

การเพิ่มมูลค่าซังข้าวโพดด้วยการทำปุ๋ยหมักเพื่อแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อมระดับชุมชน
ตำบลบ้านคำ อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง
Value-Added Composting of Corn Cobs for Environmental Solutions
in Ban Kha Subdistrict, Lampang Province

เยาวทิวา นามคุณ¹ พัฒนา กายาไชย^{2,*} รจเรจ นันตา² สุจิตรา ปันดี¹ และเกษณี อ้นอ้าย¹
Yaowatiwa Nammakhun¹, Pattana kayachai^{2,*}, Rojarej Nunta², Sujitra Pandee¹
and Kaesanee Inai¹

¹คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง ลำปาง 52100

²คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง ลำปาง 52100

¹Faculty of Education, Lampang Rajabhat University, Lampang, Thailand 52100

²Faculty of Agricultural Technology, Lampang Rajabhat University, Lampang, Thailand 52100

*Corresponding author: Pudd.woody@lpru.ac.th

*ORCID iD: <https://orcid.org/0009-0004-2517-6384>

Received: May 23, 2025

Revised: November 19, 2025

Accepted: January 12, 2026

Abstract

This research was a participatory community-based action research (CBPAR) study. The objectives were to evaluate the efficiency of compost production from corn cob residues using the non-turned Maejo Engineering Method 1 recipe in three aspects: (1) carbon sequestration and reduction of greenhouse gas emissions; (2) compost quality from different types of corn cob residues; and (3) compost production cost. The sample group included five volunteer corn farmers from Ban Kha sub-district, Mueang district, Lampang province, as well as twelve representatives from the sub-district Administrative Organization, including community development staff, village leaders, and headmen. Three types of research instruments were used: focus group record forms, experimental record forms, and questionnaires. Data were analyzed using frequency, percentage, mean, standard deviation, and content analysis. The results demonstrated that compost production was highly efficient in reducing greenhouse gas emissions, decreasing from 2,914.82 kg carbon equivalent (baseline) to only 556.59 kg carbon equivalent, a reduction of 2,358.23 kg, or 80.9%. For compost quality, pile 1 (shredded corn cobs) provided the best results, with 40.4% organic matter, meeting Grade 1 standards for most parameters, except phosphorus (P₂O₅), which was 0.23%, lower than the standard. Cost analysis showed a total production cost of 8,102 THB, or 1.69 THB per kilogram of raw material, with major cost components consisting of raw material (51.8%), labor and fuel (26.3%), equipment rental (12.3%), and

additives (9.5%). Farmers expressed a high level of satisfaction with the research findings and publication manual, with overall satisfaction rated as high.

Keywords: static pile composting Maejo Engineering Formula 1, corn stover, greenhouse gas reduction, cost analysis

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยชุมชนเชิงปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วม (CBPAR) มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินประสิทธิภาพการผลิตปุ๋ยหมักจากเศษซากซังข้าวโพดตามสูตรวิศวกรรมแม่โจ้ 1 แบบไม่กลับกอง ได้แก่ 1) การกักเก็บคาร์บอนและการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 2) คุณภาพปุ๋ยหมักจากลักษณะเศษซากซังข้าวโพดที่แตกต่างกัน และ 3) ต้นทุนการผลิตปุ๋ยหมัก กลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ เกษตรผู้ปลูกข้าวโพดในตำบลบ้านคำ อำเภอลำปาง จังหวัดลำปาง จำนวน 5 คน ได้มาโดยอาสาสมัคร ตัวแทนจากอบต. พัฒนาชุมชน กำนันตำบล ผู้ใหญ่บ้าน จำนวน 12 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยมี 3 ชนิด ได้แก่ แบบบันทึกการประชุมกลุ่ม แบบบันทึกการทดลองและแบบสอบถาม วิเคราะห์ข้อมูลด้วย ความถี่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการวิเคราะห์เนื้อหา ผลการวิจัยพบว่า การผลิตปุ๋ยหมักสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้อย่างมีประสิทธิภาพสูง โดยสามารถลดจาก 2,914.82 กิโลกรัมคาร์บอนเทียบเท่า (กรณีฐาน) เหลือเพียง 556.59 กิโลกรัมคาร์บอนเทียบเท่า คิดเป็นการลดลง 2,358.23 กิโลกรัมคาร์บอนเทียบเท่า หรือประสิทธิภาพการลด 80.9% ด้านคุณภาพปุ๋ยหมัก พบว่ากองปุ๋ยที่ 1 (ซังข้าวโพดบดย่อย) ให้คุณภาพดีที่สุดด้วยอินทรีย์วัตถุ 40.4% ผ่านเกรด 1 ในหลายพารามิเตอร์ ยกเว้นฟอสฟอรัส (P_2O_5) ที่มีค่า 0.23% ต่ำกว่ามาตรฐาน และต้นทุนการผลิตโดยผ่านการวิเคราะห์ ต้นทุนแสดงให้เห็นว่าการผลิตปุ๋ยหมักมีต้นทุนรวม 8,102 บาท หรือ 1.69 บาทต่อกิโลกรัมวัตถุดิบ โดยวัตถุดิบหลักมีสัดส่วน 51.8% ค่าแรงงานและน้ำมัน 26.3% ค่าเช่า

เครื่องบดย่อย 12.3% และวัตถุดิบเสริม 9.5% เกษตรมีความพึงพอใจต่อผลการวิจัยและคู่มือการเผยแพร่ โดยภาพรวมพบว่าอยู่ในระดับมาก

คำสำคัญ: ปุ๋ยหมักแบบไม่กลับกองวิศวกรรมแม่โจ้ 1 ซังข้าวโพด ปริมาณการลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก วิเคราะห์ต้นทุน

บทนำ

สภาพการเพาะปลูกการเกษตรของจังหวัดลำปางปัจจุบัน มีการปลูกข้าวโพด ข้าว และมันสำปะหลัง เป็นพืชเศรษฐกิจหลัก นับตั้งแต่ปี พ.ศ. 2565 จังหวัดลำปางต้องเผชิญปัญหาความท้าทาย นอกเหนือจากปัญหาด้านทุนในการผลิตทางการเกษตรที่สูงขึ้นแล้วยังพบปัญหาสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะปัญหาหมอกควัน ซึ่งเป็นปัญหาที่เรื้อรังและส่งผลกระทบต่อสุขภาพประชาชนในวงกว้าง ซึ่งในพื้นที่ภาคเหนือได้รับผลกระทบมานานนับ 10 ปี (Pookkaman and Kantasa-ard, 2018)

