Science, Technology and Social Sciences Procedia 2022; 2022(4): rspg040
https://wjst.wu.ac.th/index.php/stssp

การศึกษาจุลินทรีย์ต่อคุณสมบัติของปุ๋ยหมักที่ผลิตจากเศษพืชโดยกระบวนการหมักแบบไม่กลับกอง[†]

The Study of Microbial on Properties from Plant Residual of Compost without Turning

อดิศักดิ์ มงคล[1,*], วิกาญดา สายวงค์ใจ[1], ซูไรดา เปาะอีแต[2] และ วิชญ์ภาส สังพาลี[2]
Adisak Mongkol[1,*], Vikanda Saiwongjai[1], Suraida Pohetae[2] and Witchaphart Sungpalee[2]

[1]อุทยานหลวงราชพฤกษ์ สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50100
[1]Royalparkrajapruek, Highland Research and Development Institute (Public Organization), Muang, Chiang Mai, 50100
[2]สาขาพืชไร่ คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ อำเภอสันทราย เชียงใหม่ 50290
[2]Agronomy division, Facuty of Agricultural Production, Maejo University, San Sai, Chiang Mai, 50290

[*]อีเมล: adisakmo19@gmail.com

บทคัดย่อ

ปุ๋ยหมัก (compost) คือปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้จากวัสดุอินทรีย์ที่ผ่านกระบวนการหมัก ทั้งนี้วัสดุอินทรีย์ได้แก่วัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรหรือวัชพืช สำหรับในกระบวนการทำปุ๋ยหมักอาจอาศัยจุลินทรีย์ที่มีอยู่ตามธรรมชาติหรือจุลินทรีย์ที่ผ่านการทดสอบในห้องปฏิบัติการ เพื่อช่วยในการย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ที่มีองค์ประกอบซับซ้อนให้มีขนาดเล็กลง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาแหล่งของจุลินทรีย์ที่มีผลต่อการย่อยสลายและคุณสมบัติของปุ๋ยหมักที่ผลิตแบบไม่กลับกอง ทำการศึกษา ณ อุทยานหลวงราชพฤกษ์ ต.แม่เหียะ อ.เมืองเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่ วางแผนการทดลองแบบสุ่มบล็อคสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design, RCBD) ทำการทดลอง 4 กรรมวิธี 5 ซ้ำ ได้แก่ 1) ไม่ใส่เชื้อจุลินทรีย์ (ควบคุม) 2) สารเร่งซุปเปอร์ พด.1 3) เชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายเซลลูโลส 4) น้ำหมักชีวภาพจากองุ่น ทำการศึกษาระยะเวลา 60 วัน จากการศึกษาพบว่า ปุ๋ยหมักทั้ง 4 กรรมวิธี มีคุณสมบัติด้านเคมีและปริมาณธาตุอาหารที่ไม่แตกต่างกัน ซึ่งคุณสมบัติของปุ๋ยดังกล่าวอยู่เกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร และมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมพัฒนาที่ดินกำหนด ยกเว้นปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมเท่านั้นที่มีต่ำกว่ามาตรฐานของปุ๋ยอินทรีย์ทั้งสองมาตรฐาน การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิจะสูงในช่วงเริ่มต้นและลดลงจนเสร็จสิ้นกระบวนการหมัก โดยมีอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 26.6-27.4 องศาเซลเซียส เนื่องมาจากสภาพอากาศเย็นในช่วงฤดูหนาวที่มีผลต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ ส่วนอัตราการย่อยสลายสมบูรณ์พบว่ากรรมวิธีที่ใส่เชื้อจุลินทรีย์ทั้ง 3 กรรมวิธีให้อัตราการย่อยสลายสูงกว่ากรรมวิธีที่ไม่ใส่เชื้อจุลินทรีย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยกรรมวิธีที่ใส่สารเร่งซุปเปอร์ พด.1 มีอัตราการย่อยสลายมากที่สุดและผ่านมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ที่กำหนดไว้ จากผลการศึกษาที่ระยะเวลา 60 วัน ยังไม่สามารถนำปุ๋ยหมักไปใช้ในการเกษตรได้ การใส่เชื้อจุลินทรีย์ในกระบวนการหมักจะเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่จะเพิ่มอัตราการย่อยสลายเพื่อให้ได้ปุ๋ยที่มีคุณภาพและผ่านมาตรฐานของปุ๋ยหมักตามที่กำหนด

คำสำคัญ: ปุ๋ยหมัก, จุลินทรีย์

Abstract

Compost is organic fertilizer from organic materials, organic materials are agricultural waste or weeds. The composting process in microorganisms of nature or laboratory microorganisms to help decompose complex organic materials to smaller sizes. This study for the source of microorganisms affect decomposition and properties of compost without turning. Studies in the Royal Park Rajapruek, Mae Hia, Chiang Mai. Randomized Complete Block Design (RCBD) with 4 treatments and 5 replications: 1) No microbial (control) 2) Microbial activator Super LDD 1 3) Cellulose-decomposting microbial 4) Grape juice liquid organic fertilizer. The study was conducted for 60 days. In the present study, all treatment of composting there is no difference in chemical properties and nutrient content. The properties of such fertilizers are following the organic fertilizer standards of the Department of Agriculture and organic fertilizer standards by the Department of Land Development, the phosphorus and potassium content were lower than. The temperature, the beginning is high and decreases of the end fermentation process. The temperature is between 26.6-27.4 degrees Celsius due to the cold weather that affects the activity of microorganisms. Germination index, it was found that all inoculated treatments exhibited higher decomposition than no microbial. The treatment with microbial inoculated Super LDD 1 the

[†]การประชุมวิชาการและการนำเสนอผลงาน ชมรมคณะปฏิบัติงานวิทยาการ อพ.สธ. ครั้งที่ 10 (ระหว่างวันที่ 20 - 22 กันยายน 2565 ณ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์)

highest decomposition and organic fertilizer standards. The results at 60 days compost, it cannot used in agriculture. However, the inoculated microbial increase the decomposition to quality and standards of fertilizers.
Keywords: Compost, Microorganisms

