32.1 ± 1.25	31.6 ± 1.09	31.9 ± 1.12 ^b	31.9 ± 1.37	31.1 ± 0.66	31.5 ± 1.10
Average (B)	33.1 ± 1.50	32.3 ± 1.15		31.6 ± 1.23	31.8 ± 0.81	
F-test; A		*			ns	
B		ns			ns	
A*B		ns			ns	
CV (%)		3.59			3.17	

^{a, b, c} Different letters within the column were significantly different according to Duncan's new multiple range test

ns = not significant at P > 0.05, * significant at P < 0.05, ** significant at P < 0.01, CV = coefficient of variation

ค่าความเป็นกรด-ด่าง

ตลอดเวลาของการหมักปุ๋ย ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) จะต้องไม่ต่ำกว่า 5.5 และไม่เกิน 9 ซึ่งเป็นช่วงที่จุลินทรีย์สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ดี (Saricheewin and Rangseesuriyachai, 2016) เมื่อวัสดุหมักถูกย่อยสลายและเริ่มเสถียรภาพจนในที่สุดค่าความเป็นกรด-ด่างจะรักษาระดับอยู่ในช่วง 7-8 จนสิ้นสุดกระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ หากค่าความเป็นกรด-ด่างของกองปุ๋ยอินทรีย์เป็นกรดแสดงว่าการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ยังไม่เสร็จสมบูรณ์ เนื่องจากใช้เวลาหมักน้อยเกินไปหรืออาจเกิดการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Gray *et al.*, 1971) และจากการศึกษาประสิทธิภาพของรูปแบบการหมักที่แตกต่างกันต่อคุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์ที่ใช้รูปแบบการหมักที่แตกต่างกันร่วมกับรูปแบบของหมักของปุ๋ยอินทรีย์ พบว่า รูปแบบการหมักที่แตกต่างกันส่งผลให้ค่าความเป็นกรด-ด่างแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) โดยการหมักโดยพลิกกลับกองทุก 7 วัน มีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงที่สุด คือ 8.82 ± 0.14 ซึ่งแตกต่างกันกับการหมักแบบกองสถิต และการหมักโดยการเติมอากาศแบบใช้ลูกหมุน ที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 8.33 ± 0.25 และ 7.90 ± 0.59 ตามลำดับ ส่วนรูปแบบของหมักของปุ๋ยอินทรีย์ไม่ส่งผลให้ค่าความเป็นกรด-ด่างแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) และเมื่อพิจารณาปฏิสัมพันธ์ระหว่างรูปแบบการหมัก

ที่แตกต่างกันร่วมกับรูปแบบของหมักของปุ๋ยอินทรีย์พบว่า ไม่ส่งผลทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างแตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$; Table 3) โดยเมื่อเปรียบเทียบค่าความเป็นกรด-ด่างระหว่างปุ๋ยหมักที่ผ่านกระบวนการหมักเป็นเวลา 8 สัปดาห์ มีค่าอยู่ในช่วง 7.75 ± 0.86 ถึง 8.86 ± 0.00 และวัสดุก่อนการทดลอง ซึ่งประกอบด้วย มูลโคและฟางข้าวมีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ที่ 8.81 และ 7.69 ตามลำดับ (Table 1) จะเห็นได้ว่า ค่าความเป็นกรด-ด่างมีการเปลี่ยนแปลงน้อย นอกจากนี้ ค่าความเป็นกรด-ด่างยังส่งผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในกระบวนการย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ของกระบวนการหมัก เช่น แบคทีเรีย (Bacteria) และแอคติโนมัยซีต (Actinomycetes) สามารถเจริญเติบโตได้ดีในช่วงค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ที่ 6.0-8.0 และเชื้อรา (Fungi) สามารถเจริญเติบโตได้ดีในช่วงค่าความเป็นกรด-ด่างระหว่าง 5.5-8.0 สำหรับการย่อยสลายในระยะอุณหภูมิปานกลาง (Mesophilic phase) ค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ที่ 5.0-5.5 และจะมีค่าระหว่าง 8.0-9.0 ในระยะอุณหภูมิสูง (Thermophilic phase) (Khantee, 2009) ซึ่งเป็นระยะก่อนเข้าสู่ระยะบ่ม (Curing stage) ซึ่งระยะนี้สารอินทรีย์ส่วนใหญ่จะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์กลุ่มเทอร์โมฟิลิก (Thermophilic bacteria) สามารถย่อยสลายที่สลายยาก และในระยะนี้มีการสังเคราะห์สารฮิวมัส (Day and Shaw, 2001) ด้วย

