

การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในกระบวนการปลูกพืชเศรษฐกิจ:
กรณีศึกษา มังคุด ทูเรียน และยางพารา ต.พรหมโลก อ.พรหมคีรี
จังหวัดนครศรีธรรมราช

CARBON FOOTPRINT ASSESSMENT OF COMMERCIAL CROP
CULTIVATION: A CASE STUDY OF MANGOSTEEN, DURIAN AND
RUBBER IN PHROMMALOK SUB DISTRICT, PHROM KHIRI DISTRICT,
NAKHON SI THAMMARAT PROVINCE

นภัสสร ไทยทะบะ และมลิมาศ จริยพงษ์*

Napatsorn Thaithaba and Malimas Jariyapong*

บทคัดย่อ

การส่งเสริมการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาคเกษตรเป็นหนึ่งในโครงการสำคัญที่ช่วยผลักดันให้ประเทศไทยบรรลุเป้าหมายความเป็นกลางทางคาร์บอน การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนจากกระบวนการปลูกพืชเศรษฐกิจ 3 ชนิด ได้แก่ สวน มังคุด สวนทูเรียน และสวนยางพารา งานวิจัยดำเนินการในพื้นที่ตำบลพรหมโลก อำเภอพรหมคีรี จังหวัดนครศรีธรรมราช ดำเนินการเก็บข้อมูลโดยใช้แบบสอบถามจากเกษตรกรที่ถูกเลือกแบบเฉพาะเจาะจงทั้งหมด 62 ราย และวิเคราะห์ข้อมูลการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) โดยใช้แนวทางการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA) กำหนดหน่วยการทำงาน (Functional Unit) เป็นต่อไร่ต่อปี ตามแนวทางขององค์การบริหารก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) มากำหนดชนิดของปัจจัยการผลิตที่มีการใช้ตั้งแต่กระบวนการเตรียมดินไปจนถึงกระบวนการเก็บเกี่ยว ผลผลิต และคำนวณการคำนวณปริมาณการปลดปล่อยก๊าซ CO₂ จากปริมาณการใช้ปัจจัยการผลิต ผลการศึกษา พบว่าปัจจัยหลักที่มีผลต่อการปลดปล่อยก๊าซ CO₂ ได้แก่ การใช้ปุ๋ยเคมี การใช้น้ำมันเชื้อเพลิงในการไถพรวน

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช อำเภอเมือง จังหวัดนครศรีธรรมราช 80280

Faculty of Science and Technology, Nakhon Si Thammarat Rajabhat University, Mueang District, Nakhon Si Thammarat Province 80280

*corresponding author e-mail malimas_jar@nstru.ac.th

Received: 6 September 2025; Revised: 30 November 2025; Accepted: 4 December 2025

DOI: <https://doi.org/10.14456/lsej.2025.29>

การตัดหญ้า การใช้สารเคมีกำจัดวัชพืช และการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงในการขนส่งผลผลิต โดยตลอดกระบวนการเพาะปลูก พืชเศรษฐกิจที่ปลดปล่อยก๊าซ CO₂ มากที่สุดคือ สวนทุเรียนซึ่งมีค่าการปลดปล่อยก๊าซ CO₂ เท่ากับ 338.38 กิโลกรัม CO₂ eq ต่อไร่ต่อปี รองลงมาคือสวนมังคุดมีค่าการปลดปล่อยก๊าซ CO₂ เท่ากับ 287.41 กิโลกรัม CO₂ eq ต่อไร่ต่อปี และน้อยที่สุดคือสวนยางพารามีค่าการปลดปล่อยก๊าซ CO₂ เท่ากับ 217.34 กิโลกรัม CO₂ eq ต่อไร่ต่อปีตามลำดับ ผลการศึกษาคือเป็นข้อมูลฐานที่สำคัญ สำหรับการกำหนดแนวทางปฏิบัติทางการเกษตรที่ยั่งยืนและการวางแผนลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในพื้นที่ต่อไป

คำสำคัญ: การปลดปล่อยก๊าซ CO₂ ก๊าซเรือนกระจก เกษตรกรรมยั่งยืน ปุ๋ยเคมี

Abstract

The promotion of greenhouse gas (GHG) emission reduction in the agriculture sector is crucial for Thailand to achieve its carbon neutrality. This study aims to comparatively assess the carbon footprint of three major economic crops: mangosteen, durian, and rubber. The research was conducted in Phrommalok Sub-District, Phom Khiri District, Nakhon Si Thammarat Province. It Utilized primary data collected through questionnaires from 62 purposively selected farmers. The assessment followed Life Cycle Assessment (LCA) approach, defining the Functional Unit as per rai per year, and adopting the guidelines set by The Greenhouse Gas Management Organization (Public Organization). The system boundary covered agricultural inputs from land preparation to product transport. The results showed that CO₂ equivalent (CO₂eq) emissions were primarily driven by chemical fertilizers, fuel consumption for tillage, weed management, pesticides, and transport. The process of maintenance was identified as the major emission hotspot across all three crops. The commercial crop with the highest CO₂ eq emissions was durian at 338.38 Kg CO₂ eq/rai⁻¹/year⁻¹, followed by mangosteen at 287.41 Kg CO₂ eq/rai⁻¹/year⁻¹, and rubber at 217.34 Kg CO₂ eq/rai⁻¹/year⁻¹ respectively. The findings provide essential baseline data for developing targeted sustainable agricultural practices and effective GHG mitigation strategies in the region.

Keywords: carbon dioxide emissions, greenhouse gases, sustainable agriculture, fertilizers

บทนำ

ด้วยภูมิประเทศที่เอื้อต่อการเพาะปลูก ประเทศไทยจึงมีพืชเป็นปัจจัยสำคัญในการสร้างรายได้ให้แก่ครัวเรือนและประเทศอย่างต่อเนื่อง จนพืชหลายชนิดถูกยกระดับเป็นพืชทางเศรษฐกิจที่เกษตรกรจำนวนมากยึดถือเป็นอาชีพ (Agricultural Research Development Agency (Public Organization), 2024) แต่ปัจจุบันการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศมีแนวโน้มที่ส่งผลโดยตรงต่อการเกษตรทั้งในเชิงกายภาพของพืชรวมถึงการเปลี่ยนแปลงในพื้นที่ที่ใช้เพื่อการเกษตรตลอดห่วงโซ่อุปทาน กล่าวคือ สภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนไปส่งผลกระทบต่อปัจจัยทางธรรมชาติที่มีอิทธิพลต่อกระบวนการผลิต เช่น ปริมาณน้ำฝน ระดับความชื้นของแสง เป็นต้น ซึ่งส่งผลให้ปริมาณและคุณภาพของผลผลิตลดลง (Srijuntra & Punyawattoe, 2023)