จังหวัดลำปางเป็นจังหวัดที่มีการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญ โดยมีข้อมูลการผลิตระหว่างปี พ.ศ. 2562–2566 เริ่มจากปี พ.ศ. 2562 ผลผลิต 132,311 ตัน ซึ่งในแต่ละปี พ.ศ. 2563, 2564 2565 และ 2566 มีอัตราผลผลิตเพิ่มขึ้น 0.62, 0.36, 34.9 และ 1.45% ตามลำดับ ณ ข้อมูลปี พ.ศ. 2566 พบว่ามีผลผลิตถึง 189,725 ตัน สำหรับอำเภอลำปางมีสัดส่วนการผลิต ประมาณ 4–6% ของจังหวัด เนื้อที่เพาะปลูก ประมาณ 8,000–11,000 ไร่ ผลผลิตประมาณ 6,000–8,300 ตันต่อปี ผลผลิตต่อไร่ ประมาณ

600–800 กิโลกรัมต่อไร่ (Lampang Provincial Commerce Office, 2024) พื้นที่ตำบลบ้านคำ อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง มีการปลูกข้าวโพดหมุนเวียนตลอดทั้งปี หรือปลูกสลับกับการปลูกข้าวมายาวนานกว่า 15 ปี โดยมีการปลูกข้าวโพดอาหารสัตว์ส่งให้กับสหกรณ์รับซื้อข้าวโพดสัตว์ และปลูกเพื่อผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดให้กับบริษัทเอกชน จากการสุ่มสัมภาษณ์ตัวแทนเกษตรกรผู้ปลูกข้าวโพดจำนวน 32 คน (Nammakhun *et al.*, 2025) พบว่าเกษตรกรมีต้นทุนจากค่าปุ๋ยและสารเคมีเฉลี่ยประมาณ 5,500 บาท/ไร่ และมีรายได้ก่อนหักค่าใช้จ่ายเฉลี่ยประมาณ 15,000 บาท/ไร่ ไม่นับรวมค่าแรงและค่าดูแลรักษาพืชของเกษตรกร โดยในแต่ละปีจะมีเศษซากซึ่งข้าวโพดมากถึงประมาณ 200 ตัน โดยมาจากข้าวโพดอาหารสัตว์ประมาณ 120 ตัน และเปลือกข้าวโพดจากการปลูกเพื่อผลิตเมล็ดพันธุ์ประมาณ 80 ตัน โดยปกติแล้วเศษซากซึ่งข้าวโพดดังกล่าวบางส่วนจะถูกขายไปเป็นเชื้อเพลิงชีวมวล และส่วนที่เหลือมักจะถูกทิ้งไว้เพื่อรอการเผา

จากสภาพปัญหาดังกล่าว จึงจำเป็นต้องหาวิธีที่ต้องศึกษาแนวทางการลดมลภาวะที่เกิดจากการเผาวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร โดยเฉพาะอย่างยิ่งเศษซากข้าวโพด นอกเหนือจากการศึกษาแนวทางการลดมลภาวะจากการเผาเศษซากข้าวโพดด้วยการทำปุ๋ยหมักแล้ว ประโยชน์สำคัญของการใช้ปุ๋ยหมัก คือ การลดต้นทุนการผลิตทางการเกษตร และช่วยปรับปรุงคุณภาพดิน ปุ๋ยหมักแบบไม่กลับกองสูตรวิศวกรรมแม่โจ้ 1 เป็นนวัตกรรมการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ที่พัฒนาโดยคณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ในปี พ.ศ. 2552 โดยการทำปุ๋ยด้วยวิธีนี้จะไม่ต้องพลิกกลับกอง ประหยัดแรงงาน 70–80% ระยะเวลาการหมักปุ๋ยเสร็จใน 60 วัน คุณภาพสูง โดยผ่านมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ กรมวิชาการเกษตร พ.ศ. 2551 ซึ่งลักษณะการขึ้นกองปุ๋ยเป็นรูปสามเหลี่ยม ความสูง 1.5 เมตร ฐานกว้าง 2.5 เมตร เพื่อให้เกิดการพาความร้อนธรรมชาติ (natural convection) โดยอากาศร้อนจากการหมักจะลอยขึ้นด้านบน อากาศเย็นจะผ่านเข้ามา

ทางด้านข้างของกองปุ๋ย สำหรับวัตถุประสงค์และอัตราส่วนของการทำปุ๋ยหมักแบบไม่กลับกองนี้ ประกอบด้วยเศษซากวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรต่อมูลสัตว์ประมาณ 4:1 โดยปริมาตร หรือเศษใบไม้ต่อมูลสัตว์ประมาณ 3:1 โดยปริมาตร วางเป็นชั้นบางๆ 15–17 ชั้น หนาชั้นละไม่เกิน 10 ซม

งานศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทำปุ๋ยหมักแบบไม่กลับกองที่ใช้วัสดุเหลือใช้จากการเกษตรในชุมชนในประเด็นต่าง ๆ ในประเทศไทย เช่น ประเด็นการลดต้นทุนการผลิตปุ๋ยหมัก Popradit *et al.* (2022) ศึกษาการใช้เศษใบไม้เพื่อลดต้นทุนการผลิตปุ๋ยหมัก โดยทดสอบในอัตราส่วนของใบไม้ต่อมูลวัว ด้วยอัตราส่วน 3:1, 4:1 และ 5:1 ตามลำดับ พบว่าสามารถลดการใช้มูลวัวได้โดยไม่กระทบคุณภาพ ประหยัดต้นทุน 40% และให้อัตราส่วนผลตอบแทนสุทธิ (NPV) ประมาณ 1,130 บาทต่อหน่วยผลิต สำหรับประเด็นการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการทำปุ๋ยหมัก Highland Research and Development Institute (Public Organization) (2024) ได้ทำการผลิตปุ๋ยหมักจากซึ่งข้าวโพดในโครงการหลวงทั้ง 44 โครงการ สามารถผลิตปุ๋ยหมักได้ 2,660 ตัน โดยสามารถลดการปลดปล่อยคาร์บอน 944.16 ตันคาร์บอนเทียบเท่า สำหรับประเด็นเรื่องคุณภาพของปุ๋ยหมัก Ruairuen *et al.* (2022) ศึกษาการใช้เศษใบไม้และเปลือกทุเรียนในสุราษฎร์ธานี พบว่าระยะเวลาการทำปุ๋ยหมัก 60 วัน มีคุณภาพดีกว่า 45 วัน โดยคุณสมบัติปุ๋ยหมักดังกล่าว เช่น pH อยู่ที่ประมาณ 6.75–8.29 อินทรีย์วัตถุอยู่ที่ประมาณ 45.5–78.2%