บทนำ

อุทยานหลวงราชพฤกษ์เป็นสถานที่ท่องเที่ยวสำคัญและมีชื่อเสียงของจังหวัดเชียงใหม่ เป็นแหล่งรวบรวมด้านความหลากหลายทางชีวภาพของพืช จากรายงานการศึกษาความหลากชนิดของไม้ยืนต้น อุทยานหลวงราชพฤกษ์ (2565) รายงานว่ามีพรรณไม้ยืนต้นทั้งหมด 17,709 ต้น แบ่งออกเป็น 620 ชนิด 331 สกุล 105 วงศ์ และพืชสกุลไทร (Ficus) ได้แก่ ผักเฮือด *Ficus geniculata* Kurz จำนวนต้น 299 ต้น พบว่ามีจำนวนมากที่สุดและมีรายงานการวิเคราะห์ปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนจากต้นผักเฮือด คิดเป็นผลรวมของมวลชีวภาพ (Biomass) 626,470 กิโลกรัม และผลรวมคาร์บอน (Total Carbon) กว่า 313.24 เมกกะกรัมคาร์บอนนั้น ซึ่งพรรณไม้ยืนต้นชนิดดังกล่าวในแถบเส้นศูนย์สูตรจะมีการผลัดใบซึ่งเป็นผลมาจากการลดลงของความชื้นในดิน (ลิลลี่ กาวีต๊ะ, 2559) โดยเฉพาะในช่วงเดือนธันวาคม-มีนาคม พบว่า พรรณไม้กลุ่มนี้จะผลัดใบทิ้ง ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของอดิศักดิ์ (2564) พบว่ามีขยะใบไม้แห้งในพื้นที่อุทยานหลวงราชพฤกษ์มากกว่า 218 ตัน ดังนั้นการผลิตปุ๋ยหมักจึงเป็นกระบวนการใช้ประโยชน์จากเศษพืชเหล่านี้ ในปัจจุบันการดำเนินงานของอุทยานหลวงราชพฤกษ์ด้านการผลิตปุ๋ยหมักจากขยะอินทรีย์ซึ่งในปัจจุบันคือการนำมาผลิตปุ๋ยหมัก (Compost) และการวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะเลือกใช้จุลินทรีย์มาย่อยสลายปุ๋ยหมักจากเศษพืชซึ่งกระบวนการหมักเป็นการย่อยสลายทางชีววิทยาโดยอาศัยจุลินทรีย์ (กรมวิชาการเกษตร, 2548a) เช่น แบคทีเรีย เชื้อรา ยีสต์ เป็นต้น ทำหน้าที่ย่อยสลายให้สารอินทรีย์มีขนาดเล็กลง (ฐนียา รังสีสุริยะชัย และ กุลยา สาริชีวิน, 2560) จุลินทรีย์จึงมีความสำคัญต่อการย่อยสลายสารประกอบอินทรีย์ในพืช ซึ่งสารประกอบอินทรีย์ที่พบมาก ได้แก่ เซลลูโลส รองลงมาได้แก่ เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน โปรตีน แป้ง และน้ำตาล ตามลำดับ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) เซลลูโลสจะพบได้ที่ส่วนผนังเซลล์ของพืชเป็นองค์ประกอบมากกว่าร้อยละ 30-60 โดยน้ำหนัก ซึ่งย่อยสลายได้ยาก (Alexander, 1971) โดยเชื้อจุลินทรีย์มีบทบาทเป็นผู้ย่อยสลายขยะอินทรีย์นั้น เชื้อจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการย่อยสลายเซลลูโลส ได้แก่ กลุ่มแบคทีเรียเป็นกลุ่มเชื้อที่พบมากที่สุด ได้แก่ *Streptococcus* sp., *Vibrio* sp. และ *Bacillus* sp. กลุ่มเชื้อราเป็นเชื้อจุลินทรีย์ที่ต้องการออกซิเจนในการดำรงชีวิตที่พบ ได้แก่ เชื้อราย่อยสลายเซลลูโลส เช่น *Aspergillus* sp., *Peniculium* sp., *Fusarium* sp., *Trichoderma* sp. และ *Chaetomonium* sp. และกลุ่มแอคติโนมัยซิสที่มีบทบาทสำคัญในการย่อยสลายเซลลูโลส ลิกนิน และสารประกอบที่ย่อยสลายยากอื่นๆ สกุลที่พบมาก ได้แก่ *Micromonospora* sp., *Streptomyces* sp. *Thermoactinomycetes* sp., *Actinomyces* sp. และ*Thermomonospora* sp. (สำนักเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน, 2549; ยงยุทธ โอสถสภา และคณะ, 2551) และอีกปัจจัยสำคัญสำหรับการผลิตหรือปัจจัยที่มีผลต่อการย่อยสลายและคุณภาพของปุ๋ยหมักนั้น เช่น ธรรมชาติของสารประกอบอินทรีย์ในพืช อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ของสารอินทรีย์ การระบายอากาศ อุณหภูมิ ความชื้น และความเป็นกรด-ด่าง (โสพส แซ่ลิ้ม, 2559) และกระบวนการหมักในระยะแรกแบคทีเรียจะเจริญเติบโตและขยายจำนวนอย่างรวดเร็วในอุณหภูมิที่ 50 องศาเซลเซียส ส่วนเชื้อราและแอคติโนมัยซีทจะเจริญได้ดีในช่วง 20-30 วันหลังจากการหมัก โดยจะพบเส้นใยเจริญบนกองปุ๋ย (ทิพยา กร ลิ่มทอง และคณะ, 2527) ซึ่งปัจจุบันเทคโนโลยีการผลิตหัวเชื้อเพื่อการใช้ประโยชน์มีหลากหลาย เช่น สารเร่งซุปเปอร์ พด.1 (กรมพัฒนาที่ดิน, 2556) เชื้อจุลินทรีย์ EM (Effective Microorganisms) เป็นต้น การพัฒนาและการใช้เชื้อจุลินทรีย์ชีวภาพที่มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายเศษวัสดุอินทรีย์ โดยเฉพาะเศษวัสดุที่ย่อยสลายจะเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่จะช่วยให้การผลิตปุ๋ยหมักเกิดการย่อยสลายที่รวดเร็วและได้ปุ๋ยหมักที่มีประสิทธิภาพที่จะเป็นประโยชน์ต่อเกษตรกรสำหรับใช้ในการเกษตรต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

ผลของจุลินทรีย์ต่อการย่อยสลายและคุณสมบัติของปุ๋ยหมักจากเศษพืชที่ผลิตแบบไม่กลับกอง ดำเนินงานทดลอง ณ อุทยานหลวงราชพฤกษ์ จังหวัดเชียงใหม่, ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ดินและจุลชีวิทยาทางดิน ภาควิชาพืชศาสตร์และปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ระยะเวลาในการทดลอง 60 วัน วางแผนงานทดลองแบบสุ่มบล็อคสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design, RCBD) ทำการทดลอง 4 กรรมวิธี 5 ซ้ำ จำนวน 20 หน่วยทดลอง ดังนี้ 1) กรรมวิธีควบคุม (T1) 2) สางเร่งซุปเปอร์ พด.1 (T2) 3) เชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายเซลลูโลส (T3) 4) น้ำหมักชีวภาพจากองุ่น (T4) ใช้วัสดุเศษพืชได้แก่ ใบต้นผักเฮือด โดยนำมาบดด้วยเครื่องบดย่อยใบไม้แห้งให้มีขนาด 0.5-1 เซนติเมตร ผสมกับมูลวัวในอัตราส่วน 4:1 (ธีระพงษ์ สว่างปัญญางกูร, 2558) ทดลองในกล่องไม้ขนาด 1 ลูกบาศก์เมตร ควบคุมความชื้นที่ระดับ 50-60 เปอร์เซ็นต์ ทำการวัดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิทุกๆ 7 วัน และอัตราการย่อยสลายสมบูรณ์ ด้วยวิธีทดสอบอัตราการงอกของเมล็ด (germination index) ศึกษาลักษณะสัณฐานใบผักเฮือด ทำการสุ่มใบผักเฮือด 60 ใบ เพื่อที่จะหาลักษณะ ความกว้างใบ ความยาวใบ พื้นที่ผิวใบด้วยโปรแกรม Image J และหาน้ำหนักแห้งใบ โดยที่จะอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 72 ชั่วโมง หรือจนถึงน้ำหนักแห้งคงที่ และแหล่งของเชื้อจุลินทรีย์ มีดังนี้

