

ผลของเชื้อราต่อคุณสมบัติทางกายภาพและปริมาณธาตุอาหารของปุ๋ยหมัก จากทางใบปาล์มน้ำมัน

Effect of Fungi on Physical and Nutrient of Compost from Oil Palm Frond (*Elaeis guineensis* Jacq.)

พรศิลป์ สีเผือก^{1*} พิมพชนา วงศ์พิศาล² ชัยสิทธิ์ ปรีชา³ และ วุฒิชัย สีเผือก¹

Pornsil Seephueak^{1*}, Pimchana Wongpissal², Chaisit Preecha³ and Wuttichai Seephueak¹

Received: 2 March 2020, Revised: 31 March 2020, Accepted: 20 April 2020

บทคัดย่อ

เชื้อจุลินทรีย์ที่แยกได้จากเศษซากพืชหลายชนิดมีคุณสมบัติในการผลิตเอนไซม์ เพื่อย่อยสลายซากพืช ถูกนำมาประยุกต์ใช้ทางการเกษตรอย่างแพร่หลาย งานวิจัยนี้ได้นำเชื้อรา 2 ชนิด คือ *Trichoderma harzianum* และ *Aspergillus niger* ที่แยกได้จากซากทางใบปาล์มน้ำมัน ซึ่งผ่านการทดสอบในสภาพห้องปฏิบัติการว่ามีประสิทธิภาพสูงในการผลิตเอนไซม์เซลลูเลสและไซแทนเนส มาใช้ผลิตปุ๋ยหมักจากทางใบปาล์มน้ำมัน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ทราบผลของเชื้อราต่อคุณสมบัติทางกายภาพ และปริมาณธาตุอาหารของปุ๋ยหมักที่ได้จากทางใบปาล์มน้ำมัน วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) 5 กรรมวิธี 4 ซ้ำ ได้แก่ 1) *T. harzianum* 2) *A. niger* 3) *T. harzianum* ร่วมกับ *A. niger* 4) สารเร่งชุปเปอร์ พด. 1 และ 5) น้ำกลั่น นึ่งฆ่าเชื้อ (ชุดควบคุม) นำสปอร์แขวนลอยเชื้อรา 1×10^8 สปอร์ต่อมิลลิลิตร ปริมาตร 500 มิลลิลิตร ผสมกับทางใบปาล์มน้ำมัน : มูลโค : ยูเรีย อัตรา 5 : 1 : 0.01 กิโลกรัมต่อถุง หมักในถุงพลาสติกสีดำเป็นระยะเวลา 60 วัน ผลการศึกษาพบว่า การใช้เชื้อ *T. harzianum* ร่วมกับ *A. niger* ทำให้การย่อยสลายเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์และปุ๋ยหมักมีคุณภาพดีที่สุด ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง อุณหภูมิ และค่าการนำไฟฟ้าในปุ๋ยหมัก เท่ากับ 14.44 : 1, 7.10, 27.53 องศาเซลเซียส และ 3.91 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ตามลำดับ ในขณะที่ปริมาณธาตุไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด และโพแทสเซียมทั้งหมด เท่ากับ 2.15, 0.36 และ 2.49 เปอร์เซ็นต์

¹ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ตำบลทุ่งใหญ่ อำเภอทุ่งใหญ่ จังหวัดนครศรีธรรมราช 80240

¹ Faculty of Agriculture, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Thung Yai, Thung Yai, Nakhon Si Thammarat 80240, Thailand.

² คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ตำบลทุ่งใหญ่ อำเภอทุ่งใหญ่ จังหวัดนครศรีธรรมราช 80240

² Faculty of Agro-Industry, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Thung Yai, Thung Yai, Nakhon Si Thammarat 80240, Thailand.

³ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ตำบลทุ่งใหญ่ อำเภอทุ่งใหญ่ จังหวัดนครศรีธรรมราช 80110

³ Faculty of Agriculture, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Thung Yai, Thung Song, Nakhon Si Thammarat 80110, Thailand.

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): spornsil@gmail.com

ตามลำดับ จัดเป็นปุ๋ยหมักคุณภาพดี ผ่านเกณฑ์มาตรฐานการผลิตปุ๋ยหมักของกรมวิชาการเกษตร สามารถส่งเสริมให้เกษตรกรนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

คำสำคัญ: ปุ๋ยหมัก, เชื้อรา, การย่อยสลาย, ทางไบโพลีเมอร์

ABSTRACT

Microorganisms isolated from plant debris having properties to produce enzymes for plant degradation were applied in several agriculture. In this research, 2 fungal species of *Trichoderma harzianum* and *Aspergillus niger* which had previously been tested to efficiently yield cellulase and xylanase enzymes on the laboratory scale were used to produce the compost product. The objective of this research was to investigate the effect of fungi on the physical and nutrient of compost from oil palm frond. The experimental design using completely randomized design (CRD) with 4 replications and 5 treatments consisted of 1) *T. harzianum* 2) *A. niger* 3) *T. harzianum* with *A. niger* 4) microbial activators PD1 and 5) distilled water (control). Spore suspension of fungi adjusted to 1×10^8 spore/ml about 500 ml and combined with compost components was made up of oil palm frond : cow dung : urea at the ratio of 5 : 1 : 0.01 kilogram/bag. Then, they were left in the black plastic bag for 60 days. The results showed that use of *T. harzianum* mixed with *A. niger* gave the completed degradation and the best quality. The C/N ratio, pH, temperature and conductivity in compost were 14.44 : 1, 7.10, 27.53 °C and 3.91 dS/m, respectively while total nitrogen, phosphorus and potassium content in the compost were 2.15, 0.36 and 2.49 %, respectively. This compost being considered of good quality and standard and accredited by the Department of Agriculture should be promoted for further use.

Key words: compost, fungi, degradation, oil palm frond

บทนำ

ปุ๋ยหมัก (compost) คือปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้จากวัสดุอินทรีย์ที่ผ่านกระบวนการหมักโดยสมบูรณ์ ทั้งนี้วัสดุอินทรีย์ ได้แก่ วัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตร หรือวัชพืช เช่น ฟางข้าว ช้างข้าวโพด พืชตระกูลถั่ว หญ้าแห้ง ผักตบชวา หรืออาจใช้มูลสัตว์ ของเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม ตลอดจนขยะมูลฝอยตามบ้านเรือน เป็นต้น สำหรับในกระบวนการทำปุ๋ยหมัก อาจอาศัยจุลินทรีย์ที่มีอยู่ตามธรรมชาติ หรือมีการเติมจุลินทรีย์ที่คัดเลือกจากธรรมชาติลงไป เพื่อช่วยใน