Table 3 Average pH and electrical conductivity (EC) of the composts at different composting patterns

Fermentation pattern (A)	pH (1:2) ¹			EC (1:10) ¹ (dS/m)		
	Compost pile pattern (B)		Average (A)	Compost pile pattern (B)		Average (A)
	Circular	Rectangular		Circular	Rectangular	
Standard ²		5.5–8.5			≤ 6	
Static pile	8.12 ± 0.16	8.54 ± 0.10	8.33 ± 0.25 ^b	1.98 ± 0.10	1.80 ± 0.44	1.89 ± 0.31
Turning pile every 7 days	8.86 ± 0.00	8.78 ± 0.20	8.82 ± 0.14 ^a	1.94 ± 0.37	1.58 ± 0.89	1.76 ± 0.66
Active aeration using mechanical roof's ventilation fan	8.04 ± 0.15	7.75 ± 0.86	7.90 ± 0.59 ^c	1.37 ± 0.40	1.31 ± 0.52	1.34 ± 0.43
Average (B)	8.34 ± 0.40	8.36 ± 0.65		1.76 ± 0.41	1.57 ± 0.62	
F-test; A		**			ns	
B		ns			ns	
A*B		ns			ns	
CV (%)		4.49			30.65	

¹ Department of Agriculture (2008), ² Department of Agriculture (2005b)

a, b, c Different letters within the column were significantly different according to Duncan's new multiple range test

ns = not significant at P > 0.05, ** significant at P < 0.01, CV = coefficient of variation

ค่าการนำไฟฟ้า

ระดับความเค็มของกองปุ๋ยหมัก ซึ่งจะอยู่ในรูปของค่าการนำไฟฟ้า โดยจากการศึกษาประสิทธิภาพของรูปแบบการหมักที่แตกต่างกันต่อคุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์ที่ใช้รูปแบบการหมักที่แตกต่างกันร่วมกับรูปแบบของหมักของปุ๋ยอินทรีย์ (Table 3) พบว่า รูปแบบการหมักที่แตกต่างกันและรูปแบบของหมักของปุ๋ยอินทรีย์ไม่ส่งผลให้ค่าการนำไฟฟ้ามีความแตกต่างกันทางสถิติ (P > 0.05) โดยอยู่ในระดับที่ไม่เค็ม คือ อยู่ในช่วง 0–2 เดซิซีเมนต่อเมตร ซึ่งไม่มีผลกระทบต่อพืช (Land Classification Division and FAO Project Staff, 1973) และมีค่าเป็นไปตามที่กรมวิชาการเกษตร

กำหนด คือ ไม่เกิน 6 เดซิซีเมนต่อเมตร (Department of Agriculture, 2005b) และเมื่อพิจารณาปฏิสัมพันธ์ระหว่างรูปแบบการหมักที่แตกต่างกันร่วมกับรูปแบบของหมักของปุ๋ยอินทรีย์ พบว่า ไม่ส่งผลทำให้ค่าการนำไฟฟ้าแตกต่างทางสถิติ (P > 0.05) โดยเมื่อเปรียบเทียบค่าการนำไฟฟ้าระหว่างปุ๋ยหมักที่ผ่านกระบวนการหมักเป็นเวลา 8 สัปดาห์ มีค่าอยู่ในช่วง 1.31 ± 0.52 ถึง 1.98 ± 0.10 เดซิซีเมนต่อเมตร และวัสดุก่อนการทดลองซึ่งประกอบด้วย มูลโคและฟางข้าวที่มีค่าการนำไฟฟ้า 5.78 และ 2.05 เดซิซีเมนต่อเมตร ตามลำดับ (Table 1) จะเห็นได้ว่าค่าการนำไฟฟ้ามีค่าลดลงระหว่างกระบวนการหมัก