จากการทำปุ๋ยหมักที่ใช้เศษซากวัสดุเกษตรเหลือทิ้งที่สามารถลดการเผา ช่วยเพิ่มคุณภาพสิ่งแวดล้อม ช่วยลดต้นทุนการใช้ปุ๋ย รวมถึงคุณภาพของปุ๋ยหมักด้วยวิธีการทำปุ๋ยหมักแบบไม่กลับกองสูตรวิศวกรรมแม่โจ้ 1 มีคุณภาพตามเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยหมัก ดังนั้นการศึกษาวิจัยครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์หลัก คือ (1) เพื่อประเมินปริมาณการกักเก็บคาร์บอนโดยการทำปุ๋ยหมักแบบไม่กลับกองจากซึ่งข้าวโพดด้วยสูตรวิศวกรรมแม่โจ้ 1 (2) เพื่อศึกษา

คุณภาพปุ๋ยหมักแบบไม่กลับกองจากซังข้าวโพดด้วยสูตรวิศวกรรมแม็โจ 1 จากลักษณะเศษซากจากซังข้าวโพด และ (3) วิเคราะห์ต้นทุนการผลิตปุ๋ยหมักจากซังข้าวโพด ผ่านการประยุกต์ใช้องค์ความรู้วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรม ที่แสดงให้เห็นว่าสามารถพัฒนาและเร่งแก้ไขปัญหาระบบการเกษตรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม และเป็นแนวทางการเพิ่มมูลค่าซังข้าวโพด ด้วยการทำปุ๋ยหมักเพื่อแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อมระดับชุมชน ตำบลบ้านคำ อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง ตามลำดับ

วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีดำเนินการวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยชุมชนเชิงปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วม โดยมีขั้นตอนการดำเนินการวิจัยอยู่ 4 ขั้นตอน ได้แก่ 1) ขั้นตอนการออกแบบการวิจัยแบบมีส่วนร่วม 2) ขั้นตอนวิธีการดำเนินการทดลองแบบมีส่วนร่วม และ 3) ขั้นตอนการวิเคราะห์และสรุปผลการวิจัยแบบมีส่วนร่วม 4) การจัดเวทีประชุมเชิงปฏิบัติการเพื่อเผยแพร่ผลการวิจัยและคู่มือการผลิตปุ๋ยหมักจากซังข้าวโพดและคืนข้อมูลชุมชน ดัง Figure 1

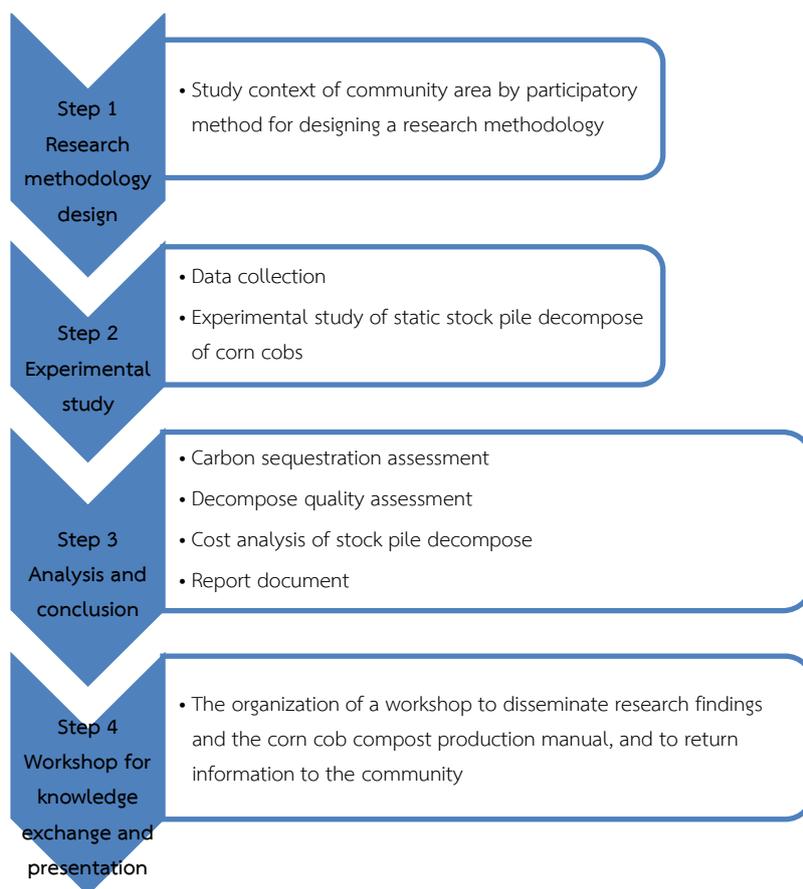


Figure 1 Framework of study

วิธีดำเนินการวิจัย

การออกแบบการวิจัย การวิจัยนี้ใช้แนวทางการวิจัยเชิงทดลองแบบมีส่วนร่วมของชุมชน โดยเริ่มจากการวิเคราะห์บริบทชุมชนผ่านกระบวนการแบบมีส่วนร่วม (participatory approach) ด้วยการประชุมกลุ่ม (focus group meeting) เกษตรกร เจ้าหน้าที่ภาครัฐ ผู้นำชุมชน จำนวนทั้งสิ้น 17 คน เพื่อออกแบบการทำปุ๋ยหมักแบบไม่กลับกองจากขี้วัวโพด

การดำเนินการทดลองวิจัยศึกษา การดำเนินการทำกองปุ๋ยหมักแบบไม่กลับกอง โดยประยุกต์ตามสูตรวิศวกรรมแม่โจ้ 1 โดยใช้วัตถุดิบหลัก คือ เศษซากขี้วัวโพด และมูลวัว โดยผสมเศษซากขี้วัวโพดและมูลวัวในอัตราส่วน 4:1 โดยปริมาตร สร้างกองปุ๋ยหมักขนาดกว้าง 2 เมตร ยาว 4 เมตร สูง 1.0-1.2 เมตร โดยเทเศษวัสดุหมักปุ๋ยเป็นชั้น จำนวน 7 ชั้น พร้อมกับเติมสาร พด.1 สำหรับเร่งการย่อยสลายโดยผสมน้ำแล้วราดระหว่างชั้นในแต่ละชั้น ซึ่งจะได้กองปุ๋ยหมักลักษณะทรงปิระมิดฐานสี่เหลี่ยม และคลุมด้วยฟางเพื่อรักษาความชื้น ถือว่าเสร็จสิ้น จากนั้นระหว่างการดูแลรักษาความชื้นโดยการเติมหัวเชื้อ อี.เอ็ม. ที่ผสมกากน้ำตาลโดยการแทงน้ำเข้าไปในกอง รักษาความชื้นในกองปุ๋ยตลอดระยะเวลาการหมัก 70-80 วัน จากกองปุ๋ยหมักทั้ง 3 กอง แต่ละกองจะใช้ลักษณะเศษซากขี้วัวโพดที่แตกต่างกัน คือ กองที่ 1 ใช้เศษซากขี้วัวโพดที่ผ่านการบด กองที่ 2 ใช้เศษซากขี้วัวโพดเก่าที่ย่อยสลายบางส่วน และกองที่ 3 ใช้เศษซากขี้วัวโพดใหม่ไม่ผ่านการบด

