Journal of Agri. Research & Extension 42(3): 103-116

ชีวนวัตกรรมการผลิตวัสดุปรับปรุงดินจากก้อนเชื้อเห็ดนางฟ้าเก่าหมักร่วมกับวัสดุอินทรีย์เหลือทิ้งทางการเกษตรโดยใช้เอนโดไฟติกแบคทีเรียเป็นหัวเชื้อ

Bio-innovative Production of Soil Amendment from Spent Oyster Mushroom Substrates Co-fermented with Agricultural Organic Waste Using Endophytic Bacteria as Inoculant

ณัฐพร จันทร์ฉาย* สร้อยฟ้า ดิษคำเหมาะ และจุฑามาศ คำนาน

Nuttaporn Chanchay*, Soifar Diskhommao and Jutamas Kamnan

สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพทางอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ แพร่ 54140

Agro-Industrial Biotechnology, Maejo University Phrae Campus, Maejo University, Phrae, Thailand 54140

*Corresponding author: nuttapornchanchay@gmail.com

Received: *September 15, 2023*

Revised: *May 06, 2025*

Accepted: *June 06, 2025*

Abstract

Bio-innovative production of soil amendment from spent oyster mushroom substrates co-fermented with agricultural organic waste using endophytic bacteria as inoculants helped to shorten the time it takes for soil amendments to occur and to produce an effective soil amendment formula. Bio-innovative production of soil amendment materials from spent oyster mushroom substrates co-fermented with agricultural organic waste, using two endophytic nitrogen-fixing bacterial strains: *Pseudoxanthomonas spadix* MJUP08 and *Novosphingobium* sp. MJUP_r9. Five levels of spent oyster mushroom substrates (50, 60, 70, 80, and 90%) were tested over a fermentation period of 35 days. The optimal formulation contained 80% spent mushroom substrate, 6% coffee husks, 6% corn fodder dust, 7% cow manure and 7% molasses diluted with water at a 1:20 ratio, totaling 10 liters with 60% moisture content. A 10% inoculum of both bacterial strains was applied. This formula resulted in the chemical of the soil amendment, with nitrogen (N_2), phosphorus (P_2O_5), and potassium (K_2O) contents of 0.34, 0.15, and 0.84%, respectively.

Keywords: bio-innovative, soil amendments, spent oyster mushroom, endophytic bacteria fodder corn dust

บทคัดย่อ

ชีวนวัตกรรมการผลิตวัสดุปรับปรุงดินจากก้อนเชื้อเห็ดนางฟ้าเก่าหมักร่วมกับวัสดุอินทรีย์เหลือทิ้งทางการเกษตรโดยใช้เอนโดไฟติกแบคทีเรียเป็นหัวเชื้อ เป็นการหมักวัสดุปรับปรุงดินจากวัสดุเหลือทิ้งร่วมกับชีวนวัตกรรมการใช้จุลินทรีย์ตรึงไนโตรเจน เพื่อช่วยย่นระยะการเกิดวัสดุปรับปรุงดินให้เร็วขึ้น และเพื่อผลิตสูตรของวัสดุปรับปรุงดินที่มีประสิทธิภาพได้ พบว่าก้อนเชื้อเห็ดนางฟ้าเก่าหมักร่วมกับวัตถุดิบอินทรีย์เหลือทิ้งทางการเกษตรโดยใช้เอนโดไฟติกแบคทีเรีย *Pseudoxanthomonas spadix* MJUP08 และ *Novosphingobium* sp. MJUP_r9 โดยใช้ปริมาณก้อนเห็ดนางฟ้าเก่าจำนวน 5 ระดับ ที่แตกต่างกัน (50, 60, 70, 80 และ 90 เปอร์เซ็นต์) หลังจากหมักเป็นเวลา 35 วัน ผลการศึกษาพบว่า สูตรที่ใช้ปริมาณก้อนเชื้อเห็ดนางฟ้าเก่าที่ร้อยละ 80 หมักร่วมกับเปลือกกาแฟร้อยละ 6 ฝุ่นข้าวโพดอาหารสัตว์ร้อยละ 6 มูลโคร้อยละ 7 กากน้ำตาลเจือจางกับน้ำ 1 ต่อ 20 ส่วน ที่ปริมาณ 10 ลิตร (ความชื้นร้อยละ 60) โดยใช้จุลินทรีย์ตรึงไนโตรเจนเป็นหัวเชื้อทั้ง 2 สายพันธุ์ ร้อยละ 10 มีสมบัติทางเคมีของวัสดุปรับปรุงดินเบื้องต้น ได้แก่ N_2, P_2O_5 และ K_2O เท่ากับร้อยละ 0.34, 0.15 และ 0.84 ตามลำดับ

คำสำคัญ: ชีวนวัตกรรม วัสดุปรับปรุงดิน ก้อนเชื้อเห็ดนางฟ้าเก่า เอนโดไฟติกแบคทีเรีย ฝุ่นข้าวโพดอาหารสัตว์

คำนำ

ความอุดมสมบูรณ์ของดินทางการเกษตรกรรมมีความสำคัญยิ่งต่อการเพิ่มผลผลิต และด้วยจำนวนประชากรทั่วโลกที่มีมากกว่า 7 พันล้านคน ทำให้มีความต้องการอาหารเพิ่มมากขึ้นต่อการอยู่รอดของประชากรโลก ในช่วงหลายปีที่ผ่านมาเกษตรกรต้องอาศัยปุ๋ยเคมีในการเสริมการเจริญเติบโตของพืช แต่การใช้ปุ๋ยเคมีและยาฆ่าแมลงอย่างต่อเนื่องเกิดการปนเปื้อนและทำลายคุณภาพดิน (Yang *et al.,* 1991; Daramola *et al.,* 2006) จึงจำเป็นต้องลดการใช้ปุ๋ยเคมี เพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเนื่องจากการทำเกษตรแบบขาดการไตร่ตรอง (Nottidge *et al.,* 2005; Subba, 1993) อีกทั้งปัญหาหมอกควันในภาคเหนือเป็นปัญหามลภาวะ ทางอากาศเป็นอันดับต้น ๆ ของประเทศไทย ซึ่งปัญหามีมาอย่างยาวนาน และปัญหาหมอกควันเหล่านี้เกิดจากการที่เกษตรกรมีวิธีการกำจัดวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่ผิดวิธี โดยส่วนใหญ่เกษตรกรจะกำจัดวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเหล่านี้โดยวิธีการเผาและนำไปทิ้งตามที่สาธารณะต่าง ๆ จึงทำให้เกิดหมอกควันขึ้น ซึ่งเรียกอีกอย่างได้ว่าปัญหาฝุ่น PM 2.5