นับตั้งแต่ ปีพ.ศ. 2543 จนถึงปัจจุบัน ภาคเกษตรไทยมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากเป็นอันดับ 2 รองจากภาคพลังงาน ซึ่งสาเหตุที่สำคัญมาจากกระบวนการจัดการปัจจัยการผลิตทางการเกษตรจากการใช้ประโยชน์ที่ดินโดยมนุษย์ที่ก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกขึ้น ตามแนวทางของการประเมินก๊าซเรือนกระจกในภาคเกษตรกรรมของ IPCC (2006) มองว่ากระบวนการจัดการที่ดินสำหรับการเกษตรนี้มีอิทธิพลต่อการหมุนเวียนของก๊าซเรือนกระจกในระบบนิเวศที่หลากหลาย เช่น การสังเคราะห์ด้วยแสง การหายใจ การย่อยสลาย กระบวนการไนตริฟิเคชัน (Nitrification) และดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification) การหมักในลำไส้ การเผาไหม้ เป็นต้น กระบวนการทางชีวภาพและกายภาพเหล่านี้ สะท้อนให้เห็นถึงกิจกรรมที่กระตุ้นให้มีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) มีเทน (CH_4) และไนตรัสออกไซด์ (N_2O) ไปสู่ชั้นบรรยากาศเพิ่มมากขึ้น (Thailand Greenhouse Gas Management Organization (Public Organization): (TGO), 2022) ดังนั้น ก๊าซเรือนกระจกสำคัญที่ทาง IPCC (2006) กำหนดให้มีการประเมินในภาคเกษตรกรรมได้แก่ ก๊าซ CO_2 N_2O และ CH_4 โดยกิจกรรมที่ให้ความสนใจเป็นพิเศษ ได้แก่ กิจกรรมที่มาจากการหมักในระบบย่อยอาหารของสัตว์ การจัดการมูลสัตว์ การปลูกข้าว การปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ทางตรงจากการใช้ปุ๋ยเคมี การใช้ปุ๋ยเคมีและสารเคมีในการกำจัดศัตรูพืช การใช้ปูนขาวและยูเรีย การเผาไหม้ในพื้นที่เกษตร การเผาไหม้พื้นที่ป่าไม้ และการเผาไหม้ทุ่งหญ้า ซึ่งสามารถทำได้จากการตรวจวัดโดยตรงและคำนวณโดยประเมินจากกระบวนการและวัสดุที่ใช้ในการทำการเกษตรในแต่ละกระบวนการ

จากการศึกษางานวิจัยทั้งในและต่างประเทศในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ที่ผ่านมา พบว่านักวิจัยนิยมประเมินคาร์บอนเครดิตของพืชเศรษฐกิจในด้านการเก็บคาร์บอนในเนื้อไม้และในดิน โดยเฉพาะสวนปาล์มน้ำมัน (Chuenchit, 2013; Borbon et al., 2020; Lewis et al., 2020) สวนยางพารา และสวนยางพาราวนเกษตร (Chiaravipa et al., 2012; Besar et al., 2020; Nattharom et al., 2021) ด้วยเพราะนอกจากจะเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญแล้ว การกักเก็บคาร์บอนในรูปของมวลชีวภาพในเนื้อไม้และการกักเก็บคาร์บอนในดินของภาคเกษตร ถือว่าเป็นปัจจัยสำคัญของการดูดกลืนคาร์บอนในปัจจุบัน

อย่างไรก็ตาม ก็ยังพบงานวิจัยที่ศึกษาการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกพืชเศรษฐกิจชนิดอื่นอยู่บ้าง โดยเฉพาะพืชเศรษฐกิจที่มีกิจกรรมการใช้ที่ดินที่ก่อให้เกิดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูง ตัวอย่างเช่น ข้าว (Qian et al., 2023) อ้อย (Chiramakara et al., 2019) ข้าวโพด (Moungsree et al., 2021) ทูเรียน (Podong & Uibonsook, 2019) ปาล์มน้ำมัน (Cooper et al., 2020) สำหรับพืชเศรษฐกิจในภาคใต้ พบงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดกระบวนการผลิตเฉพาะยางพาราเท่านั้น คืองานวิจัยของ Sa-eza (2015) โดยพบว่า ตลอดกระบวนการปลูกยางพาราจนถึงการจำหน่ายน้ำยางสด มีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 1,587.272 kgCO₂eq/ไร่/ปี โดยกระบวนการกรีตและจำหน่ายผลผลิตก่อให้เกิดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด และไม่พบงานวิจัยที่ศึกษาการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดกระบวนการปลูกของพืชเศรษฐกิจชนิดอื่นอีกเลย