การย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีองค์ประกอบซับซ้อน ให้มีขนาดเล็กลง ทำให้การย่อยสลายเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ทั้งนี้เชื้อราหลายชนิดที่แยกได้จากซากพืช ถูกนำมาใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวางในขั้นตอนของการทำปุ๋ยหมัก ซึ่งในกระบวนการย่อยสลาย จำเป็นต้องอาศัยเชื้อราที่มีประสิทธิภาพในการย่อยสลาย ซึ่งมีค่ากิจกรรมของเอนไซม์เซลลูเลส (cellulase activity) หรือสามารถสร้างเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายได้ เช่น เชื้อ *Aspergillus* spp., *Mucor ellipsiodeus*, *Rhizopus oryzae* และ

Trichoderma harzianum เป็นต้น (Srimongkol, 2009; Khuna *et al.*, 2016) เป็นต้น สำหรับวัตถุดิบที่นำมาใช้ทำปุ๋ยหมัก ส่วนใหญ่มีเซลลูโลสเป็นส่วนประกอบหลัก ซึ่งจะพบอินทรีย์สารมากที่สุดประมาณ 45 เปอร์เซ็นต์ ของสารอินทรีย์ทั้งหมดในธรรมชาติ พบสะสมอยู่ที่ผนังเซลล์ของพืชชั้นสูงทุกชนิด โดยทั่วไปการทำปุ๋ยหมักของเกษตรกรนิยมใช้สารเร่งจุลินทรีย์ พด.1 ซึ่งเป็นเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายเศษพืช เป็นจุลินทรีย์ที่ต้องการแสง และอากาศ เจริญได้ดีที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ประกอบด้วยเชื้อแบคทีเรีย เชื้อรา และแอคติโนมัยซิส ที่ย่อยสลายเซลลูโลสที่เป็นองค์ประกอบหลักในพืช ช่วยให้ระยะเวลาในการผลิตปุ๋ยหมักสั้นลง (Meunchang, 2015)

สำหรับทางไบโพลัมน้ำมันเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรอีกชนิดหนึ่ง ที่ยังไม่มีนำมาใช้ประโยชน์มากนัก ทั้งนี้ปัจจุบันพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันในภาคใต้กำลังขยายตัวมากขึ้น ในปี พ.ศ. 2561 ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมัน ประมาณ 5,878,000 ไร่ (Office of Agricultural Economics, 2020) โดย 86.22 เปอร์เซ็นต์ (ประมาณ 5,068,000 ไร่) ของพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันทั้งหมดอยู่ในภาคใต้ โดยปลูกมากในจังหวัดกระบี่ สุราษฎร์ธานี ชุมพร และนครศรีธรรมราช เป็นต้น ปกติเกษตรกรจะเก็บเกี่ยวทะลายปาล์มน้ำมันทุกๆ 15 - 20 วัน เฉลี่ยแล้วทุกเดือนจะมีการตัดทางไบโพลัมน้ำมันอย่างน้อย 2 ทางไบต่อต้นหรือคิดเป็น 44 ทางไบต่อไร่ (อัตราปลูก 22 ต้นต่อไร่) ในหนึ่งปีเกษตรกรจะตัดทางไบปาล์มน้ำมันประมาณ 18 ครั้ง โดยทางปาล์มน้ำมัน 1 ทางจะมีน้ำหนักประมาณ 5 กิโลกรัม คิดเป็นน้ำหนักสดของทางปาล์มน้ำมันได้ประมาณ 3,960 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี หรือโดยเฉลี่ยแล้วผลผลิตทางไบปาล์มน้ำมันสดได้ 10.80 กิโลกรัมต่อไร่ต่อวัน (FAO, 2011)

การผลิตปุ๋ยหมักจากทางไบปาล์มน้ำมัน จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาใช้ให้เกิดประโยชน์ โดยเชื้อราที่นำมาใช้ทดสอบพบว่ามีประสิทธิภาพสูงในการย่อยสลายซากทางไบปาล์มน้ำมันในห้องปฏิบัติการ ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาผลของเชื้อราต่อคุณสมบัติทางกายภาพและปริมาณธาตุอาหารของปุ๋ยหมักจากทางไบปาล์มน้ำมัน ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อเกษตรกร เพื่อเป็นแนวทางในการผลิตปุ๋ยหมักให้มีคุณภาพ ประหยัดเวลา ลดต้นทุนการผลิต และเป็นการใช้ทรัพยากรธรรมชาติให้เกิดประโยชน์สูงสุด

วิธีดำเนินการวิจัย

1. นำเชื้อรา *Aspergillus niger* และ *Trichoderma harzianum* ซึ่งผ่านการทดสอบแล้วว่ามีความมีประสิทธิภาพในการผลิตเอนไซม์เซลลูเลสและไซแลนเนสระดับสูง และสามารถย่อยสลายซากไบปาล์มน้ำมันได้ดี ในสภาพห้องปฏิบัติการ มาเลี้ยงบนอาหาร PDA เป็นเวลา 7 วัน นำมาเตรียมสปอร์แขวนลอย (spore suspension) โดยใช้แท่งแก้วสามเหลี่ยมชุบบริเวณผิวหน้าอาหาร เพื่อให้สปอร์หลุดออกจากบริเวณผิวหน้าของอาหาร จากนั้นปรับปริมาณสปอร์โดย haemocytometer ให้ได้ความเข้มข้นของสปอร์ 1×10^8 สปอร์ต่อมิลลิลิตร

2. เก็บซากทางไบปาล์มน้ำมันเพื่อนำมาสับด้วยเครื่องสับให้มีขนาดเล็ก (3-5 เซนติเมตร) ล้างฆ่าเชื้อบริเวณผิวไบด้วยโซเดียมไฮโปคลอไรด์ (sodium hypochloride) 5 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 3-5 นาที ล้างด้วยน้ำกลั่นนึ่งฆ่าเชื้อ ผึ่งลมให้แห้ง จากนั้นนำทางไบของปาล์มน้ำมันที่เตรียมเสร็จแล้วมาหมักตามสูตรทางไบปาล์มน้ำมัน 5 กิโลกรัม มูลโค 1 กิโลกรัม และปุ๋ยยูเรีย 0.01 กิโลกรัม ผสมคลุกเคล้าให้เข้ากัน ราดน้ำสปอร์แขวนลอยเชื้อราที่เตรียมไว้ ปริมาตร 500

มิลลิลิตร ลงบนกองปุ๋ยหมัก คลุกเคล้าให้เข้ากัน เปรียบเทียบกับการใช้สารเร่งชุปเปอร์ พด. 1 และน้ำกลั่นหนึ่งฆ่าเชื้อ (ชุดควบคุม) รดน้ำให้มีความชื้น 60 เปอร์เซ็นต์ บรรจุลงในถุงดำขนาด 30×40 นิ้ว เจาะรูระบายอากาศรอบถุง จำนวน 48 รู (Vijuksungsith *et al.*, 2016) กลับกองปุ๋ยหมักโดยใช้พลั่วมือคลุกเคล้าให้เข้ากันภายในถุง ทุก 7 วัน วัดอุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมัก ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง และค่าการนำไฟฟ้า (สัดส่วนต่อน้ำ 1:1) จนสิ้นสุดการย่อยสลาย 60 วัน วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) 5 กรรมวิธี 4 ซ้ำ แบ่งการทดลอง ดังนี้