ขยะทางการเกษตร (ขยะอินทรีย์) คือ ของเสียที่ได้จากซากพืชหาได้ง่ายและพบได้ในสถานที่ทั่วไป เช่น ฟาร์ม ที่อยู่อาศัย โรงงานอุตสาหกรรม แม่น้ำ ฯลฯ ที่ไม่ได้จัดการอย่างเหมาะสมและถูกต้อง ของเสียเหล่านี้ก่อให้เกิดผลเสียต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อมมากมาย ส่วนประกอบของขยะเกษตร ได้แก่ เซลลูโลสและลิกนิน หรือที่เรียกว่าองค์ประกอบที่ไม่ละลายน้ำ ในขณะที่ส่วนประกอบที่ละลายน้ำได้ ได้แก่ น้ำตาล กรดอะมิโนและกรดอินทรีย์อื่น ๆ ได้แก่ ไขมัน ไขน้ำมัน เรซิน รงควัตถุ โปรตีน และแร่ธาตุ องค์ประกอบทั้งหมดนี้ในขยะเกษตรแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ ดังนั้น ของเสียทางการเกษตรจึงเป็นแหล่งวัตถุดิบราคาถูกที่เกษตรกรสามารถนำไปใช้ปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ของดิน ปุ๋ยชีวภาพเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของการจัดการสารอาหารแบบบูรณาการ (Subba, 1993) ศักยภาพเหล่านี้ปุ๋ยชีวภาพจึงมีบทบาทสำคัญในการเพิ่มผลผลิตและความยั่งยืนของดิน และยังรักษาสิ่งแวดล้อมด้วยวัตถุดิบที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและคุ้มค่าสำหรับชาวนา (Taiwan Fertilizer Company, 1994; Shaviv, 2005) และยังเป็นแหล่งหมุนเวียนธาตุอาหารแก่พืชทดแทนปุ๋ยเคมีในระบบเกษตรยั่งยืน (Taiwan Fertilizer Company, 1994)

วัสดุปรับปรุงดิน (soil amendment) หมายถึง สารที่ได้จากธรรมชาติหรือจากสารสังเคราะห์ที่นำมาใช้เพื่อปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของดินหรือทางเคมีอย่างใดอย่าง

หนึ่งหรือทั้งสองอย่าง เพื่อให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช เช่น การปรับปรุงความเป็นกรด-ด่าง หรือการทำให้ระดับธาตุอาหารของพืชอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์มากขึ้น จุดมุ่งหมายหลักของการวิจัยครั้งนี้ คือ เพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของก้อนเชื้อเห็ดเก่า และวัสดุอินทรีย์ที่เหลือทิ้งทางการเกษตรอื่น ๆ ต่อการศึกษาคุณสมบัติและชีวนวัตกรรมการผลิตวัสดุปรับปรุงดินโดยใช้เอนโดไฟติกแบคทีเรีย 2 สายพันธุ์ คือ *Pseudoxanthomonas spadix* MJUP08 และ *Novosphingobium* sp. MJUPr9 เป็นหัวเชื้อในการผลิตภายใต้แนวคิดเศรษฐกิจชีวภาพ เศรษฐกิจหมุนเวียน และเศรษฐกิจสีเขียว (Bio-Circular-Green Economy: BCG Economy) เพื่อเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจที่เกิดจากเศรษฐกิจ BCG และคาดว่าจะสามารถแก้ไขปัญหาการเผาวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร และได้ผลผลิตปุ๋ยชีวภาพอีกหนึ่งผลิตภัณฑ์ที่เป็น social enterprise (ธุรกิจเพื่อสังคม)

อุปกรณ์และวิธีการ

การศึกษาสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของก้อนเห็ดนางฟ้าเหลือทิ้ง เปลือกกาแฟ และฝุ่นข้าวโพดอาหารสัตว์

นำก้อนเห็ดนางฟ้าเหลือทิ้ง เปลือกกาแฟ มูลวัว และฝุ่นข้าวโพดอาหารสัตว์ ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่เหลือทิ้งที่มีปริมาณมากในชุมชนจังหวัดน่าน มาวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและสมบัติทางกายภาพก่อนศึกษาการหมักวัสดุปรับปรุงดิน ได้แก่ ปริมาณอินทรียวัตถุ (Organic Matter: OM) ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (Organic Carbon: OC) สัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (Carbon/Nitrogen ratio) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (ในรูป P_2O_5) ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด (ในรูป K_2O) พีเอช (ดิน:น้ำ = 1:1) ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity: EC) (ดิน:น้ำ = 1:5) และปริมาณความชื้น (Oluchukwu *et al.,* 2018)

การศึกษาสูตรวัสดุปรับปรุงดินจากก้อนเห็ดนางฟ้าเหลือทิ้งร่วมกับเปลือกกาแฟ และฝุ่นข้าวโพดอาหารสัตว์

1) เตรียมส่วนผสมวัสดุปรับปรุงดินจำนวน 5 สูตร ให้มีน้ำหนักรวมทั้งหมดเท่ากับ 1 กก. โดยใช้อัตราส่วนผสมของปริมาณก้อนเชื้อเห็ดนางฟ้าเหลือทิ้งจำนวน 5 ระดับ คือ ร้อยละ 50, 60, 70, 80 และ 90 และส่วนผสมของมูลวัว เปลือกกาแฟ และฝุ่นข้าวโพดอาหารสัตว์ในจำนวน 5 ระดับ คือ ร้อยละ 50, 40, 30, 20 และ 10 (Table 1) คลุกเคล้าให้เข้ากันแล้วบรรจุลงในถังพลาสติก จำนวน 5 ถังต่อสูตรวัสดุปรับปรุงดิน

2) เติมส่วนผสมระหว่างสารละลายของเชื้อแบคทีเรียกลุ่มเอนโดไฟติกสายพันธุ์ *Novosphingobium* sp. MJUP_r9 และจุลินทรีย์สายพันธุ์ *Pseudoxanthomonas spadix* MJUP08 ซึ่งเป็นแบคทีเรียแกรมลบ ลักษณะเป็นรูปท่อนสั้น ที่ความเข้มข้น 1.0×10^8 (ที่ความยาวคลื่น 600 นม. (OD600) ให้มีความขุ่นของเชื้อจุลินทรีย์เท่ากับค่า McFarland standard No. 0.5 โดย เจือจางสารละลายให้มีค่าดูดกลืนแสงเท่ากับ 0.09–0.1 ซึ่งจะมีจำนวนเชื้อเท่ากับ 10^8 CFU/มล.) 1 มล. ต่อ 1 กก. และกากน้ำตาล 1 กก. ต่อปุ๋ยอินทรีย์ 100 กก. ในอัตราส่วนคงที่ในวัสดุปรับปรุงดินทุกสูตรเคล้าให้เข้ากันแล้วปรับความชื้นวัสดุปรับปรุงดินที่ผสมแล้วให้อยู่ในช่วง 60–70%

3) ปิดปากถังพลาสติกที่บรรจุวัสดุปรับปรุงดินแล้วหมักเป็นระยะเวลา 35 วัน พร้อมพลิกกลับกองวัสดุปรับปรุงดินทุก ๆ 7 วัน (Oluchukwu *et al.,* 2018)