1) แหล่งเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายเซลลูโลส ได้จากงานศึกษาของ Kudreaung et al. (2020). Microbial decomposition of Longan leaf: II. screening of effective cellulolytic microorganisms and development of microbial product prototype for accelerating composting process. ซึ่งเป็นเชื้อกลุ่มแบคทีเรียและแอคติโนมัยซีท

2) เชื้อจุลินทรีย์ สารเร่งซุปเปอร์ พด.1 เป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพสูงในการย่อยสลายวัสดุ ประกอบด้วยเชื้อราและแอคติโนมัยซีทที่ย่อยสารประกอบเซลลูโลส และแบคทีเรียที่ย่อยไขมัน

3) น้ำหมักชีวภาพจากองุ่น กระบวนผลิตได้จากน้ำองุ่นสายพันธุ์บิวตี้ซีสเลส *Vitis vinifera* 'Beauty Seedless' กากน้ำตาล และสารเร่งซุปเปอร์ พด.2 ที่ประกอบไปด้วยเชื้อจุลินทรีย์ ดังนี้ ยีสต์ผลิตแอลกอฮอล์และกรดอินทรีย์ *Pichia* sp. แบคทีเรียผลิตกรดแลคติก *Lactobacillus* sp. แบคทีเรียย่อยสลายโปรตีน *Bacillus* sp. แบคทีเรียย่อยสลายไขมัน *Bacillus* sp. แบคทีเรียละลายอนินทรีย์ฟอสฟอรัส *Burkholderia* sp. กระบวนการหมักใช้ระยะเวลา 30 วัน

วิเคราะห์วัสดุก่อนการทดลอง และวิเคราะห์คุณสมบัติของปุ๋ยหมักหลังเสร็จสิ้นการทดลอง ด้วยการนำมาผึ่งให้แห้ง ร่อนตะแกรงขนาด 0.5 และ 2 มิลลิเมตร นำมาวิเคราะห์ ความเป็นกรด ด่าง (pH) อัตราส่วนของปุ๋ยหมักต่อน้ำเท่ากับ 1:2 โดยใช้ pH-meter, การนำไฟฟ้าของปุ๋ยหมัก (electrical conductivity, EC) วัดด้วยเครื่อง conductivity meter, ปริมาณอินทรียวัตถุ (organic matter, OM) ในปุ๋ยหมักด้วยวิธีของ Walkley and Black (เนาวรัตน์ ศิวะศิลป์, 2527) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available phosphorus, avail. P) โดยการสกัดด้วยสารละลาย Bray-II และวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV-Visible Spectrophotometer) (Bray and Kurtz, 1945) ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable potassium, exch. K) สกัดด้วยสารละลายแอมโมเนียมอะซิเตรต (NH4OAc) ความเข้มข้น 1 โมลต่อลิตร pH 7 (Helmke and Sparks, 1996) และเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Least significant difference (LSD)

ผลและอภิปรายผล

จากการศึกษาลักษณะสัณฐานใบเบื้องต้น ความยาวใบ ความกว้างใบ พื้นที่ผิวใบ และน้ำหนักแห้งใบ พบว่า ช่วงค่าเฉลี่ยความยาวใบ ความกว้างใบ พื้นที่ผิวใบ และน้ำหนักแห้งใบ ที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 มีค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกัน ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ลักษณะสัณฐานวิทยาของใบเบื้องต้น

รายการ	ค่าเฉลี่ย	95 เปอร์เซ็นต์ CI
ความยาวใบ	14.48±2.64	13.82±15.15
ความกว้างใบ	8.57±1.24	8.26±8.88
พื้นที่ผิวใบ	91.10±27.03	85.16±98.84
น้ำหนักแห้งใบ	0.98±0.30	0.91±1.06

จากผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของวัสดุก่อนการทดลองพบว่า ใบผักเฮือด และมูลสัตว์มีค่า pH เป็นกลางที่ 7.2 และ 7.44 ตามลำดับ ส่วนน้ำหมักชีวภาพจากองุ่นมีความเป็นกรดสูงที่ 3.33 ส่งผลให้ค่า EC สูงตามไปด้วยที่ระดับ 10.38 ในขณะที่ปริมาณอินทรียวัตถุในใบผักเฮือดและมูลสัตว์ใกล้เคียงกันที่ 66.27 เปอร์เซ็นต์ และ 67.25 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แต่อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของใบผักเฮือดสูงกว่ามูลสัตว์ ส่วนปริมาณธาตุอาหารในวัสดุพบว่า ไนโตรเจนสูงที่สุดในมูลสัตว์ รองลงมาได้แก่ใบผักเฮือด และน้ำหมักชีวภาพจากองุ่น ที่ 2.2 เปอร์เซ็นต์ 1.3 เปอร์เซ็นต์ และ 0.1 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนน้ำหมักชีวภาพจากองุ่นมีปริมาณฟอสฟอรัสสูงที่สุดในที่ 97.44 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณโพแทสเซียมมีปริมาณธาตุอาหารที่ใกล้เคียงกัน ในขณะที่ปริมาณธาตุอาหารเสริม ได้แก่ เหล็ก (Fe), แมงกานีส (Mn) ทองแดง (Cu) และสังกะสี (Zn) ในใบผักเฮือดและมูลสัตว์พบว่า อยู่ในปริมาณที่สูง โดยเฉพาะแมงกานีส ทองแดง และสังกะสี ยกเว้นเหล็ก ส่วนน้ำหมักชีวภาพจากองุ่นพบว่ามีเหล็ก แมงกานีส และสังกะสี อยู่ปริมาณที่สูง ยกเว้นทองแดงที่มีอยู่ในปริมาณต่ำ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 คุณสมบัติใบผักเฮือด มูลสัตว์ และน้ำหมักชีวภาพจากองุ่น ก่อนการทดลอง

