

การผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลสุกรผสมวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มด้วยระบบความร้อนแบบแห้งและผลต่อการเจริญของต้นกล้าปาล์มน้ำมัน (*Elaeis guineensis* L.)

ณรงค์ชัย ชูพูล^{1*}, นवलนพมล ศรีอุทัย², ชำนาญ รัตนมณี¹ และสมหมาย แก้วมณี³

¹สาขาวัตกรรมการอาหารและการจัดการ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

²สาขาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

³สาขาพืชศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

*narongchai.c@rmuts.ac.th

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินผลของการใช้สารละลายจุลินทรีย์ LDD.1 และ LDD.3 ในการปรับความชื้นของปุ๋ยอินทรีย์ให้อยู่ที่ระดับร้อยละ 30 ก่อนกระบวนการอัดเม็ด โดยศึกษาผลกระทบต่อธาตุอาหารพืชที่สำคัญ ปริมาณอินทรีย์วัตถุ จำนวนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตทั้งหมด และปริมาณเชื้อรา *Trichoderma* spp. นอกจากนี้มีการศึกษาประสิทธิภาพของกระบวนการอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ และอิทธิพลของอัตราการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ต่อการเจริญเติบโตและค่าความเป็นสีเขียวของใบต้นกล้าปาล์มน้ำมัน (*Elaeis guineensis* L.) ผลการทดลองพบว่า การใช้สารละลายจุลินทรีย์ทั้งสองชนิดไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อการเพิ่มปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และอินทรีย์วัตถุในปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดภายหลังการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง เช่นเดียวกับประสิทธิภาพการอัดเม็ด ความสามารถในการละลายของปุ๋ย และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดปุ๋ยที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็ตาม การใช้สารละลาย LDD.3 เพียงอย่างเดียว หรือใช้ร่วมกับ LDD.1 ส่งผลให้จำนวนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตทั้งหมดและเชื้อรา *Trichoderma* spp. ในปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) การศึกษายังประเมินผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในอัตราที่แตกต่างกันต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้าปาล์มน้ำมันและค่าพารามิเตอร์สีของใบเป็นระยะเวลา 60 วัน พบว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ส่งเสริมการเจริญเติบโตของต้นกล้าปาล์มน้ำมันเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยต้นกล้าปาล์มน้ำมันที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในอัตราร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก (weight per weight; w/w) ของปุ๋ยอินทรีย์ต่อน้ำหนักรวมของดินและปุ๋ยในถุงเพาะชำ มีค่าความสูงของต้นสูงสุด นอกจากนี้ การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ยังส่งผลให้ค่าพารามิเตอร์สีแดง (a^*) และสีเหลือง (b^*) ลดลง ขณะที่ค่า L^* ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ส่งผลให้ใบมีสีเขียวเข้มมากขึ้น ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่เสริมจุลินทรีย์ในการปรับปรุงคุณภาพดินและส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช โดยสอดคล้องกับหลักการ Zero Waste และสนับสนุนโมเดลเศรษฐกิจ BCG เพื่อการเกษตรที่ยั่งยืน

คำสำคัญ: ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลสุกร วัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม การเจริญเติบโตของต้นกล้าปาล์มน้ำมัน และระบบสี CIE Lab*

Production of Pelleted Organic Fertilizer from Swine Manure and Palm Oil Extraction Residues Using Dry Thermal Processes and Its Effects on Oil Palm (*Elaeis guineensis* L.) Seedling Growth

Narongchai Chupoon^{1*}, Nonnapamon Sriuthai², Chamnan rattamane¹ and Sammai Kaewmanee³

¹Department of Food Innovation and Management, Faculty of Agro-Industry, Rajamangala University of Technology Srivijaya

²Department of Animal science, Faculty of Agriculture, Rajamangala University of Technology Srivijaya

³Department of Plant science, Faculty of Agriculture, Rajamangala University of Technology Srivijaya

*narongchai.c@rmutsv.ac.th

Abstract

This study aimed to evaluate the effects of microbial solutions LDD.1 and LDD.3 on adjusting the moisture content of organic fertilizer to 30% prior to the pelleting process. The investigation focused on their impact on essential plant nutrients, organic matter content, total viable microorganisms, and *Trichoderma* spp. counts. Additionally, the study assessed the efficiency of the pelletization process and the effects of organic fertilizer application rates on the growth and leaf color parameters (CIE L^* , a^* , b^*) of oil palm seedlings (*Elaeis guineensis* L.). The results revealed that the application of LDD.1 and LDD.3 had no statistically significant effects on the levels of nitrogen, phosphorus, potassium, or organic matter in the pelleted fertilizer after storage at room temperature. Similarly, no significant differences were observed in pelleting efficiency, solubility, or the diameter of fertilizer pellets. However, the use of LDD.3, either alone or in combination with LDD.1, significantly increased the total viable microorganisms and *Trichoderma* spp. counts in the pelleted fertilizer ($p < 0.05$). The study further evaluated the impact of different organic fertilizer application rates on oil palm seedling growth and leaf color parameters for 60 days. The results revealed that the application of organic fertilizer significantly enhanced seedling growth. The highest seedling height was observed at an application rate of 50% by weight (w/w), based on the weight of organic fertilizer relative to the total weight of soil and fertilizer in the seedling bags. Organic fertilizer also significantly influenced the a^* and b^* color parameters, showing clear differences among treatment groups ($p < 0.05$). Conversely, the L^* parameter showed no significant differences. Fertilizer application reduced the redness parameter (a^*) and decreased the yellowness parameter (b^*), contributing to greener leaves. These findings highlight the potential of microbial-enriched pelleted organic fertilizer to enhance soil quality and plant growth, supporting the Zero Waste principle and the BCG model for sustainable agriculture.

Keywords: Pelleted organic fertilizer, Swine manure, Palm oil extraction residues, Oil palm seedling growth and CIE Lab* color system