ปริมาณอินทรีย์วัตถุ

จากการศึกษาประสิทธิภาพของรูปแบบการหมักที่แตกต่างกันต่อคุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์ที่ใช้รูปแบบการหมักที่แตกต่างกันร่วมกับรูปแบบของหมักของปุ๋ยอินทรีย์ (Table 4) พบว่า ทั้ง 2 ปัจจัย ไม่ส่งผลให้ปริมาณอินทรีย์วัตถุแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 41.91 ± 4.20 ถึงร้อยละ 45.58 ± 4.89 ซึ่งเป็นไปตามที่กรมวิชาการเกษตรกำหนด คือ ไม่น้อยกว่าร้อยละ 30 โดยน้ำหนักร (Department of Agriculture, 2005b) และเมื่อพิจารณาปฏิสัมพันธ์ระหว่างรูปแบบการหมักที่แตกต่างกันร่วมกับรูปแบบของหมักของปุ๋ยอินทรีย์ พบว่า ไม่ส่งผลทำให้ปริมาณอินทรีย์วัตถุแตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$)

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด

จากการศึกษาประสิทธิภาพของรูปแบบการหมักที่แตกต่างกันต่อคุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์ที่ใช้รูปแบบการหมักที่แตกต่างกันร่วมกับรูปแบบของหมักของปุ๋ยอินทรีย์ (Table 4) พบว่า การใช้รูปแบบการหมักที่แตกต่างกันและรูปแบบของหมักของปุ๋ยอินทรีย์ไม่ส่งผลต่อปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของกองปุ๋ยที่หมักสมบูรณ์แล้ว ($P > 0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 1.81 ± 0.04 ถึงร้อยละ 1.99 ± 0.21 ซึ่งเป็นไปตามที่

กรมวิชาการเกษตรกำหนด คือ ไม่น้อยกว่าร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก (Department of Agriculture, 2005b) และเมื่อพิจารณาปฏิสัมพันธ์ระหว่างรูปแบบการหมักที่แตกต่างกันร่วมกับรูปแบบของหมักของปุ๋ยอินทรีย์ พบว่า ไม่ส่งผลทำให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของกองปุ๋ยที่หมักสมบูรณ์แล้วแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$)

ปริมาณฟอสเฟตทั้งหมด

จากการศึกษาประสิทธิภาพของรูปแบบการหมักที่แตกต่างกันต่อคุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์ที่ใช้รูปแบบการหมักที่แตกต่างกันร่วมกับรูปแบบของหมักของปุ๋ยอินทรีย์ (Table 4) พบว่า การใช้รูปแบบการหมักที่แตกต่างกันและรูปแบบของหมักของปุ๋ยอินทรีย์ไม่ส่งผลให้ปริมาณฟอสเฟตทั้งหมดของกองปุ๋ยที่หมักสมบูรณ์แล้วแตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 1.19 ± 0.10 ถึงร้อยละ 1.47 ± 0.03 ซึ่งเป็นไปตามที่กรมวิชาการเกษตรกำหนด คือ ไม่น้อยกว่าร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก (Department of Agriculture, 2005b) และเมื่อพิจารณาปฏิสัมพันธ์ระหว่างรูปแบบการหมักที่แตกต่างกันร่วมกับรูปแบบของหมักของปุ๋ยอินทรีย์ พบว่า ไม่ส่งผลทำให้ปริมาณฟอสเฟตทั้งหมดของกองปุ๋ยที่หมักสมบูรณ์แล้วแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