วัสดุ	pH (1:5)	EC (เดซิซีเมนต่อเมตร, 1:5)	OM (เปอร์เซ็นต์)	C/N ratio	Total N (เปอร์เซ็นต์)	Total P (เปอร์เซ็นต์)	Total K (เปอร์เซ็นต์)	Ca (เปอร์เซ็นต์)	Mg (เปอร์เซ็นต์)	Fe (เปอร์เซ็นต์)	Mn (พีพีเอ็ม)	Cu (พีพีเอ็ม)	Zn (พีพีเอ็ม)
ใบผักเฮือด	7.2	1.8	67.25	30	1.3	0.41	0.44	0.54	0.22	0.04	431.38	12.21	51.02
มูลสัตว์	7.44	2.73	66.27	17.47	2.2	0.71	0.56	1.27	0.41	0.11	534.28	48.53	227.95
น้ำหมักชีวภาพจากองุ่น	3.33	10.38	4.08	-	0.1	97.44	0.23	0.07	0.04	8.83	16.26	0.14	0.88

การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักเกิดจากกิจกรรมการย่อยสลายของเชื้อจุลินทรีย์ที่มีการปลดปล่อยความร้อนออกมา ซึ่งอุณหภูมิในการหมักถือเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญสำหรับการหมักปุ๋ยในสภาวะไร้อากาศหรือการผลิตไม่กลับกอง เป็นปัจจัยที่ใช้ในการควบคุมสภาวะของการหมักและใช้ในการสังเกตความผิดปกติของการหมักด้วย (เก่งกาจ จันทร์กวีกูล และ ฐนียา รังสีสุริยะชัย, 2563) โดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ใช้น้ำตาลและสารอาหารที่ย่อยสลายง่ายอย่างรวดเร็วเป็นเหตุให้อุณหภูมิของกองปุ๋ยเพิ่มสูงกว่า 40 องศาเซลเซียส ในระยะนี้แบคทีเรียที่ชอบอุณหภูมิปานกลางจะมีมากที่สุด (โสพส แซ่ลิ้ม, 2559) ซึ่งผลของการศึกษาในช่วงเดือนธันวาคม-มกราคม มีอุณหภูมิภายนอกเฉลี่ยอยู่ที่ 18-19 องศาเซลเซียส ทำให้อุณหภูมิจากกองปุ๋ยไม่สูงมากนักและแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิแต่ละกรรมวิธีนั้นมีความใกล้เคียงกัน โดยอุณหภูมิเริ่มต้นอยู่ที่ 47.6-52.6 ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่สูงที่สุด หลังจากนั้นอุณหภูมิจะลดลง แต่หลังจากการหมัก 35 วัน พบว่ากรรมวิธีที่ใส่น้ำหมักชีวภาพจากองุ่น และสารเร่งซุปเปอร์ พด.1 มีอุณหภูมิสูงสุดที่ 34.8 และ 33.8 องศาเซลเซียส ตามลำดับ แต่ไม่แตกต่างกับกรรมวิธีควบคุม ในขณะที่กรรมวิธีที่ใส่เชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายเซลลูโลสนั้นมีอุณหภูมิต่ำที่สุดที่ 31.8 องศาเซลเซียส ซึ่งมีความแตกต่างกันในทางสถิติ หลังจากนั้นอุณหภูมิจะค่อยๆ ลดลงจนถึงเสร็จสิ้นกระบวนการหมัก ซึ่งสอดคล้องกับ ฐนียา รังสีสุริยะชัย และ กุลยา สาริชีวิน (2560) ที่ได้ศึกษาการหมักปุ๋ยจากเศษอินทรียวัตถุด้วยการเติมอากาศร่วมกับการใช้ครูดเอมไซม์ที่มีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่ 28-41 องศาเซลเซียสเท่านั้น

ตารางที่ 3 การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมัก

Treatment	อุณหภูมิภายในกองปุยหมัก (องศาเซลเซียส)									
	เริ่มต้น	7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน	35 วัน	42 วัน	49 วัน	56 วัน	60 วัน
T1	52.6±12.05	38.6±4.93	41.2±1.10	30.6±2.07	32±1.58	33.2±1.79ab	29.2±0.84	28.6±1.95	27.6±1.14	26.6± 3.58
T2	47.6±8.50	41.4±2.41	39.0±20	29.4±2.30	32.2±1.10	33.8±1.10a	29.6±1.14	27.8±1.30	26.6±1.67	26.8±0.84
T3	50.4±12.97	39.0±1.0	42.4±5.13	31.2±1.79	31.4±1.52	31.8±1.92b	29.6±1.95	28.4±1.67	27.4±1.52	27.4±1.95
T4	49.4±8.74	40.2±1.79	39.2±4.44	30.6±1.95	31.8±1.30	34.8±1.10a	30.2±1.10	28.2±1.48	27.2±1.30	27±1.22
F-test	18.84	7.73	9.39	7.33	4.39	3.86	4.89	5.55	4.65	6.56
HSD 0.05	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns

* มีความแตกต่างทางสถิติที่ P < 0.05 ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

T1 = ไม่ใส่เชื้อจุลินทรีย์ (ควบคุม), T2 = สารเร่งซุปเปอร์ พด.1, T3 = จุลินทรีย์ย่อยสลายเซลลูโลส, T4 = น้ำหมักชีวภาพจากองุ่น

หลังจากการหมักที่ 60 วันพบว่า ค่า pH ของปุ๋ยหมักนั้นอยู่ในช่วง 7.24-7.34 ซึ่งอยู่ในช่วงเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยหมักของกรมพัฒนาที่ดิน กำหนดไว้ว่า ค่า pH เหมาะสมไว้ในช่วง 5.5-8.5 (กรมพัฒนาที่ดิน, 2556) และค่า pH-ทุกกรรมวิธีไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ถึงแม้ว่าน้ำหมักชีวภาพจากองุ่นจะมีความเป็นกรดสูง แต่หลังจากการหมักพบว่า pH นั้นกลับเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากการย่อยสลายตัวของปุ๋ยหมักนั้นให้ปริมาณของอินทรียวัตถุสูงที่สามารถควบคุมการเปลี่ยนแปลง (pH buffering capacity) และรักษาระดับ pH ให้อยู่ในช่วงที่เป็นกลางได้ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีศาสตร์, 2548) นอกจากนี้การเพิ่มขึ้นของค่า pH มาจากการย่อยสลายที่มีการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ที่ทำปฏิกิริยากับน้ำส่งผลให้ปริมาณกรดอินทรีย์ในวัสดุหมักลดลง (กันยมาส คงรอด, 2545)

ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity, EC) โดยกรรมวิธีที่ใส่น้ำหมักชีวภาพจากองุ่นนั้นมีค่าการนำไฟฟ้าที่สูงกว่ากรรมวิธีอื่นๆ ที่ 0.90 เดซิซีเมนต่อเมตร เป็นผลมาจากน้ำหมักที่มีค่าการนำไฟฟ้าที่สูงอยู่แล้ว แต่อยู่ในระดับมาตรฐานของปุ๋ยอินทรีย์ที่กรมวิชาการเกษตรกำหนด ในขณะที่ค่าการนำไฟฟ้าจากกรรมวิธีอื่นๆ ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ ส่วนอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนนั้นพบว่า ทุกกรรมวิธีนั้นไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติระหว่าง 16.79-17.80

ปริมาณอินทรียวัตถุ (organic matter) เกิดจากการย่อยสลายของเศษวัสดุ โดยกรรมวิธีที่ใส่น้ำหมักชีวภาพจากองุ่นให้ปริมาณอินทรียวัตถุสูงสุด รองลงมาคือกรรมวิธีที่ใส่สารเร่งซุปเปอร์ พด.1 จุลินทรีย์ย่อยสลายเซลลูโลส และไม่ใส่เชื้อ (ควบคุม) ตามลำดับ ซึ่งปริมาณอินทรียวัตถุทั้ง 4 กรรมวิธีไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ และปุ๋ยหมักทั้ง 4 กรรมวิธีผ่านเกณฑ์มาตรฐานของปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตรกำหนด ที่ได้กำหนดไว้ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 20 (กรมวิชาการเกษตร, 2548b) และผ่านเกณฑ์มาตรฐานของปุ๋ยอินทรีย์ตามาตรฐานของกรมพัฒนาที่ดินที่กำหนดไว้ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 30 (Land Development Department, 2005)

อัตราส่วนของอินทรีย์คาร์บอนต่อไนโตรเจนทั้งหมด (C/N ratio) เป็นปัจจัยบ่งชี้ว่าในการย่อยสลายวัสดุอินทรีย์เหล่านั้นจะมีไนโตรเจนเพียงพอกับความต้องการของจุลินทรีย์และทำให้การย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ดำเนินไปอย่างมีประสิทธิภาพหรือไม่ อัตราส่วน C:N ratio ที่จัดว่าเพียงพอกับความต้องการของจุลินทรีย์อยู่ในช่วงประมาณ 20/1 ถึง 30/1 (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) จากการศึกษาพบว่า กรรมวิธีที่ใส่น้ำหมักชีวภาพจากองุ่น มีผลทำให้ C/N ratio ต่ำสุด และทุกๆกรรมวิธีค่า C/N ratio ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ และปุ๋ยหมักทั้ง 4 กรรมวิธีมีค่า C/N ratio ที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานของปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตรกำหนด และผ่านเกณฑ์มาตรฐานของปุ๋ยอินทรีย์ตามาตรฐานของกรมพัฒนาที่ดิน (Land Development Department, 2005) ที่กำหนดไว้ไม่เกิน 20:1

ตารางที่ 4 ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) การนำไฟฟ้าจำเพาะ (EC, เดซิซีเมนต่อเมตร 1:5) อินทรียวัตถุ (OM, เปอร์เซ็นต์) และอัตราส่วนของอินทรีย์คาร์บอนต่อไนโตรเจนทั้งหมด (C/N ratio) เมื่อสิ้นสุดการหมักในระยะเวลา 60 วัน

กรรมวิธี	pH	EC	OM	C/N ratio
1) ไม่ใส่เชื้อจุลินทรีย์ (ควบคุม)	7.26±0.07	0.78±0.09a	57.61±3.05	17.29±1.69
2) สารเร่งซุปเปอร์ พด.1	7.34±0.05	0.75±0.13a	60.59±2.59	17.80±0.10
3) จุลินทรีย์ย่อยสลายเซลลูโลส	7.28±0.12	0.73±0.13b	58.88±5.37	17.05±1.65
4) น้ำหมักชีวภาพจากองุ่น	7.24±0.14	0.90±0.13ab	60.79±3.19	16.79±1.12
C.V. (เปอร์เซ็นต์)	1.19	9.70	6.11	21.10
F-test	ns	*	ns	ns

* มีความแตกต่างทางสถิติที่ $P < 0.05$ และ ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

จากการศึกษาพบว่า หลังจากการหมัก 60 วัน มีปริมาณธาตุอาหารหลักดังนี้ ไนโตรเจนสูงที่สุดในกรรมวิธีการใส่น้ำหมักชีวภาพจากองุ่นที่ระดับ 2.01 รองลงมาได้แก่กรรมวิธีที่ใส่เชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายเซลลูโลส สารเร่งซุปเปอร์ พด.1 และกรรมวิธีที่ไม่ใส่เชื้อจุลินทรีย์ตามลำดับ แต่ทุกกรรมวิธีไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ส่วนธาตุฟอสฟอรัสในสารอินทรีย์มีความสำคัญต่อกระบวนการหมัก เนื่องจากจุลินทรีย์ใช้ในการเจริญเติบโต และกิจกรรมของกระบวนการย่อยสลาย ปริมาณฟอสฟอรัสของกองปุ๋ยหมักจะอยู่ในรูปของไดฟอสฟอรัสเพนตะออกไซด์ (P_2O_5) ซึ่งตามมาตรฐานปุ๋ยหมักจะมีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (P_2O_5) ไม่น้อยกว่าร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก (ธเรศ ศรีสถิต, 2558) จากการศึกษาพบว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่อยู่ระดับ 0.45 เปอร์เซ็นต์ ทุกกรรมวิธีไม่มีความแตกต่างทางสถิติ และอยู่เกณฑ์ที่ต่ำกว่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ทั้งสองมาตรฐานกำหนด ทั้งนี้รวมทั้งระดับโพแทสเซียมด้วยที่อยู่ในเกณฑ์ต่ำทุกกรรมวิธีที่ไม่ผ่านมาตรฐานของปุ๋ยอินทรีย์ โดยมีค่าช่วง 0.19-0.21 เท่านั้น

เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานของปุ๋ยอินทรีย์ตามมาตรฐานของกรมวิชาการเกษตร และมาตรฐานของกรมพัฒนาที่ดินแล้วพบว่า ปริมาณไนโตรเจนผ่านเกณฑ์มาตรฐานของปุ๋ยทั้งสองมาตรฐาน แต่ปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ไม่ต่ำกว่า 0.5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งไม่สอดคล้องกับ ซึ่งจากการศึกษาของ Kudreaung et al. (2020) พบว่าการใช้เชื้อจุลินทรีย์มีผลทำให้ธาตุอาหารในปุ๋ยหมักสูงกว่าการไม่ใส่เชื้อจุลินทรีย์

ตารางที่ 5 ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม เมื่อสิ้นสุดการหมักในระยะเวลา 60 วัน ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