1. บทนำ

ประเทศไทยเป็นผู้ผลิตน้ำมันปาล์มรายใหญ่อันดับสามของโลก คิดเป็นสัดส่วนประมาณร้อยละ 4.6 ของปริมาณน้ำมันปาล์มทั่วโลก พื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันส่วนใหญ่อยู่ในภาคใต้ โดยคิดเป็นร้อยละ 85.9 ของพื้นที่เก็บเกี่ยว และมีโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบจำนวนมากในจังหวัดสุราษฎร์ธานี กระบี่ และตรัง [1] ระบบการผลิตของอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มในประเทศไทยมีลักษณะที่ครบวงจร ตั้งแต่การเพาะปลูกโดยเกษตรกรรายย่อยจนถึงการสกัดในโรงงาน โดยในแต่ละขั้นตอนยังมีผลพลอยได้ที่มียูทิลิตี้ เช่น กากปาล์มที่สามารถใช้เป็นอาหารสัตว์ ทะลายปาล์มเปล่าสำหรับผลิตปุ๋ยชีวภาพ และกะลาปาล์มที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวล [2] กระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มสามารถแบ่งได้เป็นสองระบบหลัก ได้แก่ ระบบความร้อนขึ้นและระบบความร้อนแห้ง โดยระบบความร้อนขึ้นให้ผลผลิตน้ำมันที่มีคุณภาพสูงแต่ก่อให้เกิดน้ำเสียในปริมาณมาก [3] ในทางกลับกันระบบความร้อนแห้งสามารถลดการใช้น้ำและของเสีย และยังให้ผลพลอยได้ที่มียูทิลิตี้ เช่น กะลาปาล์มและกากเส้นใย ซึ่งเหมาะสมสำหรับการนำไปผลิตปุ๋ยอินทรีย์ [4-5] ปัจจุบันมีความสนใจเพิ่มขึ้นในการใช้วัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเพื่อผลิตปุ๋ยอินทรีย์ งานวิจัยโดย Poomsuk และ Weerayut [6] พบว่าวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานสามารถนำไปผลิตปุ๋ยหมักคุณภาพสูงได้อย่างมีประสิทธิภาพ ขณะที่ Chantranoyom และ Phengnu [7] รายงานว่าการใช้ทะลายปาล์มเปล่าร่วมกับกากตะกอนดีแคเตอร์สามารถช่วยเพิ่มธาตุอาหารในดินและส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชได้อย่างชัดเจน

การใช้วัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มด้วยระบบความร้อนแห้งร่วมกับมูลสุกรสามารถนำมาผลิตเป็นปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่มีคุณสมบัติเหมาะสมสำหรับการเพาะชำต้นกล้าปาล์มน้ำมันได้อย่างมีประสิทธิภาพ การเติมสารละลายเชื้อจุลินทรีย์ ได้แก่ LDD.1 และ LDD.3 ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ในรูปผงที่พัฒนาโดยกรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ โดย LDD.1 ประกอบด้วยจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการย่อยสลายเซลลูโลส ซึ่งช่วยเร่งกระบวนการสลายตัวของวัสดุอินทรีย์สำหรับ LDD.3 ประกอบด้วยเชื้อรา *Trichoderma* spp. และแบคทีเรีย *Bacillus* spp. ที่มีบทบาทสำคัญในการควบคุมเชื้อสาเหตุโรคพืช [8] ในขั้นตอนปรับความชื้นก่อนอัดเม็ดจะช่วยเพิ่มจำนวนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตและเชื้อ *Trichoderma* spp. ในผลิตภัณฑ์ปุ๋ย ปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้จากกระบวนการนี้คาดว่าจะมีการละลายเหมาะสมต่อการปลดปล่อยธาตุอาหาร การใช้ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดดังกล่าวในระดับที่เหมาะสมจะส่งเสริมการเจริญของต้นกล้าปาล์มน้ำมัน ซึ่งจะช่วยให้โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มด้วยระบบความร้อนสามารถบริหารจัดการวัสดุเหลือทิ้งให้เกิดประโยชน์สูงสุด มาใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ ถือเป็นแนวทางที่มีศักยภาพในการสร้างมูลค่าเพิ่มทางเศรษฐกิจให้กับโรงงานและเกษตรกรในชุมชนโดยรอบ ซึ่งไม่เพียงช่วยลดต้นทุนการกำจัดของเสีย แต่ยังสร้างมูลค่าเพิ่มทางเศรษฐกิจแก่โรงงานและเกษตรกรในพื้นที่ ส่งเสริมการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า และสนับสนุนแนวคิดการใช้วัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมเกษตรดังกล่าวสอดคล้องกับยุทธศาสตร์เศรษฐกิจ BCG (Bio-Circular-Green Economy) ซึ่งมุ่งเน้นการเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจ การหมุนเวียนทรัพยากร และการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม [9]

ดังนั้น การพัฒนาปุ๋ยอินทรีย์จากของเสียในกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มจึงเป็นแนวทางสำคัญที่สามารถส่งเสริมความยั่งยืนทางการเกษตร และลดการพึ่งพาปุ๋ยเคมีในระยะยาว ในงานวิจัยนี้ มีการใช้วัสดุเหลือทิ้งจากการสกัดน้ำมันปาล์มจากโรงงานที่สกัดด้วยความร้อนแห้งผสมมูลสุกรผ่านกระบวนการหมักจนสมบูรณ์ และเข้าสู่กระบวนการอัดเม็ด โดยในกระบวนการนี้ได้มีการปรับความชื้นของส่วนผสมเท่ากับร้อยละ 30 เพื่อให้เหมาะสมกับการอัดผ่านเครื่องอัดแบบสกรู จนได้เป็นปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด โดยทั่วไปการปรับความชื้นจะใช้วิธีเติมน้ำลงในส่วนผสม อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้ได้เสนอแนวทางใหม่โดยการใช้สารละลายจุลินทรีย์ที่มีสายพันธุ์ที่เป็นประโยชน์ ได้แก่ LDD.1 และ LDD.3 ผสมลงในส่วนผสมก่อนการอัดเม็ด วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้คือ การศึกษาผลของการใช้สารละลายเชื้อจุลินทรีย์ LDD.1 และ LDD.3 เพื่อปรับความชื้นให้ปุ๋ย

อินทรีย์มีความชื้นร้อยละ 30 ในขั้นตอนการอัดเม็ดปุ๋ยต่อปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียมและอินทรีย์วัตถุ การศึกษาจำนวนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตทั้งหมดและเชื้อ *Trichoderma* spp. การศึกษาประสิทธิภาพการอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ และการศึกษาผลของอัตราการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้าปาล์มน้ำมัน

2. วัสดุและวิธีการทดลอง

ปุ๋ยอินทรีย์ที่ผ่านการหมักสมบูรณ์โดยใช้วัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มด้วยระบบความร้อน สูตรปุ๋ยอินทรีย์ประกอบด้วย วัสดุเศษเหลือทิ้งจากโรงงานร้อยละ 70 มูลสุกรร้อยละ 29 และน้ำหมักชีวภาพร้อยละ 1.0 จำนวน 5,000 กิโลกรัม โดยได้รับความอนุเคราะห์จาก บริษัทสินเจริญปาล์มอยส์จำกัด หมู่ 1 ต.อ.ปิ่น อ.พระแสง จ.สุราษฎร์ธานี และโครงการให้คำปรึกษาเทคโนโลยี คลินิกเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตนครศรีธรรมราช ประจำปีงบประมาณ 2567 เป็นปุ๋ยอินทรีย์ยังไม่ผ่านกระบวนการอัดเม็ด โดยมีปริมาณธาตุอาหารหลักของพืช ดังนี้ ไนโตรเจน ร้อยละ 1.0 ฟอสฟอรัสร้อยละ 1.8 และโพแทสเซียมร้อยละ 1.0 ในการศึกษาได้มีการใช้จุลินทรีย์ของกรมพัฒนาที่ดิน (Land Development Department, LLD) ได้แก่ พด.1 หรือ LDD.1 และ พด.3 หรือ LDD.3 ซึ่งได้รับการอนุเคราะห์จากสถานีพัฒนาที่ดินจังหวัดนครศรีธรรมราช สารเคมีสำหรับการวิเคราะห์ธาตุอาหารหลัก และการวิเคราะห์ด้านจุลชีววิทยาซื้อจาก บริษัท เค เอส พี อ็อกต้า จำกัด อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา เครื่องอัดเม็ด V 4 มอเตอร์ 3 แรงม้า หน้าแวนขนาด 6 มม. ซื้อจากร้าน สลลล์ลลการเกษตร