จากความสำคัญข้างต้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการจัดทำบัญชีคาร์บอนฟุตพริ้นท์เชิงเปรียบเทียบรายพืช เพื่อให้ภาคเกษตรกรรมสามารถนำไปใช้ในการกำหนดเป้าหมายการลดก๊าซเรือนกระจกจากภาคการเกษตร และเพิ่มพื้นที่กักเก็บคาร์บอนในพื้นที่เกษตรกรรมมากขึ้น ซึ่งในจังหวัดนครศรีธรรมราช ยังไม่เคยมีงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในเชิงเปรียบเทียบ แยกรายพืชเศรษฐกิจแบบนี้มาก่อน ยิ่งไปกว่านั้น พื้นที่ศึกษาในงานวิจัยนี้คือตำบลพรหมโลก อำเภอพรมหะคีรี จังหวัดนครศรีธรรมราช เป็นชุมชนที่อยู่ใกล้เขตอุทยานแห่งชาติเขาหลวง ซึ่งมีน้ำตกพรหมโลกเป็นหนึ่งในแหล่งท่องเที่ยวสำคัญที่มีชื่อเสียงและสวยงามของอุทยานแห่งชาติเขาหลวง จากการสำรวจพื้นที่พบว่า เกษตรกรส่วนใหญ่ประกอบอาชีพเกษตรกรรม โดยปลูกพืชเศรษฐกิจหลากหลายชนิด เช่น มังคุด ปาล์มน้ำมัน ทูเรียน ยางพารา สวนแบบผสมผสาน เป็นต้น และปัจจุบันได้มีการปรับเปลี่ยนพื้นที่เกษตรโดยหันมาปลูกทุเรียนเพิ่มมากขึ้น จากข้อมูลสถิติการถือครองที่ดินในปี 2567 พบว่า พืชเศรษฐกิจ 3 อันดับแรกที่มีการปลูกมากที่สุดได้แก่ มังคุด ทูเรียน และยางพารา (Phrom Khiri District Agricultural Extension Office unpublished, 2024) ซึ่งในการกระบวนการปลูกนี้มีการใช้สารเคมีซึ่งเป็นปัจจัยการผลิตที่ส่งผลให้เกิดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกเพิ่มขึ้น และในอนาคตอาจส่งผลให้เกิดการปนเปื้อนของดินและแหล่งน้ำตกพรหมโลกที่เกิดจากการตกค้างของสารกำจัดศัตรูพืชได้ ดังนั้น การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของ ยางพารา ทูเรียน และมังคุด ซึ่งเป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญของอำเภอพรมหะคีรี จังหวัดนครศรีธรรมราช ถือเป็นหนึ่งในโครงการสำคัญที่ช่วยผลักดันให้ประเทศไทยบรรลุเป้าหมายความเป็นกลางทางคาร์บอน หรือ Carbon Neutrality ในปี พ.ศ. 2593 (ค.ศ.2050) (Department of Agriculture, 2024)

เพื่อให้ผลการวิจัยนี้เป็นประโยชน์ต่อการผลักดันการบรรลุเป้าหมายความเป็นกลางทางคาร์บอน งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินการปลดปล่อยของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) จากกระบวนการปลูกมังคุด ทูเรียน และยางพารา ในหน่วยต่อไร่ต่อปี โดยวิเคราะห์และแสดงให้เห็นถึงการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกแยกตามกิจกรรมหลักในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการปลูก เพื่อให้ได้

เป็นฐานข้อมูลที่ชัดเจนเกี่ยวกับปริมาณการใช้ปัจจัยในแต่ละขั้นตอนที่สะท้อนถึงปริมาณการปลดปล่อยของก๊าซเรือนกระจกของพืชแต่ละชนิด และเป็นฐานข้อมูลสำหรับการวางแผนและกำหนดแนวทางปฏิบัติทางการเกษตรที่ยั่งยืนในพื้นที่ศึกษา และช่วยผลักดันให้ประเทศไทยบรรลุเป้าหมายความเป็นกลางทางคาร์บอนในอนาคตต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

พื้นที่ศึกษาวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงสำรวจ พื้นที่ศึกษาคือพื้นที่เกษตรที่อยู่ในชุมชนพรุชนใต้ หมู่ที่ 1 ตำบลพรหมโลก อำเภอพรมหิรี จังหวัดนครศรีธรรมราช ตั้งอยู่ที่พิกัดทางภูมิศาสตร์ประมาณ ละติจูด $8^{\circ}31'21''\text{N}$ และ $99^{\circ}48'09''\text{E}$ (อ้างอิงจากระบบพิกัด WGS 84) (Google, 2025) ซึ่งเป็นหมู่บ้านที่อยู่ติดกับเส้นทางน้ำของน้ำตกพรหมโลก ดังภาพที่ 1 (Figure 1) ดังนั้น ในกระบวนการปลูกพืชเศรษฐกิจที่มีการใช้สารเคมีที่อาจส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศและสิ่งแวดล้อมและมีการปลดปล่อยก๊าซ CO_2 จากการใช้ปัจจัยการผลิตดังกล่าว

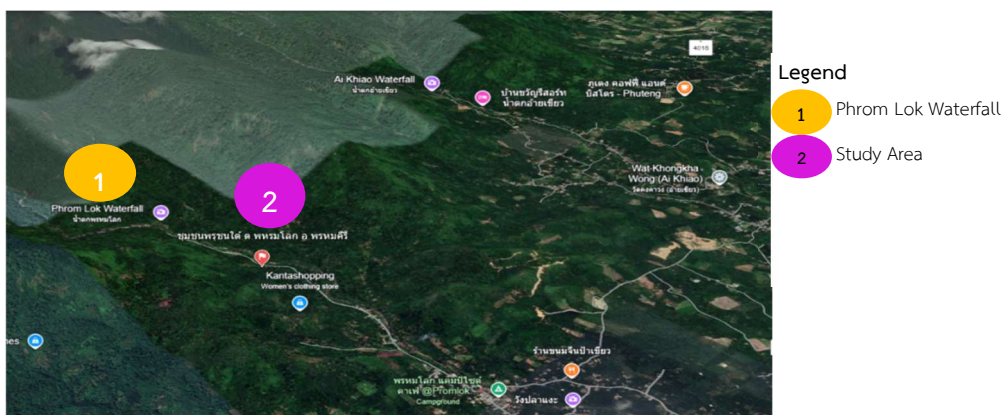


Figure 1 Satellite image of the study area in Phrommalok Sub-District, Phrom Khiri District, Nakhon Si Thammarat Province from Google Earth (Google, 2025).

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา

จากการสำรวจพื้นที่ศึกษา หมู่ที่ 1 ตำบลพรหมโลก อำเภอพรมหิรี จังหวัดนครศรีธรรมราช มีเกษตรกรที่ขึ้นทะเบียนเกษตรกรการปลูกพืชเศรษฐกิจกับกรมส่งเสริมการเกษตร พ.ศ. 2567 จำนวน 69 แปลง รวมพื้นที่ทั้งหมด 110 ไร่ โดยแบ่งเป็นสวนมังคุด 29 แปลง สวนทุเรียน 22 แปลง สวนยางพารา 11 แปลง สวนสะตอ 3 แปลง สวนเงาะ 2 แปลง สวนกล้วย 1 แปลง และสวนปาล์มน้ำมัน 1 แปลง แต่ด้วยข้อจำกัดด้านงบประมาณ และระยะเวลาในการเก็บข้อมูลจึงไม่สามารถเก็บข้อมูลจากแปลงเกษตรกรในชุมชนบ้านพรุชนใต้ได้ครบทุกชนิด ดังนั้น ผู้วิจัยจึงเลือกเก็บข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างซึ่งเป็น