Table 4 Average organic matter, total N, total P_2O_5 and C/N ratio of the composts at different composting patterns

Fermentation pattern (A)	Organic matter ¹ (%)			Total N ¹ (%)		
	Compost pile pattern (B)		Average (A)	Compost pile pattern (B)		Average (A)
	Circular	Rectangular		Circular	Rectangular	
Standard ²		≥ 30			≥ 1	
Static pile	45.55 ± 1.81	45.58 ± 4.89	45.50 ± 3.42	1.94 ± 0.00	1.99 ± 0.21	1.96 ± 0.14
Turning pile every 7 days	41.91 ± 4.20	45.47 ± 2.46	43.69 ± 3.71	1.81 ± 0.04	1.83 ± 0.22	1.82 ± 0.15
Active aeration using mechanical roof's ventilation fan	43.55 ± 0.09	42.34 ± 1.50	42.94 ± 1.18	1.92 ± 0.50	1.94 ± 0.04	1.93 ± 0.04
Average (B)	43.67 ± 2.85	44.42 ± 3.34		1.89 ± 0.07	1.92 ± 0.17	
F-test; A		ns			ns	
B		ns			ns	
A*B		ns			ns	
CV (%)		6.76			6.66	
Fermentation pattern (A)	Total P_2O_5 ¹ (%)			C/N ratio ¹		
	Compost pile pattern (B)		Average (A)	Compost pile pattern (B)		Average (A)
	Circular	Rectangular		Circular	Rectangular	
Standard ²		≥ 0.5			≤ 20:1	
Static pile	1.33 ± 0.00	1.47 ± 0.03	1.40 ± 0.08	13.66 ± 0.57	13.28 ± 0.04	13.47 ± 0.43
Turning pile every 7 days	1.30 ± 0.20	1.19 ± 0.10	1.25 ± 0.16	13.49 ± 1.50	14.55 ± 1.70	14.02 ± 1.59
Active aeration using mechanical roof's ventilation fan	1.42 ± 0.17	1.21 ± 0.23	1.31 ± 0.22	13.15 ± 0.33	12.70 ± 0.50	12.92 ± 0.46
Average (B)	1.35 ± 0.15	1.29 ± 0.19		13.43 ± 0.89	13.51 ± 1.23	
F-test; A		ns			ns	
B		ns			ns	
A*B		ns			ns	
CV (%)		11.11			7.32	

¹ Department of Agriculture (2008), ² Department of Agriculture (2005b)

ns = not significant at $P > 0.05$, CV = coefficient of variation

อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน

อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) เป็นดัชนีที่สำคัญสำหรับการทำปุ๋ยหมัก โดย C/N ratio ในช่วงเริ่มต้นกระบวนการหมักปุ๋ยตามทฤษฎีมีค่าอยู่ระหว่าง 25–30 หรือในทางปฏิบัติอาจมีค่าได้ถึง 35–45 ซึ่งค่า C/N ratio ที่สูงขึ้น ส่งผลให้ใช้ระยะเวลาในการหมักเพิ่มขึ้น ถ้าการผสมวัสดุหมักที่มีปริมาณไนโตรเจนไม่เพียงพอจะทำให้ C/N ratio ค่อนข้างสูง ซึ่งอาจส่งผลให้อัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์เป็นไปอย่างช้า ๆ และค่อนข้างต่ำ เนื่องจากจุลินทรีย์ขาดแคลนไนโตรเจนสำหรับการเจริญเติบโต และในทางกลับกันหากวัสดุหมักมีค่า C/N ratio ค่อนข้างต่ำ หมายความว่า ระบบการหมักมีปริมาณไนโตรเจนที่เกินพอ ส่งผลให้การเจริญเติบโตและการย่อยสลายของจุลินทรีย์เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ การที่มีปริมาณไนโตรเจนมากเกินไปอาจอยู่ในรูปของก๊าซแอมโมเนียที่ระเหย ในขณะที่เดียวกันปริมาณแอมโมเนียที่เข้มข้นอาจมีความเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ได้เช่นกัน (Rangseesuriyachai and Saricheewin, 2018) ปุ๋ยอินทรีย์ที่เสร็จสมบูรณ์จะต้องมีค่า C/N ratio ไม่เกินร้อยละ 20 ซึ่งเป็นค่าที่เป็นไปตามที่กรมวิชาการเกษตรกำหนด (Department of Agriculture, 2005b) ทั้งนี้จากการศึกษาพบว่า รูปแบบการหมักและรูปแบบของหมักที่แตกต่างกันไม่ส่งผลต่อค่า C/N ratio ($P > 0.05$) และเมื่อพิจารณาปฏิสัมพันธ์ระหว่างรูปแบบการหมักที่แตกต่างกันร่วมกับรูปแบบของหมักของปุ๋ยอินทรีย์พบว่า ไม่ส่งผลทำให้ C/N ratio แตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$; Table 4)