2.1 การตรวจวิเคราะห์ทางเคมี

ตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดในแต่ละสูตรถูกเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 30 วัน เพื่อวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี กายภาพ และจุลชีววิทยา วิเคราะห์ความชื้นโดยใช้เครื่อง Infrared Moisture Analyzer (MA 37-1, Sartorius, ประเทศเยอรมนี) และวิเคราะห์ไนโตรเจนด้วยเครื่อง Carbon/Nitrogen Analyzer (FP 828, LECO, ประเทศสหรัฐอเมริกา) โดยใช้ตัวอย่างขนาด 0.2–0.5 กรัมต่อการทดสอบ [10] ปริมาณฟอสฟอรัสวิเคราะห์ด้วยวิธีแอมโมเนียมโมลิบเดต-วานาเดต (Ammonium molybdate-vanadate method) โดยใช้เครื่อง Spectrophotometer (UV-1800, Shimadzu, ประเทศญี่ปุ่น) ที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร ปริมาณโพแทสเซียมวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง Flame Photometer (Model 410, Sherwood Scientific Ltd., ประเทศอังกฤษ) โดยเปรียบเทียบกับค่าที่ได้กับกราฟมาตรฐานของโพแทสเซียมออกไซด์ (K_2O) สำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณอินทรีย์วัตถุ (Organic Matter) ใช้วิธีการเผาด้วยเตาเผาแบบมาฟเฟิล (Muffle Furnace) ที่อุณหภูมิ 550°C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง แล้วคำนวณจากความแตกต่างของน้ำหนักก่อนและหลังการเผา

2.2 การตรวจวิเคราะห์ทางจุลชีววิทยา

การวิเคราะห์จุลินทรีย์ที่มีชีวิตทั้งหมดเริ่มจากการสุ่มเก็บตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์ เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ แล้วละลายในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ร้อยละ 0.85 ที่ปลอดเชื้อ ทำการเจือจางและเพาะเลี้ยงด้วยเทคนิค Pour Plate [11] บ่มที่อุณหภูมิ 30–37°C ก่อนนับจำนวนโคโลนีและคำนวณค่าจุลินทรีย์ทั้งหมด สำหรับการวิเคราะห์เชื้อรา *Trichoderma* spp. ใช้วิธีของ Thongklee (2019) [11] โดยชั่งตัวอย่างปุ๋ยอัตราส่วน 1:10 ในน้ำกลั่นปลอดเชื้อ ทำการเจือจางให้มีความเข้มข้นที่เหมาะสม แล้วทำเพาะเลี้ยงบนอาหาร Potato Dextrose Agar (PDA) ที่เติม Streptomycin จากนั้นบ่มที่อุณหภูมิ 28–30°C นาน 5–7 วัน ตรวจสอบลักษณะโคโลนีด้วยกล้องจุลทรรศน์และนับจำนวนเพื่อคำนวณความเข้มข้นของเชื้อราในปุ๋ยอินทรีย์

2.3 การวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ทางกายภาพ

การวัดค่าการนำไฟฟ้า (EC: Electrical Conductivity) ด้วย Portable pH/EC/TDS/Temperature Meter (ยี่ห้อ Hanna, รุ่น HI991300 ประเทศอิตาลี) ค่าระดับความเป็นกรด – ด่าง (pH) ด้วย ด้วยเครื่องวัดระดับความเป็นกรด – ด่าง (

ยี่ห้อ METTLER TOLEDO, รุ่น seven Compact pH/ions 200 ประเทศสวิตเซอร์แลนด์) วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดปุ๋ย (มม.) โดยใช้เวอร์เนียร์คาลิเปอร์ ทำการวัดค่า 3 ซ้ำ บันทึกข้อมูลหาค่าเฉลี่ยและการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

2.4 การศึกษาประสิทธิภาพการอัดปุ๋ยอินทรีย์

การประเมินประสิทธิภาพการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดในระบบแบบแบทช์ ดำเนินการโดยผสมวัตถุดิบกับสารละลาย LLD.1, LLD.3 และสูตรผสม LLD.1 + LLD.3 แล้วอัดเม็ดปุ๋ยครั้งละ 100 กิโลกรัม จำนวน 3 ซ้ำ ซึ่งน้ำหนักวัตถุดิบก่อนอัดเม็ด (Winput), น้ำหนักปุ๋ยที่ได้หลังอัด (Wpellets) และน้ำหนักเศษวัสดุที่เหลือ (Wresidue) ประสิทธิภาพการอัดเม็ดคำนวณตามสูตร:

$$\text{สูตรการคำนวณประสิทธิภาพการอัดเม็ด (\%)} = \frac{\text{Winput}}{\text{Wpellets}} \times 100 \quad (1)$$

โดยที่ :

Wresidue : น้ำหนักของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด (กิโลกรัม)

Winput : น้ำหนักรวมของวัตถุดิบใช้ (กิโลกรัม)

$$\text{สูตรการคำนวณเศษวัสดุที่เหลือ (\%)} = \frac{W_{\text{residue}}}{W_{\text{input}}} \times 100 \quad (2)$$

โดยที่ :

Wresidue : น้ำหนักของเศษวัสดุที่เหลือ (กิโลกรัม)

Winput : น้ำหนักรวมของวัตถุดิบใช้ (กิโลกรัม)

การประเมินความสามารถในการละลายปุ๋ย ใช้ตัวอย่างปุ๋ย 10 กรัม ผสมกับน้ำกลั่น 200 มล. ที่อุณหภูมิ 25°C พร้อมกวนด้วยเครื่องกวนสารนาน 30 นาที จากนั้นกรองและเก็บส่วนที่ไม่ละลายเพื่อนำไปอบแห้งและชั่งน้ำหนัก ค่าที่ได้ใช้คำนวณร้อยละการละลายของปุ๋ยอินทรีย์ตามสูตร:

$$\text{Solubility (\%)} = \frac{\text{Weight of Dissolved Fertilizer}}{\text{Initial Fertilizer Weight}} \times 100 \quad (3)$$

$$\text{Weight of dissolved fertilizer} = \text{Initial fertilizer weight} - \text{Undissolved residue weight}$$

2.5 การศึกษาอิทธิพลการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้าปาล์มน้ำมัน

การทดลองดำเนินการระหว่างเดือนกรกฎาคม–กันยายน พ.ศ. 2566 ณ โรงเพาะชำ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย จังหวัดนครศรีธรรมราช โดยใช้ถุงเพาะชำขนาด 8 × 16 นิ้ว และบรรจุดินจากพื้นที่เป็นวัสดุปลูกวางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ จำนวน 3 ซ้ำ เพื่อศึกษาผลของปุ๋ยอินทรีย์ที่ปรับความชื้นด้วยจุลินทรีย์ LLD.1 และ LLD.3 ให้มีความชื้นร้อยละ 30 ก่อนการอัดเม็ด ศึกษาอัตราการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ 6 ระดับ ร้อยละ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 โดยน้ำหนัก ของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดต่อน้ำหนักรวมของดินและปุ๋ยอินทรีย์ในถุงเพาะชำ ต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้าปาล์มน้ำมัน ด้วยการวัดความสูงของต้นกล้าปาล์มน้ำมันจากโคนลำต้นถึงปลายยอด โดยทำการสุ่มต้นกล้าจำนวน 3 ต้นต่อกลุ่มการทดลอง ในช่วงเริ่มต้นของการทดลอง และเมื่อครบ 60 วันหลังการเพาะเลี้ยงต้นกล้า เพื่อประเมินผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในแต่ละระดับ จากนั้นนำค่าความสูงที่ได้มาคำนวณค่าความสูงที่เพิ่มขึ้น (Height Gain, cm) ด้วยการใช้สูตรคำนวณ : ความสูงที่เพิ่มขึ้น (ซม.) = ความสูงของต้นกล้าปาล์มน้ำมันวันที่ 60 ของการปลูก - ความสูงวันเริ่มต้นของการทดลอง (1)

ค่าที่ได้จากการวัดจะถูกนำมาวิเคราะห์ทางสถิติต่อไป มีการดูแลต้นกล้าในสภาพแวดล้อมเหมาะสม รวมถึงการให้น้ำและกำจัดวัชพืชตามความจำเป็น วิเคราะห์ค่าสีใบพืช (CIE L^* , a^* , b^*) โดยใช้เครื่องวัดสี Hunter Lab รุ่น ColorFlex EZ (Hunter Associates Laboratory Inc., ประเทศสหรัฐอเมริกา) ใช้วิธีการวัดค่าสีตามคู่มือของบริษัท [12] ค่าความสว่าง (Lightness, L^*) มีช่วง 0–100, ค่าค่าความเป็นสีเขียว–แดง (Green–Red Component, a^*) บ่งชี้ความเป็นสีเขียวถึงแดง และค่าค่าความเป็นสีเหลือง–น้ำเงิน (Yellow–Blue Component b^*) บ่งชี้ความเป็นสีเหลืองถึงน้ำเงิน โดยวัดซ้ำ 3 ครั้งต่อกลุ่มทดลอง

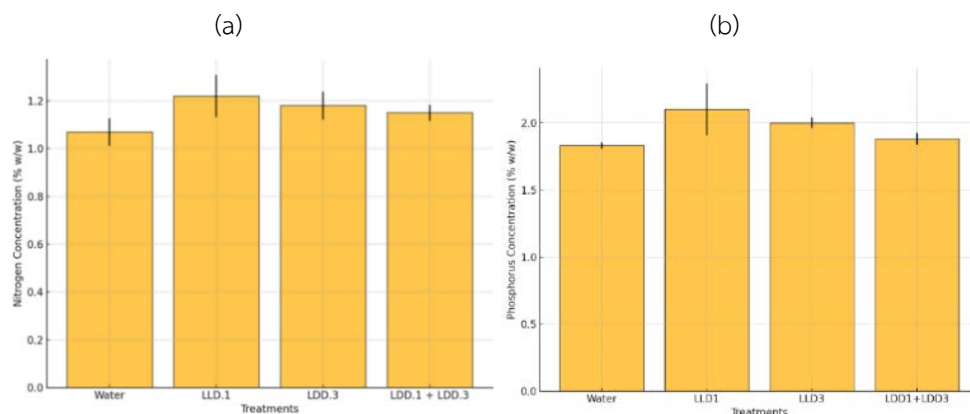
2.6 การวิเคราะห์ทางสถิติ

ตามแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD) วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey's Honestly Significant Difference (Tukey's HSD) ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ $p \leq 0.05$

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

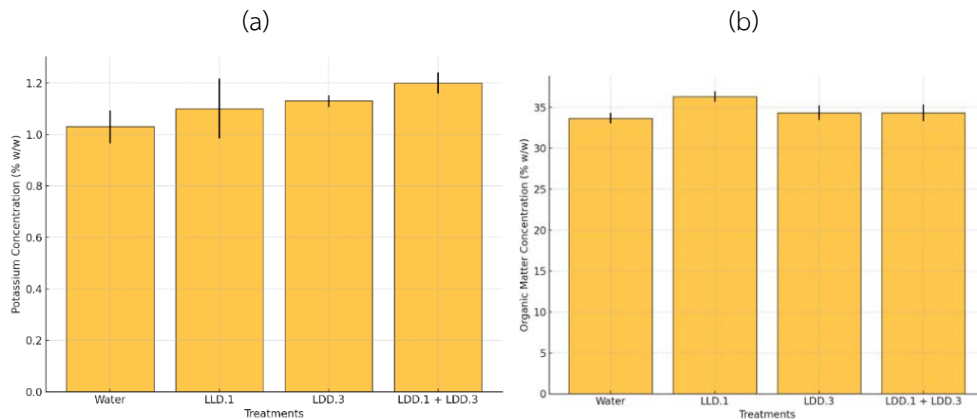
ผลของการใช้สารละลายเชื้อจุลินทรีย์ LLD.1 และ LLD.3 เพื่อปรับความชื้น