เกษตรกรที่ขึ้นทะเบียนแบบเฉพาะเจาะจง (Purposive Sampling) จากจำนวนแปลงของพื้นที่เกษตรที่มีการปลูกมากที่สุด 3 อันดับแรก ได้แก่ สวนมังคุด 29 แปลง คิดเป็นพื้นที่ประมาณ 51 ไร่ สวนทุเรียน 22 แปลง คิดเป็นพื้นที่ประมาณ 26 ไร่ และสวนยางพารา 11 แปลง คิดเป็นพื้นที่ประมาณ 17 ไร่ รวมทั้งหมด 62 แปลง คิดเป็นพื้นที่ประมาณ 94 ไร่

การเก็บรวบรวมข้อมูล

งานวิจัยนี้นำแนวทางการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA) โดยเลือกใช้ Functional Unit คือต่อไร่ต่อปี เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของพืชเศรษฐกิจแต่ละชนิดได้อย่างเท่าเทียมกัน มาใช้เป็นแนวทางในการกำหนดรายละเอียดของปัจจัยการผลิตแยกรายพืช จากนั้นจึงนำมาใช้เป็นแนวทางการเก็บรวบรวมข้อมูล โดยการใช้แบบสอบถามเกษตรกรเกี่ยวกับชนิดและปริมาณการใช้ปัจจัยการผลิตในกระบวนการปลูกพืช ข้อมูลที่ได้จากการสอบถามปริมาณการใช้ปัจจัยการผลิตตั้งแต่กระบวนการปลูก การดูแลรักษา การเก็บเกี่ยวผลผลิตและการขนส่ง จะเป็นข้อมูลตลอดวงจรการผลิตตามรอบการเพาะปลูกย้อนหลังจนถึงปัจจุบัน ซึ่งอยู่ในช่วง พ.ศ. 2556 -2567 ซึ่งมีชนิดและปริมาณการใช้ที่แตกต่างกัน เพื่อลดความคลาดเคลื่อนของข้อมูล ผู้วิจัยได้ตรวจสอบเอกสารและรายการรายรับ-รายจ่ายของเกษตรกรเพื่อยืนยันปริมาณการซื้อปุ๋ยเคมี สารเคมีที่ใช้กำจัดวัชพืช ศัตรูพืช และน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ ประกอบการสัมภาษณ์เชิงลึกเพื่อทวนสอบวิธีการและขั้นตอนการใช้ปัจจัยการผลิตอย่างละเอียดในระหว่างการสัมภาษณ์ เพื่อช่วยกระตุ้นความทรงจำของเกษตรกรให้ระลึกถึงปริมาณการใช้ที่ใกล้เคียงความเป็นจริงที่สุด โดยรายการบัญชีก๊าซเรือนกระจกที่ดำเนินการประเมินมีรายละเอียดดังตารางที่ 1 (Table 1)

Table 1 Agricultural production input and emission.

Process	Description	Input			Output (KgCO ₂ eq/)
		Mangosteen	Durian	Rubber	
Land preparation	Tractor stump removal	Diesel	Diesel	Diesel	CO ₂
					N ₂ O
					CH ₄
Cultivation process	Transportation	Diesel	Diesel	Diesel	CO ₂
	Planting hole	Fertilizer	Fertilizer	Fertilizer	N ₂ O
	preparation	Pesticides	Pesticides	Pesticides	CH ₄
		Base fertilizer		Base fertilizer	

Table 1 Agricultural production input and Emission. (cont.)

Process	Description	Input			Output (KgCO ₂ eq/)
		Mangosteen	Durian	Rubber	
Maintenance	Weed	Gasoline	Gasoline	Gasoline	CO ₂
	management	Fertilizer	Fertilizer	Fertilizer	N ₂ O
	and pest control	pesticides	pesticides	Herbicides	CH ₄
	Pruning and	Herbicides	Herbicides		
	cutting	Organic fertilizer			
	Spraying				
	supplements				
	and nutrients				
	Plant disease				
	prevention and				
	control				
	Applying				
	fertilization				
Harvesting and transportation	Harvesting and	Diesel	Diesel	Diesel	CO ₂
	transporting by	Gasoline	Gasoline	Gasoline	N ₂ O
	vehicle				CH ₄
	Vehicles				
	Maintenance				

การวิเคราะห์ข้อมูล

การศึกษาครั้งนี้อ้างอิงแนวทางการประเมินการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกสมการขององค์การบริหารก๊าซเรือนกระจก (Thailand Greenhouse Gas Management Organization (Public Organization, 2022) โดยการนำปริมาณของการใช้ขึ้นกับกิจกรรมการปลูก (activity data) มาคูณกับค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (emission factors) ดังตารางที่ 2 (Table 2) เพื่อคำนวณปริมาณการปลดปล่อยก๊าซ CO₂ จากการใช้ปัจจัยการผลิตในกิจกรรมการปลูก

ผู้วิจัยนำรายการปริมาณการใช้ปัจจัยการผลิตของการปลูกมังคุด ทุเรียนและ ยางพารา ของเกษตรกรกลุ่มตัวอย่างแต่ละครัวเรือนที่ได้จากการเก็บรวมข้อมูล มาหาค่าเฉลี่ยในหน่วยต่อไร่ต่อปีของแต่ละรายการแยกรายพืชด้วยโปรแกรม Microsoft Excel จากนั้นจึงแปลงค่าปริมาณก๊าซเรือนกระจกแต่ละประเภทให้เป็นหน่วยคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO₂ eq) โดยการคูณกับค่าศักยภาพที่ก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน Global Warming Potential (GWP) ดังตารางที่ 3 (Table 3) โดยสมการของการคำนวณมีดังนี้

$$\text{GHG Emissions} = \text{AD} \times \text{EF} \times \text{GWP}$$

โดยที่	GHG Emissions	คือ ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก
	AD, Activity Data	คือ ปริมาณของปัจจัยนำเข้าในแต่ละกิจกรรมของแต่ละปี
	EF, Emission Factor	คือ ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก
	GWP	คือ ค่าศักยภาพที่ก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน

Table 2 Emission factors of agricultural production.

Activity data	Unit	Emission factor (kg CO ₂ eq/unit)	Reference
Diesel	litre	2.7406	TGO (2022)
Gasoline	litre	2.2738	TGO (2022)
Nitrogen (N)	kg	3.3036	TGO (2016)
Phosphorus (P)	kg	1.5716	TGO (2016)
Potassium (K)	kg	0.4974	TGO (2016)
Nitrous oxide emissions from fertilizer use	kg	total N x 0.0157	TGO (2021)
Chloroacetamide herbicides	kg	8.0900	TGO (2022)
Glyphosate	kg	16.000	TGO (2022)
Paraquat	kg	3.2300	TGO (2022)

Table 3 Global warming potential (GWP) values relative to carbon dioxide.