กรรมวิธี	ธาตุอาหารหลัก		
	ไนโตรเจนทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์)	ฟอสฟอรัสทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์)	โพแทสเซียมทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์)
1) ไม่ใส่เชื้อจุลินทรีย์ (ควบคุม)	1.95±0.11	0.45±0.10	0.21±0.02
2) สารเร่งซุปเปอร์ พด.1	1.97±0.10	0.45±0.08	0.21±0.02
3) จุลินทรีย์ย่อยสลายเซลลูโลส	2.01±0.23	0.45±0.11	0.21±0.04
4) น้ำหมักชีวภาพจากองุ่น	2.10±0.12	0.45±0.04	0.19±0.04
C.V. (เปอร์เซ็นต์)	8.78	21.02	13.40
F-test	ns	ns	ns

ปริมาณแคลเซียม (Calcium, Ca) และแมกนีเซียม (Magnesium, Mg) ซึ่งเป็นธาตุอาหารรอง ทุกๆกรรมวิธีไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ โดยมีปริมาณแคลเซียมอยู่ระหว่าง 2.81-3.29 และปริมาณแมกนีเซียมอยู่ระหว่าง 0.48-0.52 ทองแดงจัดเป็นกลุ่มธาตุอาหารเสริมและเป็นโลหะหนัก โดยปริมาณทองแดงได้มาจากการย่อยสลายและถูกปลดปล่อยมาจากวัสดุผลิตปุ๋ยหมัก โดยการย่อยสลายของจุลินทรีย์ทำให้สารอินทรีย์โดยเฉพาะโลหะหนักคงรูปมากขึ้น (รัชกร นามกร และคณะ, 2558) จากการศึกษาพบว่าทองแดงอยู่ที่ระดับ 32.12-33.86 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ และมีปริมาณต่ำกว่าค่ามาตรฐานของปุ๋ยหมักของกรมพัฒนาที่ดิน คือ ทองแดงมีค่าต่ำกว่า 500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แมงกานีส (Manganese, Mn) และสังกะสี (Zinc, Zn) พบสูงที่สุดในกรรมวิธีที่ใส่น้ำหมักชีวภาพจากอุ่นรองลงมาได้แก่ กรรมวิธีที่ใส่จุลินทรีย์ย่อยสลายเซลลูโลส สาเร่งซุปเปอร์ พด.1 และไม่ใส่เชื้อจุลินทรีย์ (ควบคุม) ตามลำดับ และทุกกรรมวิธีไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ ปริมาณเหล็ก (Iron, Fe) จากการศึกษาพบว่า เหล็กมีแนวโน้มที่มีความเข้มข้นสูงขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากน้ำที่ให้ความชื้นในกองปุ๋ยเป็นน้ำที่ไม่ผ่านกระบวนการกรอง และมีปริมาณเหล็กสะสมมาก ทำให้หลังเสร็จสิ้นกระบวนการหมักมีเหล็กเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับคุณสมบัติของวัสดุก่อนการทดลอง โดยพบว่าความเข้มข้นของเหล็กอยู่ระหว่าง 3,550.50-5,168.79 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งในกรรมวิธีการใช้สารเร่งซุปเปอร์ พด.1 พบความเข้มข้นของเหล็กสูงที่สุด และกรรมวิธีที่ใส่น้ำหมักชีวภาพจากอุ่นมีความเข้มข้นของเหล็กต่ำที่สุด แต่ทุกกรรมวิธีไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ

ตารางที่ 6 ปริมาณธาตุอาหารรอง เมื่อสิ้นสุดการหมักในระยะเวลา 60 วัน ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

กรรมวิธี	ธาตุอาหารรอง					
	แคลเซียม (เปอร์เซ็นต์)	แมกนีเซียม (เปอร์เซ็นต์)	เหล็ก (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	แมงกานีส (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	ทองแดง (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	สังกะสี (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)
1) ไม่ใส่เชื้อจุลินทรีย์ (ควบคุม)	3.16±0.20	0.52±0.07	5,391.48±577.34	739.54±57.53	31.41±3.971	123.31±17.07
2) สารเร่งซุปเปอร์ พด.1	2.99±0.60	0.50±0.05	5,168.79±1,371.35	764.55±69.27	32.83±4.70	142.31±21.36
3) จุลินทรีย์ย่อยสลายเซลลูโลส	2.81±0.31	0.48±0.04	4,369.53±1,779.34	766.01±65.82	33.86±6.58	149.99±43.46
4) น้ำหมักชีวภาพจากอุ่น	3.29±0.40	0.51±0.02	3,550.50±1,066.35	779.39±17.78	32.12±4.94	152.96±26.40
C.V. (เปอร์เซ็นต์)	11.54	10.05	27.50	8.45	14.85	18.52
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns

การวิเคราะห์การย่อยสลายที่สมบูรณ์ (germination index: GI) ของปุ๋ยหมักใช้วิธีการทดสอบดัชนีการงอก ของเมล็ดผักกาด ใช้ตัวอย่างปุ๋ยด้วยน้ำกลั่นในอัตราส่วนปุ๋ย:น้ำ เท่ากับ 1:10 เขย่าที่ความเร็ว 180 ครั้งต่อนาที นาน 1 ชั่วโมง กรองตัวอย่างด้วยกระดาษกรองแล้วนำสารละลายที่ได้ไปทดสอบอัตราการงอกของเมล็ดผักในจานเพาะ โดยคำนวณ ดังนี้

$$\text{อัตราการงอกของเมล็ดพืชจากสูตรดัชนีการงอก (เปอร์เซ็นต์)} = \frac{(\text{เปอร์เซ็นต์ จน.เมล็ดที่งอกในชุดทดลอง} \times \text{ความยาวรากในชุดทดลอง})}{(\text{เปอร์เซ็นต์ จน.เมล็ดที่งอกในชุดควบคุม} \times \text{ความยาวรากในชุดควบคุม})} \times 100$$

ในกระบวนการหมักหรือการย่อยสลายที่ยังไม่สมบูรณ์นั้นจะเกิดสารประกอบที่ไม่เสถียร (Intermediate compounds) เช่น แอมโมเนียอิสระ กรดอินทรีย์ หรือสารประกอบที่ละลายน้ำอื่นๆ ซึ่งจะมีความเป็นพิษต่อพืช คือ ไปยับยั้งการงอกของเมล็ดและการเจริญเติบโตของราก (ลักขณา เบ็ญจวรรณ์ และคณะ, 2558) จากการศึกษาอัตราการย่อยสลายที่สมบูรณ์ (GI) พบว่า กรรมวิธีที่ไม่ใส่เชื้อจุลินทรีย์ (ควบคุม) น้อยที่สุด ในกรรมวิธีที่ใส่จุลินทรีย์ย่อยสลายเซลลูโลส สารเร่งซุปเปอร์ พด.1 และน้ำหมักชีวภาพจากอุ่น ให้อัตราการย่อยสลายสมบูรณ์ที่แตกต่างกันในทางสถิติ ในการศึกษาดังกล่าวพบว่ามีเพียงกรรมสารเร่งซุปเปอร์ พด.1 เท่านั้นที่มีอัตราการย่อยสลายสมบูรณ์มากกว่าร้อยละ 80 ซึ่งผ่านมาตรฐานของปุ๋ยอินทรีย์ตามที่กรมวิชากรเกษตรกำหนดดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ค่าเปอร์เซ็นต์การงอกเมล็ดผักกาดหอม ในน้ำสกัดปุ๋ยหมักที่ความเข้มข้นอัตราส่วน 1:10