กรรมวิธีที่ 1 สปอร์แวนดอยเชื้อ *T. harzianum* ปริมาตร 500 มิลลิลิตร

กรรมวิธีที่ 2 สปอร์แวนดอย เชื้อ *A. niger* ปริมาตร 500 มิลลิลิตร

กรรมวิธีที่ 3 สปอร์แวนดอย เชื้อ *T. harzianum* + *A. niger* ปริมาตรละ 250 มิลลิลิตร

กรรมวิธีที่ 4 สารเร่งชุปเปอร์ พด.1 ปริมาตร 500 มิลลิลิตร

กรรมวิธีที่ 5 น้ำกลั่นหนึ่งฆ่าเชื้อ (ชุดควบคุม) ปริมาตร 500 มิลลิลิตร

3. เมื่อสิ้นสุดการทดลอง สุ่มเก็บตัวอย่างของปุ๋ยหมักจากทางใบปาล์มน้ำมัน เพื่อวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้น การร่วนซุย สี และกลิ่นของปุ๋ยหมัก วิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหาร (% received weight) ได้แก่ อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน ด้วยวิธีการของ Walkley and Black (1947) ปริมาณธาตุไนโตรเจนทั้งหมด โดยวิธี Micro-Kjeldahal วิเคราะห์ปริมาณธาตุฟอสฟอรัสทั้งหมด โดยใช้ spectrophotometer และปริมาณธาตุโพแทสเซียมทั้งหมด โดยใช้วิธี flame photometry ซึ่งย่อยด้วยกรดไนตริก (HNO_3) และ เปอร์คลอริก (HClO_4) อัตรา 4:1 โดยปริมาตร (AOAC, 2000) ณ

ศูนย์ เก รี่ อ ง มี อ วิ ท ย า ศ า ส ต ร
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

1. การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในกองปุ๋ยหมัก

การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักเมื่อครบระยะเวลาการหมัก 60 วัน มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$) โดยที่ช่วง 14 วันแรกของการหมัก ชุดทดลองที่ใช้เชื้อราและสารเร่งชุปเปอร์ พด.1 อุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักสูงขึ้นอยู่ในช่วง 33.52 - 33.97 องศาเซลเซียส (ตารางที่ 1) หลังจากนั้นอุณหภูมิมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งถึงวันที่ 49 ของการหมักอุณหภูมิจะคงที่ (29.14 - 29.45 องศาเซลเซียส) เมื่อครบกำหนดระยะเวลาหมัก 60 วัน อุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักในชุดทดลองที่หมักด้วยเชื้อ *T. harzianum* ร่วมกับ *A. niger* มีอุณหภูมิต่ำสุด เท่ากับ 27.53 องศาเซลเซียส ในขณะที่การหมักด้วยสปอร์แวนดอยเชื้อ *A. niger*, สารเร่งชุปเปอร์ พด.1 และ เชื้อ *T. harzianum* กองปุ๋ยมีอุณหภูมิ เท่ากับ 27.79, 28.10 และ 28.15 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ในขณะที่การใช้น้ำกลั่นหนึ่งฆ่าเชื้อ (ชุดควบคุม) อุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ตลอดระยะเวลาการหมักอุณหภูมิอยู่ในช่วง 26.20 - 28.82 องศาเซลเซียส (ตารางที่ 1) จากการศึกษาอุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมัก พบว่า ในช่วงเริ่มต้นอุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักสูงขึ้น เนื่องจากพลังงานความร้อนที่ถูกปลดปล่อยออกมาหลังจากการย่อยสลายวัสดุอินทรีย์โดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ และคุณสมบัติการเก็บความร้อนของวัสดุอินทรีย์ ทำให้ความร้อนยังคงอยู่ไม่แพร่กระจายออกจากกองปุ๋ย ซึ่งเป็นลักษณะพิเศษของกระบวนการหมักปุ๋ย ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Kaewmorakot (2014) รายงานว่า อุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมักสัมพันธ์กับกิจกรรมการย่อยสลาย และปริมาณความชื้นภายใน

กองปุ๋ยหมัก และเมื่อสิ้นสุดการหมัก กองปุ๋ยหมักมีอุณหภูมิลดลง และเป็นที่น่าสังเกตว่าทุกกรรมวิธีอุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักลดลง (ต่ำกว่า 30 องศาเซลเซียส) ทั้งนี้เนื่องจากอุณหภูมิที่บรรจุปุ๋ยหมัก มีช่องระบายสามารถทำให้อากาศเข้าและออกได้ พลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นจึงถูกระบายออกได้ง่ายส่งผลทำให้อุณหภูมิภายในกองปุ๋ยลดลงต่ำลง (Bernal *et al.*, 2009)

2. การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดเป็นด่างในกองปุ๋ยหมัก

ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ของกองปุ๋ยหมักทุกกรรมวิธีมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น และลดลงสลับกันไป และเมื่อสิ้นสุดการหมัก 60 วัน พบว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$) โดยกรรมวิธีที่ใช้น้ำกลั่นนิ่งฆ่าเชื้อ (ชุดควบคุม) ปุ๋ยหมักมีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง เท่ากับ 7.42 ซึ่งสภาพเป็นเบสอ่อน ในขณะที่ชุดทดลองที่หมักด้วยเชื้อ *T. harzianum*, สารเร่งซูเปอร์ พด.1, เชื้อ *T. harzianum* ร่วมกับ *A. niger* และ *A. niger* มีสภาพเป็นกลาง ค่าความเป็นกรดเป็นด่างเท่ากับ 7.22, 7.11, 7.10 และ 7.05 ตามลำดับ (ตารางที่ 2) โดยทั่วไปในช่วงแรกของการย่อยสลายปุ๋ยหมัก จุลินทรีย์จะผลิตกรดสำหรับการเจริญเติบโต และปุ๋ยหมักที่ไม่ย่อยสลายจะมีสภาพที่เป็นกรด เมื่อมีกิจกรรมของจุลินทรีย์ปริมาณของกรดจะสลายตัว ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Hartz (2007) พบว่ากระบวนการของการทำปุ๋ยหมักในขั้นเริ่มต้นของการหมัก ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง จะต่ำกว่า 7.0 และเพิ่มขึ้นไปเกือบ 8.0 หรือมากกว่า ซึ่งค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่เหมาะสมของวัสดุปุ๋ยหมัก อยู่ในช่วง 6.0-8.0 ดังนั้น เมื่อวัดค่าความเป็นกรดเป็นด่างของปุ๋ยหมักจึงพบว่า ปุ๋ยหมักมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างเพิ่มขึ้นจากเมื่อเริ่มหมักปุ๋ย จากการศึกษาครั้งนี้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างในปุ๋ยทางใบปาล์มน้ำมันของทุก