GWP	Greenhouse gas		
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
	1	28	265

ผลการวิจัย

ผลการแสดงสถิติเชิงพรรณนาของปริมาณการใช้ปัจจัยการผลิตหลัก (Activity Data) ดังตารางที่ 4 (Table 4) จากกระบวนการปลูกทั้ง 3 ชนิดคือ มังคุด ทุเรียน และยางพารา พบว่า ในปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมีในกระบวนการบำรุงรักษาของที่ยางพารามีอายุมากกว่า 7 ปีมากที่สุด ซึ่งมีค่าเฉลี่ยประมาณ 74.66 ± 37.59 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี นอกจากนี้ยังพบว่า ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ของการใช้ปุ๋ยเคมีมีความแตกต่างกันมาก เมื่อเทียบกับปัจจัยการผลิตอื่น ๆ ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงความหลากหลายในการใช้ปุ๋ยเคมีของเกษตรกรอันเนื่องมาจากปัจจัยด้านอายุสวน และจำนวนต้นต่อไร่ที่แตกต่างกัน ในขณะที่การใช้น้ำมันเชื้อเพลิงและสารเคมีกำจัดวัชพืช พบว่า กระบวนการเก็บเกี่ยวและการขนส่ง มังคุดมีการใช้น้ำมันดีเซลในการขนส่งผลผลิตมากที่สุดซึ่งมีค่าเฉลี่ยประมาณ 13.74 ± 3.01 ลิตรต่อไร่ต่อปี ยางพารามี

การใช้น้ำมันเบนซินในการขนส่งผลผลิตมากที่สุดซึ่งมีค่าเฉลี่ยประมาณ 10.36 ± 3.53 ลิตรต่อไร่ต่อปี และทุเรียนมีการใช้สารเคมีกำจัดวัชพืชมากที่สุดซึ่งมีค่าเฉลี่ยประมาณ 5.20 ± 1.48 ลิตรต่อไร่ต่อปี

Table 4 Descriptive statistics of agricultural inputs in commercial crop cultivation.

Agriculture Input	Unit	Mangosteen (N=29)	Durian (N=22)	Rubber (N=11)
Land preparation				
Diesel consumption for tractor stump removal	L/rai ⁻¹ /year ⁻¹	0.75±0.66 (0.00-2.50)	2.04±0.75 (1.00-3.33)	2.34±1.00 (1.33-4.00)
Cultivation				
Diesel consumption for seeding and fertilizer	L/rai ⁻¹ /year ⁻¹	1.15±0.73 (0.50-2.50)	4.18±1.40 (2.67-6.00)	2.45±0.97 (1.40-2.66)
Fertilizer application	Kg/rai ⁻¹ /year ⁻¹	4.32±1.43 (2.48-7.00)	4.57±1.26 (2.10-7.67)	6.38±2.81 (5.13-13.56)
Maintenance				
Fertilizer application (leaf-stage)	Kg/rai ⁻¹ /year ⁻¹	48.92±20.23 (16.67-100.00)	62.94±30.16 (25.00-100.00)	-
Fertilizer application (flower-stage)	Kg/rai ⁻¹ /year ⁻¹	22.29±14.12 (16.7-80.00)	46.83±22.74 (25.00-100.00)	-
Fertilizer application (fruit-stage)	Kg/rai ⁻¹ /year ⁻¹	48.54±18.48 (25.00-100.00)	52.16±27.33 (25.00-100.00)	-
Fertilizer application for young rubber (1-6 year)	Kg/rai ⁻¹ /year ⁻¹	-	-	48.33±21.33 (20.00-75.00)
Fertilizer application for young rubber 7 years over)	Kg/rai ⁻¹ /year ⁻¹	-	-	74.66±37.59 (30.00-133.00)
Gasoline consumption for Weed management	L/rai ⁻¹ /year ⁻¹	0.75±0.20 (0.40-1.50)	1.42±0.93 (0.66-4.00)	1.61±0.38 (1.00-2.61)
Herbicide application for weed control	L/rai ⁻¹ /year ⁻¹	1.01±0.64 (0.00-2.00)	5.20±1.48 (0.50-6.40)	2.98±1.01 (1.33-4.00)
Harvesting and Transport				
Gasoline consumption for transport product	L/rai ⁻¹ /year ⁻¹	9.96±2.56 (7.44-10.23)	6.72±2.81 (4.30-8.00)	10.36±3.53 (6.40-10.66)
Diesel consumption for transport product	L/rai ⁻¹ /year ⁻¹	13.74±3.01 (4.20-15.00)	9.26±2.49 (2.00-11.00)	3.69±0.77 (2.35-5.00)

จากตารางที่ 5 (Table 5) พบว่า ตลอดกระบวนการเพาะปลูกพืชเศรษฐกิจ พบว่า สวนทุเรียนมีการปลดปล่อยก๊าซ CO₂ มากที่สุดคือ 338.38 kg CO₂ eq ไร่ต่อปี รองลงมาคือสวนมังคุด มีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซ CO₂ คือ 287.41 kg CO₂ eq ไร่ต่อปี และสวนยางพารามีปริมาณก๊าซ CO₂ น้อยที่สุดคือ 217.34 kg CO₂ eq ไร่ต่อปี เป็นที่น่าสังเกตว่าในกระบวนการดูแลรักษาที่มีการใช้ปุ๋ยเคมีและสารเคมี

กำจัดวัชพืชในปริมาณมากจึงเป็นแหล่งที่ก่อให้เกิดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด โดยเมื่อเปรียบเทียบพืชทั้ง 3 ชนิดแล้วพบว่า สวนทุเรียนมีการปลดปล่อยก๊าซ CO₂ มากที่สุดคือ 273.87 kg CO₂ eq ไร่ต่อปี สำหรับในกระบวนการอื่น ๆ ที่พบว่ามีมีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก รองลงมา คือ กระบวนการเก็บเกี่ยวและการขนส่งที่มีการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงทั้งชนิดเบนซินและดีเซล โดยพืชที่มีการใช้น้ำมันเพื่อการขนส่งมากที่สุดมั่งคุด คือ 63.53 kg CO₂ eq ไร่ต่อปี ในส่วนของกระบวนการเพาะปลูก พบว่า สวนทุเรียนมีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซ CO₂ มากที่สุดคือ 7.85 kg CO₂ eq ไร่ต่อปี และในกระบวนการเตรียมดินสวนยางพารามีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซ CO₂ มากที่สุดคือ 6.00 kg CO₂ eq ต่อไร่ต่อปี ดังภาพที่ 2 (Figure 2)

Table 5 Comparative of CO₂ emissions from agriculture activity.