การย่อยสลายสมบูรณ์

ปุ๋ยอินทรีย์ที่อยู่ระหว่างกระบวนการหมักที่ยังไม่สมบูรณ์จะมีการสะสมของสารประกอบที่เป็นพิษต่อพืช เช่น โลหะหนัก สารประกอบฟีนอล เอทิลีน แอมโมเนีย เกลือ และกรดอินทรีย์ เป็นต้น สารเหล่านี้มีผลต่อการงอกของเมล็ดและการเจริญเติบโตของพืช ทำให้ผลผลิตของพืชลดลง การทดสอบการงอกของ

เมล็ดเป็นวิธีที่สะดวกและรวดเร็วในการตรวจสอบความสมบูรณ์ของกระบวนการหมักของปุ๋ยอินทรีย์ โดยค่าดัชนีการงอก (GI) ต้องมีค่ามากกว่าร้อยละ 80 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ปุ๋ยอินทรีย์นั้นปลอดภัยประกอบที่เป็นพิษต่อพืชและเป็นไปตามที่กรมวิชาการเกษตรกำหนด (Department of Agriculture, 2005b) ซึ่งจากการศึกษาประสิทธิภาพของรูปแบบการหมักที่แตกต่างกันต่อคุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์ที่ใช้รูปแบบการหมักที่แตกต่างร่วมกับรูปแบบของหมักของปุ๋ยอินทรีย์ พบว่ารูปแบบการหมักที่แตกต่างกันส่งผลให้ค่าการย่อยสลายสมบูรณ์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) โดยการหมักโดยการเติมอากาศแบบใช้ลูกหมุนมีค่าการย่อยสลายสมบูรณ์สูงที่สุด คือ ร้อยละ 84.95 ± 2.57 ซึ่งแตกต่างกับการหมักโดยพลิกกลับกองทุก 7 วัน และการหมักแบบกองสัติ ที่มีค่าการย่อยสลายสมบูรณ์ร้อยละ 75.95 ± 5.20 และ 67.69 ± 2.67 ตามลำดับ ส่วนรูปแบบของหมักของปุ๋ยอินทรีย์ไม่ส่งผลให้ค่าการย่อยสลายสมบูรณ์แตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) และเมื่อพิจารณาปฏิสัมพันธ์ระหว่างรูปแบบการหมักที่แตกต่างร่วมกับรูปแบบของหมักของปุ๋ยอินทรีย์ พบว่า มีผลทำให้ค่าการย่อยสลายสมบูรณ์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) โดยการหมักโดยการเติมอากาศแบบใช้ลูกหมุนแบบวงกลมให้ค่าการย่อยสลายสมบูรณ์สูงที่สุด คือ ร้อยละ 86.53 ± 2.31 ซึ่งไม่แตกต่างกับการหมักโดยการเติมอากาศแบบใช้ลูกหมุนแบบสี่เหลี่ยมที่ให้ค่าการย่อยสลายสมบูรณ์ร้อยละ 83.37 ± 1.87 แต่แตกต่างกับการหมักโดยพลิกกลับกองทุก 7 วัน แบบสี่เหลี่ยมและแบบวงกลม และการหมักแบบกองสัติแบบวงกลมและแบบสี่เหลี่ยม ซึ่งมีค่าการย่อยสลายสมบูรณ์เฉลี่ยร้อยละ 78.59 ± 4.05 , 73.31 ± 5.29 , 68.39 ± 2.52 และ 67.00 ± 2.99 ตามลำดับ (Table 5) สำหรับการหมักโดยการเติมอากาศแบบใช้ลูกหมุนสามารถส่งผลทำให้จุลินทรีย์กลุ่มที่ใช้ออกซิเจนในการเจริญเติบโต สามารถเจริญเติบโตและย่อยสลายสารอินทรีย์ภายในกองปุ๋ยหมักได้ดีกว่ากลุ่มจุลินทรีย์