กรรมวิธี อยู่ในเกณฑ์ตามประกาศกรมวิชาการเกษตร และสำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ โดยได้กำหนดไว้ว่า ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ของปุ๋ยหมัก อยู่ในช่วง 5.5-8.5 (Land Development Department, 2020a)

3. การเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้าในกองปุ๋ยหมัก

การเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้าในกองปุ๋ยหมัก มีค่าเพิ่มสูงขึ้นตามระยะเวลาที่หมัก และเมื่อครบระยะเวลาหมัก 60 วัน พบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$) โดยค่าการนำไฟฟ้าในกรรมวิธีที่หมักด้วยสารเร่งซูเปอร์ พด.1 มีค่าสูงสุดเท่ากับ 4.30 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร รองลงมา คือ การหมักด้วยเชื้อ *T. harzianum* ร่วมกับ *A. niger* และ *T. harzianum* มีค่าเท่ากับ 3.91 และ 3.88 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ตามลำดับ ในขณะที่การหมักปุ๋ยด้วยเชื้อ *A. niger* มีค่าการนำไฟฟ้าใกล้เคียงกับชุดทดลองที่ใช้น้ำกลั่นนิ่งฆ่าเชื้อ (ชุดควบคุม) เท่ากับ 3.68 และ 3.62 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 3) ผลการศึกษานี้พบว่าสอดคล้องกับ Paekum *et al.* (2014) ซึ่งศึกษาการทำปุ๋ยหมักจากผักตบชวา รายงานว่า ค่าการนำไฟฟ้าของปุ๋ยหมักผักตบชวา มีค่าอยู่ในช่วง 4.00-7.90 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ค่าการนำไฟฟ้าของปุ๋ยหมักมีความเหมาะสม เนื่องจากในกระบวนการย่อยสลาย จะมีการปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาในรูปของไอออนซึ่งพืชนำไปใช้ได้

4. ลักษณะโครงสร้างทางกายภาพของปุ๋ยหมัก

ลักษณะโครงสร้างทางกายภาพของปุ๋ยหมักเมื่อสิ้นสุดการหมัก 60 วัน พบว่า กรรมวิธีที่หมักทางใบปาล์มน้ำมันด้วยเชื้อ *T. harzianum* ร่วมกับ *A. niger* ปุ๋ยหมักที่ได้มีลักษณะเป็นสีน้ำตาล ร่วนซุย คล้ายดินมากที่สุด ในขณะที่การใช้ เชื้อ *T. harzianum*, *A. niger* และ สารเร่งซูเปอร์ พด.1 ปุ๋ยหมักมีลักษณะสีน้ำตาล แต่มีความร่วนซุยน้อยกว่า

การใช้เชื้อ *T. harzianum* ร่วมกับ *A. niger* ส่วนกรรมวิธีที่ใช้น้ำกลั่นนิ่งฆ่าเชื้อ (ชุดควบคุม) พบว่าปุ๋ยหมักมีสีน้ำตาลอ่อน และลักษณะค่อนข้างหยาบ (ภาพที่ 1) จากการศึกษาโครงสร้างของทางใบปาล์ม น้ำมันหมักในครั้งนี้ สามารถสังเกตการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพได้อย่างชัดเจน โดยพบว่าปุ๋ยหมักที่มีการใช้เชื้อรา ปุ๋ยมีสีน้ำตาลเข้ม อ่อนนุ่ม ไม่จับกันเป็นก้อน ไม่มีลักษณะเดิมของวัสดุที่นำมาใช้หมัก (ทางใบปาล์มน้ำมัน) ซึ่งมีคุณภาพดีกว่าชุดทดลองที่ใช้ น้ำกลั่นนิ่งฆ่าเชื้อ (ชุดควบคุม) เนื่องจากในกรรมวิธีที่ไม่ใช้เชื้อรา พบการเปลี่ยนสีของทางใบปาล์มน้ำมันจากสีเขียวเป็นสีน้ำตาล แต่ยังคงสภาพของวัสดุที่นำมาใช้ คือทางใบปาล์มน้ำมันอย่างชัดเจน สอดคล้องกับการศึกษาของ Sawangpanyangkura (2012) รายงานว่า ปุ๋ยหมักจากเศษอาหารจะมีสีดำคล้ำ มีขนาดเล็กลง เปื่อยและยุ่ย มีน้ำหนักเบา ที่

สำคัญคือไม่มีกลิ่นเหม็น และการศึกษาของ Packum et al. (2014) รายงานว่า ปุ๋ยหมักผักตบชวาที่ผ่านการหมักในระยะ 33 วัน เนื้อปุ๋ยหมักมีลักษณะอ่อนนุ่ม ยุ่ย ขาดง่าย มีกลิ่นคล้ายดินและสีของวัสดุหมัก มีสีน้ำตาลเข้ม ซึ่งปุ๋ยหมักจากการศึกษาในครั้งนี้ สอดคล้องกับมาตรฐานปุ๋ยหมักของสำนักงานเกษตรและถ่ายทอดเทคโนโลยีการพัฒนาที่ดิน รายงานว่า ปุ๋ยหมักที่ดีต้องมีสีเข้มจนเป็นสีน้ำตาลเข้มถึงดำ เศษวัสดุที่ใช้หมักจะยุ่ยและขาดออกได้ง่าย ไม่แข็งกระด้าง เช่นเดียวกับการใช้สารเร่งซูปเปอร์ พด.1 (Land Development Department, 2020a,b) ดังนั้นปุ๋ยหมักที่ได้จากการใช้เชื้อราย่อยสลายในครั้งนี้ จึงมีคุณสมบัติที่เหมาะสม ทั้งปริมาณธาตุอาหาร ลักษณะโครงสร้างทางกายภาพ และสามารถนำไปใช้ในการทำปุ๋ยหมักจากทางใบปาล์มน้ำมันได้เป็นอย่างดี



ภาพที่ 1 ลักษณะของปุ๋ยหมักแต่ละกรรมวิธี เมื่อครบระยะเวลาหมัก 60 วัน

ก. สปอร์แวนดอยเชื้อ *T. harzianum*

ข. สปอร์แวนดอยเชื้อ *A. niger*

ค. สปอร์แวนดอยเชื้อ *T. harzianum* ร่วมกับ *A. niger*

ง. สารเร่งซูปเปอร์ พด.1

จ. น้ำกลั่นนิ่งฆ่าเชื้อ (ชุดควบคุม)

5. อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด และโพแทสเซียมทั้งหมด

จากผลการศึกษาอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของปุ๋ยหมัก พบความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$) เมื่อสิ้นสุดการหมัก 60 วัน พบว่า การใช้สารเร่งชุปเปอร์ พด.1 ทำให้ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน สูงสุด เท่ากับ 18.08 รองลงมาคือ น้ำกลั่นนึ่งฆ่าเชื้อ (ชุดควบคุม), การใช้เชื้อรา *T. harzianum* ร่วมกับ *A. niger*, *A. niger* และ *T. harzianum* เท่ากับ 16.05, 14.44, 13.78 และ 9.75 ตามลำดับ (ตารางที่ 4) สำหรับอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของปุ๋ยหมัก จากการศึกษาในครั้งนี้ มีอยู่ระหว่าง 9.75-18.08 ซึ่งเหมาะสมต่อการนำไปใช้กับพืช เนื่องจากมีค่าคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำกว่า 20:1 ส่งผลให้กระบวนการย่อยสลายของจุลินทรีย์เกิดขึ้นได้เร็ว การลดลงของอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของไนโตรเจนประกอบกับการลดลงของอินทรีย์คาร์บอนของวัสดุหมัก ซึ่งเกิดจากการย่อยสลายและสูญเสียไปในรูปคาร์บอนไดออกไซด์ เช่นเดียวกับการศึกษาการหมักปุ๋ยขี้เลื่อยผสมกับมูลสุกร (Huang *et al.*, 2004) การย่อยสลายปุ๋ยหมักจากขี้หม้อกรอง (Meunchang *et al.*, 2005) และการหมักปุ๋ยจากทะลายปาล์มน้ำมัน (Kananum, 2009)

สำหรับปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด และโพแทสเซียมทั้งหมด ในกองปุ๋ยหมัก เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า ปริมาณธาตุไนโตรเจนทั้งหมด มีค่าเพิ่มสูงขึ้นทุกชุดทดลอง ไม่พบความแตกต่างทางสถิติ โดยปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด เมื่อเริ่มทดลองเท่ากับ 1.38 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อสิ้นสุดการหมัก 60 วัน พบว่า การใช้สารเร่งชุปเปอร์ พด.1 ทำให้ความเข้มข้นของไนโตรเจนทั้งหมดสูงสุดเท่ากับ 2.20 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ

การหมักด้วยเชื้อ *A. niger*, *T. harzianum* และการใช้เชื้อ *T. harzianum* ร่วมกับ *A. niger* ปุ๋ยหมักมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด เท่ากับ 2.18, 2.16 และ 2.15 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในขณะที่กรรมวิธีที่ใช้น้ำกลั่นนึ่งฆ่าเชื้อ (ชุดควบคุม) มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดน้อยที่สุด เท่ากับ 1.87 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 4)

ส่วนปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด เมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมัก 60 วัน พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ทุกกรรมวิธีมีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดเพิ่มขึ้น โดยการใช้เชื้อ *T. harzianum* ร่วมกับ *A. niger* ฟอสฟอรัสทั้งหมดมีค่าสูงสุด เท่ากับ 0.36 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ การหมักด้วยสารเร่งชุปเปอร์ พด.1, *T. harzianum* และ *A. niger* มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดเท่ากับ 0.35, 0.34 และ 0.33 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในขณะที่กรรมวิธีที่ใช้น้ำกลั่นนึ่งฆ่าเชื้อ (ชุดควบคุม) มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดน้อยที่สุด เท่ากับ 0.29 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 4) ทั้งนี้ ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสที่เพิ่มขึ้นเนื่องมาจากมวลที่มีปริมาณที่ลดลง

ในขณะที่โพแทสเซียมทั้งหมด เมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมัก 60 วัน พบว่า มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$) ซึ่งโพแทสเซียมทั้งหมดมีปริมาณเริ่มต้น เท่ากับ 0.75 เปอร์เซ็นต์ โดยกรรมวิธีที่หมักด้วยเชื้อ *T. harzianum* ร่วมกับ *A. niger* มีค่าความเข้มข้นของโพแทสเซียมทั้งหมดสูงสุดเท่ากับ 2.49 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ การหมักด้วยเชื้อ *A. niger*, *T. harzianum* และสารเร่งชุปเปอร์ พด.1 มีปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด เท่ากับ 2.44, 2.14 และ 2.03 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในขณะที่กรรมวิธีที่ใช้น้ำกลั่นนึ่งฆ่าเชื้อ (ชุดควบคุม) มีปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดน้อยที่สุด เท่ากับ 1.74 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 4) เมื่อนำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ธาตุต่างๆ ของปุ๋ยหมักจากทางใบปาล์ม

น้ำมันมาเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยหมักของกรมวิชาการเกษตร (ตารางที่ 5) พบว่าไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด และโพแทสเซียมทั้งหมด จากปุ๋ยหมักทางไบโพลัมน้ำมัน มีค่าใกล้เคียงกับปุ๋ยหมักมาตรฐานของกรมวิชาการเกษตร (Land Development Department, 2020a,b)

Gunnarsson and Marstorp (2002) รายงานว่าปริมาณฟอสฟอรัส (P_2O_5) และ โพแทสเซียม (K_2O) ของปุ๋ยหมักที่มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมัก เนื่องจากการเกิดกระบวนการตรึง (immobilization) และ การปลดปล่อย (mineralization) ของธาตุอาหารในปุ๋ยหมัก (การเปลี่ยนรูปของธาตุอาหารจากอินทรีย์เป็นอนินทรีย์ โดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ทำให้พืชสามารถดูดไปใช้ได้) ในกรณีที่อัตราการตรึงสูงกว่าการปลดปล่อย ปริมาณธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ในปุ๋ยหมักจะลดลง แต่ถ้าอัตราการเกิดการตรึงต่ำกว่าการปลดปล่อย ปริมาณธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ในปุ๋ยหมักจะเพิ่มขึ้น สำหรับปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่มีค่าเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะในกรรมวิธีที่ใช้เชื้อราพบว่า ไนโตรเจนทั้งหมดเมื่อเริ่มทดลอง เท่ากับ 1.38 เปอร์เซ็นต์ เมื่อครบ 60 วัน ไนโตรเจนทั้งหมดเพิ่มขึ้นเป็น 2.15-2.22 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าเชื้อราสามารถตรึงไนโตรเจนได้จึงทำให้ไนโตรเจนทั้งหมดเพิ่มขึ้นได้ นอกจากนี้ความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจนที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อซากพืชย่อยสลายนานขึ้น เนื่องจากมวลของวัสดุเพาะลดลง (Seephueak, 2012) ในกรณีของฟอสฟอรัส เมื่อสิ้นสุดการหมัก 60 วัน พบว่า มีปริมาณเพิ่มขึ้นทุกชุดทดลองเช่นเดียวกับปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด โดยกรรมวิธีที่ใช้เชื้อรา ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด มีค่าเท่ากับ 0.15 เปอร์เซ็นต์ เพิ่มขึ้นเป็น 0.33-0.36 เปอร์เซ็นต์ และกรรมวิธีที่ใช้สารเร่งจุลินทรีย์ พด.1 มีค่าเท่ากับ 0.35 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้เนื่องจากในระหว่าง