Activity data	The quantity of CO ₂ emissions (kg CO ₂ eq rai ⁻¹ /year ⁻¹)		
	Mangosteen	Durian	Rubber
Land preparation			
Diesel consumption for tractor stump removal	1.94	5.49	6.00
Total	1.94	5.49	6.00
Cultivation			
Diesel consumption for seeding and fertilizer	2.49	7.11	5.72
Fertilizer application	0.40	0.46	1.21
N ₂ O emissions from fertilizer application	1.06	0.28	0.89
Total	3.95	7.85	6.82
Maintenance			
Fertilizer application (leaf-stage)	38.39	54.72	-
Fertilizer application (flower-stage)	16.04	38.30	-
Fertilizer application (fruit-stage)	40.54	46.64	-
N ₂ O emissions from fertilizer application (leaf-stage)	36.87	55.82	-
N ₂ O emissions from fertilizer application (flower-stage)	50.21	24.05	-
N ₂ O emissions from fertilizer application (fruit-stage)	32.78	43.80	-
Fertilizer application for young rubber (1-6 year)	-	-	40.23
Fertilizer application for young rubber 7 years over)	-	-	60.40
N ₂ O emissions from fertilizer application (1-6 year)	-	-	22.76
N ₂ O emissions from fertilizer application (7 years over)	-	-	38.63
Gasoline consumption for Weed management	1.54	3.02	3.16
Herbicide application for weed control	1.62	7.52	4.90
Total	217.99	273.87	170.08
Harvesting and Transport			
Gasoline consumption for transport product	21.70	13.43	22.90
Diesel consumption for transport product	41.83	37.74	11.54
Total	63.53	51.17	34.44
Overall	287.41	338.38	217.34

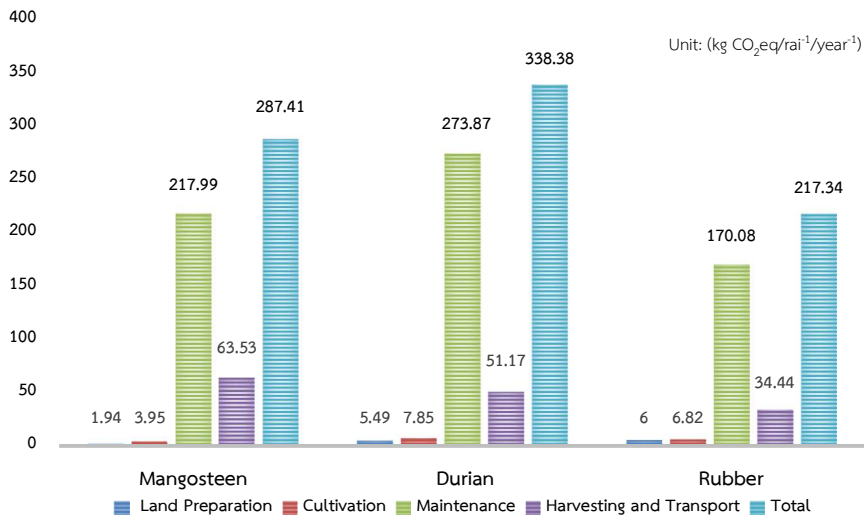


Figure 2 Comparative emissions of commercial crops by process (kg CO₂eq/rai¹/year¹).

อภิปรายผล

งานวิจัยนี้เป็นการเปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นของกระบวนการปลูกมังคุด ทูเรียน และยางพารา ผลของการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ตลอดกระบวนการปลูกพืชทั้ง 3 ชนิด ล้วนก่อให้เกิดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยเฉพาะในกระบวนการดูแลที่เกิดจากการใช้ปุ๋ยเคมี และสารเคมีกำจัดวัชพืช โดยที่สวนทุเรียนมีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด เนื่องจากการใช้ปัจจัยการผลิตดังกล่าวมากที่สุด ดังนั้น การแสดงให้เห็นถึงบัญชีก๊าซเรือนกระจกจะสามารถใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาแนวปฏิบัติที่ดีเพื่อลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้อย่างตรงจุด

จากผลการแสดงสถิติเชิงพรรณนาในตารางที่ 5 (Table 5) พบว่า ปริมาณการใช้ปุ๋ยของยางพาราที่มีอายุมากกว่า 7 ปี มีปริมาณสูงกว่าปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมีของมังคุดและทุเรียน แต่เมื่อนำมาวิเคราะห์ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซ CO₂ กลับพบว่า ทุเรียนมีปริมาณมากที่สุด ทั้งนี้เนื่องมาจากมังคุดและทุเรียนจำเป็นต้องใช้ปุ๋ยที่มีสูตรไนโตรเจนสูงในช่วงระยะที่ต้นกำลังสร้างใบ และต้องใช้ปุ๋ยเร่งดอกพิเศษเพื่อเร่งดอกและผล ในอัตรา 2-3 กิโลกรัมต่อต้นอย่างสม่ำเสมอต่อการปลูก โดยเกษตรกรนิยมใช้สูตร เช่น สูตร 25-7-7 46-0-0 8-24-24 เป็นต้น ซึ่งการใช้ปุ๋ยสูตรไนโตรเจนสูงจะทำให้เกิดการปลดปล่อยก๊าซ N₂O จำนวนมาก ในขณะที่ยางพาราที่มีอายุ 1-6 ปี มีการปุ๋ยเคมีสูตรที่มีไนโตรเจนและโพแทสเซียมที่ต่ำกว่าในอัตรา 300-500 กรัมต่อต้น และจะค่อย ๆ เพิ่มปริมาณเรื่อย ๆ ไปจนถึง 1-2 กิโลกรัมต่อต้นเมื่อมีอายุ 7 ปีขึ้นไป โดยเกษตรกรนิยมใช้สูตร เช่น สูตร 15-15-15 18-8-8 เป็นต้น จึงทำให้มีปริมาณเฉลี่ยของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ปุ๋ยเคมีของทุเรียนและมังคุดสูงกว่ายางพารา อย่างไรก็ตาม ผลการศึกษาแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่า ในกระบวนการดูแลรักษา เป็นแหล่งการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญที่สุดสำหรับพืชเศรษฐกิจทั้ง 3 ชนิด โดยเฉพาะการใช้ปุ๋ยเคมี ซึ่ง