ผลการศึกษา พบว่าการใช้สารละลายเชื้อจุลินทรีย์ LLD.1 และ LLD.3 เพื่อปรับความชื้นก่อนกระบวนการอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ ไม่มีผลแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ต่อปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด ดังภาพที่ 1a และ 1b สำหรับไนโตรเจน พบว่ากลุ่มที่ใช้ LLD.1 มีปริมาณเฉลี่ยสูงสุด (ร้อยละ 1.20 ± 0.05) ส่วนกลุ่มควบคุมที่ใช้น้ำมีปริมาณไนโตรเจนต่ำที่สุด ดังภาพที่ 1a แนวโน้มดังกล่าวสอดคล้องกับรายงานก่อนหน้า ซึ่งระบุว่าการใช้จุลินทรีย์สามารถกระตุ้นกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์และการปลดปล่อยธาตุไนโตรเจนในรูปที่พืชสามารถดูดใช้ได้ โดยผ่านกลไกการสร้างเอนไซม์ที่ช่วยเร่งการย่อยสลายประกอบอินทรีย์เชิงซ้อนที่มีไนโตรเจน [13] นอกจากนี้ สำหรับผลการวิเคราะห์ฟอสฟอรัส พบว่าปุ๋ยอินทรีย์ที่ใช้สารละลาย LLD.1 มีปริมาณเฉลี่ยสูงสุด (ร้อยละ 2.10 ± 0.05) ขณะที่กลุ่มควบคุมมีปริมาณต่ำที่สุด ผลดังกล่าวแสดงในภาพที่ 1b แม้จะไม่พบความแตกต่างทางสถิติ แต่ผลที่ได้สนับสนุนแนวคิดจุลินทรีย์มีบทบาทสำคัญในการช่วยละลายฟอสเฟตจากวัสดุอินทรีย์ และเปลี่ยนให้อยู่ในรูปที่พืชสามารถดูดซึมใช้สารอาหารได้ [14]



ภาพที่ 1 ปริมาณไนโตรเจน (a) และฟอสฟอรัส (b) ของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่เติมเชื้อจุลินทรีย์ LLD.1 และ LLD.3 หลังการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 วัน (แสดงเป็นร้อยละโดยน้ำหนัก, ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD, $n = 3$)

สำหรับปริมาณอินทรีย์วัตถุ ผลการวิเคราะห์พบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่เติมสารละลายจุลินทรีย์ LLD.1, LLD.3 และ LLD.1 + LLD.3 ดังแสดงในภาพที่ 2b ผลลัพธ์นี้อาจสะท้อนว่าการเติมจุลินทรีย์ในขั้นตอนการปรับความชื้นก่อนอัดเม็ด ยังไม่มีผลต่อการเร่งการสลายตัวของวัสดุอินทรีย์ในช่วงเวลาการเก็บรักษา 30 วัน เนื่องจากช่วงเวลาดังกล่าวอาจสั้นเกินไปสำหรับจุลินทรีย์ในการแสดงบทบาทย่อยสลายอินทรีย์วัตถุได้อย่างชัดเจน อย่างไรก็ตาม อย่างไรก็ตาม มีรายงานทางวิชาการระบุว่า จุลินทรีย์กลุ่ม *Trichoderma* spp. และ *Bacillus* spp. ซึ่งพบใน LLD.3 และ LLD.1 ตามลำดับ มีบทบาทในการเร่งการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุผ่านการผลิตเอนไซม์เซลลูเลสและลิกเนส [15] หากมีการเพิ่มระยะเวลาการหมักหรือเก็บรักษานานขึ้น อาจเห็นผลกระทบต่อค่าปริมาณอินทรีย์วัตถุอย่างชัดเจนมากขึ้นสำหรับในงานวิจัยต่อไป



ภาพที่ 2 ปริมาณโพแทสเซียม (a) และสารอินทรีย์ (b) ของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่เติมเชื้อจุลินทรีย์ LLD.1 และ LLD.3 หลังการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 วัน (แสดงเป็นร้อยละโดยน้ำหนัก, ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD, $n = 3$)

สำหรับปริมาณโพแทสเซียมของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด แม้ว่าการศึกษานี้จะไม่พบความแตกต่างทางสถิติ แต่จากงานวิจัยก่อนหน้านี้พบว่า จุลินทรีย์บางชนิด เช่น *Bacillus* spp. และ *Trichoderma* spp. สามารถผลิตกรดอินทรีย์หรือเอนไซม์ที่ช่วยละลายโพแทสเซียมจากวัสดุอินทรีย์หรือแร่ธาตุให้อยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้ ซึ่งพืชสามารถดูดซึมและนำไปใช้ประโยชน์ได้ [16] กลไกทางชีวภาพนี้จึงยังมีบทบาทสำคัญในกระบวนการหมักเพื่อการผลิตปุ๋ยอินทรีย์

ผลการศึกษาประสิทธิภาพการอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์

พบว่าการใช้สารละลายจุลินทรีย์ LLD.1 และ LLD.3 ไม่มีผลแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อคุณสมบัติทางกายภาพของเม็ดปุ๋ย ได้แก่ ประสิทธิภาพการอัดเม็ด เส้นผ่านศูนย์กลาง และความสามารถในการละลาย ($p > 0.05$) [17] โดยค่าที่ได้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของปุ๋ยอินทรีย์เชิงพาณิชย์ แม้กลุ่มที่เติมจุลินทรีย์จะมีค่าการละลายสูงกว่ากลุ่มควบคุมเล็กน้อย แต่ไม่พบความแตกต่างทางสถิติ แสดงในตารางที่ 1 ซึ่งสอดคล้องกับรายงานก่อนหน้านี้ที่ระบุว่าความชื้นและจุลินทรีย์ไม่มีผลชัดเจนต่อสมบัติทางกายภาพของเม็ดปุ๋ย [18, 19] อย่างไรก็ตาม การใช้จุลินทรีย์ยังคงมีบทบาทสำคัญต่อคุณภาพทางชีวภาพของปุ๋ย และสอดคล้องกับแนวทางการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ที่ยั่งยืน [20]

ตารางที่ 1 ผลการใช้สารละลายจุลินทรีย์ LLD.1 และ LLD.3 ต่อประสิทธิภาพการอัดเม็ด (ร้อยละ) เส้นผ่านศูนย์กลาง (มม.) และความสามารถในการละลายของเม็ดปุ๋ย (ร้อยละ)

กลุ่มทดลอง	ประสิทธิภาพการอัดเม็ด (ร้อยละ)	เส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดปุ๋ย (มม.)	ความสามารถในการละลายของเม็ดปุ๋ย (ร้อยละ)
1. Water (control)	76.67 $\pm$ 2.22	6.10 $\pm$ 0.07	85.33 $\pm$ 1.56
2. LDD.1	77.33 $\pm$ 2.44	6.03 $\pm$ 0.09	86.00 $\pm$ 1.33
3. LDD.3	75.00 $\pm$ 2.00	6.03 $\pm$ 0.04	86.37 $\pm$ 1.11
4. LDD.1 + LDD.3	76.00 $\pm$ 2.67	6.00 $\pm$ 0.07	86.00 $\pm$ 0.67
P - Value	0.818	0.647	0.894

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยจากการวัดซ้ำ 3 ครั้ง แสดงเป็นค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลการของเดิมสารละลาย LLD.1 และ LLD.3 จำนวนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตทั้งหมดและเชื้อรา *Trichoderma* spp.