กระบวนการหมัก ฟอสฟอรัสจะไม่มีการสูญเสียโดยการระเหย แต่จะสูญเสียฟอสฟอรัสปริมาณเล็กน้อยในการละลายน้ำ ซึ่งปกติฟอสฟอรัสจะสามารถตกตะกอนให้กลายเป็นของแข็งที่ละลายน้ำได้ยาก ทำให้ฟอสฟอรัสมีปริมาณที่เพิ่มขึ้น หรือน้ำหนักของกองปุ๋ยหมักลดลง ทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดเพิ่มสูงขึ้น (Yamada and Kawase, 2005)

นอกจากนี้ ในกระบวนการหมักปุ๋ยจะมี เอนไซม์ฟอสฟาเทส (phosphatases) (Dickman and Yarden, 1999) ซึ่งเอนไซม์ฟอสฟาเทส (acid phosphatase) เป็นเอนไซม์ที่ทำให้สารอินทรีย์ฟอสเฟตที่ไม่ละลายน้ำเปลี่ยนรูปเป็น สารอนินทรีย์ฟอสเฟตที่ละลายน้ำได้ โดยกระบวนการไฮโดรไลซิส (hydrolysis) ซึ่งเอนไซม์นี้สามารถทำงานได้ทั้งในเซลล์พืช (Duff et al., 1994) และในจุลินทรีย์ (Palacios et al., 2005) โดยกลุ่มของเชื้อราที่สามารถผลิตเอนไซม์แอซิดฟอสฟาเทสได้ เช่น *Aspergillus*, *Humicola* และ *Penicillium* (Boyce and Walsh, 2007) และ *T. harzianum* (Souza et al., 2016) เมื่อปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดของทุกชุดทดลองในการศึกษาค้างเพิ่มขึ้น ตามระยะเวลาการหมัก ส่งผลให้น้ำหนักของกองปุ๋ยหมักลดลง เนื่องจากอินทรีย์สารถูกย่อยสลาย และมีการสูญเสียคาร์บอนในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Yamada and Kawase, 2005) เมื่อสิ้นสุดการหมัก พบว่า ปุ๋ยทุกสูตรมีปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดเพิ่มขึ้น

จากการศึกษาในครั้งนี้ พบว่ากรรมวิธีที่ใช้เชื้อ *T. harzianum* ร่วมกับ *A. niger* มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายปุ๋ยหมักดีที่สุด ปุ๋ยหมักมีอุณหภูมิเท่ากับ 27.53 องศาเซลเซียส ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง เท่ากับ 7.10 ค่าการนำไฟฟ้า เท่ากับ 3.91 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และปริมาณธาตุอาหารตามสัดส่วนของไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด และโพแทสเซียมทั้งหมด เท่ากับ 2.15 : 0.36 : 2.49

ตามลำดับ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับการศึกษาของ Wattanajira *et al.* (2003) ซึ่งศึกษาการทำปุ๋ยหมักจากเศษใบไม้แห้งและขยะอินทรีย์ ด้วยวิธีการหมักแบบใช้ออกซิเจน พบว่า ค่าอุณหภูมิของปุ๋ยอยู่ระหว่าง 21.0-38.0 องศาเซลเซียส มีความเป็นกรดเป็นด่างระหว่าง 6.0-8.0 มีธาตุอาหารตามสัดส่วนของไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด และโพแทสเซียมทั้งหมด เท่ากับ 1.69 : 0.41 : 1.20 นอกจากนี้ การศึกษาของ Wongpankamol (2006) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของเชื้อจุลินทรีย์ในการย่อยสลายปุ๋ยหมักที่ทำจากเศษผักและเศษใบไม้แห้ง พบว่า การหมักด้วยหัวเชื้อจุลินทรีย์ DMO (development micro-organisms) มีประสิทธิภาพดีที่สุดในการย่อยสลาย โดยมีอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 21.7-22.2 องศาเซลเซียส มีความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ระหว่าง 7.7-8.0 สำหรับธาตุ

ไนโตรเจนทั้งหมด : ฟอสฟอรัสทั้งหมด : โพแทสเซียมทั้งหมด มีค่าเท่ากับ 1.26 : 0.19 : 3.30 อย่างไรก็ตามสำหรับการทดลองนี้ การทำปุ๋ยหมักจากทางใบปาล์มน้ำมันร่วมกับเชื้อรา พบว่า ปริมาณธาตุไนโตรเจนทั้งหมด และโพแทสเซียมทั้งหมดในปุ๋ยหมักมีค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานของกรมวิชาการเกษตร (เมื่อเปรียบเทียบในหน่วยเดียวกัน) อย่างไรก็ตามปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานเล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องจากในทางใบปาล์มน้ำมันมีปริมาณธาตุฟอสฟอรัสอยู่ค่อนข้างต่ำ ดังนั้น ถ้าต้องการเพิ่มปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในกองปุ๋ยหมักให้ได้ตามเกณฑ์มาตรฐาน จำเป็นต้องเติมหินฟอสเฟตลงไป ในปุ๋ยหมัก เพื่อปรับปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดให้เหมาะสมและเพียงพอต่อการนำไปใช้กับพืช

ตารางที่ 1 การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในกองปุ๋ยหมัก ในระยะเวลาการหมัก 60 วัน

กรรมวิธี	อุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมัก (องศาเซลเซียส)									
	เริ่มต้น	7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน	35 วัน	42 วัน	49 วัน	56 วัน	60 วัน
1. สปอร์แวนดอยเชื้อ <i>T. harzianum</i>	27.11	28.57 ^b	33.97 ^a	33.55 ^a	33.05 ^a	33.05 ^a	30.24 ^a	29.14 ^a	28.60 ^a	28.15 ^a
2. สปอร์แวนดอยเชื้อ <i>A. niger</i>	27.12	28.60 ^b	33.55 ^a	31.08 ^b	33.23 ^{ab}	33.00 ^a	31.30 ^a	29.45 ^a	28.29 ^a	27.79 ^{cb}
3. สปอร์แวนดอยเชื้อ <i>T. harzianum</i> ร่วมกับ <i>A. niger</i>	27.12	29.70 ^a	33.80 ^a	30.42 ^b	33.60 ^a	32.96 ^a	31.09 ^a	29.16 ^a	27.90 ^{ab}	27.53 ^{dc}
4. สารเร่งซูเปอร์ พด.1	27.11	29.75 ^a	33.52 ^a	31.00 ^b	32.14 ^b	32.87 ^a	30.11 ^{ab}	29.35 ^a	28.00 ^{ab}	28.10 ^{ab}
5. น้ำกลั่นนึ่งฆ่าเชื้อ (ชุดควบคุม)	27.12	26.20 ^c	26.77 ^b	28.82 ^c	28.70 ^c	28.76 ^b	28.48 ^b	27.25 ^b	27.63 ^b	27.41 ^d
C.V. (%)	0.02	1.64	1.49	2.15	2.13	2.97	3.60	3.41	3.04	0.73
F-test	ns	**	*	**	**	*	*	*	*	**