ข้อมูลที่เป็นฐานข้อมูลที่สำคัญสำหรับการสนับสนุนเป้าหมายความเป็นกลางทางคาร์บอนของภาคเกษตร ดังนั้น หน่วยงานเกษตรอำเภอมหิธรควรสนับสนุนหรือส่งเสริมให้ปรับเปลี่ยนแนวทางการใช้ปุ๋ยเคมีเป็นปุ๋ยอินทรีย์ที่มีการหมักเองจากเศษซากพืชในสวนเอง นอกจากนี้ ควรส่งเสริมให้เกษตรกรใช้ปุ๋ยเคมีตามค่าการวิเคราะห์ดินตามความต้องการของพืชอย่างเคร่งครัดแทนการใช้ตามความเคยชิน เพื่อควบคุมปริมาณปุ๋ยที่สูงเกินความจำเป็น โดยเฉพาะทุเรียนและสวนยางพาราที่มีอายุมากกว่า 7 ปี

แม้ว่าในการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นของการปลูกพืชทั้ง 3 ชนิดในงานวิจัยนี้ ได้นำแนวทางการประเมิน LCA มาใช้เป็นกรอบในการกำหนดการเก็บรวบรวมข้อมูลและการประเมิน ซึ่งช่วยแสดงให้เห็นถึงสาเหตุของการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของพืชแต่ละชนิดได้อย่างชัดเจน อย่างไรก็ตาม ผลของปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกนี้อาจยังต่ำกว่าความเป็นจริง เนื่องจากในงานวิจัยนี้ไม่ได้นำปริมาณการใช้สารเคมีในการกำจัดศัตรูพืชมาคำนวณ เพราะมีข้อจำกัดด้านข้อมูลค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (emission factors) ที่เหมาะสมและถูกต้อง ดังนั้น จึงยังคงเป็นช่องว่างทางการวิจัยให้มีการศึกษาเพิ่มเติม โดยเฉพาะในการปลูกทุเรียนที่มีการใช้สารเคมีเพื่อกำจัดศัตรูพืชจำนวนมาก ซึ่งนอกจากจะมีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกแล้ว การใช้สารเคมีดังกล่าวน่าจะมีผลต่อทั้งคุณภาพน้ำ ดิน และสุขภาพของเจ้าของสวนด้วย อย่างไรก็ตาม ในการศึกษาครั้งต่อไปควรนำสารเคมีกำจัดศัตรูพืชที่ใช้ในท้องถิ่นมาประเมินด้วยโดยเฉพาะในสวนทุเรียนที่มีการใช้เคมีกำจัดศัตรูพืชจำนวนมาก และควรมีการเก็บข้อมูลภาคสนามเพิ่มเติมเพื่อวัดปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการปลูกโดยตรงควบคู่ไปกับการเก็บข้อมูล Activity Data เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของค่า Emission Factors ที่อ้างอิงตามมาตรฐาน TGO หรือ IPCC

จากการศึกษาในงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่า งานวิจัยในต่างประเทศมีการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากกระบวนการปลูกพืชเศรษฐกิจอยู่บ้างดังได้กล่าวถึงในบทนำ แต่มีงานวิจัยจำนวนน้อยที่ศึกษาคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากกระบวนการปลูกทุเรียนและมังคุด อย่างไรก็ตาม มีงานวิจัยที่ศึกษาการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของจากระบวนการปลูกยางพาราในจังหวัดสงขลา (Sa-eza, 2015) พบว่าในกระบวนการกรีดยางและจำหน่ายผลผลิต เป็นกระบวนการที่ก่อให้เกิดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด คือ 1,423.396 kgCO₂ eq/ปี ซึ่งเกษตรกรกรีดยางด้วยตนเอง ดังนั้น ผลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจึงผันแปรตามจำนวนวันกรีดยางพาราต่อปี แตกต่างจากผลการศึกษาในงานวิจัยนี้ที่พบว่ากระบวนการดูแลรักษามีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด 170.08 kgCO₂ eq/ไร่/ปี ที่เป็นเช่นนี้เพราะว่าเกษตรกรส่วนใหญ่มีพื้นที่สวนอยู่ใกล้กับบ้านเรือน และจ้างแรงงานกรีดยางเป็นหลัก จึงทำให้ไม่มีกิจกรรมที่ก่อให้เกิดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการเก็บเกี่ยวและขนส่งมากนัก

สำหรับการปลูกทุเรียน ผลการศึกษาคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในงานวิจัยนี้ที่ พบว่า มีปริมาณ 338.38 kg CO₂ eq/ไร่/ปี สอดคล้องกับผลการศึกษาการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของผลิตภัณฑ์ผลสดในจังหวัดจันทบุรี (Regional Office of Agricultural Economics 6, 2015) พบว่า สวนทุเรียนมีการปลดปล่อย