การวิเคราะห์และสรุปผลการวิจัย เมื่อกระบวนการทำปุ๋ยหมักดำเนินการเสร็จสมบูรณ์แล้ว เก็บตัวอย่างปุ๋ยหมักส่งตรวจสอบคุณภาพปุ๋ยหมักตามเกณฑ์ของกรมพัฒนาที่ดิน บันทึกข้อมูลการทดลองอย่างเป็นระบบ วิเคราะห์ข้อมูลในด้านต่าง ๆ ได้แก่ การประเมินการกักเก็บปริมาณคาร์บอนตามเอกสาร LESS-WM-03 เวอร์ชัน 9 (Thailand Greenhouse Gas Management Organization (Public Organization), 2025) ประเมินการวิเคราะห์คุณภาพปุ๋ยหมักตามมาตรฐานกรมพัฒนา

ที่ดิน และการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตปุ๋ยหมัก จากนั้นจึงจัดทำรายงานและสรุปผลการทดลองโดยการรวบรวมข้อมูลจากการทดลอง การวิเคราะห์คุณภาพ และการประเมินต้นทุน เพื่อนำเสนอแนวทางการผลิตปุ๋ยหมักจากขี้วัวโพดที่เหมาะสมสำหรับชุมชน

การประเมินการกักเก็บปริมาณคาร์บอนตามเอกสาร LESS-WM-03 เวอร์ชัน 9 ได้โดยสมการดังต่อไปนี้

ปริมาณการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

$$(\text{kgCO}_2\text{eq}) = A - B \quad (1)$$

โดยที่ A คือ ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกรณีฐาน (kgCO_2eq)

B คือ ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินโครงการ (kgCO_2eq)

สำหรับปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกรณีฐาน สามารถแสดงได้ดังสมการ (2)

ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกรณีฐาน

$$(\text{kgCO}_2\text{eq}) = C * D + E * F \quad (2)$$

โดยที่ C คือ น้ำหนักเศษอาหาร (กิโลกรัม)

D คือ ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับปุ๋ยคอกจากที่มา U.S. Department of Energy (2025) ($\text{kgCO}_2\text{eq kg}^{-1}$ มูลสัตว์) ซึ่งมีค่า 0.056

E คือ น้ำหนักของเศษซากพืช (กิโลกรัม)

F คือ ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับการจัดการขยะประเภทกิ่งไม้/ใบไม้ด้วยวิธีการฝังกลบ ($\text{kgCO}_2\text{eq kg}^{-1}$ เศษซากพืช) ซึ่งมีค่าประมาณ 0.9633

สำหรับปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินโครงการ สามารถแสดงได้ในสมการ (3)

ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินโครงการ

$$(\text{kgCO}_2\text{eq}) = (C + E) * (G + H) + (I * Y) \quad (3)$$

โดยที่ G คือ ค่าการปล่อยก๊าซมีเทนจากการหมักขยะ

อินทรีย์ มีค่าประมาณ ($\text{kgCO}_2\text{eq kg}^{-1}$ ขยะอินทรีย์) 0.0560

H คือ ค่าการปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์จากการหมัก

ขยะอินทรีย์ มีค่าประมาณ ($\text{kgCO}_2\text{eq kg}^{-1}$ ขยะอินทรีย์) 0.0530

I คือ ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในการดำเนินกิจกรรม

(กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง) และ

Y คือ ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากระบบสาย

ส่ง สำหรับผู้ใช้ไฟฟ้า ($\text{kgCO}_2\text{eq kWh}^{-1}$) มีค่าประมาณ 0.4682

สำหรับในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ ปริมาณน้ำมันเบนซินที่ใช้ในเครื่องบดย่อยจะถูกแปลงเป็นปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในการดำเนินกิจกรรมหมักปุ๋ย โดยอ้างอิงจากกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (ประเทศไทย) ซึ่งน้ำมันเบนซิน 1 ลิตร ให้พลังงานประมาณ 31.48 MJ หรือ 8.74 kWh

การวิเคราะห์คุณภาพของปุ๋ยหมักตามมาตรฐานของกรมพัฒนาที่ดิน โดยค่าที่สำคัญ ได้แก่ อินทรีย์วัตถุ, C/N ratio, pH, ค่าการนำไฟฟ้า (EC), ไนโตรเจน (N), ฟอสฟอรัส (P_2O_5) และโพแทสเซียม (K_2O) เป็นต้น

การวิเคราะห์ต้นทุน (cost analysis) ประกอบด้วย ต้นทุนคงที่ (fixed cost) คือ ต้นทุนที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามระดับของการผลิตหรือการขาย ในช่วงเวลาหนึ่ง ๆ ไม่ว่าจะผลิตหรือขายสินค้ามากน้อยเพียงใดก็ตาม แม้ว่าระดับการผลิตหรือยอดขายจะมีการเปลี่ยนแปลงก็ตาม และต้นทุนผันแปร (variable costs)

คือ ต้นทุนที่เปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณการผลิตหรือการขายของธุรกิจ

การจัดเวทีประชุมเชิงปฏิบัติการเพื่อเผยแพร่ผลการวิจัยและคู่มือการผลิตปุ๋ยหมักจากขังข้าวโพดและคืนข้อมูลให้แก่ชุมชน โดยการจัดประชุมเชิงปฏิบัติการร่วมกับเกษตรกร เจ้าหน้าที่ภาครัฐ และผู้นำชุมชน แล้วประเมินความพึงพอใจต่อผลการวิจัยและคู่มือการผลิตปุ๋ยหมักจากขังข้าวโพด

ผลการวิจัย

การศึกษานี้นำเสนอผลการทดลองการผลิตปุ๋ยหมักแบบไม่กลับกองตามสูตรวิศวกรรมแม่โจ้ 1 โดยใช้เศษซากขังข้าวโพดและมูลวัว โดยผ่านการประเมินประสิทธิภาพการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก คุณภาพปุ๋ยหมัก ต้นทุนการผลิตผลการประเมินการกักเก็บปริมาณคาร์บอน และผลประเมินความพึงพอใจของเกษตรกรและเจ้าหน้าที่ผู้เข้าร่วมโครงการวิจัยต่อผลการวิจัยและคู่มือการผลิตปุ๋ยหมักจากขังข้าวโพด ซึ่งผลการศึกษายังสามารถแสดงได้ ดังต่อไปนี้

การประเมินการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

การทดลองใช้วัตถุดิบประกอบด้วย มูลวัว 1,890 กิโลกรัม (39.3%) และเศษซากขังข้าวโพด 2,916 กิโลกรัม (60.7%) รวมน้ำหนัก 4,806 กิโลกรัม ผลการประเมินแสดงให้เห็นประสิทธิภาพการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอย่างมีนัยสำคัญ ดังแสดงได้ใน Table 1

Table 1 Reduction of greenhouse gas emissions from three tons of corn stover compos

Organic waste (kg)		Electricity used	Baseline GHG emissions	Project GHG emissions	Emissions reduced
Animal manure	Corn stove	(kWh)	(kg CO ₂ -eq)	(kg CO ₂ -eq)	(kg CO ₂ -eq)
1,890	2,916	69.92	2,914.82	556.59	2,358.23

สำหรับปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจาก
 กรณีฐานจะมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 2,914.82
 (kgCO₂eq) ในขณะที่การดำเนินโครงการปุ๋ยหมักมีการปล่อย
 556.59 (kgCO₂eq) ส่งผลให้สามารถลดการปล่อยได้
 2,358.23 (kgCO₂eq) คิดเป็นประสิทธิภาพการลด 80.9%
 เมื่อพิจารณาต่อหน่วยวัตถุดิบ พบว่าการปล่อยก๊าซเรือน
 กระจกในกรณีฐานเท่ากับ 0.61 (kgCO₂eq kg⁻¹ วัตถุดิบ)
 และสามารถลดการปล่อยได้ 0.49 (kgCO₂eq kg⁻¹
 วัตถุดิบ)

**ผลการวิเคราะห์คุณภาพปุ๋ยหมักตามมาตรฐาน
 กรมพัฒนาที่ดิน**

การประเมินคุณภาพปุ๋ยหมักทั้ง 3 กอง
 เปรียบเทียบกับมาตรฐานของกรมพัฒนาที่ดิน แบ่งเป็น 2
 เกรด แสดงผลแตกต่างกันอย่างชัดเจน โดยมีรายละเอียด
 ดัง Table 2

Table 2 Compost quality analysis according to Land Development Department Standards

Parameter qualities	Standard of decomposes		Pile 1 (Grinded)	Pile 2 (old, not Grinded)	Pile 3 (fresh, not Grinded)
	LDD Grade 1 Standard	LDD Grade 2 Standard			
Organic matter (%)	≥30	≥20	40.4	24.82	16.63*
K ₂ O (%)	≥0.5	≥0.5	2.17	0.54	1.09
P ₂ O ₅ (%)	≥0.5	≥0.5	0.23*	0.20*	0.19*
C/N ratio	≤20	≤20	20	14	14
Nitrogen (N, %)	≥1.0	≥1.0	1.17	1.04	0.68*
pH	5.5 – 8.5	5.5 – 8.5	8.72*	7.82	8.54*
Electrical conductivity (dS m ⁻¹)	≤10	≤10	2.03	0.76	1.03

*Values in bold did not meet LDD Grade 1 or Grade 2 standards

กองปุ๋ย 1 **Pile 1 (grinded)** ซึ่งเป็นกองปุ๋ย
 ที่ใช้เศษซากซังข้าวโพดที่ถูกบดย่อย เป็นกองปุ๋ยที่แสดง
 คุณภาพที่ดีที่สุด โดยมีอินทรีย์วัตถุ 40.4% (ผ่านเกรด 1)
 K₂O 2.17% (ผ่านเกรด 1) อัตราส่วน C/N = 20 (ผ่าน
 เกรด 1) ไนโตรเจน 1.17% (ผ่านเกรด 1) pH 8.72 และ
 ค่าการนำไฟฟ้า 2.03 dS m⁻¹ (ทั้งคู่ผ่านมาตรฐาน)
 อย่างไรก็ตาม ฟอสฟอรัส (P₂O₅) มีค่า 0.23% ซึ่งไม่ผ่าน
 มาตรฐานขั้นต่ำ 0.5%

กองปุ๋ย 2 **Pile 2 (old, not grinded)** ซึ่งเป็น
 กองปุ๋ยที่เศษซากจากซังข้าวโพดไม่ถูกบดย่อย โดยสภาพ

ซังข้าวโพดเป็นของเก่า มีการย่อยสลายไปแล้วบางส่วน
 เป็นกองปุ๋ยที่มีอินทรีย์วัตถุ 24.82% (ผ่านเกรด 2)
 มี K₂O 0.54% C/N = 14 ไนโตรเจน 1.04% (ทั้งหมด
 ผ่านเกรด 1) pH 7.82 และค่าการนำไฟฟ้า 0.76 dS m⁻¹
 แต่ P₂O₅ มีค่า 0.20% ซึ่งยังไม่ผ่านมาตรฐาน

กองปุ๋ย 3 **Pile 3 (fresh, not Grinded)** ซึ่งเป็น
 กองปุ๋ยที่เศษซากจากซังข้าวโพดไม่ถูกบดย่อย
 โดยสภาพซังข้าวโพดเป็นของใหม่ ยังไม่มีการย่อยสลาย
 เป็นกองที่แสดงคุณภาพต่ำสุด โดยมีอินทรีย์วัตถุ 16.63%
 (ไม่ผ่านมาตรฐาน) ไนโตรเจน 0.68% (ไม่ผ่านมาตรฐาน)

และ P_2O_5 0.19% (ไม่ผ่านมาตรฐาน) แม้จะมี K_2O 1.09% C/N = 14 pH 8.54 และค่าการนำไฟฟ้า $1.03 dS m^{-1}$ ที่ผ่านมาตรฐาน

ต้นทุนการผลิตปุ๋ยหมัก

การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตปุ๋ยหมักจากวัตถุดิบ 3 กอง แสดงโครงสร้างต้นทุนที่ครอบคลุมทั้งต้นทุนคงที่และผันแปร โดยต้นทุนรวมเท่ากับ 8,102 บาท หรือ 1.69 บาท/กิโลกรัมวัตถุดิบ โดยวัตถุดิบหลัก ซึ่งประกอบด้วย

เศษซากซังข้าวโพด 600 บาท และมูลวัว 3,600 บาท มีสัดส่วน 51.8% ของต้นทุนรวม เป็นองค์ประกอบสำคัญที่สุด สำหรับค่าแรงงานและน้ำมัน มีสัดส่วน 26.3% โดยแรงงาน 4 คน มีค่าใช้จ่าย 2,000 บาท และน้ำมัน 4 ลิตร มีค่าใช้จ่าย 132 บาท

ต้นทุนคงที่ จากค่าเช่าเครื่องบดย่อย มีสัดส่วน 12.3% ส่วนสารเสริมประกอบด้วยกากน้ำตาล น้ำตาลทราย หัวเชื้อ อี.เอ็ม และฟางข้าว มีสัดส่วน 9.5% ดังแสดงใน Table 3