4) ทุก ๆ 7 วัน วัดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (ด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิแบบปรอท) พีเอช ความชื้น และสี (Hunter lab และในวันที่ 0 และ 35 เก็บตัวอย่างวัสดุปรับปรุงดินมาวิเคราะห์ธาตุอาหารต่าง ๆ ได้แก่ ปริมาณอินทรียวัตถุ (OM) ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (OC) สัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (ในรูป P_2O_5) ปริมาณ

โพแทสเซียมทั้งหมด (ในรูป K_2O) พีเอช (ดิน:น้ำ = 1:1) ค่าการนำไฟฟ้า (EC) (ดิน:น้ำ = 1:5) ปริมาณความชื้น (Oluchukwu *et al.,* 2018) และวัดค่าสีของวัสดุปรับปรุงดินหลังสิ้นสุดการหมักด้วยเครื่องวัดสียี่ห้อ Hunter lab รุ่น NH300 ยี่ห้อ 3 nh)

Table 1 Mixing ratios of different formulas of organic fertilizers used to study soil amendment formulations from leftover oyster mushroom lumps

Formula	Oyster mushroom (kg)	Coffee shell (kg)	Corn dust (kg)	Cow dung (kg)	*Novosphingobium* sp. MJUP_r9 (ml)	*Pseudoxanthomonas spadix* MJUP08 (ml)	Molasses (kg)
1	0.5	0.16	0.16	0.18	100	100	1
2	0.6	0.13	0.13	0.14	100	100	1
3	0.7	0.10	0.10	0.10	100	100	1
4	0.8	0.06	0.06	0.07	100	100	1
5	0.9	0.03	0.03	0.04	100	100	1

Adapted from Thongpradistha *et al.* (2023)

ผลการวิจัย

ผลการศึกษาสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของก้อนเห็ดนางฟ้าเหลือทิ้ง

จากการศึกษาปริมาณธาตุอาหารที่มีอยู่ในก้อนเห็ดนางฟ้าเหลือทิ้งก่อนนำมาศึกษาการหมักวัสดุปรับปรุงดิน พบว่ามีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด เท่ากับร้อยละ 0.39

Table 2 Chemical properties and physical properties of organic raw materials.

Chemical properties and Physical properties	Organic matter			
	Mushroom spawn	Coffee shell	Cow dung	Corn dust
1) Organic matter content (OM)	54.73%	61.54%	39.81%	87.00%
2) Organic carbon content (OC)	31.74%	35.70%	23.09%	50.46%
3) Carbon to nitrogen ratio (C/N ratio)	81	36	15	51
4) Total nitrogen content	0.39%	1.00%	1.49%	0.98%
5) Total phosphorus (as P_2O_5)	0.16%	0.15%	0.34%	0.14%

Table 2 Continued

Chemical properties and Physical properties	Organic matter			
	Mushroom spawn	Coffee shell	Cow dung	Corn dust
6) Total potassium content (as K_2O)	1.06%	0.90%	0.75%	0.34%
7) pH (soil:water = 1:1)	8	8	8	6
8) Electrical conductivity (EC) (Soil:water = 1:5)	1.27	0.08	1.58	0.72
9) Moisture content	50%	60%	60%	70%

ผลการศึกษาสูตรวัสดุปรับปรุงดินจากก้อนเห็ดนางฟ้าเหลือทิ้ง

จากการศึกษาสูตรวัสดุปรับปรุงดินจากกก้อนเห็ดนางฟ้าเหลือทิ้งจำนวน 5 สูตร ที่หมักในถังพลาสติกปิดสนิทที่มีน้ำหนักรวมทั้งหมด 1 กก. เป็น ระยะเวลา 35 วัน แล้ววัดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ พีเอช และวิเคราะห์ธาตุอาหารต่าง ๆ ได้แก่ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด และโพแทสเซียมทั้งหมด ทุก ๆ 7 วัน เพื่อคัดเลือกสูตรวัสดุปรับปรุงดินที่มีธาตุอาหารมากที่สุดหลังการหมัก และใช้ก้อนเชื้อเห็ดเหลือทิ้งปริมาณมากที่สุด ได้ผลการศึกษาดังต่อไปนี้

การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิระหว่างการหมักวัสดุปรับปรุงดินจากก้อนเชื้อเห็ดนางฟ้าเหลือทิ้งจำนวน 5 สูตร ที่หมักในถังพลาสติกปิดสนิทเป็นระยะเวลา 35 วัน พบว่า อุณหภูมิเริ่มต้นเมื่อทำการหมักวัสดุปรับปรุงดินจะอยู่ในช่วง 23–30°ซ และมีการเปลี่ยนแปลงอุณภูมิในการหมักเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยในช่วงการหมักวันที่ 14 อยู่ในช่วง 29-30°ซ และลดลงเมื่อใกล้สิ้นสุดการหมัก โดยอุณหภูมิเมื่อสิ้นสุดการหมักที่ระยะเวลา 35 วัน อยู่ในช่วง 25–28°ซ ดังแสดงใน Figure 1A และจากการทดลองแสดงให้เห็นว่าระดับอุณหภูมิลดลงไม่สูงมาก และการที่อุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลง อาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงสภาวะของการหมัก และเกิดจากการถ่ายโอนความร้อน และอุณหภูมิไม่มีผลต่อการยับยั้งหรือชะลอกระบวนการหมักลง

การเปลี่ยนแปลงพีเอชระหว่างหมักวัสดุปรับปรุงดินจากก้อนเชื้อเห็ดนางฟ้าเหลือทิ้งจำนวน 5 สูตร ที่หมักในถังพลาสติกปิดสนิทเป็นระยะเวลา 35 วัน พบว่าพีเอชเริ่มต้นเมื่อทำการหมักวัสดุปรับปรุงดินอยู่ในช่วง 8.57–8.75 และมีการเปลี่ยนแปลงพีเอชในการหมักเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยในช่วงการหมักวันที่ 7 ถึงระยะสิ้นสุดการหมักที่ระยะเวลา 35 วัน อยู่ในช่วง 7–8 ดังแสดงใน Figure 1B และมีการเปลี่ยนแปลงพีเอชในการหมักเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในช่วงการหมักวันที่ 7 ถึงวันที่ 35 อยู่ในช่วง 8–9

การเปลี่ยนแปลงความชื้นระหว่างการหมักวัสดุปรับปรุงดินจากก้อนเชื้อเห็ดนางฟ้าเก่าเหลือทิ้ง จำนวน 5 สูตร ที่หมักในถังพลาสติกปิดสนิด เป็นระยะเวลา 35 วัน พบว่า ในช่วงเริ่มต้นมีค่าความชื้นร้อยละ 60 และมีการเปลี่ยนแปลงความชื้นเล็กน้อยในระหว่างการหมัก และในช่วงการหมักวันที่ 7 ถึงระยะสิ้นสุดการหมักวันที่ 35 มีความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 60–70 ดัง Figure 1C