พบว่า การปรับความชื้นของปุ๋ยอินทรีย์ในกระบวนการอัดเม็ด มีผลช่วยเพิ่มจำนวนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตทั้งหมดและเชื้อรา *Trichoderma* spp. อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม [21] การเพิ่มขึ้นของ *Trichoderma* spp. สอดคล้องกับรายงานวิจัย พบว่าการใช้จุลินทรีย์สามารถกระตุ้นกิจกรรมของเอนไซม์ในดินและเพิ่มความหลากหลายของจุลินทรีย์ ส่งผลดีต่อการเจริญเติบโตของพืชและคุณภาพดินในระยะยาว [22] นอกจากนี้ การใช้จุลินทรีย์ร่วมกับวัตถุอินทรีย์ยังช่วยปรับปรุงสมดุลทางชีวภาพในระบบการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ [23]

ตารางที่ 2 ผลการใช้สารละลายจุลินทรีย์ LLD.1 และ LLD.3 ในการปรับความชื้นของปุ๋ยอินทรีย์ก่อนทำการอัดเม็ดต่อจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดที่มีชีวิต และ *Trichoderma* spp.

กลุ่มทดลอง	จำนวนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตทั้งหมด (Log cfu/g)	<i>Trichoderma</i> spp. (Log cfu/g)
Water (Control)	7.50±0.36 ^b	0.00±0.00 ^b
LDD.1	8.43±0.09 ^{ab}	4.00±0.12 ^a
LDD.3	8.67±0.09 ^a	4.67±0.09 ^a
LDD1+LDD.3	8.37±0.09 ^{ab}	4.53±0.18 ^a
P -value	0.014	< 0.00

หมายเหตุ: ค่าที่แสดงเป็น Log cfu/g. อักษรต่างกันในกลุ่มเดียวกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p \leq 0.05$

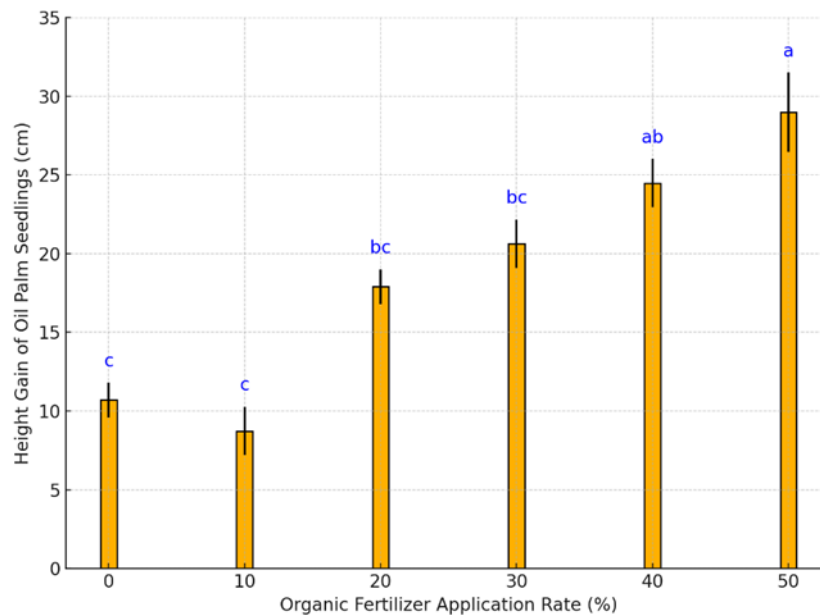
จากผลการทดลองใน ตารางที่ 2 พบว่าสารละลายจุลินทรีย์ LLD.1, LDD.3 และผสมกัน มี *Trichoderma* spp. มากที่สุด โดยมีจำนวนเชื้อ *Trichoderma* spp. มากที่สุด ขณะที่กลุ่มควบคุม (น้ำ) ตรวจไม่พบ *Trichoderma* spp. แสดงให้เห็นว่าสารละลาย LLD.1และ LLD.3 มีศักยภาพในการเพิ่มปริมาณ *Trichoderma* spp. ได้อย่างมีประสิทธิภาพ สำหรับผลการวิเคราะห์จำนวนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตทั้งหมด พบว่าปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่ใช้ LDD.3 มีจำนวนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตทั้งหมด เฉลี่ยสูงสุดที่ log cfu/g 8.67 ± 0.09 ซึ่งสูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของ LLD.3 ในการเพิ่มปริมาณจุลินทรีย์ที่มีชีวิตในปุ๋ยอินทรีย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับรายงานของ Vinale et al. (2008) ซึ่งระบุว่า *Trichoderma* spp. สามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชและควบคุมเชื้อโรคในดินได้ผ่านกลไกการผลิตสารชีวภาพและเอนไซม์ที่มีประโยชน์ทางชีวภาพ ดังนั้น สารละลาย LLD.3 จึงมีศักยภาพในการใช้เป็นสารละลายเชื้อจุลินทรีย์ในกระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์เพื่อเพิ่มความสามารถทางชีวภาพ

ผลการศึกษาระดับความเป็นกรด-ด่างและค่าการนำไฟฟ้า

การศึกษานี้ได้ตรวจสอบระดับความเป็นกรด-ด่าง (pH) และค่าการนำไฟฟ้าไฟฟ้า (Electrical Conductivity: EC) ของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดภายใต้การทดลองต่าง ๆ ซึ่งประกอบด้วยกลุ่มควบคุม กลุ่มที่ใช้ LDD.1, LDD.3 และ LDD.1 ผสม LDD.3 ผลการทดลองพบว่าค่า ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) และค่าการนำไฟฟ้า (EC) ของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดในทุกกลุ่มอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ระดับเป็นกรด-ด่างของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมีสภาพที่เป็นกลางถึงด่างเล็กน้อย (~6.8–7.2) ซึ่งช่วยส่งเสริมการละลายและการดูดซึมธาตุอาหาร ส่วนค่า EC (~1.2–1.6 dS/m) อยู่ในช่วงที่ปลอดภัยต่อพืชและไม่ก่อให้เกิดปัญหาความเค็มในดิน

ผลการศึกษาอิทธิพลการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ต่อการเจริญของต้นกล้าปาล์มน้ำมัน

หลักการการจัดการแปลงต้นกล้าปาล์มน้ำมันจำเป็นต้องมีการใส่ปุ๋ยเพื่อส่งเสริมการเจริญด้านความสูงและความเป็นสีเขียวของใบเพื่อให้ต้นกล้ามีความสมบูรณ์ ก่อนทำการย้ายไปปลูกในแปลงต่อไป



ภาพที่ 3 ผลของการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในอัตราร้อยละ 0, 10, 20, 40 และ 50 โดยน้ำหนัก ต่อค่าความสูงที่เพิ่มขึ้น (ซม.) ของต้นกล้าปาล์มน้ำมัน หลังปลูกเป็นระยะเวลา 60 วัน