ก๊าซ CO₂ มากที่สุดโดยเฉพาะในกระบวนการดูแลรักษาเนื่องด้วยการใช้ปุ๋ยเคมีในการดูแลบำรุงรักษา ช่วงระยะแตกใบ ออกดอก จนถึงการออกผลผลิต การใช้น้ำมันเชื้อเพลิงและสารเคมีกำจัดวัชพืชมากกว่า การปลูกมังคุดและยางพาราเท่ากับ 0.65 kg CO₂eq หรือคิดเป็นร้อยละ 99.71 ของปริมาณการปล่อย ก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาการประเมินค่าการปลดปล่อยก๊าซ CO₂ จากกระบวนการปลูกพืชทางเศรษฐกิจ 3 ชนิด ได้แก่สวนมังคุด สวนทุเรียน และสวนยางพารา ที่มีปัจจัยการผลิตแตกต่างกันในแต่ละขั้นตอน พบว่า ในกระบวนการปลูกพืชที่ก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซ CO₂ มากที่สุดคือสวนทุเรียนซึ่งมีค่าการปลดปล่อยก๊าซ CO₂ เท่ากับ 338.38 kg co₂ eq ต่อไร่ต่อปี รองลงมาคือสวนมังคุดมีค่าการปลดปล่อย ก๊าซ CO₂ เท่ากับ 287.41 kg co₂ eq ต่อไร่ต่อปี และน้อยที่สุดคือสวนยางพารามีค่าการปลดปล่อย ก๊าซ CO₂ เท่ากับ 217.34 kg co₂ eq ต่อไร่ต่อปีตามลำดับ ผลการวิจัยนี้เป็นฐานข้อมูลที่เป็น (Baseline Data) ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงความแตกต่างของการจัดการปัจจัยการผลิตในแต่ละขั้นตอน และสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการกำหนดนโยบายเพื่อลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกและ ผลักดันเกษตรกรรมยั่งยืนในพื้นที่ศึกษาต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และศูนย์สืบสาน งานพระราชดำริและการพัฒนาท้องถิ่น มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราชที่สนับสนุนงบประมาณ ในการดำเนินงานวิจัย และเกษตรกรชุมชนพรชนใต้ หมู่ที่ 1 ตำบลพรหมโลก อำเภอพรหมคีรี จังหวัดนครศรีธรรมราชที่ให้ข้อมูลแก่ผู้วิจัย ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- Agricultural Research Development Agency (Public Organization). Economic Crops: Products Generating Income for Households and the Nation. 2024. Available at: <https://www.arda.or.th/detail/6166>. Accessed October 15, 2024.
- Besar NA, Suardi H, Phua MH, James D, Mokhtar MB, Ahmed MF. Carbon stock and sequestration potencial of oil an agroforestry system in Sabah Malaysia. Food Agriculture Science and Technology 2020;11(210):1-16.
- Borbon SMC, Medina MAP, Patricio JHP, Toledo-Bruno AG. Carbon Sequestration Potential of Oil Palm Plantations in Tamil Nadu Regimes, India. International Research Journal of Pure & Applied Chemistry 2020;4(14):7-17.
- Chiaravipa R, Phetkaew S, Kaewduang M, Phommee W. Assessment of carbon stock and the potential income of the carbon offset in rubber plantation. Burapha Science Journal 2012;17(2):91-102.

- Chiramakara T, Khaosaad N, & Thanarak P. Life Cycle Analysis of CO₂ Emissions from Sugarcane Cultivations in Buriram Province. *Burapha Science Journal* 2019;1(Jan-April):256-269.
- Chuenchit C. Carbon dioxide absorption at different growth stages of oil palm. Master of Science (Environmental Science), Graduate school Chulalongkorn University; 2013.
- Cooper HV, Evers S, Aplin P, Crout N, Dahalan MP, Bin, Sjogersten S. Greenhouse gas emissions resulting from conversion of peat swamp forest to oil palm plantation. *Nature Communications* 2020; 11(1).
- Department of Agriculture. Low-carbon agricultural production management for economic crops. 2024. Available at: <https://www.doa.go.th/cfghg/การจัดการผลิตพืชเศรษฐกิจ/>. Accessed May 1, 2025.
- Google. Satellite image of the study area in Phrom Khiri District, Nakhon Si Thammarat Province Coordinates 8°31'21"N, 99°48'09"E. 2025. Available at: <http://earth.google.com/>. Accessed November 22, 2025.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. 2006 Available at: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>. Accessed May 12, 2025.
- Lewis K, Rumpang E, Kho LK, McCalmont J, Teh YA, Gallego-Sala A, Hill TC. An assessment of oil palm plantation aboveground biomass stocks on tropical peat using destructive and non-destructive methods. *Scientific Reports* 2020;10(1):1-12.
- Moungsree S, Polprasert S, Nearnhom T, Patthanaisaranukool W. Carbon emission from maize cultivation in dry season of Thailand. *Thai Science and Technology Journal* 2021;29(6):950-965.
- Nattharom N, Roongtawanreongsri S, Bumrungsri S. The Economic Value of Ecosystem Services of Rubber-Based Agroforest Plantations in South Thailand. *Journal of Sustainability Science and Management* 2021;16(5):247-262.
- Podong C, Ulbonsook P, Noinamsaib S. Evaluation of the Carbon Footprint of Fresh Durian Grown in an Agroforestry System in Uttaradit Province, 2019. Thailand. <https://doi.org/10.14456/tjst.2020.20>.
- Qian H, Zhu X, Huang S, Huang S, Linquist B, Kuzyakov Y, Wassmann R, Minamikawa K. et al. Greenhouse gas emissions and mitigation in rice agriculture. *Nature Reviews Earth & Environment* 2023;4:716-732.
- Regional Office of Agricultural Economics 6. Study of greenhouse gas emissions from fresh durian in the green agricultural area of Chanthaburi Province. 2015. Available at: <https://pubhtml5.com/khyh/igil/>. Accessed July 12, 2025.
- Sa-eza K. Greenhouse gas emission from rubber plantation, Songkhla Province. Master of Science (Environmental Management), Graduate school National Institute of Development Administration; 2015.
- Srijuntra S. and Punyawattoe P. Academic documents, recommendations for safe pest control and elimination from research in 2023. Pest Management/The Entomology and Zoology Department. Plant Protection Research and Development office. Department of Agriculture. 2023. Available at: <https://www.doa.go.th/plprotect/wp-content/uploads/2023/12/คำแนะนำการใช้สารฆ่าแมลงสัตว์ศัตรูพืชอย่างปลอดภัย.pdf> Accessed October 15, 2024.

Thailand Greenhouse Gas Management Organization (Public Organization): (TGO). GHG Emission from Fertilizer. 2016. Available at: <https://thaicarbonlabel.tgo.or.th/index.php?lang=TH&mod=Y0hKdlpIVmpkSE5mWkc5M2JteHZZV1E9>. Accessed August 25, 2025.

Thailand Greenhouse Gas Management Organization (Public Organization): (TGO). GHG Emission factor for CFP. 2022. Available at: <https://thaicarbonlabel.tgo.or.th/index.php?lang=TH&mod=Y0hKdlpIVmpkSE5mWlcxcGMzTnBiMjQ9>. Accessed August 25, 2025.

Thailand Greenhouse Gas Management Organization (Public Organization): (TGO). GHG Emission factor for CFO. 2022. Available at: <https://thaicarbonlabel.tgo.or.th/index.php?lang=TH&mod=YjNKbllXNXBlbUYwYVc5dVgyVnRhWE56YVc5dQ>. Accessed August 25, 2025.