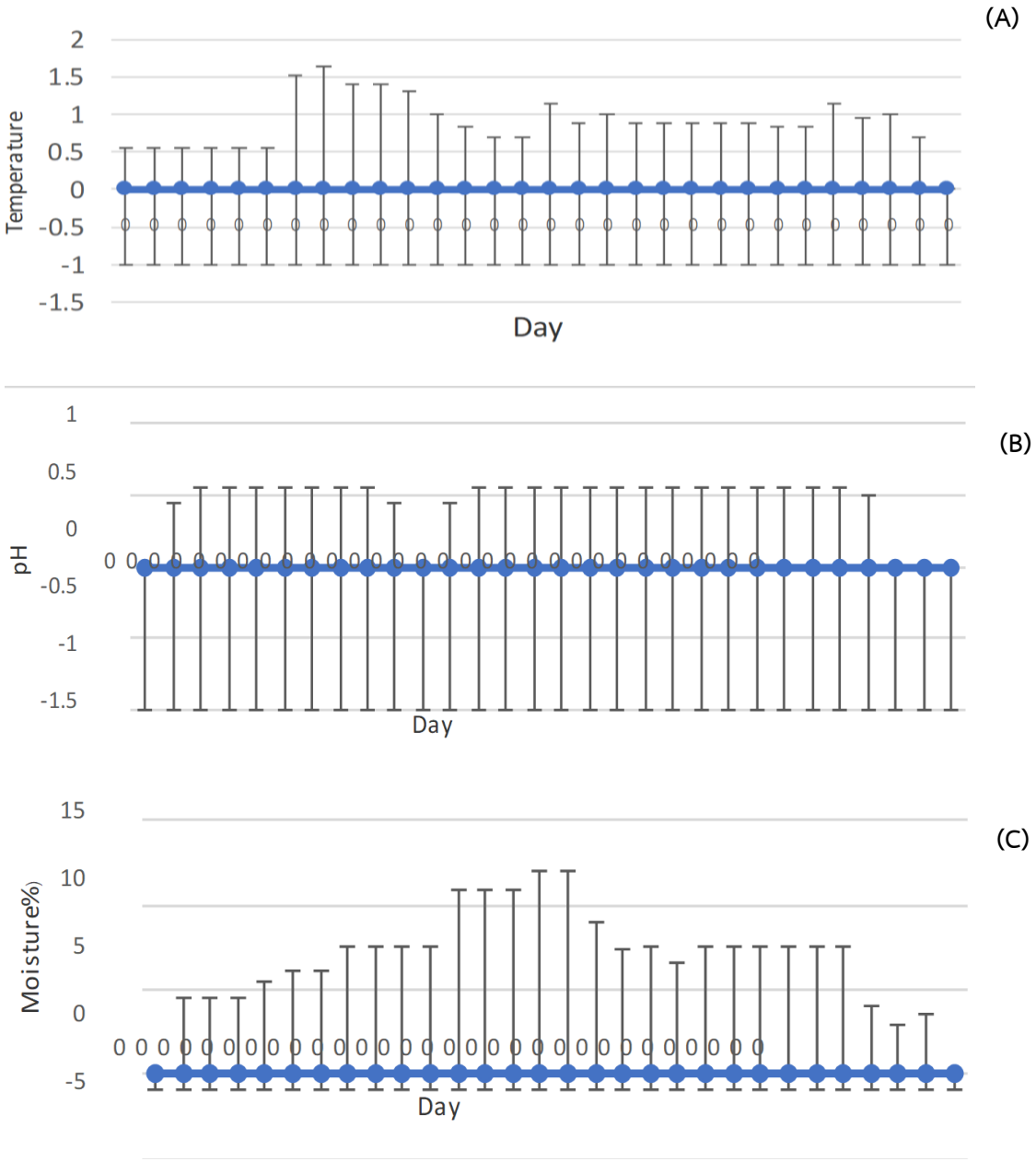


Figure 1 Temperature changes (A), pH Changes (B) and moisture changes (C) during the fermentation of bio-fertilizer from oyster mushroom residues of different formulas for a period of 35 days

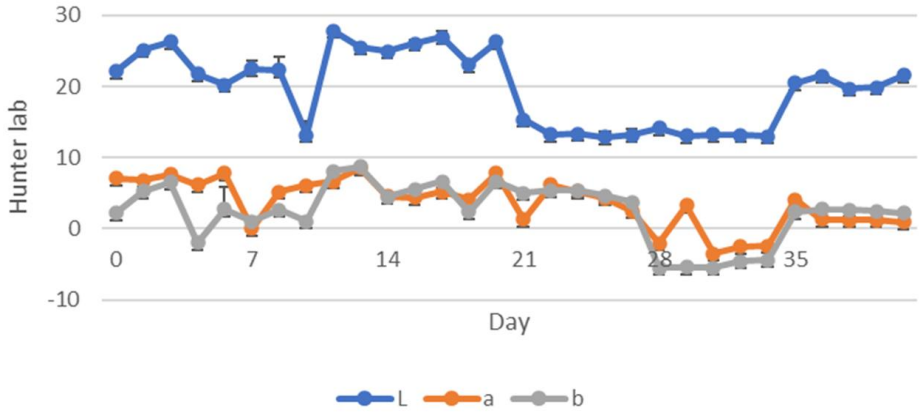


Figure 2 Changes in the color of soil amendment from oyster mushroom residues in different formulas for a period of 35 days

จากการวัดค่าสีในวัสดุปรับปรุงดินจากก้อนเชื้อเห็ดนางฟ้าเหลือทิ้งจำนวน 5 สูตร ที่หมักในถังพลาสติกปิดสนิทเป็นระยะเวลา 35 วัน พบว่า ค่าสี L* ของปุ๋ยอินทรีย์ทั้ง 5 สูตร โดยสูตรวัสดุปรับปรุงดินมีสัดส่วนของก้อนเชื้อเห็ดเหลือทิ้งในปริมาณน้อย (สูตรที่ 1) มีค่าสี L* น้อย สีของวัสดุปรับปรุงดินที่ได้มีลักษณะน้ำตาลเข้ม และเมื่อเพิ่มสัดส่วนของก้อนเชื้อเห็ดนางฟ้าเหลือทิ้งเพิ่มขึ้น (สูตรที่ 2–5) มีค่าสี L* เพิ่มขึ้น และสีของวัสดุปรับปรุงดินที่ได้มีลักษณะน้ำตาลอ่อนลง ตามลำดับ (Figure 2)

Table 3 Color values in soil amendment from cultivated oyster mushroom spawns in various formulations (mushroom loaf : various ingredients) after 35 days of fermentation

Organic fertilizer formula	Color		
	L*	a*	b*
Start fermentation	20.24^{b}±0.13	6.24^{e}±0.08	1.95^{a}±0.41
Formula 1 (50:50)	20.54^{b}±0.33	4.11^{d}±0.01	2.41^{c}±0.03
Formula 2 (60:40)	21.50^{c}±0.32	1.35^{c}±0.29	2.78^{e}±0.40
Formula 3 (70:30)	19.66^{a}±0.10	1.23^{b}±0.11	2.66^{d}±0.34
Formula 4 (80:20)	19.86^{a}±0.10	1.26^{b}±0.02	2.46^{c}±0.26
Formula 5 (90:10)	21.56^{c}±0.22	0.91^{a}±0.24	2.21^{b}±0.27
F-test	*	*	*

Mean±SD from 4 replicates of the experiment was significant differences at $p \leq 0.05$.