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD ($n = 3$); อักษรต่างกันเหนือกราฟแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ $p \leq 0.05$

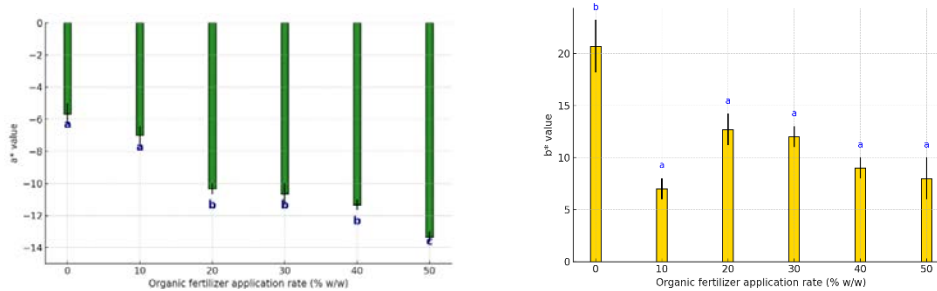
การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในระดับต่าง ๆ มีผลต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้าปาล์มน้ำมันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 3) โดยอัตรา การใส่ปุ๋ยร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก ต้นกล้าปาล์มน้ำมันมีความสูงเพิ่มขึ้นเฉลี่ยสูงสุด (ประมาณ 30 ซม.) ซึ่งแตกต่างจากกลุ่มควบคุมและกลุ่มการทดลองที่มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในอัตราต่ำอย่างชัดเจน ($p \leq 0.05$) ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดอาจเสริมสร้างพัฒนาการของระบบราก ระบบลำเลียง และการดูดซึมธาตุอาหารของต้นกล้า นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มกิจกรรมของจุลินทรีย์และปรับปรุงโครงสร้างดินให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต ผลการทดลองสอดคล้องกับการใช้วัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ ซึ่งสามารถใช้ทดแทนปุ๋ยเคมีได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ผลการศึกษาอิทธิพลการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ต่อค่าความเป็นสีเขียวและสีเหลืองของใบกล้าปาล์มน้ำมัน

ผลการศึกษาดังแสดงในภาพที่ 4 พบว่า การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในระดับต่าง ๆ ส่งผลต่อค่าความเป็นสีเขียว-แดง (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง-น้ำเงิน (b^*) ของใบกล้าปาล์มน้ำมันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยเฉพาะที่ระดับการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก ซึ่งให้ค่า a^* ต่ำที่สุด และแตกต่างอย่างชัดเจนจากกลุ่มอื่น สะท้อนถึงการเพิ่มขึ้นของความเขียวของใบ อันเป็นผลมาจากการสะสมของคลอโรฟิลล์ที่เพิ่มขึ้นในใบพืช ค่าความเขียวที่เพิ่มขึ้นในกลุ่มที่ได้รับปุ๋ยอินทรีย์ในระดับสูงสอดคล้องกับแนวโน้มของการดูดใช้ธาตุอาหารหลัก เช่น ไนโตรเจน ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ ส่งผลต่อสีเขียวของใบพืชอย่างชัดเจน ในขณะเดียวกัน ค่า b^* ซึ่งแสดงถึงความเหลืองของใบ มีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อเพิ่มปริมาณการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ โดยค่าต่ำสุดพบในกลุ่มการทดลองที่มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก ใบปาล์มน้ำมันมีสีเหลืองที่ลดลง ซึ่งอาจเกิดจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณคลอโรฟิลล์ มีผลไปลดค่าความเป็นเหลืองของใบ ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในระดับที่เหมาะสม โดยเฉพาะการใส่ปุ๋ยที่อัตราร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก ช่วยเพิ่มคุณภาพของต้นกล้าปาล์มน้ำมันผ่านการปรับปรุงคุณสมบัติทางสรีรวิทยา เช่น สีของใบ ซึ่งสามารถใช้เป็นดัชนีชี้วัดภาพเบื้องต้นในการประเมินความสมบูรณ์ของพืชในระยะเริ่มต้นของการเจริญเติบโต

ผลการวิจัยนี้ชี้ให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้การวัดค่า a^* และ b^* ของใบพืชในระบบฟาร์มอัจฉริยะ (Smart Farm) เพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการติดตามการเจริญเติบโตของต้นกล้าปาล์มน้ำมัน โดยสามารถใช้เซ็นเซอร์ตรวจวัดสี

ใบแบบพกพาหรือเทคโนโลยีภาพถ่ายทางอากาศ ควบคู่กับระบบประมวลผลข้อมูลเพื่อประเมินความสมบูรณ์ของต้นกล้าแบบเรียลไทม์ และสามารถกำหนดแผนการจัดการปุ๋ยได้อย่างแม่นยำ



ภาพที่ 4 ค่า g^* และค่า p^* ของใบต้นกล้าปาล์มน้ำมันในวันที่ 60 ที่มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ร้อยละ 0-50 โดยน้ำหนัก (w/w)**

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD (n = 3); อักษรต่างกันบ่งชี้ความแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) สีเขียวและสีเหลืองแสดงค่า g^* และ p^* ตามลำดับ

อย่างไรก็ตาม วัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ใช้ในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์นี้มีองค์ประกอบหลักเป็นมีองค์ประกอบหลักเป็น เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ซึ่งมีโครงสร้างซับซ้อนและย่อยสลายได้ยาก ทำให้ได้ปุ๋ยอินทรีย์ที่มีธาตุอาหารหลักต่ำ ดังนั้นใช้จุลินทรีย์ที่สามารถย่อยองค์ประกอบหลักดังกล่าวมาใช้เป็นหัวเชื้อในการหมักปุ๋ยอินทรีย์

4. บทสรุป

ผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า การใช้สารละลายจุลินทรีย์ LDD.1 และ LDD.3 เพื่อปรับความชื้นของปุ๋ยอินทรีย์ก่อนเข้าสู่กระบวนการอัดเม็ด แม้จะไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อปริมาณธาตุอาหารหลักและอินทรีย์วัตถุของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดภายหลังการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง แต่แสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการเพิ่มจำนวนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตทั้งหมดและเชื้อรา *Trichoderma* spp. ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งสะท้อนถึงความสามารถในการยกระดับคุณภาพทางชีวภาพของผลิตภัณฑ์ปุ๋ย ทั้งนี้ การเติมจุลินทรีย์ดังกล่าวไม่ส่งผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของเม็ดปุ๋ย ได้แก่ ประสิทธิภาพการอัดเม็ด เส้นผ่านศูนย์กลาง และความสามารถในการละลายน้ำของเม็ดปุ๋ย ($p > 0.05$) นอกจากนี้ การใช้ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดในอัตราร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก ยังช่วยเพิ่มความสูงและค่าความเขียวของใบต้นกล้าปาล์มน้ำมันได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) สอดคล้องกับเป้าหมายของการใช้วัสดุเหลือทิ้งจากภาคอุตสาหกรรมเพื่อการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ที่ยั่งยืน ทั้งในด้านสิ่งแวดล้อม เศรษฐกิจ และคุณภาพของผลิตภัณฑ์