ไม่ใช้ออกซิเจน ดังนั้น รูปแบบการหมักโดยการเติมอากาศแบบใช้ลูกหมุนสามารถทำให้ออกซิเจนหมุนเวียน อย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้การย่อยสลายวัสดุภายในกองปุ๋ยหมักเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์

Table 5 Average germination index of the composts at different composting pattern

Fermentation pattern (A)	Germination index ¹ (%)		Average (A)
	Compost pile pattern (B)		
	Circular	Rectangular	
Standard ²		> 80	
Static pile	68.39 ± 2.52 ^{cd}	67.00 ± 2.99 ^d	67.69 ± 2.67 ^C
Turning pile every 7 days	73.31 ± 5.29 ^c	78.59 ± 4.05 ^b	75.95 ± 5.20 ^B
Active aeration by using mechanical roof's ventilation fan	86.53 ± 2.31 ^a	83.37 ± 1.87 ^{ab}	84.95 ± 2.57 ^A
Average (B)	76.07 ± 8.65	76.74 ± 7.71	
F-test; A		**	
B		ns	
A*B		**	
CV (%)		4.43	

¹ Department of Agriculture (2008), ² Department of Agriculture (2005b)

A, B, C, a, b, c Different letters were significantly different according to Duncan's new multiple range test
ns = not significant at P > 0.05, ** significant at P < 0.01, CV = coefficient of variation

สรุป

รูปแบบการหมักโดยการเติมอากาศแบบใช้ลูกหมุนส่งผลให้คุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P < 0.01) ในส่วนของค่าความเป็นกรด-ด่าง และการย่อยสลายสมบูรณ์ ส่วนรูปแบบของหมักของปุ๋ยอินทรีย์ไม่ส่งผลให้คุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์แตกต่างกันทางสถิติ (P > 0.05) และเมื่อพิจารณาปฏิสัมพันธ์ระหว่างรูปแบบการหมักที่แตกต่างกันร่วมกับรูปแบบของหมักของปุ๋ยอินทรีย์มีผลทำให้การย่อยสลายสมบูรณ์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P < 0.01) โดยการหมักโดยการเติมอากาศร่วมกับของหมักในรูปแบบวงกลมมีค่าการย่อยสลายสมบูรณ์สูงที่สุด ไม่แตกต่างกับแบบสี่เหลี่ยม