จาก Table 3 พบว่าในการวิเคราะห์ค่า OM, OC, C/N ratio, N, P, K, EC, L*, a*, b*, อุณหภูมิ, ความชื้น และ pH ในแต่ละชุดการทดลองพบว่า ค่า L* เริ่มต้นของวัสดุหมักมีค่าเฉลี่ย 20.24 และเมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมัก ค่า L* ของแต่ละสูตรอยู่ในช่วง 19.66–21.56 สำหรับพารามิเตอร์สี a* และ b* หลังการหมัก 35 วัน พบว่าค่า a* อยู่ในช่วง 0.91–4.11 และค่า b* อยู่ในช่วง 2.21–2.78 ทั้งสองค่ามีค่าเป็นบวก แสดงว่าวัสดุปรับปรุงดินหลังการหมักยังคงมีลักษณะโทนสีแดงและเหลืองผสมอยู่ ซึ่งเป็นคุณลักษณะสีที่เกิดจากองค์ประกอบอินทรีย์ภายในวัสดุ ดัง Figure 3

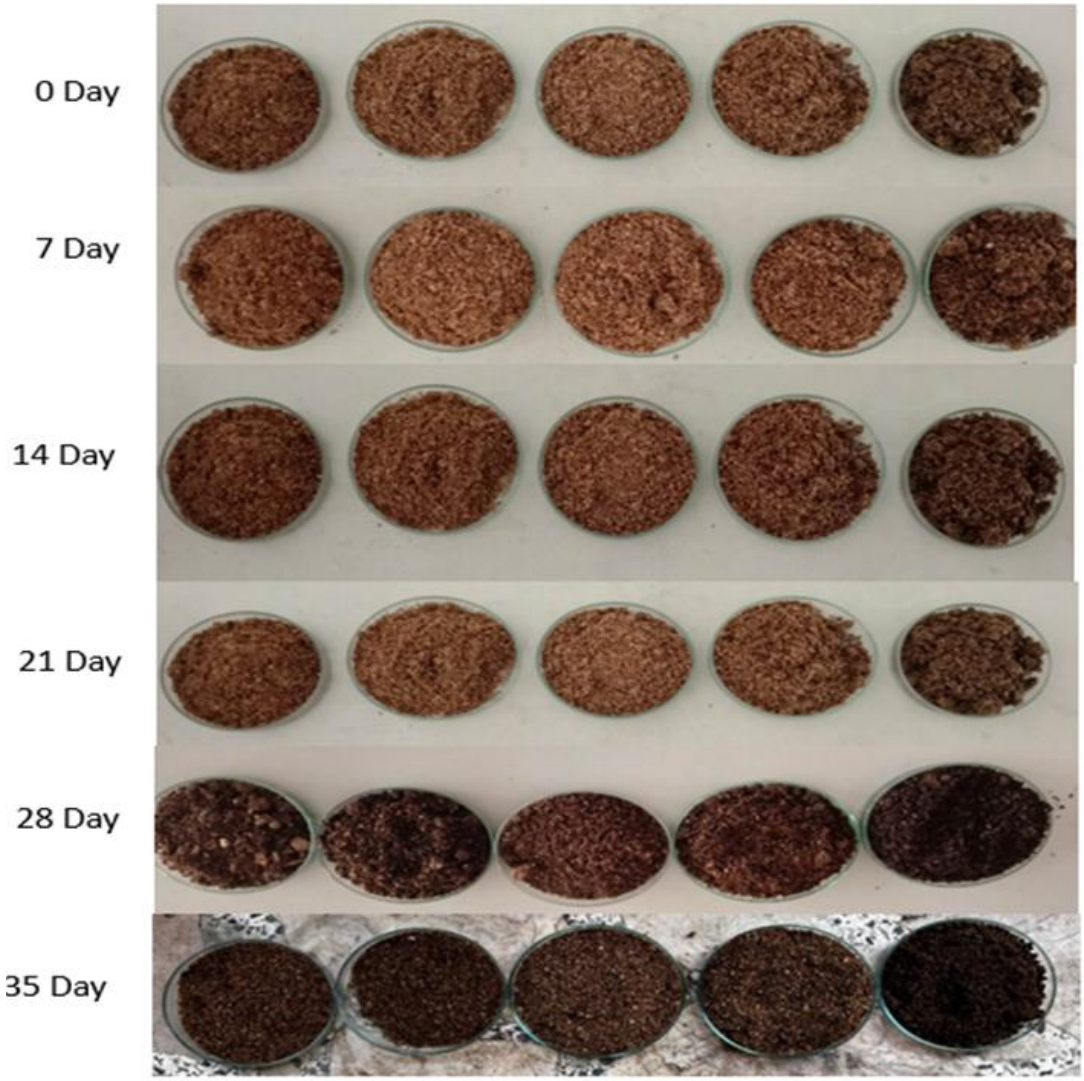


Figure 3 Color of soil amendment from old oyster mushroom fermented with coffee husks and forage corn dust using nitrogen-fixing microorganisms as starter to produce different formulations after 35 days of fermentation

Table 4 Total nitrogen content in soil amendment from cultivated oyster mushroom spawns in different formulas (mushroom loaf : various ingredients) after fermentation for a period of 35 days

Organic fertilizer formula	Total nitrogen content (%)	
	0 Day	After fermentation 35 day
Formula 1 (50:50)	0.36^{a}±0.12	0.37^{c}±0.14
Formula 2 (60:40)	0.33^{c}±0.77	0.39^{b}±0.89
Formula 3 (70:30)	0.36^{a}±0.51	0.41^{a}±0.05
Formula 4 (80:20)	0.34^{b}±0.37	0.34^{d}±0.38
Formula 5 (90:10)	0.27^{d}±0.13	0.27^{e}±0.19
F-test	*	*

Mean±SD from 4 replicates of the experiment was significant differences at p≤0.05.