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณอย่างยิ่งสำหรับการสนับสนุนงบประมาณ จากแผนงานพัฒนาขีดความสามารถทางด้านเทคโนโลยีและวิจัยของภาคเอกชนในพื้นที่ (Industrial Research and Technology Capacity Development Program: IRTC) อุทยานวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ ประจำปีงบประมาณ 2566 ขอขอบคุณ บริษัทสินเจริญปาล์มมอยล์ จำกัด ที่ให้การสนับสนุนวัตถุดิบสำหรับการทดลองในครั้งนี้ ขอขอบคุณคณะอุตสาหกรรมเกษตรและคณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ที่ให้ความอนุเคราะห์โรงเรือนเพาะชำ ห้องปฏิบัติการและเครื่องมือสำหรับการตรวจวิเคราะห์ จนเสร็จสิ้นโครงการ



6. เอกสารอ้างอิง (References)

- [1] Krungsri Research Institute. (2024). Palm oil industry outlook 2024–2026. Retrieved May 1, 2025
- [2] Vega-Carranza, A. S., Escamilla-Montes, R., Fierro-Coronado, J. A., Diarte-Plata, G., Guo, X., García-Gutiérrez, C., & Luna-González, A. (2023). Effect of organic fertilizers on the quality and pigmentation of leafy crops. *Agricultural Sciences*, 14(2), 85–97.
- [3] Singh, J., Rahman, A. R., & Chiew, F. Y. (2022). The role of palm oil waste in agriculture. *Agricultural Systems*, 199, 103365. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2021.103365>
- [4] Li, Y., Wang, Y., & Zhang, X. (2024). Effects of microbial inoculants combined with chemical fertilizer on timothy growth and soil properties. *Agronomy*, 14(5), 1016. <https://www.mdpi.com/2073-4395/14/5/1016>
- [5] Sharma, S. B., Sayyed, R. Z., Trivedi, M. H., & Gobi, T. A. (2013). Phosphate solubilizing microbes: Sustainable approach for managing phosphorus deficiency in agricultural soils. *SpringerPlus*, 2, 587. <https://doi.org/10.1186/2193-1801-2-587>
- [6] Poomsuk, P., & Weerayut, J. (2011). Production and value enhancement of compost from residual materials of palm oil extraction plants. Retrieved May 3, 2025
- [7] Chantranoyom, T., & Phengnu, A. (2019). Compost production from empty fruit bunches and decanter cake. Retrieved May 3, 2025
- [8] Land Development Department (LDD). (n.d.). Beneficial microbial products for soil improvement and crop productivity. Retrieved July 9, 2025, from http://www1.ddd.go.th/menu_5wonder/pd_3.html
- [9] Prasertsan, P., Chiansilp, B., Prasertsan, S., Kongchan, P., Duangsuwan, W., Ruangsang, A., Churit, W., Sangkharak, K., & Othong, S. (2017). Bioenergy and bioproducts from oil palm and palm oil waste for sustainable development: Final research report. Office of National Higher Education Science Research and Innovation Policy Council (NXPO). (In Thai)
- [10] LECO Corporation. (2020). 828 Series Carbon/Nitrogen Analyzer Instruction Manual (FP 828). LECO Corporation.
- [11] Thongklee, P. (2019). Development of pellet organic fertilizer product mixed with *Trichoderma* spp. inoculum. *Journal of Soil and Fertilizer*, 41(1), 45–57. (In Thai)
- [12] Hunter Associates Laboratory, Inc. (2008). HunterLab ColorFlex EZ User's Manual (Version 4.2). Reston, Virginia, USA: HunterLab.
- [13] Chen, Q., Li, Y., Li, Z., & Pan, G. (2020). Effect of microbial inoculants on composting of agricultural wastes and nutrient transformation. *Journal of Environmental Management*, 259, 109888. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109888>
- [14] Zulkaramai, B., & Musa, M. H. (2021). Isolation and evaluation of phosphate-solubilizing bacteria from compost and their potential for sustainable agriculture. *Microorganisms*, 9(3), 511. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9030511>
- [15] Meena, R. K., Bohra, J. S., Singh, R. K., & Singh, P. (2022). Potassium-solubilizing bacteria and their role in improving plant growth and nutrient availability. *Archives of Microbiology*, 204, 54 <https://doi.org/10.1007/s00203-021-02637-2>



- [16] Department of Agriculture, Thailand. (2022). Organic Fertilizer Standards and Physical Quality Criteria. Bangkok: Ministry of Agriculture and Cooperatives. (In Thai)
- [17] Zhao, Y., Wang, P., Li, F., & Liu, X. (2018). Effects of moisture content on physical properties of compost pellets. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 11(3), 101–106. <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20181103.3592>
- [18] Smith, J. R., Nguyen, T., & Park, J. (2020). Effects of microbial amendments on the solubility and physical structure of biofertilizer pellets. *Journal of Soil and Plant Science*, 13(2), 67–75. <https://doi.org/10.1234/jsps.2020.13.2.67>
- [19] Thailand PDRC. (2024). Thailand promotes organic fertilizer pelletization to increase productivity and sustainability. *AgroSpectrum Asia*. Retrieved May 2, 2025)
- [20] Prasad, R., & Kumar, V. (2021). Role of microbial inoculants in compost quality and microbial dynamics during organic fertilizer production. *Compost Science & Utilization*, 29(4), 255–264. <https://doi.org/10.1080/1065657X.2021.1905359>
- [21] Yan, K., Mei, H., Ruan, Y., Yu, S., Su, H., Zhi, Y., Li, S., & Sun, Y. (2023). Partial substitution of chemical fertilizer by *Trichoderma* biofertilizer improved nitrogen use efficiency in wolfberry (*Lycium chinense*) in coastal saline land. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1225028. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1225028>
- [22] Zhang, J., Liu, Q., & Xie, Z. (2022). Impact of microbial amendments on enzyme activity and microbial diversity in agricultural soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 164, 108472. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2022.108472>
- [23] Sharma, R. K., & Pathak, H. (2020). Stability and environmental fate of bioinoculants in soil: Implications for long-term productivity. *Current Microbiology*, 77, 2856–2864. <https://doi.org/10.1007/s00284-020-02144-5>
- [24] Vinale, F., Sivasithamparam, K., Ghisalberti, E. L., Marra, R., Barbetti, M. J., Li, H., ... & Lorito, M. (2008). A review on *Trichoderma* as a biocontrol agent and its mechanisms. *Plant Pathology*, 57(4), 552–560. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2008.01874.x>