หมายเหตุ: * ค่าเฉลี่ยในสัปดาห์เดียวกัน ที่ตามด้วยตัวอักษรต่างกัน มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

** ค่าเฉลี่ยในสัปดาห์เดียวกัน ที่ตามด้วยตัวอักษรต่างกัน มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$)

ตารางที่ 2 ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ของปุ๋ยหมักในระหว่างการย่อยสลาย 60 วัน

กรรมวิธี	ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH)									
	เริ่มต้น	7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน	35 วัน	42 วัน	49 วัน	56 วัน	60 วัน
1. สปอร์แชนดรอยเชื้อ <i>T. harzianum</i>	7.15	7.44	7.06 ^b	7.49	7.34	7.22	6.90	6.76	7.45 ^a	7.22 ^b
2. สปอร์แชนดรอยเชื้อ <i>A. niger</i>	7.13	7.46	7.39 ^b	7.51	7.31	7.16	7.16	6.83	6.89 ^b	7.05 ^c
3. สปอร์แชนดรอยเชื้อ <i>T. harzianum</i> ร่วมกับ <i>A. niger</i>	7.14	7.18	7.60 ^a	7.81	7.21	6.82	7.23	6.61	6.75 ^b	7.10 ^c
4. สารเร่งซูเปอร์ พด.1	7.15	7.05	7.43 ^b	7.71	7.30	6.80	7.03	6.61	6.93 ^b	7.11 ^c
5. น้ำกลั่นนึ่งฆ่าเชื้อ (ชุดควบคุม)	7.15	7.16	7.41 ^b	7.47	7.31	7.04	6.99	6.57	7.37 ^a	7.42 ^a
C.V. (%)	2.79	2.81	3.25	3.35	2.55	4.09	3.51	4.51	4.13	0.72
F-test	ns	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns	**	**

หมายเหตุ: ** ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกัน ที่ตามด้วยตัวอักษรต่างกัน มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$)

ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

ตารางที่ 3 ค่าการนำไฟฟ้าในกองปุ๋ยหมักในระยะเวลาหมักปุ๋ย 60 วัน

กรรมวิธี	ค่าการนำไฟฟ้าในกองปุ๋ยหมัก (เดซิซีเมนส์ต่อเมตร)									
	เริ่มต้น	7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน	35 วัน	42 วัน	49 วัน	56 วัน	60 วัน
1. สปอร์แชนดรอยเชื้อ <i>T. harzianum</i>	0.12	1.20 ^{ab}	1.46 ^a	1.77 ^a	2.65 ^a	2.90 ^a	3.05 ^a	3.28 ^a	3.89 ^a	3.88 ^b
2. สปอร์แชนดรอยเชื้อ <i>A. niger</i>	0.13	1.30 ^{ab}	1.59 ^a	1.86 ^a	2.42 ^b	2.79 ^b	3.07 ^a	3.24 ^a	3.63 ^b	3.68 ^c
3. สปอร์แชนดรอยเชื้อ <i>T. harzianum</i> ร่วมกับ <i>A. niger</i>	0.12	1.40 ^a	1.54 ^a	1.70 ^a	2.66 ^a	2.95 ^a	3.09 ^a	3.16 ^{ab}	3.90 ^a	3.91 ^b
4. สารเร่งซูเปอร์ พด.1	0.12	1.58 ^a	1.61 ^a	1.74 ^a	2.64 ^a	2.85 ^{ab}	3.02 ^a	3.25 ^a	3.99 ^a	4.30 ^a
5. น้ำกลั่นนึ่งฆ่าเชื้อ (ชุดควบคุม)	0.12	0.86 ^b	1.11 ^b	1.26 ^b	2.16 ^c	2.32 ^c	2.79 ^b	3.06 ^b	3.65 ^b	3.62 ^c
C.V. (%)	4.45	24.43	15.11	8.16	2.87	3.23	4.24	3.15	3.44	1.69
F-test	ns	**	*	*	**	**	*	**	*	**

หมายเหตุ: * ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกัน ที่ตามด้วยตัวอักษรต่างกัน มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

** ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกัน ที่ตามด้วยตัวอักษรต่างกัน มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$)

ตารางที่ 4 ค่า C/N ratio ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด และโพแทสเซียมทั้งหมด เมื่อสิ้นสุดการหมักในระยะเวลา 60 วัน

กรรมวิธี	C/N ratio	ปริมาณธาตุอาหาร (% received weight)		
		ไนโตรเจนทั้งหมด	ฟอสฟอรัสทั้งหมด	โพแทสเซียมทั้งหมด
1. สปอร์แวนลอยเชื้อ <i>T. harzianum</i>	9.75 ^c	2.16	0.34	2.14 ^{ab}
2. สปอร์แวนลอยเชื้อ <i>A. niger</i>	13.78 ^b	2.18	0.33	2.44 ^a
3. สปอร์แวนลอยเชื้อ <i>T. harzianum</i> ร่วมกับ <i>A. niger</i>	14.44 ^{ab}	2.15	0.36	2.49 ^a
4. สารเร่งจุลเปอร พด.1	18.08 ^a	2.20	0.35	2.03 ^{ab}
5. น้ำกลั่นนึ่งฆ่าเชื้อ (ชุดควบคุม)	16.05 ^a	1.87	0.29	1.74 ^b
C.V. (%)	1.71	14.88	10.41	19.09
F-test	**	ns	ns	**

หมายเหตุ: ** ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกัน ที่ตามด้วยตัวอักษรต่างกัน มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$)

ns ไม่พบความแตกต่างทางสถิติ

ตารางที่ 5 ความเป็นกรดเป็นด่าง การนำไฟฟ้า อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด และโพแทสเซียมทั้งหมด ที่ได้จากปุ๋ยหมักจากทางไบโพลัมน้ำมัน เปรียบเทียบกับปุ๋ยหมักที่รับรองโดยกรมวิชาการเกษตร

คุณสมบัติของปุ๋ย	มาตรฐานปุ๋ยหมัก	กรรมวิธี				
		1	2	3	4	5
ความเป็นกรดเป็นด่าง	5.5 - 8.5	7.22	7.05	7.10	7.11	7.42
การนำไฟฟ้า	ไม่เกิน 10 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร	3.88	3.68	3.91	4.30	3.62
คาร์บอนต่อไนโตรเจน	ไม่เกิน 20 : 1	9.45	13.78	14.44	18.08	16.05
ไนโตรเจนทั้งหมด	ไม่น้อยกว่า 1.0 เปอร์เซ็นต์	2.16	2.18	2.15	2.20	1.87
ฟอสฟอรัสทั้งหมด	ไม่น้อยกว่า 0.5 เปอร์เซ็นต์	0.34	0.33	0.36	0.35	0.29
โพแทสเซียมทั้งหมด	ไม่น้อยกว่า 0.5 เปอร์เซ็นต์	2.14	2.44	2.49	2.03	1.74