Table 3 Cost of producing three tons of corn stover compost

Costs	Items	Price (THB)	Percent (%)
Fixed costs	Grinder rental	1,000	12.30
Variable costs	Corn Stover	600	7.440
	Animal manure	3,600	44.40
	Molasses, Granulated sugar, EM microbial starter, Rice straw	770	9.50
	Labor	2,000	24.70
	Fuel	132	1.60

ผลการจัดเวทีประชุมเชิงปฏิบัติการเพื่อเผยแพร่ผลการวิจัยและคู่มือการผลิตปุ๋ยหมักจากซังข้าวโพดและคินข้อมูลชุมชน พบว่าเกษตรกร เจ้าหน้าที่ภาครัฐ ผู้นำชุมชน มีความพึงพอใจต่อผลการวิจัยและคู่มือการผลิตปุ๋ยหมักจากซังข้าวโพด โดยภาพรวมพบว่า

อยู่ในระดับมาก (Mean = 4.32, SD = 0.65) โดยมีค่าเฉลี่ยสูงสุดในประเด็นกิจกรรมของโครงการ ฯ ส่งเสริมการยกระดับอาชีพ ผู้สร้างรายได้ที่ยั่งยืน (Mean = 4.54, SD = 0.61)

Table 4 The satisfaction of participants in the research project on adding value to corn cobs through composting to address community-level environmental issues in Bankha sub-district, Mueang district, Lampang province (n=17)

Evaluation criteria	Evaluation results		
	Mean	SD	Interpretation
1. The project addresses the problems in your area.	4.44	0.81	High
2. The project meets the real needs in your area.	4.42	0.84	High
3. The project activities promote career advancement and sustainable income generation.	4.54	0.61	Highest
4. The research project emphasizes participatory processes, allowing all sectors to fully participate and express opinions.	4.48	0.61	High
5. You are able to fully participate in the activities within the research project.	4.32	0.51	High
6. You have the knowledge and ability to produce simple compost.	4.18	0.85	High
7. You can calculate costs, set prices, and find marketing channels for your own products.	4.04	0.86	High
8. You can reduce production costs by using self-produced compost.	4.10	0.79	High
9. The community has participated in the project throughout and jointly made policy recommendations for development that align with the community's needs and context.	4.20	0.76	High
10. The community has career development guidelines based on readiness and interest, using knowledge integration with modern technology.	4.18	0.85	High
11. A strong community network has been established, with knowledge dissemination and exchange within the community and with other interested communities.	4.32	0.79	High
12. The community has more safe agricultural areas, leading to better health and environment.	4.34	0.63	High

Table 4 (Continued)

Evaluation Criteria	Evaluation results		
	Mean	SD	Interpretation
13. You can continuously use the acquired knowledge for self-development.	4.32	0.71	High
14. You can continuously use the acquired knowledge for family development.	4.46	0.68	High
15. You can continuously use the acquired knowledge for community development.	4.34	0.72	High
16. Local administrators recognize the importance of safe agriculture.	4.32	0.91	High
17. You can transfer knowledge to other individuals and communities.	4.30	0.74	High
18. You can serve as a good role model for others.	4.40	0.61	High
19. You can apply and expand the acquired knowledge in your area.	4.36	0.78	High
Total	4.32	0.65	High

วิจารณ์ผลการวิจัย

การศึกษานี้แสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการใช้เศษซากซึ่งข้าวโพดเป็นวัตถุดิบในการผลิตปุ๋ยหมักแบบไม่กลับกองตามสูตรวิศวกรรมแม่โจ้ 1 โดยให้ผลลัพธ์ที่น่าสนใจในด้านการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก การได้ปุ๋ยหมักที่มีคุณภาพแตกต่างกันตามลักษณะของวัตถุดิบและการวิเคราะห์ต้นทุนที่แสดงความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ ผลการวิจัยนี้สอดคล้องกับแนวคิดการจัดการของเสียทางการเกษตรแบบยั่งยืน และการพัฒนาเศรษฐกิจหมุนเวียนในประเทศไทย

การประเมินปริมาณการกักเก็บคาร์บอนและการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

ผลการวิจัยแสดงประสิทธิภาพการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอย่างมีประสิทธิภาพถึง 80.9% จากการ

ผลิตปุ๋ยหมัก ซึ่งสามารถลดการปล่อยได้ 2,358.23 กิโลกรัมคาร์บอนเทียบเท่า จากกรณีฐานที่มีการปล่อย 2,914.82 กิโลกรัมคาร์บอนเทียบเท่า ลดเหลือเพียง 556.59 กิโลกรัมคาร์บอนเทียบเท่า ผลลัพธ์นี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Luske (2010) ที่ระบุว่าการทำงานปุ๋ยหมักสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะการหลีกเลี่ยงการปล่อยก๊าซมีเทนจากการทิ้งขยะอินทรีย์แบบไร้อากาศ แนวคิดทางทฤษฎีที่สนับสนุนผลการวิจัยนี้คือ Life Cycle Assessment (LCA) และ Carbon Footprint Analysis ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการผลิตปุ๋ยหมักเป็นทางเลือกที่ดีกว่าการจัดการของเสียแบบดั้งเดิม ดังงานวิจัยของ Min *et al.* (2022) พบผลลัพธ์คล้ายคลึงกัน โดยการใช้ปุ๋ยหมักทดแทนปุ๋ยเคมีในสัดส่วน 30% สามารถลด Global Warming Potential (GWP) และ Greenhouse Gas Emission Intensity (GHGI) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตาม ผลการวิจัยนี้แตกต่าง

จากบางงานวิจัยที่พบว่าการผลิตปุ๋ยหมักอาจเพิ่มการปล่อยก๊าซมีเทนในช่วงแรกของกระบวนการ ตามที่ Yasmin *et al.* (2022) ได้ระบุไว้ ความแตกต่างนี้อาจเกิดจากการใช้เทคนิคการหมักปุ๋ยแบบไม่กลับกองที่ควบคุมสภาวะการหมักแบบมีอากาศที่แตกต่างกัน