กรรมวิธี	ดัชนีการงอกของเมล็ด
1) ไม่ใส่เชื้อจุลินทรีย์ (ควบคุม)	56.00±19.44ab
2) สารเร่งซุปเปอร์ พด.1	80.00±19.41a
3) จุลินทรีย์ย่อยสลายเซลลูโลส	74.0±18.88ab
4) น้ำหมักชีวภาพจากองุ่น	70.0±30.12ab
F-test	*
C.V. (เปอร์เซ็นต์)	24.52

สรุปผล

การศึกษาผลของจุลินทรีย์ต่อการย่อยสลายและคุณสมบัติของปุ๋ยหมักที่ผลิตแบบไม่กลับกอง ที่ระยะเวลา 60 วัน โดยนำใบผักเฮือดผสมกับมูลวัวและใช้จุลินทรีย์จากแหล่งที่มาแตกต่างกัน ได้แก่ กรรมวิธีที่ไม่ใส่เชื้อจุลินทรีย์ ใส่สารเร่งซุปเปอร์ พด.1, เชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายเซลลูโลส และน้ำหมักชีวภาพจากองุ่น พบว่าจุลินทรีย์ที่ใช้นำมาย่อยสลายปุ๋ยหมักใบผักเฮือดที่ผลิตแบบไม่กลับกองทุกกรรมวิธีไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของจุลินทรีย์นั้น ระยะเวลาในการทำปุ๋ยหมักเป็นปัจจัยสำคัญส่งผลต่อการทำงานของจุลินทรีย์ จึงทำให้ปุ๋ยหมักย่อยสลายได้น้อย โดยระยะเวลาการทำปุ๋ยหมักที่ 60 วันนั้น ทำให้จุลินทรีย์แต่ละชนิดมีอัตราการย่อยสลายไม่แตกต่างกัน ในทุกกรรมวิธีเกิดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมัก ซึ่งพบว่า กองปุ๋ยหมักมีอุณหภูมิลดลงและสูงขึ้นในช่วง 14 วันแรกหลังการหมัก และหลังจากการหมักไปแล้ว 35 วัน พบว่าอุณหภูมิลดลง ทำให้เห็นว่าการทำงานของจุลินทรีย์ในทุกกรรมวิธีมีการย่อยสลายไม่แตกต่างกัน โดยทั่วไปแล้วนั้นจุลินทรีย์จะทำงานได้ดีเมื่อมีอุณหภูมิสูง นอกจากนั้นปริมาณธาตุอาหารและความเป็นกรดด่างที่ได้จากการวิเคราะห์จากปุ๋ยหมัก พบว่าทุกกรรมวิธีไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติเช่นเดียวกัน ส่งผลให้ปุ๋ยหมักใบผักเฮือดเกิดการย่อยสลายไม่สมบูรณ์ทั้งหมด ทำให้ระดับธาตุอาหารบางกลุ่มยังไม่สามารถถูกปลดปล่อยออกมาจากเศษวัสดุอินทรีย์ รวมทั้งมีผลต่อคุณสมบัติของปุ๋ยด้านอื่นๆ ที่ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ หากมีการศึกษาเพิ่มเติมโดยเพิ่มระยะเวลาการหมักให้นานขึ้น จะทำให้เห็นถึงระดับการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและคุณสมบัติด้านที่มีความแตกต่างกันมากขึ้น

ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยเรื่องการศึกษาจุลินทรีย์ต่อคุณสมบัติของปุ๋ยหมักที่ผลิตจากเศษพืชโดยการกระบวนการหมักแบบไม่กลับกอง มีระยะเวลาในการศึกษาที่ 60 วัน ซึ่งทำให้การย่อยสลายไม่สมบูรณ์ทั้งหมด ทำให้ระดับธาตุอาหารบางกลุ่มยังไม่สามารถถูกปลดปล่อยออกมาจากเศษวัสดุอินทรีย์ รวมทั้งมีผลต่อคุณสมบัติของปุ๋ยด้านอื่นๆ ที่ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ หากมีการศึกษาเพิ่มเติมโดยเพิ่มระยะเวลาการหมักให้นานขึ้น จะทำให้เห็นถึงระดับการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและคุณสมบัติด้านที่มีความแตกต่างกันมากขึ้น รวมทั้งการศึกษาในครั้งนี้ทำในช่วงฤดูหนาวของภาคเหนือที่มีอุณหภูมิ ที่มีผลต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ทำให้อัตราการย่อยสลายเกิดขึ้นน้อยเมื่อพิจารณาถึงปัจจัยทางด้านอุณหภูมิที่มีผลต่อการทำงานของจุลินทรีย์ ควรมีการศึกษาในช่วงแต่ละฤดูมิอากาศที่แตกต่างกันและนำมาเปรียบเทียบถึงผลการทำงานของจุลินทรีย์ต่อการย่อยสลาย

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยเรื่องการศึกษาจุลินทรีย์ต่อคุณสมบัติของปุ๋ยหมักที่ผลิตจากเศษพืชโดยการกระบวนการหมักแบบไม่กลับกอง สามารถดำเนินการจนประสบความสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์และสนับสนุนเป็นอย่างดียิ่งจาก ดร.อาณดา นิรันตรายกุล ผู้อำนวยการอุทยานหลวงราชพฤกษ์ ที่สนับสนุนงบประมาณและสถานที่ในการดำเนินการวิจัย จนกระทั่งการวิจัยครั้งนี้สำเร็จเรียบร้อยด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ และขอขอบพระคุณคณะอาจารย์ คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ให้คำปรึกษาในการวางแผนดำเนินงานวิจัย วิเคราะห์ข้อมูล และตรวจสอบแก้ไขความถูกต้อง รวมถึงขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ กลุ่มงานวิชาการและการเรียนรู้ อุทยานหลวงราชพฤกษ์ และนักศึกษามหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ให้ความช่วยเหลือในการเก็บบันทึกข้อมูลจนเสร็จลุล่วงด้วยดี สุดท้ายนี้ผู้วิจัยหวังว่างานวิจัยฉบับนี้คงเป็นประโยชน์สำหรับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง และผู้ที่สนใจศึกษาต่อไป

บรรณานุกรม

กันยมาส คงรอด. (2545). *ภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตปุ๋ยหมักจากกากตะกอนน้ำทิ้งชุมชนและชานอ้อย* (รายงานผลการวิจัย). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยมหิดล.