โดยมีค่าการย่อยสลายสมบูรณ์ร้อยละ 86.53 ± 2.31 และ 83.37 ± 1.87 ตามลำดับ ซึ่งส่งผลให้ปุ๋ยอินทรีย์มีการย่อยสลายที่สมบูรณ์รวดเร็วกว่าการหมักในรูปแบบอื่น นอกจากนี้ ยังส่งผลทำให้คุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ ดังนั้นเกษตรกรสามารถนำรูปแบบการหมักโดยการเติมอากาศแบบใช้ลูกหมุนร่วมกับของปุ๋ยหมักแบบวงกลมหรือแบบสี่เหลี่ยมไปปรับใช้เพื่อลดการใช้แรงงานและระยะเวลาในการหมักปุ๋ยอินทรีย์ต่อไป โดยหลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการหมักปุ๋ยในระยะเวลา 8 สัปดาห์ ควรมีการบ่มปุ๋ยต่อเพื่อให้อุณหภูมิในกองปุ๋ยลดลงจนใกล้เคียงอุณหภูมิบรรยากาศโดยรอบจึงถือว่ากระบวนการผลิตปุ๋ยหมักเสร็จสมบูรณ์

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทยที่ให้การสนับสนุนงานวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ด้วยระบบเติมอากาศ ตลอดจนนักวิจัยและบุคลากรที่มีส่วนร่วมในการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- Chanathaworn, J. 2017. Biogas Production by Co-digestion of Carbon Rich Source and Earthworm Bedding Wastewater. School of Renewable Energy. Maejo University, Chiang Mai, Thailand. 82 pp. (in Thai)
- Day, M. and K. Shaw. 2001. Biological, chemical, and physical processes of composting, pp. 17–50. *In* P.J. Stoffella and B.A. Kahn, eds. Compost Utilization in Horticultural Cropping Systems. Lewis Publishers, New York, USA.
- Department of Agriculture. 2005a. Organic Fertilizers: Production, Use, Standards and Quality. Department of Agriculture, Ministry of Agriculture and Cooperatives, Bangkok. 82 pp. (in Thai)
- Department of Agriculture. 2005b. Fertilizer Act B.E. 2548. Department of Agriculture, Ministry of Agriculture and Cooperatives, Bangkok. 2 pp. (in Thai)
- Department of Agriculture. 2008. Organic Fertilizer Analysis Guide. Department of Agriculture, Ministry of Agriculture and Cooperatives, Bangkok. 49 pp. (in Thai)
- Gray, K.R., K. Sherman and A.J. Biddlestone. 1971. Review of composting. Part II. The practical process. *Process Biochem.* 6(10): 22–28.
- Jaroenkul, T. and J. Sakulrat. 2016. Efficiency of organic waste decomposition in small-aerated composting bin. *Thai Environmental Engineering Journal.* 30(3): 85–93. (in Thai)
- Khantee, A. 2009. The Chemical and Physical Property Changes of Waste Paper Sludge Cake During Decomposition for Pellet Organic Fertilizer Production. MS Thesis, Kasetsart University, Bangkok. (in Thai)
- Land Classification Division and FAO Project Staff. 1973. Soil Interpretation Handbook for Thailand. Department of Land Development, Ministry of Agriculture and Cooperatives, Bangkok, Thailand. 135 pp. (in Thai)
- Mala, T. 2003. Organic Fertilizers and Biofertilizers: Production Techniques and Utilization. Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok. 300 pp. (in Thai)

- Osotsapha, Y., A. Wongmaneroj and C. Hongprayoon. 2008. Fertilizers for Sustainable Agriculture. Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok. 519 pp. (in Thai)
- Rangseesuriyachai, T. and K. Saricheewin. 2018. Study of organic waste composting with aeration and use of crude enzyme. Journal of Engineering, RMUTT. 16(2): 1–12. (in Thai)
- Saricheewin, K. and T. Rangseesuriyachai. 2016. Composting of organic waste using aeration tank. Journal of Engineering, RMUTT. 14(1): 25–33. (in Thai)
- Sawangpanyangkura, T. 2015. Static Pile Organic Fertilizer Production: Maejo Engineering Method 1. Faculty of Engineering, Maejo University, Chiang Mai. 51 pp. (in Thai)
- Tanpanich, S., R. Chindachia, C. Niwasprakit and M. Keawdoug. 2009. Performance of low input active aeration pile, turning pile and static pile for composting organic fertilizer. As. J. Food Ag-Ind. Special issue: S211–S215.