การศึกษาคุณภาพปุ๋ยหมักจากลักษณะของเศษซากซังข้าวโพด

ผลการวิเคราะห์คุณภาพปุ๋ยหมักแสดงความแตกต่างอย่างชัดเจนระหว่างกองปุ๋ยทั้งสาม โดยกองปุ๋ย 1 (ซังข้าวโพดบดย่อย) ให้คุณภาพดีที่สุดในด้วยอินทรีย์วัตถุ 40.4% และผ่านเกรด 1 ในหลายพารามิเตอร์ ในขณะที่กองปุ๋ย 3 (ซังข้าวโพดสด) ให้คุณภาพต่ำที่สุดในด้วยอินทรีย์วัตถุเพียง 16.63% ผลลัพธ์นี้สอดคล้องกับแนวคิดทฤษฎี Surface Area Theory ในกระบวนการหมัก ซึ่งระบุว่า การเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสของวัตถุดิบผ่านการบดย่อยจะช่วยให้ประสิทธิภาพการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ งานวิจัยของ Keng *et al.* (2023) ยืนยันว่าขนาดอนุภาคของวัตถุดิบมีผลต่ออัตราการย่อยสลายและคุณภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้าย ประเด็นสำคัญ คือ การขาดฟอสฟอรัส (P_2O_5) ในปุ๋ยหมักทุกกอง (0.19–0.23%) ซึ่งไม่ผ่านมาตรฐานขั้นต่ำ 0.5% ตามเกณฑ์กรมพัฒนาที่ดิน ผลลัพธ์นี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Thitanuwat *et al.* (2016) ที่ระบุว่าปุ๋ยหมักมักมีฟอสฟอรัสต่ำเนื่องจากฟอสฟอรัสส่วนใหญ่ถูกรวมตัวในสารอินทรีย์และไม่พร้อมใช้ทันที อัตราส่วน C/N ที่ได้ (14–20) อยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับปุ๋ยหมักที่สุกแล้ว ตามมาตรฐานปุ๋ยหมักของกรมพัฒนาที่ดิน ที่กำหนดไว้ต่ำกว่า 20:1 แนวคิดทฤษฎีการหมัก อธิบายว่าอัตราส่วน C/N จะลดลงตามกาลเวลา เนื่องจากจุลินทรีย์ใช้คาร์บอนเป็นพลังงานและปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากระบบ (Wong, 2004)

การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตปุ๋ยหมัก

การวิเคราะห์ต้นทุนแสดงให้เห็นว่าการผลิตปุ๋ยหมักมีต้นทุนรวม 8,102 บาท หรือ 1.69 บาท/กิโลกรัม

วัตถุดิบ โดยวัตถุดิบหลักคิดเป็น 51.8% ของต้นทุนรวมตามด้วยค่าแรงงานและน้ำมัน 26.3% และอุปกรณ์หรือค่าเช่าเครื่องจักร 12.3% ผลการวิเคราะห์นี้เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยในประเทศไทยของ Thola *et al.* (2022) พบว่าการทำปุ๋ยหมักจากซังข้าวโพดสามารถผลิตได้ 0.7 ตัน/ตันวัตถุดิบ ในประเด็นเรื่องการจัดการของเสียทางการเกษตรแบบยั่งยืน งานวิจัยนี้สนับสนุนแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน (circular economy) ที่ส่งเสริมการใช้ประโยชน์จากของเสียทางการเกษตร การศึกษาของ Shen *et al.* (2024) ผ่านการทำ meta-analysis พบว่าการใช้อัตราส่วน C/N ในช่วง 25–30 ให้ผลลัพธ์ดีที่สุดในการผลิตปุ๋ยหมักจากเศษซากเกษตร ซึ่งแตกต่างจากงานวิจัยนี้ที่ใช้สัดส่วนวัตถุดิบให้อัตราส่วน C/N ต่ำกว่าเล็กน้อย ประสิทธิภาพการลดก๊าซเรือนกระจก ผลการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 80.9% สูงกว่าที่พบในงานวิจัยส่วนใหญ่ ดังเช่นงานวิจัยของ Nordahl *et al.* (2023) พบว่าการผลิตปุ๋ยหมักจากของเสียอินทรีย์สามารถลดการปล่อยก๊าซมีเทนจากการทิ้งขยะได้อย่างมีนัยสำคัญ แต่อาจเพิ่มการปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์และแอมโมเนีย ความแตกต่างนี้อาจเกิดจากสภาพภูมิอากาศและวิธีการจัดการที่แตกต่างกัน

ผลการจัดเวทีประชุมเชิงปฏิบัติการเพื่อเผยแพร่ผลการวิจัยและคู่มือการผลิตปุ๋ยหมักจากซังข้าวโพด

ผลการจัดเวทีประชุมเชิงปฏิบัติการเพื่อเผยแพร่ผลการวิจัยและคู่มือการผลิตปุ๋ยหมักจากซังข้าวโพด และคืนข้อมูลชุมชน พบว่าเกษตรกร เจ้าหน้าที่ภาครัฐ ผู้นำชุมชนมีความพึงพอใจต่อผลการวิจัยและคู่มือการผลิตปุ๋ยหมักจากซังข้าวโพด โดยภาพรวมพบว่าอยู่ในระดับมาก โดยมีค่าเฉลี่ยสูงสุดในประเด็นกิจกรรมของโครงการฯ ส่งเสริมการยกระดับอาชีพ สู่การสร้างรายได้ที่ยั่งยืน เป็นไปตามแนวคิดของวิจัยเชิงปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วม กระบวนการของการวิจัยเชิงปฏิบัติ การแบบมีส่วนร่วม (PAR) เป็นเกลียวของวงจรการสะท้อนคิด และการปฏิบัติเริ่มจากการสังเกตสิ่งที่เกิดขึ้น สะท้อนแนวคิดร่วมกัน

แลกเปลี่ยนเรียนรู้และวางแผนเพื่อการเปลี่ยนแปลง และลงมือปฏิบัติตามแผน สังเกตผลจากการปฏิบัติและวางแผนซ้ำ จนกว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงสิ่งที่ปฏิบัติอยู่ให้ดีขึ้น สิ่งเหล่านี้นับว่าเป็นการปฏิบัติทางสังคม เป็นกระบวนการเรียนรู้ที่แต่ละขั้นตอนผู้ที่เกี่ยวข้องในสถานการณ์นั้น ๆ ต้องเข้ามามีส่วนร่วมตลอดกระบวนการ มีการแลกเปลี่ยนประสบการณ์ซึ่งกันและกัน เป็นการเสริมพลังอำนาจ ให้ความอิสระและสร้างจิตสำนึกให้เกิดขึ้นในปัจเจกบุคคล ทำให้เข้าใจอย่างมีวิจารณญาณ และเป็นการสะท้อนแนวคิดในประเด็นต่าง ๆ ในสังคม

ข้อเสนอแนะเชิงนโยบายและการประยุกต์ใช้

ด้านเทคโนโลยีการปรับปรุงสูตรปุ๋ยหมัก ควรเสริมแหล่งฟอสฟอรัส เช่น กากอ้อยหรือเศษกระดูกสัตว์ การพัฒนาระบบ Aerated Static Pile เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและลดระยะเวลาการหมัก การใช้จุลินทรีย์ช่วยเพื่อเร่งกระบวนการย่อยสลายและปรับปรุงคุณภาพ