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในวัสดุปรับปรุงดินจากก้อนเชื้อเห็ดนางฟ้าเหลือทิ้งสูตรต่าง ๆ หลังการหมัก

จากการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในวัสดุปรับปรุงดินจากก้อนเชื้อเห็ดนางฟ้าเก่าเหลือทิ้ง จำนวน 5 สูตรที่หมักในถังพลาสติกปิดสนิทเป็นระยะเวลา 35 วัน พบว่าวัสดุปรับปรุงดินที่หมักจากก้อนเชื้อเห็ดนางฟ้าเหลือทิ้งบางสูตรมีปริมาณไนโตรเจนเพิ่มขึ้น โดยปุ๋ยอินทรีย์สูตรที่ 3 มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดมากที่สุดเท่ากับร้อยละ 0.41 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05) เมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุปรับปรุงดินสูตรอื่น ๆ ดังแสดงใน Table 4 เมื่อมีการใช้ก้อนเห็ดนางฟ้าเหลือทิ้งในอัตราที่สูง ส่งผลให้มีปริมาณไนโตรเจนสูง แสดงว่าในก้อนเห็ดนางฟ้าเหลือทิ้งมีปริมาณโปรตีนคงเหลืออยู่ และการที่มีปริมาณไนโตรเจนที่สูงขึ้นหลังจากการหมัก ส่งผลให้โมเลกุลของโปรตีนมีขนาดโมเลกุลที่เล็กลง เปลี่ยนจากโปรตีนเป็นกรดอะมิโน ทำให้พืชสามารถดูดซึมได้เร็วและเป็นผลดีต่อการเจริญเติบโตของพืช

ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในปุ๋ยอินทรีย์ จากก้อนเชื้อเห็ดนางฟ้าเหลือทิ้งสูตรต่าง ๆ หลังการหมัก

จากการวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในวัสดุปรับปรุงดินจากก้อนเชื้อเห็ดนางฟ้าเหลือทิ้งจำนวน 5 สูตร ที่หมักในถังพลาสติกปิดสนิทเป็นระยะเวลา 35 วัน พบว่า สูตรวัสดุปรับปรุงดินที่หมักจากก้อนเชื้อเห็ดนางฟ้าเหลือทิ้งทุกสูตรมีปริมาณฟอสฟอรัสบางสูตรเพิ่มขึ้น โดยปุ๋ยอินทรีย์สูตรที่ 2 มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดมากที่สุดเท่ากับร้อยละ 0.20 และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05) เมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุปรับปรุงดินสูตรอื่น ๆ ดังแสดงใน Table 5

Table 5 Total phosphorus content in soil amendment from cultivated oyster mushroom spawns in different formulas (mushroom loaf : various ingredients) after 35 days of fermentation

Organic fertilizer formula	Total Phosphorus content (as P_2O_5) (%)	
	0 Day	After fermentation 35 day
Formula 1 (50:50)	0.14^{b}±0.45	0.12^{c}±0.41
Formula 2 (60:40)	0.11^{d}±0.77	0.20^{a}±0.72
Formula 3 (70:30)	0.18^{a}±0.15	0.15^{b}±0.10
Formula 4 (80:20)	0.12^{c}±0.44	0.15^{b}±0.40
Formula 5 (90:10)	0.08^{e}±0.56	0.07^{d}±0.72
F-test	*	*

Mean±SD from 4 replicates of the experiment was significant differences at p≤0.05.

ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดในปุ๋ย อินทรีย์จากก้อนเชื้อเห็ดนางฟ้าเหลือทิ้งสูตรต่างๆ หลังการหมัก

จากการวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดในวัสดุปรับปรุงดินจากก้อนเชื้อเห็ดนางฟ้าเหลือทิ้ง จำนวน 5 สูตร ที่หมักในถังพลาสติกปิดสนิทเป็นระยะเวลา 35 วัน พบว่า สูตรวัสดุปรับปรุงดินที่หมักจากก้อนเชื้อเห็ดนางฟ้าเหลือทิ้งบางสูตรมีปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดเพิ่มขึ้น โดยปุ๋ยอินทรีย์สูตรที่ 4 มีปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดมากที่สุด เท่ากับร้อยละ 0.84 และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับปุ๋ยอินทรีย์สูตรอื่น ๆ ดังแสดงใน Table 6

Table 6 Total potassium content in soil amendment from cultivated oyster mushroom spawns in different formulas (mushroom loaf : various ingredients) after 35 days of fermentation

Organic fertilizer formula	Total potassium content (as K_2O) (%)	
	0 Day	After fermentation 35 day
Formula 1 (50:50)	0.75^{d}±0.43	0.78^{c}±0.13
Formula 2 (60:40)	0.96^{c}±0.45	0.79^{c}±0.91
Formula 3 (70:30)	1.01^{b}±0.78	0.82^{b}±0.54
Formula 4 (80:20)	1.13^{a}±0.11	0.84^{a}±0.82
Formula 5 (90:10)	0.84^{c}±0.76	0.72^{d}±0.74
F-test	*	*

Mean±SD from 4 replicates of the experiment was significant differences at p≤0.05.

วิจารณ์ผลการวิจัย

จากการศึกษาปริมาณธาตุอาหารที่มีอยู่ในก้อนเห็ดนางฟ้าเหลือทิ้ง เปลือกกาแฟ มูลวัว และฝุ่นข้าวโพดอาหารสัตว์ ก่อนนำมาศึกษาการหมักวัสดุปรับปรุงดินพบว่า มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 0.39, 1.00, 1.49, 0.98 ตามลำดับ ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (ในรูป P_2O_5) เท่ากับร้อยละ 0.16, 0.15, 0.34, 0.14 ตามลำดับ และปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด (ในรูป K_2O) เท่ากับร้อยละ 1.06, 0.90, 0.75, 0.34 ตามลำดับ และมีสมบัติทางเคมีและสมบัติทางกายภาพอื่น ๆ สอดคล้องกับ Thongpradistha *et al.* (2023)

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิระหว่างการหมักปุ๋ยอินทรีย์จากก้อนเชื้อเห็ดนางฟ้าเหลือทิ้งจำนวน 5 สูตร ที่หมักในถังพลาสติกปิดสนิทเป็นระยะเวลา 35 วัน พบว่าอุณหภูมิเริ่มต้นเมื่อทำการหมักวัสดุปรับปรุงดินอยู่ในช่วง 23–30°ซ และมีการเปลี่ยนแปลงอุณภูมิในการหมักเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยในช่วงการหมักวันที่ 14 อยู่ในช่วง 29–30°ซ และลดลงเมื่อใกล้สิ้นสุดการหมัก โดยอุณหภูมิเมื่อสิ้นสุดการหมักที่ระยะเวลา 35 วัน อยู่ในช่วง 25–28°ซ และจากการทดลองแสดงให้เห็นว่าระดับอุณหภูมิลดลงไม่สูงมาก และการที่อุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงอาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงสภาวะของการหมักและเกิดจากการถ่ายโอนความร้อน และอุณหภูมิไม่มีผลต่อการยับยั้งหรือชะลอกระบวนการหมักลง Silva *et al.* (2017) กล่าวว่า โดยทั่วไปจุลินทรีย์เจริญได้ดีในช่วงอุณหภูมิ 25–35°ซ สอดคล้องกับ Thongpradistha *et al.* (2023) รายงานว่า ระหว่างหมักปุ๋ยอินทรียจากก้อนเชื้อเห็ดนางฟ้าเหลือทิ้งอุณหภูมิเริ่มต้นเมื่อทำการหมักปุ๋ยอินทรีย์จะอยู่ในช่วง 29.66–31.96°ซ และมีการเปลี่ยนแปลงอุณภูมิในการหมักเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยในช่วงกลางของการหมัก และลดลงเมื่อใกล้สิ้นสุดการหมักอยู่ในช่วง 27.70–28.36°ซ

การเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่างระหว่างหมักวัสดุปรับปรุงดินจากก้อนเชื้อเห็ดเก่านางฟ้าเหลือทิ้งจำนวน 5 สูตร ที่หมักในถังพลาสติกปิดสนิทเป็นระยะเวลา 35 วัน พบว่า พีเอชเริ่มต้นเมื่อทำการหมักวัสดุปรับปรุงดินอยู่ในช่วง 7–8 และมีการเปลี่ยนแปลงพีเอชในการหมักเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในช่วงการหมักวันที่ 7 ถึงวันที่ 35 อยู่ในช่วง 8–9 บทบาทของความเป็นกรด-ด่างมีส่วนสำคัญและส่งผลอย่างมากต่อการให้พืชเจริญเติบโตได้ดี ซึ่งจะอยู่ในช่วง 6–10 สอดคล้องกับการศึกษาของ Thongpradistha *et al.* (2023) รายงานว่า จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงพีเอชระหว่างหมักปุ๋ยอินทรีย์จากก้อนเชื้อเห็ดนางฟ้าเหลือทิ้ง พบว่าพีเอชเริ่มต้นเมื่อทำการหมักปุ๋ยอินทรีย์จะอยู่ในช่วง 8.57–8.75 และมีการเปลี่ยนแปลงพีเอชในการหมักเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยในช่วงการหมักวันที่ 7 ถึงระยะสิ้นสุดการหมักที่ระยะเวลา 49 วัน อยู่ในช่วง 8.94–9.21

การเปลี่ยนแปลงความชื้นระหว่างการหมักวัสดุปรับปรุงดินจากก้อนเชื้อเห็ดนางฟ้าเก่าเหลือทิ้ง จำนวน 5 สูตร ที่หมักในถังพลาสติกปิดสนิท เป็นระยะเวลา 35 วัน พบว่าในช่วงเริ่มต้นมีค่าความชื้นร้อยละ 60 และมีการเปลี่ยนแปลงความชื้นเล็กน้อยในระหว่างการหมัก และในช่วงการหมักวันที่ 7 ถึงระยะสิ้นสุดการหมักวันที่ 35 มีค่าความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 60–70

จากการวัดค่าสีในวัสดุปรับปรุงดินจากก้อนเชื้อเห็ดนางฟ้าเหลือทิ้งจำนวน 5 สูตร ที่หมักในถังพลาสติกปิดสนิทเป็นระยะเวลา 35 วัน พบว่า ค่าสี L* ของปุ๋ยอินทรีย์ทั้ง 5 สูตร โดยสูตรวัสดุปรับปรุงดินที่มีสัดส่วนของก้อนเชื้อเห็ดเหลือทิ้งในปริมาณน้อย (สูตรที่ 1) มีค่าสี L* น้อย สีของวัสดุปรับปรุงดินที่ได้มีลักษณะน้ำตาลเข้ม และเมื่อเพิ่มสัดส่วนของก้อนเชื้อเห็ดนางฟ้าเหลือทิ้งที่เพิ่มขึ้น (สูตรที่ 2–5) มีค่าสี L* เพิ่มขึ้น และสีของวัสดุปรับปรุงดินที่ได้มีลักษณะน้ำตาลอ่อนลงตามลำดับ สอดคล้องกับ Meena *et al.* (2016) กล่าวว่า ปุ๋ยหมักที่หมักจนสมบูรณ์แล้วจะมีสีเข้มขึ้นเป็นสีน้ำตาลเข้มหรือสีดำ และการศึกษาของ Thongpradistha *et al.* (2023) รายงานว่า ค่าสี L* น้อย สีของปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้มีลักษณะสีน้ำตาลเข้ม และเมื่อเพิ่มสัดส่วนของก้อนเชื้อเห็ดนางฟ้าเหลือทิ้งเพิ่มขึ้น จะมีค่าสี L* เพิ่มขึ้น และสีของปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้มีลักษณะสีน้ำตาลอ่อนลง ตามลำดับ

จากการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารต่าง ๆ ได้แก่ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด และปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด หลังสิ้นสุดการหมักจะเห็นว่ามีการเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนของส่วนผสมเปลือกกาแฟ มูลวัว ฝุ่นข้าวโพดอาหารสัตว์ หลังสิ้นสุดการหมัก โดยพบว่าวัสดุปรับปรุงดินสูตรที่ 3 มีปริมาณไนโตรเจนมากที่สุด ร้อยละ 0.41 หากต้องการวัสดุปรับปรุงดินที่มีองค์ประกอบของไนโตรเจนมากควรเลือกวัสดุปรับปรุงดินสูตรที่ 3 หากต้องการวัสดุปรับปรุงดินที่มีปริมาณฟอสฟอรัสมากควรเลือกใช้วัสดุปรับปรุงดินสูตรที่ 2 เนื่องจากมีปริมาณฟอสฟอรัสมากที่สุดร้อยละ 0.20 และหากต้องการวัสดุปรับปรุงดินทีมีโพแทสเซียมมากที่สุดควรเลือกใช้ปุ๋ยสูตรที่ 4 เนื่องจากมีปริมาณโพแทสเซียมร้อยละ 0.84 และวัสดุปรับปรุงดินสูตรที่ 4 มีปริมาณธาตุอาหารต่าง ๆ ในปริมาณที่น้อย และใช้ก้อนเชื้อเห็ดนางฟ้าในปริมาณ ร้อยละ 80 เมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุปรับปรุงดินสูตรที่ 2 และสูตรที่ 3 รวมทั้งมีส่วนผสมของเปลือกกาแฟ มูลวัว ฝุ่นข้าวโพดอาหารสัตว์น้อยกว่า

ความสามารถของเชื้อรากลุ่ม wood rot-fungi สามารถผลิตเอนไซม์เซลลูเลสที่ย่อยขี้เลื่อยจากก้อนเห็ดเหลือทิ้งเป็นธาตุอาหารต่าง ๆ ที่พืชนำไปใช้ได้โดยตรง สอดคล้องกับการศึกษาของ Thongpradistha *et al.* (2023) สูตรปุ๋ยอินทรีย์จากก้อนเชื้อเห็ดนางฟ้าเหลือทิ้งที่มีธาตุอาหารมากที่สุดหลังการหมัก และสูตรที่ใช้ก้อนเชื้อเห็ดเหลือทิ้งปริมาณมากที่สุด คือ สูตรปุ๋ยอินทรีย์จากก้อนเชื้อเห็ดนางฟ้าเหลือทิ้งสูตรที่ 2 ซึ่งมีธาตุอาหาร N, P และ K เท่ากับ ร้อยละ 2.28, 2.63 และ 3.82 ตามลำดับ และใช้ก้อนเชื้อเห็ดนางฟ้าเหลือทิ้งร้อยละ 60 หากมีการใช้ปุ๋ยคอกมูลสัตว์ โดยเฉพาะมูลไก่ปริมาณสูง ๆ ส่งผลให้เกิดการบล็อกจุลธาตุ หรือธาตุเสริม (micronutrient or trace elements) เช่น เหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) โบรอน (B) โมลิบดินัม (Mo) ทองแดง (Cu) สังกะสี (Zn) และคลอรีน (Cl) นอกจากนี้หากมีปริมาณก้อนเชื้อเห็ดเหลือทิ้งมาก จะช่วยให้ความสามารถของเชื้อรากลุ่ม wood rot-fungi สามารถผลิตเอนไซม์เซลลูเลสที่ย่อยขี้เลื่อยจากก้อนเห็ดเหลือทิ้งเป็นธาตุอาหารต่าง ๆ ที่พืชนำไปใช้ได้โดยตรง (Onnby *et al.,* 2015; Rajoka and Malik, 1997; Tejada *et al.,* 2016) ได้มากขึ้น ซึ่งการศึกษาของ Thongpradistha *et al.* (2023) นั้นเป็นการหมักปุ๋ยอินทรีย์จากเชื้อจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายอินทรียวัตถุได้ เช่น กลุ่มจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพที่ได้รับการคัดสรรเป็นอย่างดี มีประโยชน์ต่อคน พืช สัตว์ และสิ่งแวดล้อม (Effective Microorganisms, EM) หรือหัวเชื้อกลุ่ม พด. ต่าง ๆ จากกรมวิชาการเกษตร แต่การศึกษาครั้งนี้ใช้จุลินทรีย์ที่ร่วมในการหมักเป็นแบคทีเรียกลุ่มเอนโดไฟติกแบคทีเรีย ซึ่งตามนิยามของปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยชีวภาพของกรมวิชาการเกษตรจะไม่มีนิยามของจุลินทรีย์กลุ่มเอนโดไฟติกหรือจุลินทรีย์กลุ่มตรึงไนโตรเจนในด้านปุ๋ย แต่ให้ใช้นิยามคำว่า “วัสดุปรับปรุงดิน” เช่นเดียวกับไรโซแบคทีเรียที่เป็นสารส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช (Plant Growth Promoting Rhizobacteria: PGPR)

สรุปผลการวิจัย

ชีวนวัตกรรมการผลิตวัสดุปรับปรุงดินจากก้อนเชื้อเห็ดนางฟ้าเก่าหมักร่วมกับวัตถุดิบอินทรีย์เหลือทิ้งทางการเกษตรโดยใช้เอนโดไฟติกแบคทีเรีย 2 สายพันธุ์ คือ *Pseudoxanthomonas spadix* MJUP08 และ *Novosphingobium* sp. MJUP081 เป็นหัวเชื้อในการผลิตเพื่อลดต้นทุนทางการเกษตร สามารถเพิ่มมูลค่าให้กับขี้เลื่อยที่เหลือทิ้งจากการเพาะเห็ด และลดปริมาณขยะจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาใช้ประโยชน์ในเกษตรอินทรีย์ในการเพิ่มปริมาณธาตุอาหาร N_2 P_2O_5 และ K_2O ในวัสดุปรับปรุงดินโดยใช้ปริมาณก้อนเชื้อเห็ดเหลือทิ้งร้อยละ 80 เท่ากับร้อยละ 0.34, 0.15 และ 0.84 ตามลำดับ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณโครงการ “การผลิตปุ๋ยชีวภาพจากก้อนเห็ดนางฟ้าเก่าหมักร่วมกับกากกาแฟและฝุ่นข้าวโพดอาหาร

สัตว์โดยใช้จุลินทรีย์ตรึงไนโตรเจนเป็นหัวเชื้อในการผลิต" ภายใต้การรับทุนสนับสนุนงานมูลฐาน (Fundamental Fund) ประจำปีงบประมาณ 2566 ภายใต้แผนงานศักยภาพการผลิตพืชเศรษฐกิจตลอดห่วงโซ่คุณค่าจากฐานชีวภาพ

เอกสารอ้างอิง

Daramola, D.S., A.S. Adeyeye and D. Lawal. 2006. Effect of Application of Organic and Inorganic Nitrogen Fertilizer on the Growth and Dry Matter Yield of Amaranthus. pp.56–65. *In* **Proceedings of the 2nd National Conference on Organic Agriculture 27th November-1st December 2006.** Ibadan: University of Ibadan.

Meena, M.D., P.K. Joshi, H.S. Jat, A.R. Chinchmalatpure, B. Narjary, P. Sheoran and D.K. Sharma. 2016. **Changes in Biological and Chemical Properties of Saline Soil Amended with Municipal Solid Waste Compost and Chemical Fertilizers in a Mustard-Pearl Millet Cropping System.** Karnal: CATENA Press. 140 p.

Nottidge, D.O., S. Ojeniyi and D. Asawalam. 2005. Comparative effect of plant residues and NPK fertilizer on nutrient status and yield of maize (*Zea mays* L.) in humid Ultisol. **Nigerian Journal of Soil Science** 15: 1–8.

Oluchukwu, A.C., A.G. Nebechukwu and S.O. Egbuna. 2018. Enrichment of nutritional contents of sawdust by composting with other nitrogen rich agro-wastes for bio-fertilizer synthesis. **Journal of Chemical Technology and Metallurgy** 53(3): 430–436.

Onnby, L., K. Harald and I.A. ges. 2015. Cryogel-supported titanate nanotubes for waste treatment: impact on methane production and bio-fertilizer quality. **Journal of Biotechnology** 207: 58–66.

Rajoka, M.I. and K.A. Malik. 1997. Cellulase production by *Cellulomonas biazotea* cultured in media containing different cellulosic substrates. **Bioresource Technology** 59(1): 21–27.

Shaviv, A. 2005. Controlled Release Fertilizers. pp. 28–39. *In* **IFA International Workshop on Enhanced-Efficiency Fertilizers**. Frankfurt: International Fertilizer Association (IFA).

Silva, V.N., L.E.S.F. Silva, A.J.N. Silva, N.P. Stamford and G.R. Macedo. 2017. Solubility curve of rock powder inoculated with microorganisms in the production of biofertilizers. **Agriculture and Natural Resources** 51: 142–147.

Subba, R.N.S. 1993. **Biofertilizer in Agriculture and Forestry**. 3rd ed. New York: International Science Publisher. 242 p.

Taiwan Fertilizer Company. 1994. **Field Tests of Application of Organic Compound Fertilizer.** 10 p. *In* Research Report. China: Taiwan Fertilizer Company.

Tejada, M., B. Rodríguez-Morgado, I. Gómez L. Franco-Andreu, C. Benítez and J. Parrado. 2016. Use of biofertilizers obtained from sewage sludges on maize yield. **European Journal of Agronomy** 78: 13–19.

Thongpradistha, S., T. Muadsri and A. Sukkaew. 2023. The effect of organic fertilizer formula from Sajor-caju mushroom (*Pleurotus sajor-caju*) waste on macronutrients. **Rajamangala University of Technology Srivijaya Research Journal** 12(1): 61–71.

Yang, S.S., H.L. Chan, C.B. Wei and H.C Lin. 1991. Reduce wastes production with modified Kjeldahl method for nitrogen measurement. **Biomass and Bioenergy Journal** 10: 147–155.