หมายเหตุ: กรรมวิธีที่ 1 สปอร์แวนลอยเชื้อ *T. harzianum*

กรรมวิธีที่ 2 สปอร์แวนลอยเชื้อ *A. niger*

กรรมวิธีที่ 3 สปอร์แวนลอยเชื้อ *T. harzianum* ร่วมกับ *A. niger*

กรรมวิธีที่ 4 สารเร่งจุลเปอร พด.1

กรรมวิธีที่ 5 น้ำกลั่นนึ่งฆ่าเชื้อ (ชุดควบคุม)

สรุป

ปุ๋ยหมักทางใบปาล์มน้ำมันที่หมักด้วยเชื้อ *T. harzianum* ร่วมกับเชื้อ *A. niger* มีประสิทธิภาพดีที่สุด ทำให้ปุ๋ยหมักมีลักษณะโครงสร้างทางกายภาพและปริมาณธาตุอาหารคีย์ที่สุด อัตราคาร์บอนต่อไนโตรเจน เท่ากับ 14.44 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด และโพแทสเซียมทั้งหมด เท่ากับ 2.15, 0.36 และ 2.49 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย สำหรับการสนับสนุนงบประมาณในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- AOAC. 2000. **Official Method of Analysis of AOAC International (17th ed)**. The Association of Official Analytical Chemists, Virginia.
- Bernal, M.P., Albuquerque, J.A. and Moral, R. 2009. Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment a review. **Bioresource Technology** 100(22): 5444-5453.
- Boyce, A. and Walsh, G. 2007. Purification and characterization of an acid phosphatase with phytase activity from *Mucor hiemalis*. **Journal Biotechnology** 132(1): 82-87.
- Dickman, M.B. and Yarden, O. 1999. Serine/threonine protein kinase and phosphatases in filamentous fungi. **Fungal Genetic and Biology** 26(2): 99-117.
- Duff, S.M.G., Sarath, G. and Plaxton, W.C. 1994. The role of acid phosphatase in plant phosphorus metabolism. **Physiology Plant** 90(4): 791-800.
- FAO. 2011. **Oil palm fronds and oil palm crop residues**. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Available Source: <http://WWW.feedipedia.org/node.6916>, February 28, 2020.
- Gunnarsson, S. and Marstorp, H. 2002. Carbohydrate composition of plant materials determines N mineralization. **Nutrient Cycling in Agroecosystems** 62(1): 175-183.
- Hartz, T.K. 2007. **Assessing compost maturity and suitability for agricultural uses**. Available Source: <http://WWW.p2pay.org/ref/11/10513.html>, February 28, 2020.
- Huang, G.F., Wong, J.W.C., Wu, Q.T. and Nagar, B.B. 2004. Effect of C/N on composting of pig manure with sawdust. **Waste Management** 24(8): 805-813.
- Kaewmorakot, T. 2014. Production of Compost from Shallot Waste, Bone Meal and Goat Dung. Master Thesis of Soil resource management, Prince of Songkla University.
- Kananum, W. 2009. Effect of Chicken Manure, Decanter sludge and Red Soil on the Oil palm Empty Fruit Bunches Composting. Master Thesis of Environmental management, Prince of Songkla University.
- Khuna, S., Thongkled, K., Khitka, B. and Nuangmek, W. 2016. Effect of biodegrading fungal strains and composting time period on quality

- of water hyacinth compost. **Songklanakarin Journal of Plant Science** 3(suppl. 3): 1-7.
- Land Development Department. 2020a. **Soil managements data**. Available Source: http://www1.ddd.go.th/ddd/Fertilizer/Organic_Fertilizer.pdf, February 29, 2020.
- Land Development Department. 2020b. **Soil Biotechnology**. Available Source: http://WWW.ddd.go.th/ddd_en/en-US/microbial-activator-super-1dd-1/, February 28, 2020.
- Meunchang, P. 2015. **Research and development on biofertilizer, compost, organo-chemical fertilizer and agriculture decomposers production technology and analysis**. Available Source: <http://WWW.doa.go.th/research/attachment.php?aid=2214>, March 1, 2020.
- Meunchang, S., Panichsakpatana, S. and Weaver, R.W. 2005. Co-composting of filter cake and bagasse; by-products from a sugar mill. **Bioresource Technology** 96(4): 437-442.
- Office of Agricultural Economics. 2020. **Oil palm**. Available Source: http://WWW.oae_report/production_result.php, February 28, 2020.
- Packum, C., Khitka, B., Titayavan, M. and Nuangmek, W. 2014. Investigation of plant nutrient from water hyacinth compost by biodegradation with *Trichoderma* sp. isolate UPPY 19. **Khon Kaen Agricultural Journal** 42(Suppl.1): 671-676.
- Palacios, M.C., Haros, M., Rosell, C.M. and Sanz, Y. 2005. Characterization of an acid phosphatase from *Lactobacillus pentosus*: regulation and biochemical properties. **Journal Applied Microbiology** 98(1): 229-237.
- Sawangpanyangkura, T. 2012. **Production of Compost**. Wanida Printing, Chiang Mai.
- Seephueak, P. 2012. Fungi Associated with Degradation of Rubber Wood Logs and Leaf Litter. Ph.D. Dissertation in Tropical Agricultural Resource Management, Prince of Songkla University.
- Souza, A.A., Leitão, V.O., Ramada, M.H., Mehdad, A., Georg, R.D.C. and Ulhôa, C.J. 2016. *Trichoderma harzianum* produces a new thermally stable acid phosphatase, with potential for biotechnological application. **Public Library of Science** 11(3): 1-18.
- Srimongkol, P. 2009. Screening of Microorganisms for Cellulase and Xylanase Production. Master Thesis of Science in Biotechnology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang.
- Vijuksungsith, P., Verasan, J., Kaewsuwan, U., Benjawan, L. and Boonprasert, R. 2016. Use of black plastic bags as container in composting process. **Songklanakarin Journal of Plant Science** 3(1): 56-62.
- Walkley, A. and Black, I.A. 1947. Chromic acid titration method for determination of soil organic matter. **Soil Science Society of America Proceedings** 63(1): 251-255.
- Wattanajira, L., Khamkong, K., Yudi, S. and Sanohiti, S. 2003. Aerobic composting from dry leaves and solid wastes. **Thai**

- Science and Technology Journal** 11(1): 71-76.
- Wongpankamol, P. 2006. **Alternative: the efficiency of organic decomposition from residual vegetable and dry leaves by microbial activators for composting.** Available
- Source: <http://newtdc.thailis.or.th/docview.aspx?tdcid=41050>, February 28, 2020.
- Yamada, Y. and Kawase, Y. 2005. Aerobic composting of waste activated sludge: kinetic analysis for microbiological reaction and oxygen consumption. **Waste Management** 26(1): 49-61.