ด้านเศรษฐกิจ การสร้างตลาดปุ๋ยหมัก ในระดับชุมชนเพื่อสร้างมูลค่าเพิ่ม การพัฒนาระบบสหกรณ์เพื่อลดต้นทุนและเพิ่มขนาดการผลิต การคิดค่าการลดก๊าซเรือนกระจกผ่านกลไกการซื้อขายคาร์บอน

ด้านสิ่งแวดล้อม การบูรณาการกับนโยบาย PM 2.5 ในการลดการเผาในที่โล่ง การส่งเสริมการใช้ปุ๋ยหมักเป็นส่วนหนึ่งของ precision agriculture การพัฒนามาตรฐานคุณภาพปุ๋ยหมักที่เหมาะสมกับบริบทของชุมชนบ้านคำ

สรุปผลการวิจัย

การศึกษานี้นำเสนอผลการวิจัยเชิงประยุกต์ที่สำคัญในการจัดการของเสียทางการเกษตรอย่างยั่งยืน โดยการนำเศษซากซังข้าวโพดมาใช้ในการผลิตปุ๋ยหมักแบบไม่กลับกองตามสูตรวิศวกรรมแม่โจ้ 1 ผลการวิจัย

แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้อย่างมีนัยสำคัญถึง 80.9% พร้อมทั้งให้ปุ๋ยหมักที่มีคุณภาพแตกต่างกันตามลักษณะการเตรียมวัสดุดิบ โดยกองปุ๋ย 1 (ซังข้าวโพดบดย่อย) ให้คุณภาพดีที่สุดด้วยอินทรีย์วัตถุ 40.4% และผ่านเกรด 1 ในหลายพารามิเตอร์ และมีต้นทุนการผลิตที่เหมาะสมอยู่ที่ 1.69 บาทต่อกิโลกรัมวัสดุดิบ ซึ่งสามารถเป็นทางเลือกในการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับเศษซากทางการเกษตรและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้อย่างเป็นรูปธรรม

กิตติกรรมประกาศ

บทความวิจัยนี้ เป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัย เรื่อง การเพิ่มมูลค่าซังข้าวโพดด้วยการทำปุ๋ยหมักเพื่อแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อมระดับชุมชน ตำบลบ้านคำ อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง ขอขอบคุณทุนอุดหนุนการวิจัย มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง ประจำปีงบประมาณ 2568

เอกสารอ้างอิง

Highland Research and Development Institute (Public Organization). 2024. **Compost helps reduce burning and benefits us economically (How)**. Retrieved from <https://hkm.hrdi.or.th/Knowledge/detail/714> [in Thai]

Keng, Z.X., J.J.M.Tan, B.L. Phoon, C.C. Khoo, I. Khoiroh, S. Chong, C. Supramaniam, A. Singh and G.T. Pan. 2023. Aerated static pile composting for industrial biowastes: from engineering to microbiology. **Bioengineering** 10(8): 938 <https://doi.org/10.3390/bioengineering10080938>

- Lampang Provincial Commerce Office. 2024. **The situation of maize procurement for animal feed, production year 2024/2025**. Retrieved from <https://lampang.moc.go.th/th/content/category/detail/id/104/iid/74130> [in Thai]
- Luske, B. 2010. **Reduced Greenhouse Gas Emissions due to Compost Production and Compost Use in Egypt**. Driebergen: Louis Bolk Institute. 30 p.
- Min, H., X. Huang, D. Xu, Q. Shao, Q. Li, H. Wang and L. Ren. 2022. Determining the effects of compost substitution on carbon sequestration, greenhouse gas emission, soil microbial community changes, and crop yield in a wheat field. **Life** 12(9): 1382
<https://doi.org/10.3390/life12091382>
- Nammakhun, Y., P. Tongtanee and R. Nunta. 2025. The Project evaluation of the sustainable economic and social enhancement: the case study of Wiang Mok sub-district northern of Thailand. **Community and Social Development Journal** 26(2): 164–179. [in Thai]
- Nordahl, S.L., C.V. Preble, T.W. Kirchstetter and C.D. Scown. 2023. Greenhouse gas and air pollutant emissions from composting. **Environmental Science & Technology** 57(6): 2235–2247.
- Pookkaman, W. and A. Kantasa-ard. 2018. Cost reduction in the plantation of longan and mango by implementing the integrated agricultural cost reduction model and integer linear programming optimization model: case study of plantation area in Sakaeo province Thailand. **Journal of Industrial Education** 17(2): 13–22. [in Thai]
- Popradit, A., J. Wiangnon, P. Jitrabiab and N. Pakvilai. 2022. Organic fertilizer application using leaf waste according to Maejo Engineering Method 1. **Thai Environmental Engineering Journal** 36(3): 47–54. [in Thai]
- Ruairuen, W., N. Khammanee and P. Noparat. 2022. **Production and properties of compost from agroforestry waste materials**. Retrieved from <https://wjst.wu.ac.th/index.php/stssp/article/view/25728> [in Thai]
- Shen, B., L. Zheng, X. Zheng, Y. Yang, D. Xiao, Y. Wang, Z. Sheng, and B. Ai. 2024. Insights from meta-analysis on carbon to nitrogen ratios in aerobic composting of agricultural residues. **Bioresource Technology** 413(2024): 1-10
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2024.131416>

- Thailand Greenhouse Gas Management Organization (Public Organization). 2025. **Document for greenhouse gas reduction calculation LESS-WM-03: production of compost or soil conditioner from organic waste (8th ed.)**. Retrieved from <https://ghgreduction.tgo.or.th/th/calculation/less-calculate-document/less-waste/item/550-less-wm-03.html> [in Thai]
- Thitanuwat, B., C. Polprasert and A.J. Engle Jr. 2016. Quantification of phosphorus flows throughout the consumption system of Bangkok Metropolis, Thailand. **Science of The Total Environment** 542: 1106–1116. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.09.065> [in Thai]
- Thola, J., P. Abdul Salam, S. Dhakal and E. Winijkul. 2022. Sustainable options for reducing open burning of corn residues: case study of Mae Chaem district, Thailand. **Polish Journal of Environmental Studies** 31(6): 5851–5861.
- U.S. Department of Energy. 2025. **A generic counterfactual greenhouse gas emission factor for life-cycle assessment of manure-derived biogas and renewable natural gas**. Washington, DC: U.S. Department of Energy. 20 p
- Wong, J.W.C. 2004. **Composting and Compost Utilization in Agriculture**. Hong Kong: Department of Biology, Hong Kong Baptist University. 34 p..
- Yasmin, N., K. Samal, M. Jamuda and A. Panda. 2022. Emission of greenhouse gases (GHGs) during composting and vermicomposting: measurement, mitigation, and perspectives. **Energy Nexus** 7: 100092. <https://doi.org/10.1016/j.nexusenerg.2022.100092>