กรมวิชาการเกษตร. (2548a). *ประกาศกรมวิชาการเกษตร: เรื่องมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2548*. https://www.doa.go.th/ard/wp-content/uploads/2019/11/FEDOA11.pdf

กรมวิชาการเกษตร. (2548b). *คู่มือการวิเคราะห์ปุ๋ยอินทรีย์*. กรุงเทพฯ: กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

กรมพัฒนาที่ดิน. (2556). *ยุทธศาสตร์กรมพัฒนาที่ดินในช่วงแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับที่ 11 (พ.ศ. 2555 - 2559) ฉบับปรับปรุง ณ วันที่ 18 มกราคม 2556* (น. 1-44). กรุงเทพฯ: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

เก่งกาจ จันทร์กวีกูล และ ฐนียา รังสีสุริยะชัย. (2563). *การผลิตปุ๋ยหมักจากเศษอาหารช้างร่วมกับมูลช้างและการมูลหมักด้วยวิธีการหมักแบบไร้อากาศ* (น. ENV02-1-ENV02-6). ใน การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 25. ชลบุรี: วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์.

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีศาสตร์. (2548). *ปฐพีเบื้องต้น.* กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เนาวรัตน์ ศิวะศิลป์. (2527). *การปฏิบัติการวิเคราะห์ ดิน และ พืช.* เชียงใหม่: ภาควิชาปฐพีศาสตร์และอนุรักษศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ฐนียา รังสีสุริยะชัย และ กุลยา สาริชีวิน. (2560). *การศึกษาการหมักปุ๋ยจากเศษอินทรียวัตถุด้วยการเติมอากาศร่วมกับการใช้ครูดเอมไซม์. วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชมงคลธัญบุรี, 16*(2), 1-12.

ธเรศ ศรีสถิต. (2558). *วิศวกรรมการจัดการมูลฝอยชุมชน.* กรุงเทพฯ: วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย.

ธีระพงษ์ สว่างปัญญางกูร. (2558). *การผลิตปุ๋ยอินทรีย์ปริมาณมากแบบไม่พลิกกลับกอง. https://ka.mahidol.ac.th/ClinicTechnology/file/techBook/%E0%B8%84%E0%B8%B9%E0%B9%88%E0%B8%A1%E0%B8%B7%E0%B8%AD%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B8%9C%E0%B8%A5%E0%B8%B4%E0%B8%95%E0%B8%9B%E0%B8%B8%E0%B9%8B%E0%B8%A2%E0%B8%AB%E0%B8%A1%E0%B8%B1%E0%B8%81%E0%B9%81%E0%B8%9A%E0%B8%9A%E0%B9%84%E0%B8%A1%E0%B9%88%E0%B8%9E%E0%B8%A5%E0%B8%B4%E0%B8%81%E0%B8%81%E0%B8%AD%E0%B8%87%202558.pdf*

ทิพยากร ลิ่มทอง, วรรณลดา สุนันทพงศ์ศักดิ์, เสียงแจ่ว พิริยพฤนต์, และ ประโสด ธรรมเขต. (2527). *การแยกและคัดเลือกเชื้อจุลินทรีย์จากธรรมชาติเพื่อใช้เป็นสารตัวเร่งในการทำปุ๋ยหมัก รายงานวิชาการประจำปี 2527* (น. 329-341). กรุงเทพฯ: กองอนุรักษ์ดินและน้ำ.

ยงยุทธ โอสถสภา, อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์, และ ชวลิต ฮงประยูร. (2551). *ปุ๋ยเพื่อการเกษตรยั่งยืน*. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

รัชกร นามกร, สุเทพ ศิลปานันทกุล, พิศิษฐ์ วัฒนสมบูรณ์, และ ธวัช เพชรไทย. (2558). การผลิตปุ๋ยหมักร่วมจากกากตะกอนน้ำทิ้ง. *วารสารการพัฒนาชุมชนและคุณภาพชีวิต, 3*(1), 95-103.

ลักขณา เบ็ญจวรรณ์, ปิยะรัตน์ วิจักขณ์สังสิทธิ์, ทัศนีย์ ชัยคงดี, และ โยธกา รัตนวงศ์. (2558). *การเปรียบเทียบลักษณะสมบัติและดัชนีการงอกของเมล็ดพืชของปุ๋ยหมักจากพืชน้ำ 3 ชนิด* (น. 1793-1803). ใน การประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 12. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ลิลลี่ กาวีต๊ะ. (2559). *โครงสร้างพืช*. https://sis.ku.ac.th/wp-content/uploads/2018/08/Plant-Structure.pdf

โสพส แซ่ลิ้ม. (2559). *ปุ๋ยอินทรีย์และการใช้ประโยชน์ในประเทศไทย* (รายงานผลการวิจัย). กรุงเทพฯ: กรมพัฒนาที่ดิน.

สำนักเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน. (2549). *การใช้ปุ๋ยพืชสด เพื่อการเกษตรและการผลิตเมล็ดพันธุ์*. กรุงเทพฯ: กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

อดิศักดิ์ มงคล. (2564*). รายงานผลปฏิบัติงานด้านการจัดการทรัพยากรดินและการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ อุทยานหลวงราชพฤกษ์สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) ปี 2559-2564* (น. 1-32). จังหวัดเชียงใหม่: สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน).

อุทยานหลวงราชพฤกษ์. (2565). *โครงการศึกษาและวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและชีวภาพของพรรณไม้ภายอุทยานหลวงราชพฤกษ์ ระยะที่สอง* (น. 49). เชียงใหม่: สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน).

Alexander, M. (1971). *Introduction to soil microbiology*. New York: Wiley.

Bray, R. H., & Kurtz, L. T. (1945). Determination of total organic and available forms of phosphorus in soils. *Soil Science, 59*(4), 39-45.

Department of Agriculture. (2008). *Manual of organic fertilizer analysis.* Bangkok: Department of Agriculture.

Helmke, P. A., & Sparks, D. L. (1996). *Lithium, sodium, potassium, rubidium, and cesium* (pp. 551-574). *In*: Sparks, D. L., Page, A. L., Helmke, P. A., Loeppert, R. H., Soltanpour, P. N., Tabatabai, M. A., Johnston, C. T., & Sumner, M. E. (Eds.). Methods of soil analysis: Part 3 chemical methods. Wisconsin, USA: Soil Science Society of America and American Society of Agronomy.

Kudreaung, P., Yupa, C., Kawiporn, C., Fapailin, C., & Arawan, S. (2020). Microbial decomposition of Longan leaf: II. screening of effective cellulolytic microorganisms and development of microbial product prototype for accelerating composting process. *Asia-Pacific Journal of Science and Technology, 25*(3), APST-25-03-07.

Land Development Department. (2005). *Compost*: *Thai agricultural standard TAS 9503 – 2005*. Thailand: National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards.