Research Article

Received: September 20, 2020; Accepted: April 10, 2021

การปลดปล่อยคาร์บอนจากการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในฤดูแล้งของประเทศไทย

Carbon Emission from Maize Cultivation in Dry Season of Thailand

สาวิตรี ม่วงศรี, สุภาวดี ผลประเสริฐ,

ธนกฤต เนียมหอม และวิธิดา พัฒนอิสรานุกูล*

ภาควิชาวิทยาศาสตร์อนามัยสิ่งแวดล้อม คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

ถนนราชวิถี เขตราชเทวี กรุงเทพมหานคร 10400

Savitree Moungsree, Supawadee Polprasert,

Thanakrit Neamhom and Withida Patthanaissaranukool*

Department of Environmental Health Sciences, Faculty of Public Health, Mahidol University,

Ratchawithi Road, Ratchathewi, Bangkok 10400

บทคัดย่อ

การศึกษานี้เป็นการสำรวจเชิงวิเคราะห์เพื่อประเมินค่าสมมูลคาร์บอนจากกระบวนการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในฤดูแล้งของประเทศไทย ประเภทของคาร์บอนในการศึกษานี้แบ่งเป็น 3 ชนิด ตามเส้นทางการเคลื่อนตัวและการใช้ประโยชน์ของผลิตภัณฑ์พืชตามแนวคิดของแบบจำลองสมดุลคาร์บอน การเก็บข้อมูลปริมาณการใช้ทรัพยากรและพลังงานในกระบวนการเพาะปลูก และผลผลิตที่เกิดขึ้นได้ดำเนินการในพื้นที่ปลูกหลักของประเทศในจังหวัดเพชรบูรณ์ น่าน เลย ตาก และเชียงราย คิดเป็นพื้นที่ปลูกร้อยละ 43 ของพื้นที่ปลูกทั้งหมดในประเทศ ผลการศึกษาพบว่าปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนจากการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในฤดูแล้งมีค่าเฉลี่ย 77.38±20.03 กิโลกรัมสมมูลคาร์บอนต่อไร่ต่อฤดูกาล ซึ่งมาจากการใช้ทรัพยากรและพลังงานจากกระบวนการเตรียมพื้นที่ การเพาะปลูก การบำรุงรักษา การเก็บเกี่ยว การขนส่ง และการสีเมล็ด โดยปริมาณการปลดปล่อยที่มากที่สุดมาจากขั้นตอนการดูแลรักษาที่เกิดจากการใช้ปุ๋ยเคมีและการใช้เชื้อเพลิงในการให้น้ำ มีปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอน 51.04±13.81 และ 8.51±2.42 กิโลกรัมสมมูลคาร์บอนต่อไร่ คิดเป็นร้อยละ 65.96 และ 11.00 ของปริมาณการปลดปล่อยทั้งหมดตามลำดับ ขณะที่ปริมาณการตรึงคาร์บอนในผลิตหลักเกิดขึ้น 488 ± 14 กิโลกรัมสมมูลคาร์บอนต่อไร่ต่อฤดูกาล ซึ่งมากกว่าปริมาณคาร์บอนที่ถูกปลดปล่อยออกไป 6.3 เท่า โดยคิดเป็นประสิทธิภาพในการตรึงคาร์บอนร้อยละ 86.31 ชี้ให้เห็นว่าการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ยังคงมีการปลดปล่อยคาร์บอนออกสู่บรรยากาศ อย่างไรก็ตาม แนวทางในการ

***ผู้รับผิดชอบบทความ :** withida.pat@mahidol.ac.th
doi: 10.14456/tstj.2021.79

ลดการปลดปล่อยคาร์บอนจากการใช้ปุ๋ยอินทรีย์เพื่อทดแทนปุ๋ยเคมีร้อยละ 50 และใช้ไบโอดีเซลทดแทนฟอสซิลดีเซลทั้งหมดสำหรับเครื่องจักรกลการเกษตร สามารถลดปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอน 34.32 และ 19.85 กิโลกรัมสมมูลคาร์บอนต่อไร่ ซึ่งแนวทางดังกล่าวมีศักยภาพในการลดปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนได้ร้อยละ 70 จากปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนในสภาพปัจจุบัน

คำสำคัญ : การปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์; การปลดปล่อยคาร์บอน; การลดการปลดปล่อยคาร์บอน; ฤดูแล้ง

Abstract

This study was designed as analytical survey research to evaluate carbon emissions from maize cultivation in the dry season of Thailand. Data collection on resources and energy used and product produced was carried out in dominant areas of maize cultivation in Thailand, including Phetchabun, Nan, Loei, Tak, and Chiang Rai provinces. Those selected plantation areas covered 43 % of the total maize cultivation areas of the country. Following a carbon-balanced model, the three main paths of carbon mobilization were identified as carbon emission, fixation, and reduction. Total carbon emissions from maize cultivation in the dry season were found to be 77.38±20.03 kg of CE/rai/season which derived from resources and energy used from field operation. The major sources of emission from plantation activities were fertilizer application and watering process that emitted carbon of 51.04±13.81 and 8.51±2.42 kg of CE/rai, accounting for about 65.96 and 11.00 % of the total, respectively. Meanwhile, the carbon fixation from the main product produces (seed production) was 488±14 kg CE/rai/season, which was higher than that of carbon emission of 6.3 times. In addition, carbon fixation efficiency was computed to be 86.31 %, indicating that maize seed production continues to emit carbon into the atmosphere. However, alternative ways to reduce carbon emission from replacing 50 % of chemical fertilizer with organic fertilizer and replacing all fossil diesel used for agricultural machineries with biodiesel can reduce the carbon emission of 34.42 and 19.85 kg CE/rai/season, respectively. From the selected methods, the potential reduction of carbon emissions from maize cultivation was found to be 70 % as compared to the existing condition.

Keywords: maize cultivation; carbon emission; carbon emission reduction; dry season

1. บทนำ

ภาวะโลกร้อนเป็นปัญหาที่โลกกำลังเผชิญอยู่ในทุกวันนี้ ซึ่งสาเหตุหลักเกิดจากการเพิ่มขึ้นของก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยการประชุมสมัชชาประเทศภาคีอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ครั้งที่ 21 (COP21) หรือข้อตกลงปารีส ประเทศไทยตั้งเป้าหมายที่จะลดการปล่อยก๊าซ

เรือนกระจก 20-25 % ภายในปี พ.ศ. 2573 โดยในปี พ.ศ. 2556 ประเทศไทยมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจก รวม 318.7 ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า [1] ซึ่งมีสัดส่วนจากภาคพลังงาน การเกษตร และ อุตสาหกรรม 74.5, 16 และ 6 % ตามลำดับ นอกจากนี้ ตามแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับที่ 12 ประเทศไทยมีกรอบในการส่งเสริมการปรับโครงสร้าง ทางเศรษฐกิจและสังคมในการเปลี่ยนประเทศไทยให้ เป็นสังคมคาร์บอนต่ำ [2] ดังนั้นกิจกรรมต่าง ๆ ใน ประเทศ ได้แก่ การเกษตรกรรม อุตสาหกรรม และการ ขนส่งควรพิจารณาแนวทางลดการปล่อยก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์ออกสู่ชั้นบรรยากาศ

ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (maize) เป็น 1 ใน 5 พืช เศรษฐกิจหลักของประเทศไทยที่มีความสำคัญยิ่ง มีการ ขยายพื้นที่ปลูกเพิ่มขึ้นทุกปี เพื่อรองรับความต้องการ ของภาคปศุสัตว์ที่มีการเติบโตอย่างต่อเนื่องในประเทศ ปี พ.ศ. 2560 ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกข้าวโพด ประมาณ 7.8 ล้านไร่ มีการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ 4.82 ล้านตัน [3] เพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2559 ร้อยละ 9.79 ขณะที่ความต้องการใช้ภายในประเทศในปี พ.ศ. 2560 พบว่ามีความต้องการใช้เมล็ดข้าวโพดเพื่อเป็นวัตถุดิบ อาหารสัตว์ประมาณ 7.8 ล้านตัน ซึ่งข้อมูลดังกล่าว ชี้ให้เห็นการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในประเทศยังไม่ เพียงพอต่อความต้องการในการผลิตอาหารสัตว์ ข้อมูล ดังกล่าวข้างต้นชี้ให้เห็นการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เป็น หนึ่งในกิจกรรมด้านการเกษตรที่สำคัญของประเทศใน การขับเคลื่อนเศรษฐกิจ อย่างไรก็ตาม กิจกรรม การเกษตรเป็นแหล่งตรึงคาร์บอน (carbon fixation) ที่สำคัญเพื่อการผลิตพืชอาหาร พืชพลังงาน และพืช เส้นใยต่าง ๆ ในการตอบสนองความต้องการของมนุษย์ ทั้งในและต่างประเทศ โดยการปลูกพืชนั้นเป็นการตรึง คาร์บอนไดออกไซด์จากชั้นบรรยากาศในกระบวนการ สังเคราะห์ด้วยแสงเพื่อการเจริญเติบโต ส่วนการใช้ พลังงานและทรัพยากรต่าง ๆ ในกระบวนการปลูกและ การผลิต เช่น การใช้น้ำมันดีเซลในการเตรียมพื้นที่ปลูก การเก็บเกี่ยวและการขนส่ง การใช้ปุ๋ยเคมีและสารฆ่า แมลงในขั้นตอนการปลูก รวมไปถึงทรัพยากรและ พลังงานอื่น ๆ ซึ่งการใช้ทรัพยากรและพลังงานต่าง ๆ ส่งผลให้เกิดการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออกสู่ ชั้นบรรยากาศ (carbon emission) ปัญหาดังกล่าว ทำให้นักวิจัยหลายคนสนใจศึกษาการปลดปล่อย คาร์บอนจากการเพาะปลูกพืชเศรษฐกิจ เช่น การปลด ปล่อยคาร์บอนจากกระบวนการเพาะปลูกถั่วเหลือง ปาล์มน้ำมัน มันสำปะหลัง และการปลูกอ้อยใน ประเทศไทย พบว่ามีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก 156 กิโลกรัมสมมูลคาร์บอนต่อไร่ต่อรอบการปลูก 167±40 กิโลกรัมสมมูลคาร์บอนต่อเฮกแตร์ต่อปี 237 และ 661.6 กิโลกรัมสมมูลคาร์บอนต่อไร่ต่อปี [4-7] ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม การศึกษาการปลดปล่อย คาร์บอนและแนวทางในการลดการปลดปล่อย คาร์บอนจากการเพาะปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ยังพบ การศึกษาไม่มากนักในประเทศไทย โดย Supasri และ คณะ [8] ได้ประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม ตลอดวัฏจักรชีวิตของการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ใน พื้นที่อำเภอแม่แจ่ม จังหวัดเชียงใหม่ พบว่าในขั้นตอน การเพาะปลูกมีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก 543.35 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อไร่ ซึ่ง คิดเป็น 148 กิโลกรัมสมมูลคาร์บอนต่อไร่ นอกจากนี้ Zhang และคณะ [9] ได้ประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ ของการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในพื้นที่ชลประทานและ พื้นที่สูงที่อาศัยน้ำฝนในประเทศจีน พบว่าการปลูกใน พื้นที่ชลประทานมีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูง กว่าพื้นที่ที่อาศัยน้ำฝนถึงร้อยละ 40 แต่ขณะเดียวกัน การปลูกในพื้นที่ชลประทานให้ผลผลิตที่สูงกว่าถึง 2.1 เท่า

ดังนั้น งานวิจัยนี้ จึงมีวัตถุประสงค์ เพื่อประเมิน

การปลดปล่อยคาร์บอนจากการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในฤดูแล้งของประเทศไทย เพื่อเป็นข้อมูลในการหาแนวทางในการลดการปลดปล่อยคาร์บอนจากกิจกรรมดังกล่าว โดยผลที่ได้จากการศึกษานี้สามารถใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนให้กับหน่วยงานราชการที่เกี่ยวข้อง เช่น สำนักงานเกษตรอำเภอใช้เป็นข้อมูลในการส่งเสริมการเพาะปลูกโพดเลี้ยงสัตว์ที่มิตรกับสิ่งสิ่งแวดล้อม ซึ่งสอดคล้องกับนโยบายของประเทศที่มุ่งสู่สังคมคาร์บอนต่ำ อันนำไปสู่การเติบโตที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เพื่อการพัฒนาประเทศที่ยั่งยืน ตามแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 12

2. วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยสำรวจเชิงวิเคราะห์ (analytical survey research) เพื่อประเมินการปลดปล่อยคาร์บอนในกระบวนการเพาะปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ การศึกษาแบ่งเป็น 3 ส่วน ได้แก่ การสำรวจข้อมูลภาคสนาม การประเมินการค่าสมูลคาร์บอน (การปลดปล่อย การตรึง และการลดการปลดปล่อยคาร์บอน) และการเสนอทางเลือกในการลดการปลดปล่อยคาร์บอน โดยได้เก็บข้อมูลภาคสนามในด้านการใช้ทรัพยากรและพลังงาน รวมถึงผลผลิตที่เกิดขึ้นในการปลูกข้าวโพดในฤดูแล้งของประเทศ ซึ่งมีการเพาะปลูกช่วงเดือนธันวาคม และเก็บเกี่ยวช่วงเดือนมีนาคม-เมษายน กลุ่มตัวอย่างในการเก็บข้อมูลของการศึกษานี้ ได้แก่ เกษตรกรที่เพาะปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ใน 5 จังหวัด ได้แก่ เพชรบูรณ์ น่าน เลย ตาก และเชียงราย ซึ่งเป็นพื้นที่ปลูกหลักของประเทศ คำนวณขนาดตัวอย่างโดยใช้สมการ (1) [10] ที่ระดับความเชื่อมั่น 90 % ซึ่งได้ขนาดตัวอย่างทั้งหมด 67 ตัวอย่าง

$$n = \frac{Z^2pq}{e^2} \tag{1}$$

โดย n = ขนาดตัวอย่าง; Z = ค่าความเชื่อมั่นที่ 90 % คือ 1.64; e = ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ (0.1); p = สัดส่วนของประชาชากรที่สนใจศึกษาจากข้อมูลทุติยภูมิ (0.442) โดยหาได้จากอัตราส่วนของประชากรในพื้นที่ปลูกหลัก 5 จังหวัดที่สนใจต่อจำนวนประชากรของผู้ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ทั้งประเทศ (112,267 ÷ 249,475 = 0.442); q = 1-p คือ 0.558

ใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างแบบเฉพาะเจาะจง (purposive sampling) ซึ่งเป็นการสุ่มเลือกพื้นที่ปลูกในจังหวัดที่มีเนื้อที่ปลูกมากที่สุด 5 จังหวัด ได้แก่ เพชรบูรณ์ น่าน เลย ตาก และเชียงราย ซึ่งมีเนื้อที่ปลูกทั้งหมดคิดเป็นร้อยละ 43.3 ของพื้นที่ปลูกทั้งหมดในประเทศ แล้วจึงนำจำนวนเกษตรกรผู้ปลูกข้าวโพดทั้ง 5 จังหวัดดังกล่าวมาทำการกำหนดสัดส่วนตัวอย่างจากจำนวนตัวอย่างทั้งหมดที่คำนวณได้ 67 ราย โดยมีการเก็บตัวอย่างเพิ่มเติมร้อยละ 10 จากจำนวนตัวอย่างที่คำนวณได้ข้างต้นเพื่อป้องกันข้อมูลเสียหาย จึงคิดเป็นจำนวนตัวอย่างทั้งหมด 74 ราย โดยเก็บข้อมูลในพื้นที่ปลูกข้าวโพดจังหวัดเพชรบูรณ์ น่าน เลย ตาก และเชียงราย จำนวน 15, 22, 13, 14 และ 10 ตามลำดับ ในหัวหน้ากลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกข้าวโพดและตัวแทนเกษตรในพื้นที่ดังกล่าวที่ยินยอมและสะดวกในการให้ข้อมูล

เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูลประกอบด้วยแบบสัมภาษณ์เกษตรกรผู้เพาะปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ เพื่อให้ทราบปริมาณการใช้พลังงานและทรัพยากรในการเพาะปลูกในการนำมาประเมินค่าสมมูลคาร์บอน ซึ่งประกอบการด้วยการปลดปล่อย การลด และการตรึงคาร์บอนในกิจกรรมการเพาะปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ แบบสัมภาษณ์ประกอบข้อมูลหลัก เช่น การใช้เชื้อเพลิงในขั้นตอนการเตรียมพื้นที่ การใช้สารฆ่าแมลง สารกำจัดวัชพืช และปุ๋ยในช่วงการดูแลรักษา การใช้เชื้อเพลิงในขั้นตอนการให้น้ำ และการใช้เชื้อเพลิงในการเก็บเกี่ยวและขนส่ง รวมไปถึงปริมาณผลผลิตต่อไร่ต่อฤดูกาล โดยการเก็บตัวอย่างข้อมูลดังกล่าวผู้วิจัย

ดำเนินการหลังจากได้รับการอนุมัติจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล (COA No. MUPH 2020-047, Protocol No. 27/2563) ปริมาณการใช้ทรัพยากรและพลังงานที่ได้จากการเก็บข้อมูลดังกล่าวจะถูกนำมาประเมินการปลดปล่อยคาร์บอน การตรึงคาร์บอน การลดการปลดปล่อยคาร์บอน และประสิทธิภาพการถ่ายเทคาร์บอนตามแนวคิดของแบบจำลองสมดุลคาร์บอน [5,11] แสดงดังสมการที่ (3)-(6) โดยประเภทของคาร์บอนตามแบบ จำลองสมดุลดังกล่าวแบ่งเป็น 3 ชนิด ตามเส้นทางการเคลื่อนตัว การใช้ประโยชน์ของผลิตภัณฑ์พืช ผลพลอยได้ และการเกิดของเสีย ดังนี้

การตรึงคาร์บอน (carbon fixation) เป็นผลผลิตที่ได้จากปฏิกิริยาการสังเคราะห์ด้วยแสง โดยที่คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ในชั้นบรรยากาศทำปฏิกิริยากับน้ำได้สารอินทรีย์คาร์บอน เช่น พืชพรรณธัญญาหารต่าง ๆ ซึ่งมันจะถูกเก็บเกี่ยวและเคลื่อนย้ายในแนวราบเพื่อสนองความต้องการของมนุษย์ หลังจากถูกบริโภคแล้วมันก็จะย่อยสลายเป็น CO_2 กลับสู่ชั้นบรรยากาศเช่นเดิม ดังนั้นจึงไม่ถือว่าเป็นการปล่อยระบายหรือไม่ทำให้ความเข้มข้น CO_2 ในชั้นบรรยากาศเพิ่มขึ้นแต่ประการใด อย่างไรก็ตาม การสนองความต้องการของมนุษย์จากการตรึงคาร์บอนนี้จำเป็นต้องใช้พื้นที่ขนาดพอเพียงที่จะผลิตผลิตภัณฑ์สังเคราะห์ด้วยแสงนั่นเอง

การปลดปล่อยคาร์บอน (carbon emission) เป็นกิจกรรมที่เกิดจากมนุษย์ในการใช้ประโยชน์พลังงานฟอสซิลและวัสดุสิ่งของที่ผลิตด้วยฟอสซิล หรือมีฟอสซิลเข้ามาเกี่ยวข้อง ทั้งนี้วัสดุฟอสซิลที่อยู่ใต้พื้นผิวโลกถูกขุดดึงขึ้นมา หลังจากใช้ประโยชน์แล้วมันยังคงอยู่ในชั้นบรรยากาศในรูปของ CO_2 ซึ่งกระบวนนี้ทำให้ CO_2 ในบรรยากาศมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น

การลดการปลดปล่อยคาร์บอน (carbon reduction) เป็นปริมาณสมมูลคาร์บอนที่เกี่ยวข้องกับการหมุนเวียน ใช้ซ้ำ หรือใช้ประโยชน์ของเสียเพื่อเป็นพลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิต หรือเป็นวัตถุดิบให้กับโรงงานอื่น ๆ ทั้งนี้ถือว่าเป็นการลดการปลดปล่อยคาร์บอน เพราะเป็นการช่วยลดปริมาณการใช้ทรัพยากรใหม่และพลังงานฟอสซิล [12]

ค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยคาร์บอน (conversion factor) ที่ใช้ในการประเมินการปลดปล่อยคาร์บอนในการศึกษานี้ได้มาจากฐานข้อมูลในระดับสากลที่ทำหน้าที่รวบรวมและทวนสอบค่า emission factor เช่น The Climate Registry ของสหรัฐอเมริกาและแคนาดา [13,14] และองค์การบริหารก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทย [15] รวมไปถึงข้อมูลจากงานวิจัยที่ได้ตีพิมพ์เผยแพร่ในระดับสากล โดยงานวิจัยนี้พิจารณาการปล่อยคาร์บอนบอนทั้งทางตรงและทางอ้อมขึ้นอยู่กับชนิดของทรัพยากรที่ใช้ เช่น ทรัพยากรที่เป็นวัสดุฟอสซิลจะพิจารณาการปลดปล่อยคาร์บอนทางตรง ขณะที่ทรัพยากรที่ไม่ได้มาจากวัสดุฟอสซิลหรือไม่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ เช่น ปุ๋ยคมีและสารกำจัดศัตรูพืชจะพิจารณาการปลดปล่อยคาร์บอนทางอ้อมเป็นคาร์บอนที่เกิดขึ้นจากการได้มาซึ่งทรัพยากรนั้น ๆ ดังนั้น conversion factor ของปุ๋ยเคมีและสารกำจัดศัตรูพืชที่ใช้ในการศึกษานี้คิดมาจากขั้นตอนการได้มาซึ่งทรัพยากรดังกล่าว ส่วนการใช้เชื้อเพลิง เช่น น้ำมันดีเซลและน้ำมันเบนซินนับเป็นการปลดปล่อยทางตรงในขั้นตอนการใช้ อย่างไรก็ตาม ค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยจากฐานข้อมูลต่าง ๆ มักอยู่ในรูปคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ดังนั้นจึงมีการเปลี่ยนจากคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO_{2eq}) เป็นสมมูลคาร์บอน (carbon equivalence, CE) โดยใช้สมการที่ (2) ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยที่ใช้ในการศึกษานี้แสดงดังตารางที่ 2

$$CE = \frac{kg\ CO_{2eq}}{unit}\ x\ \frac{12\ g\ C}{44\ g\ CO_2} \qquad (2)$$

การประเมินค่าสมมูลคาร์บอนแต่ละประเภท (การปลดปล่อย การลด และการตรึงคาร์บอน) ใน

การศึกษานี้ ผู้วิจัยมุ่งพิจารณาเฉพาะก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เนื่องจากเป็นก๊าซเรือนกระจกหลักที่มีการปลดปล่อยมากที่สุด โดยพิจารณาในรูปของสมมูลคาร์บอน (carbon equivalence) เพื่อให้แสดงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างคาร์บอนที่ถูกตรึงจากบรรยากาศผ่านทางกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงโดยพืช และคาร์บอนที่ถูกปลดปล่อยออกสู่บรรยากาศจากการใช้ทรัพยากรและพลังงานในการผลิตพืชเศรษฐกิจชนิดนั้น ๆ

Table 1 Lists of equations to estimate carbon equivalent in this study

Equations	Description
Carbon emission $= \frac{A}{unit} \times CF$ (3)	- Carbon emission is expressed in the unit of kg CE/rai - A is amount of resources or energy used (kg resources/rai) - CF is the conversion factors (kg CE/kg resource) or (kg CE / L of energy)
Carbon fixation $= Yield \times CF$ (4)	- Carbon fixation is expressed in the unit of (kg C / rai) or kg C/ ton product) - Yield is obtained in the form of maize grain (ton grain/rai) - CF is the conversion factor of C in organic compound (CH_2O) = 0.4
Carbon reduction $= \frac{A}{unit} \times CF$ (5)	- Carbon Reduction is expressed in the unit of kg CE/rai - A is the amount of resource recycled for reducing or replacing of fossil fuel (kg of resources or liters of energy/rai) - CF is the conversion factor of CE of replaced resource (kg CE/kg of replaced resource)
Carbon fixation efficiency $= \frac{C_{fixed}}{C_{fixed} + NetC_{emitted}} \times 100$ (6)	- C_{fixed} is carbon fixation (kg CE/rai) - Net $C_{emitted}$ is net carbon emission, calculated from Total carbon emission - Total carbon reduction

Table 2 Conversion of carbon equivalence (CE)

Resources/Energy used	Conversion Factors		References
	Unit	Values (kg CE/unit)	
Nitrogen (N)	kg	1.091	FAO (2017)
Phosphorus (P_2O_5)	kg	0.352	FAO (2017)
Potassium (K_2O)	kg	0.401	FAO (2017)
Paraquat	kg	0.881	TGO (2019)
Glyphosate	kg	4.364	TGO (2019)
Atrazine	kg	1.366	TGO (2019)
Emamectin Benzoate	kg	0.667	trc-canada, 2020
Diesel	L	0.74	TCR (2017)

3. ผลการวิจัยและวิจารณ์

3.1 ทรัพยากรและพลังงานที่ใช้ในการปลูกข้าวโพดฤดูแล้ง

การสำรวจภาคสนามและการเก็บข้อมูลรายละเอียดของกิจกรรมการเพาะปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ฤดูแล้งในพื้นที่ซึ่งเป็นแหล่งปลูกหลักของของประเทศ ได้แก่ จังหวัดเชียงราย เพชรบูรณ์ น่าน เลย และตาก โดยกระบวนการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์และการใช้ทรัพยากรในแต่ละขั้นตอน ตั้งแต่การเตรียมพื้นที่ปลูกจนกระทั่งการเก็บเกี่ยว สรุปได้ดังนี้

3.1.1 การเตรียมพื้นที่ ประกอบด้วยการไถกลบหญ้าหรือเศษวัสดุทางการเกษตรที่เหลือทิ้ง โดยส่วนใหญ่มีการไถอย่างน้อย 2-3 ครั้ง

3.1.2 การปลูก ส่วนใหญ่เกษตรกรนิยมใช้วิธีการปลูกแบบใช้รถไถหยอดเมล็ดพันธุ์

3.1.3 การใส่ปุ๋ย โดยส่วนใหญ่ใส่ปุ๋ย 3 ครั้งต่อรอบการปลูก โดยครั้งแรกใส่พร้อมกับการหยอดเมล็ดพันธุ์ ครั้งที่สองภายหลังการหยอดเมล็ดพันธุ์ประมาณ 30-45 วันหรือภายหลังการกำจัดวัชพืชครั้งที่ 1 และครั้งที่สามใส่ปุ๋ยเมื่อข้าวโพดมีอายุประมาณ 60-75 วันหลังปลูกหรือหลังการกำจัดวัชพืชครั้งที่ 2 ส่วนปุ๋ยที่ใช้ส่วนใหญ่จะใช้ปุ๋ยยูเรียร่วมกับปุ๋ยสูตร 16-20-0 หรือสูตร 15-15-15

3.1.4 การกำจัดศัตรูพืช แบ่งเป็น 2 ขั้นตอน ได้แก่ การกำจัดวัชพืช และการกำจัดแมลง

3.1.5 การให้น้ำในแปลงปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในฤดูแล้ง ดำเนินการในทุก 15-20 วัน โดยได้จากการสูบน้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติหรือน้ำจากคลองชลประทาน

3.1.6 การเก็บเกี่ยว ระยะเวลาการเก็บเกี่ยวข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ตามอายุการปลูกประมาณ 110-120 วัน โดยส่วนใหญ่มักมีการใช้รถเกี่ยวนวดเนื่องจากเป็นที่ราบ ซึ่งการเก็บเกี่ยวโดยวิธีนี้สามารถดำเนินการได้รวดเร็ว โดยได้ผลผลิตเป็นเมล็ดข้าวโพดออกจากแปลงได้ทันที ส่วนเศษวัสดุทางเกษตรที่เหลือ เช่น ลำต้น ใบ และซังข้าวโพดจะถูกสับละเอียดไปพร้อมกันในขั้นตอนการเกี่ยวนวด และถูกทิ้งไว้ในแปลงปลูกเพื่อไถกลบต่อไป ซึ่งการเก็บเกี่ยวโดยวิธีนี้สามารถลดการเผาเศษวัสดุเหลือทิ้งหลังการเก็บเกี่ยวลงได้

3.1.7 การสีเมล็ด กรณีมีการเก็บเกี่ยวข้าวโพดโดยใช้แรงงานคน โดยหลังจากการเก็บเกี่ยว ฝักข้าวโพดจะถูกนำเข้าสู่กระบวนการสีเมล็ดเพื่อแยกเมล็ดออกซังข้าวโพด โดยส่วนใหญ่นิยมใช้รถนวด

3.1.8 การขนส่งเมล็ดข้าวโพดไปสู่ลานตากหรือไซโล ซึ่งระยะห่างระหว่างลานตากข้าวโพดและแปลงปลูกข้าวโพดส่วนใหญ่อยู่ที่ระยะทาง 1-7 กิโลเมตร

ขั้นตอนดังกล่าวสามารถประเมินปริมาณการใช้ทรัพยากรในแต่ละขั้นตอนโดยสรุปในตารางที่ 3 ซึ่งทรัพยากรหลักที่ใช้ในกระบวนการเพาะปลูก ได้แก่ น้ำมันดีเซลสำหรับเป็นเชื้อเพลิงให้กับเครื่องจักรในกระบวนการเตรียมพื้นที่ การเพาะปลูก และกระบวนการให้น้ำ ปุ๋ยเคมีซึ่งประกอบด้วยธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P_2O_5) และโพแทสเซียม (K_2O) สารกำจัดวัชพืช ได้แก่ อาทราซีน ไกลโฟเสท และพาราควอท ส่วนสารฆ่าแมลง ได้แก่ อีมาเมกตินเบนโซเอท โดยการใช้ทรัพยากรและพลังงานในแต่ละขั้นตอนของการเพาะปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ตั้งแต่การเตรียมพื้นที่ปลูกจนกระทั่งการเก็บเกี่ยว พบว่าขั้นตอนการเตรียมดินมีการใช้น้ำมันดีเซลสำหรับการไถกลบหญ้า ไถพรวน และไถปั่น คิดเป็นปริมาณโดยเฉลี่ย 10.86 ลิตรต่อไร่ ขั้นตอนการปลูกมีการใช้น้ำมันดีเซลสำหรับเครื่องจักรในการปลูกโดยเฉลี่ย 1.62 ลิตรต่อไร่ การใส่ปุ๋ยประกอบด้วยธาตุอาหารไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P_2O_5) และโพแทสเซียม (K_2O) ปริมาณโดยเฉลี่ย 59.79 กิโลกรัมต่อไร่ การกำจัดวัชพืชมีการใช้สารอาทราซีน ไกลโฟเสท และพาราควอท ปริมาณโดยเฉลี่ย 0.45, 0.54 และ 0.56 ลิตรต่อไร่ ตาม

ลำดับ อีกทั้งยังมีการใช้น้ำมันดีเซล สำหรับรถพ่นยาปริมาณโดยเฉลี่ย 0.76 ลิตรต่อไร่ การใช้สารฆ่าแมลงอีมาเมกตินเบนโซเอท ซึ่งมีการใช้ทั้งชนิดน้ำและชนิดผงปริมาณโดยเฉลี่ย 0.876 ลิตร และ 89.68 กรัมต่อไร่ ตามลำดับ นอกจากนี้ยังมีการใช้น้ำมันดีเซลสำหรับขั้นตอนการให้น้ำ การเก็บเกี่ยว การสีเมล็ด และการขนส่งจากไร่ไปลานรับซื้อและจากลานรับซื้อไปไซโล/โรงงาน มีปริมาณการใช้มันดีเซลโดยเฉลี่ย 11.50, 3.00, 2.00 และ 4.27 ลิตรต่อไร่ ตามลำดับ

Table 3 Resources and energy used and product produced in maize cultivation in the dry season

Activities		Resources used (average ± SD)	
		Unit/rai	Unit/maize grain
1. Soil preparation	- Diesel of tilling (L)	3.33±1.00	2.73±0.82
	- Diesel of tillage (L)	3.70±1.07	3.03±0.88
	- Diesel of plowing (L)	3.83±0.98	3.14±0.80
2. Planting	- Diesel (L)	1.62±0.47	1.33±0.38
3. Fertilizer application	- Nitrogen (N) (Kg)	40.11±10.88	32.88±8.92
	- Phosphorus (P_2O_5) (Kg)	12.47±3.66	10.22±3.00
	- Potassium (K_2O) (Kg)	7.21±1.62	5.91± .32
4. Herbicide application	- Atrazine (Kg)	0.45±0.11	0.37±0.09
	- Glyphosate (L)	0.54±0.16	0.44±0.13
	- Paraquat (L)	0.56±0.16	0.46±0.13
	- Diesel for herbicide spraying (L)	0.76±0.12	0.62±0.09
5. Insecticide application	- Emamectin benzoate (soluble from) (L)	0.876±0.254	0.718±0.208
	- Emamectin benzoate (powder form type) (g)	89.68±20.85	73.51±17.09
6. Watering	- Diesel (L)	11.50±3.27	9.43±2.68
7. Harvesting	- Diesel (L)	3.00±0.00	2.46±0.00
8. Seed milling	- Diesel (L)	2.00±2.00	1.64±0.00
9. Transportation	- Diesel (L)	4.27±0.81	3.50±0.66
10. Maize grain production (ton)		1.219±0.306	1.00±0.25

3.2 การปลดปล่อยคาร์บอนจากกระบวนการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

การประเมินค่าสมมูลคาร์บอนพบว่า ปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนจากการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในฤดูแล้ง โดยเริ่มตั้งแต่กระบวนการเตรียมพื้นที่ การเพาะปลูก และการบำรุงรักษา ได้แก่ การใส่ปุ๋ย การกำจัดศัตรูพืช การเก็บเกี่ยว การสีเมล็ด จนกระทั่งการขนส่งเมล็ดสู่ลานตาก มีค่าเฉลี่ย 77.38±

Table 4 Carbon equivalence (CE) from maize cultivation in the dry season

Activities		Carbon equivalences (average ± SD)	
		kg CE/ rai	kg CE/ton maize grain
1. Soil preparation	- Diesel of tilling (L)	2.47±0.74	2.02±0.60
	- Diesel of tillage (L)	2.74±0.79	2.25±0.65
	- Diesel of plowing (L)	2.84±0.82	2.33±0.67
2. Planting	- Diesel (L)	1.20±0.35	0.98±0.28
3. Fertilizer application	- Nitrogen (N) (Kg)	43.76±11.87	35.87±9.73
	- Phosphorus (P_2O_5) (Kg)	4.39±1.29	3.60±1.06
	- Potassium (K_2O) (Kg)	2.89±0.65	2.37±0.53
4. Herbicide application	- Atrazine (Kg)	0.56±0.14	0.46±0.11
	- Glyphosate (L)	1.12±0.33	0.92±0.27
	- Paraquat (L)	0.14±0.04	0.11±0.03
	- Diesel for herbicide spraying (L)	0.57±0.09	0.47±0.07
5. Insecticide application	- Emamectin benzoate (soluble from) (L)	0.012±0.003	0.0098±0.0024
	- Emamectin benzoate (powder form type) (g)	0.003±0.002	0.0025±0.0016
6. Watering	- Diesel (L)	8.51±2.42	6.97±1.98
7. Harvesting	- Diesel (L)	2.22±0.00	1.82±0.00
8. Seed milling	- Diesel (L)	1.48±0.00	1.21±0.00
9. Transportation	- Diesel (L)	2.49±0.6	2.40±0.48
10. Maize grain production (ton)		488±14	
Total carbon emissions		77.38±20.03	63.46±16.42
Total carbon fixation*		488±14	400±11
Carbon fixation efficiency		86.31 %	

*yield of maize grain in dry season is equal to 1.219±0.306 ton grain/rai

20.03 กิโลกรัมสมมูลคาร์บอนต่อไร่ต่อฤดูกาล หรือคิดเป็น 63.46±16.42 กิโลกรัมสมมูลคาร์บอนต่อตันเมล็ด ดังแสดงในตารางที่ 4 โดยกิจกรรมที่เป็นแหล่งปลดปล่อยคาร์บอนที่สำคัญ ได้แก่ การใช้ปุ๋ยไนโตรเจน ซึ่งมีปริมาณการปลดปล่อย 43.76±11.87 กิโลกรัมสมมูลคาร์บอนต่อไร่ คิดเป็นร้อยละ 57 ของปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนทั้งหมดจากกระบวนการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ รองลงมา คือ กิจกรรมการให้น้ำ มี

การปล่อยระบายคาร์บอนคิดเป็นร้อยละ 11 ของปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนทั้งหมด ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Yousefi และคณะ [16] ซึ่งศึกษาการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเพื่อใช้เป็นดัชนีความยั่งยืนในการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในประเทศอิหร่าน พบปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด 130 กิโลกรัมคาร์บอนต่อไร่ ซึ่งมีปริมาณการปลดปล่อยสูงกว่าการศึกษานี้ เนื่องจากการปลูกข้าวโพดในประเทศอิหร่านมีความต้องการน้ำที่สูงกว่า เนื่องสภาพภูมิอากาศส่วนใหญ่เป็นแบบแห้งแล้ง โดยแหล่งปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่สูงที่สุดมาจากการใช้ปุ๋ยไนโตรเจน ไฟฟ้าในขั้นตอนการให้น้ำ และน้ำมันดีเซล คิดเป็นร้อยละ 35, 25, 20 ของปริมาณการปลดปล่อยทั้งหมด อย่างไรก็ตาม การปลูกข้าวโพดในฤดูแล้งนั้นมักมีการปลดปล่อยคาร์บอนที่สูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการปลูกในฤดูฝน โดยการศึกษาของ Zhang และคณะ [9] ที่ประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในพื้นที่ชลประทานและพื้นที่สูงที่อาศัยน้ำฝนในประเทศจีน พบว่าการปลูกในพื้นที่ชลประทานมีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงกว่าพื้นที่ที่อาศัยน้ำฝนถึงร้อยละ 40 แต่ขณะเดียวกันการปลูกในพื้นที่ชลประทานให้ผลผลิตที่สูงกว่าถึง 2.1 เท่า นอกจากนี้ Eranki และคณะ [17] ได้ศึกษาคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากการปลูกพืชหมุนเวียน ได้แก่ ข้าวโพด ถั่วเหลือง และข้าวโอ๊ตในเขตพื้นที่ตอนกลาง (Midwest) ของประเทศสหรัฐอเมริกา ผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่าข้าวโพดมีการปลดปล่อยคาร์บอนสูงสุด โดยมีการปลดปล่อยประมาณ 8,500 กิโลกรัมคาร์บอนต่อเอเคอร์ (916 กิโลกรัมคาร์บอนต่อไร่) เนื่องจากข้าวโพดมีความต้องการใช้ปุ๋ยในปริมาณสูงเมื่อเทียบกับพืชอีก 2 ชนิด ซึ่งผลการศึกษาดังกล่าวมีปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนที่สูงกว่าการศึกษาอื่นมาก จึงนำไปสู่การปรับเปลี่ยนการเพาะปลูกเป็นลักษณะเกษตรชีวภาพ (biological farm) ในพื้นที่ดังกล่าว และเมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาโดยใช้วิธีการประเมินวัฏจักรชีวิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในพื้นที่อำเภอแม่แจ่ม จังหวัดเชียงใหม่ พบว่าในขั้นตอนการเพาะปลูกมีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก 148 กิโลกรัมคาร์บอนต่อไร่ (543 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์ต่อไร่) [8]

3.3 ประสิทธิภาพการตรึงคาร์บอน

ปริมาณการตรึงคาร์บอนในเมล็ดข้าวโพดซึ่งเป็นผลผลิตหลักจากการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มีค่าเฉลี่ย 488±14 กิโลกรัมสมมูลคาร์บอนต่อไร่ หรือ 400±11 กิโลกรัมสมมูลคาร์บอนต่อตันเมล็ดข้าวโพด ซึ่งมากกว่าปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนถึง 6.3 เท่า โดยจากค่าปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนและการตรึงคาร์บอนดังกล่าว พบว่าประสิทธิการตรึงคาร์บอนจากการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 5 มีค่า 86.31 % ซึ่งชี้ให้เห็นว่ากิจกรรมการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ยังคงมีการปลดปล่อยคาร์บอนออกสู่บรรยากาศในปริมาณน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณคาร์บอนที่ถูกตรึงอยู่ในเมล็ดข้าวโพด ดังนั้นหากต้องการลดปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนจากกิจกรรมการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ดังกล่าว เกษตรกรหรือหน่วยงานราชการที่เกี่ยวข้องควรร่วมมือกันหาแนวทางในการลดการใช้ทรัพยากร หรือใช้ทรัพยากรทดแทน เพื่อนำไปสู่การลดการปลดปล่อยคาร์บอนออกสู่บรรยากาศดังกล่าว

3.4 แนวทางการลดการปลดปล่อยคาร์บอน

ปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนจากการกระบวนการเพาะปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในฤดูแล้งข้างต้น พบว่าปริมาณการปลดปล่อยที่มากที่สุดมาจากขั้นตอนการดูแลรักษาที่เกิดจากการใช้ปุ๋ยเคมี โดยมีปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอน 51.04±13.81 กิโลกรัมสมมูลคาร์บอนต่อไร่ คิดเป็นร้อยละ 65.96 ของ

ปริมาณการปลดปล่อยทั้งหมด รองลงมา คือ การใช้น้ำมันดีเซลในขั้นตอนการให้น้ำ ซึ่งมีปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอน 8.51±2.42 กิโลกรัมสมมูลคาร์บอนต่อไร่ คิดเป็นร้อยละ 11.00 ของปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนทั้งหมด รวมถึงการเตรียมดินก่อนการเพาะปลูก การปลูก การกำจัดวัชพืช การใช้สารฆ่าแมลง การเก็บเกี่ยว การสีเมล็ด และการขนส่ง มีการปลดปล่อยคาร์บอน 8.05±2.35, 1.20±0.35, 2.39±0.6, 0.015±0.005, 2.22±0.00, 1.48±0.00 และ 2.49±0.60 กิโลกรัมสมมูลคาร์บอนต่อไร่ ตามลำดับ โดยสัดส่วนของการปลดปล่อยคาร์บอนจากการใช้ทรัพยากรและพลังงานต่าง ๆ ในกระบวนการปลูกข้าวโพดแสดงดังรูปที่ 1

ผลการศึกษาดังกล่าวชี้ให้เห็นว่าควรมีการลดการใช้ปุ๋ยเคมีหรือการจัดการปุ๋ยอย่างมีประสิทธิภาพในการเพาะปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ เช่น การส่งเสริมให้มีการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมี เพื่อช่วยลดปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนออกสู่บรรยากาศ โดยการศึกษาของ Sureeporn และคณะ [18] ที่มีการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในการเพาะปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในพื้นที่พบว่าสามารถลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกลงร้อยละ 22 ของปริมาณการปลดปล่อยทั้งหมด นอกจากนี้การศึกษาของ Supasri และคณะ ซึ่งประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในพื้นที่อำเภอแม่แจ่ม จังหวัดเชียงใหม่ ได้ให้เสนอแนะในการนำเศษวัสดุทางการเกษตร เช่น ซังข้าวโพดไปแปรรูปเป็นปุ๋ยอินทรีย์ เพื่อให้เกิดการจัดการเศษวัสดุการเกษตรที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม [8] อย่างไรก็ตาม การในการศึกษานี้พบว่าปัจจุบันเกษตรกรนิยมเก็บเกี่ยวข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในฤดูแล้ง ซึ่งปลูกในพื้นที่ราบหรือพื้นที่นาข้าวนั้น มักใช้วิธีการเก็บเกี่ยวโดยรถเกี่ยวนวดเนื่องจากมีความสะดวกและรวดเร็ว และได้ผลผลิตเป็นเมล็ดออกมาทันทีหลังจากการเก็บเกี่ยว ส่วนเศษวัสดุทางการเกษตรจะถูกปั่นและไถกลบลงแปลงปลูกในขั้นตอนการเก็บเกี่ยว

นอกจากนี้ข้อมูลปริมาณธาตุอาหารในมูลสัตว์แต่ละประเภทจากรายงานของศูนย์ส่งเสริมและพัฒนาการเกษตรจังหวัดนครราชสีมา (ตารางที่ 5) ได้แก่ ปุ๋ยมูลวัว ปุ๋ยมูลไก่ และปุ๋ยมูลสุกร พบว่ามีธาตุ

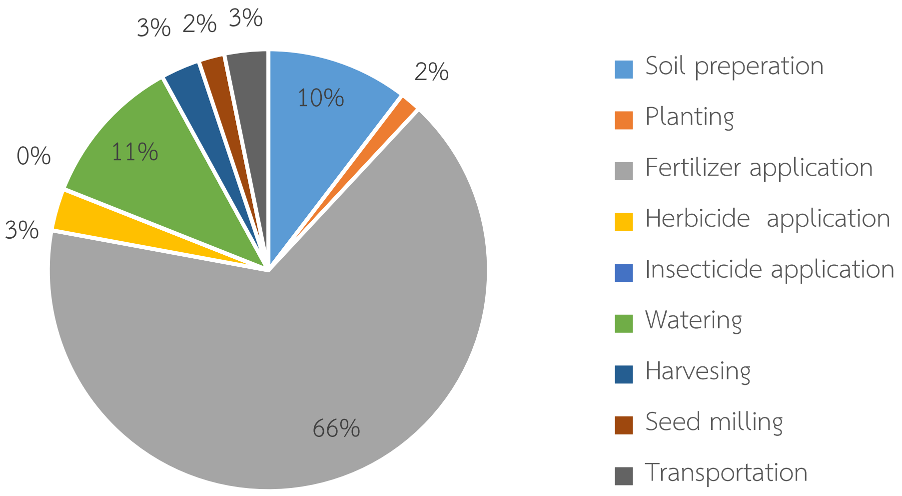

Figure 1 Percentages of carbon emission from maize cultivation

Table 5 Nutrient content in organic fertilizers [19]

Organic fertilizer	Nitrogen (N)	Phosphorus (P_2O_5)	Potassium (K_2O)
Cow manure	1.36	0.51	1.71
Chicken manure	2.59	1.96	2.29
Pig manure	2.69	3.24	1.12

Data redrived from Nakhon Ratchasima Provincial Agricultural Extension and Development Center

Table 6 Alternative ways for carbon emission reduction in maize cultivation

Alternative methods	Resources used (Unit/rai)	Carbon reduction (Kg CE/rai)
S1. Replacing 50 % of chemical fertilizer with organic fertilizers		
1) Cow manure (1,474 kg)		34.63
Nitrogen (N)	20.05	21.87
Phosphorus (P_2O_5)	7.52	2.65
Potassium (K_2O)	25.20	10.11
2) Chicken manure (774 kg)		34.32
Nitrogen (N)	20.05	21.87
Phosphorus (P_2O_5)	15.17	5.34
Potassium (K_2O)	17.72	7.11
3) Pig manure (745 kg)		33.72
Nitrogen (N)	20.05	21.87
Phosphorus (P_2O_5)	24.18	8.51
Potassium (K_2O)	8.34	3.34
S2. Replacing 100% of fossil diesel with biodiesel in the watering process	11.50	6.90
S3. Replacing 100% of fossil diesel with biodiesel in soil preparation process	10.86	6.53

อาหารที่สามารถนำมาทดแทนการใช้ปุ๋ยเคมีในการเพาะปลูกได้ ดังนั้นการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในการเพาะปลูกเป็นแนวทางหนึ่งที่น่าสนใจในการขับเคลื่อนให้กิจกรรมการปลูกข้าวโพดมีการปลดปล่อยคาร์บอนน้อยลง ส่วนแนวทางอื่น ๆ ในการลดการปลดปล่อยคาร์บอนในกิจกรรมการเพาะปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ได้แก่ การใช้ไบโอดีเซลทดแทนฟอสซิลดีเซลสำหรับเครื่องจักรกลการเกษตร เช่น เครื่องสูบน้ำ รถไถ โดยแนวทางดังกล่าวนอกจากช่วยลดการปลดปล่อยคาร์บอนแล้วยังสามารถลดต้นทุนในการเพาะปลูกไปพร้อม ๆ กันได้อีกด้วย โดยปริมาณการลดการปลดปล่อยคาร์บอนตามแนวทางต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 6

แนวทางลดการปลดปล่อยคาร์บอนที่เสนอ หากมีการดำเนินการตามทางเลือกในการใช้ทรัพยากรทดแทนเพื่อลดการปลดปล่อยคาร์บอนจากกระบวนการเพาะปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในขั้นตอนการใส่ปุ๋ย ขั้นตอนการให้น้ำ และขั้นตอนการเตรียมดิน ซึ่งเป็นขั้นตอนที่มีปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนมากที่สุด ดังนั้นการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ทดแทนธาตุอาหารจากปุ๋ยเคมี 50 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้ปุ๋ยมูลวัว ปุ๋ยมูลไก่ และปุ๋ยมูลสุกร ซึ่งคิดเป็นปริมาณ 1,474, 774 และ745 กิโลกรัม พบว่าสามารถลดปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนลงเหลือ 16.41, 16.72 และ 17.31 กิโลกรัมสมมูลคาร์บอนต่อไร่ ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับการดำเนินการในสภาพปัจจุบันที่มีปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนจากการใช้ปุ๋ยเคมีที่ปริมาณ 51.04 กิโลกรัมสมมูลคาร์บอนต่อไร่ ซึ่งคิดเป็นปริมาณการลดปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอน 34.63, 34.32, 33.73 กิโลกรัมสมมูลคาร์บอนต่อไร่ จากการใช้ปุ๋ยมูลวัว ปุ๋ยมูลไก่ และปุ๋ยมูลสุกร ตามลำดับ ผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการใช้ปุ๋ยคอกทั้ง 3 ชนิด สามารถลดปริมาณการปล่อยคาร์บอนที่ไม่ต่างกันมาก โดยการใช้ปุ๋ยมูลวัวทดแทนปุ๋ยเคมีสามารถลดการปล่อยคาร์บอนมากที่สุด แต่ขณะเดียวกันเมื่อเปรียบเทียบปริมาณความต้องการธาตุอาหารที่เท่ากัน พบว่าต้องใช้ประมาณปุ๋ยมูลวัวในปริมาณที่สูงกว่า ขณะที่ปุ๋ยมูลไก่ใช้ปริมาณที่น้อยที่สุด ดังนั้นในเชิงประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรและการลดการปล่อยคาร์บอน ปุ๋ยมูลไก่จึงมีประสิทธิสูงสุด

นอกจากนี้ขั้นตอนการให้น้ำและขั้นตอนการเตรียมดินใช้น้ำมันดีเซล ซึ่งมีปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอน 8.51 และ 8.05 กิโลกรัมสมมูลคาร์บอนต่อไร่ เมื่อใช้ไบโอดีเซลทดแทนน้ำมันดีเซลจะมีการปลดปล่อยคาร์บอนลดลงเหลือ 1.61 และ 1.52 กิโลกรัมสมมูลคาร์บอนต่อไร่ โดยสามารถลดการปลดปล่อยลงจากเดิม 6.90 และ 6.53 กิโลกรัมสมมูลคาร์บอนต่อไร่ แสดงดังรูปที่ 2 ทั้งนี้กระบวนการเพาะปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พบว่ามีการปลดปล่อยคาร์บอนจากการการใช้เชื้อเพลิงดีเซลทั้งหมดในขั้นตอนการให้น้ำ การเตรียมดิน การปลูก การพ่นกำจัดวัชพืช การเก็บเกี่ยว การสีเมล็ด และการขนส่ง 24.52 กิโลกรัมสมมูลคาร์บอนต่อไร่ คิดเป็นร้อยละ 31.7 ของการปลดปล่อยทั้งหมด ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการใช้เชื้อเพลิงมีความสำคัญต่อการปล่อยคาร์บอน ดังนั้นเมื่อใช้ไบโอดีเซลทดแทนน้ำมันดีเซลทั้งหมด พบว่าจะมีการปลดปล่อยคาร์บอน 4.67 กิโลกรัมสมมูลคาร์บอนต่อไร่ ซึ่งสามารถลดการปลดปล่อยลงจากเดิม 19.85 กิโลกรัมสมมูลคาร์บอนต่อไร่ คิดเป็นการลดการปลดปล่อย 25.7 % ของปริมาณการปลดปล่อยทั้งหมด ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Polprasert และคณะ [20] ที่ได้ศึกษาการปลดปล่อยคาร์บอนจากการผลิตไบโอดีเซลจากปาล์มน้ำมัน และพบว่าไบโอดีเซลมีศักยภาพในการลดการปลดปล่อยคาร์บอนสูง และเมื่อพิจารณาจากการใช้เชื้อเพลิงดีเซลในกระบวนการต่าง ๆ ของการเพาะปลูกข้าวโพด พบว่าส่วนใหญ่มาจากการใช้เครื่องจักรกลทางการเกษตร ซึ่งสามารถใช้ไบโอดีเซลทดแทนน้ำมันดีเซลทั้งหมด ดังนั้นศักยภาพสูงสุดในการลดการปลดปล่อยคาร์บอนจากกระบวนการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์คิดเป็นปริมาณ 54.17 กิโลกรัมสมมูลคาร์บอนต่อไร่ ซึ่งคิดเป็นการลดการปลดปล่อยร้อยละ 70 จากสภาพการดำเนินการปกติในปัจจุบัน

4. สรุปผล

การปลดปล่อยคาร์บอนจากการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในฤดูแล้ง มีค่าเฉลี่ย 77.38±20.03 กิโลกรัมสมมูลคาร์บอนต่อไร่ต่อฤดูกาล โดยแหล่งปล่อยหลักมาการใช้ปุ๋ยเคมีและการใช้เชื้อเพลิงในขั้นตอนการให้น้ำ คิดเป็นร้อยละ 66 และ 11 ของปริมาณการปลดปล่อย

ทั้งหมด ตามลำดับ ขณะเดียวกันพบปริมาณการตรึงคาร์บอนในผลิตหลัก 488±14 กิโลกรัมสมมูลคาร์บอนต่อไร่ต่อฤดูกาล ซึ่งมากกว่าปริมาณคาร์บอนที่ถูกปลดปล่อยออกไป 6.3 เท่า โดยคิดเป็นประสิทธิภาพในการตรึงคาร์บอนร้อยละ 86.31 ชี้ให้เห็นว่าการผลิตเมล็ดข้าวโพดยังคงมีการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออกสู่บรรยากาศ อย่างไรก็ตาม แนวทางในการลดการปลดปล่อยคาร์บอนจากการใช้ปุ๋ยอินทรีย์เพื่อทดแทนปุ๋ยเคมีร้อยละ 50 และใช้ไบโอดีเซลทดแทนฟอสซิลดีเซลสำหรับเครื่องจักรกลการเกษตรในทุกขั้นตอนของกิจกรรมการปลูก สามารถลดปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอน 54.17 กิโลกรัมสมมูลคาร์บอนต่อไร่ ซึ่งแนวทางดังกล่าวมีศักยภาพในการลดปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนลงร้อยละ 70 จากปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนในสภาพปัจจุบัน

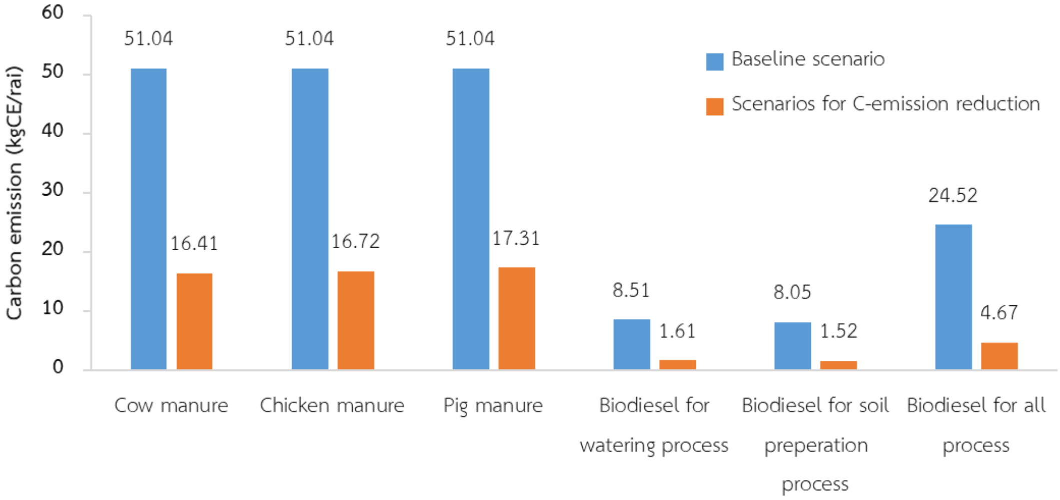

Figure 2 Carbon emissions from the proposed scenarios

5. กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากสำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน) ปีงบประมาณ 2563 ภายใต้โครงการการลดการปลดปล่อยคาร์บอนและการสูญเสียฟอสฟอรัสในการผลิตข้าวโพดสำหรับอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ในประเทศไทย (รหัสโครงการ PRP6305030330) ขอขอบคุณเกษตรกรผู้ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในพื้นที่จังหวัดเชียงราย เพชรบูรณ์ น่าน เลย และตาก ที่เสียสละเวลาในการให้ข้อมูลด้านปริมาณการใช้ทรัพยากรและพลังงานในการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

6. References

[1] Electricity Generating Authority of Thailand, Thailand's Role in Reducing Greenhouse Gases, Available Source: https://www.egat.co.th, September 22, 2019. (in Thai)

[2] ONEP (Office of Natural Resources and Environmental Policy and Planning) 2019, Paris Agreement 2017, Available Source: http://www.onep.go.th, September 22, 2019.

[3] OAE (Office of Agricultural Economics) 2019, Maize: Plantation Area in 2016, Available Source: http://www.oae.go.th, September 22, 2019. (in Thai)

[4] Patthanaissaranukool, W. and Polprasert, C., 2016, Reducing carbon emissions from soybean cultivation to oil production in Thailand, J. Clean. Prod. 131: 170-178.

[5] Patthanaissaranukool, W. and Polprasert, C., 2011, Carbon mobilization in oil palm plantation and milling based on a carbon-Balanced model: A case study in Thailand, Environ. Asia 4(2): 17-26.

[6] Changsaluk, J., 2012, Investigation of Cassava Plantation and Primary Processing in a Carbon-Balanced Model: A Case Study in Thailand, Master Thesis, Mahidol University, Nakhon Pathom.

[7] Neamhom, T., Patthanaissaranukool, W. and Polprasert, C., 2016, Evaluation of carbon equivalences in ethanol production from energy crops in Thailand, GMSARN Int. J. 10: 181-186.

[8] Supasri, T., Intra, P. and Sampattagul, S., 2016, Life Cycle GHGs and PM10 evaluation of maize cultivation in Mae Chaem district, Chiang Mai province, Eng. J. CMU. 23(3): 94-105.

[9] Zhang, W., He, X., Zhang, Z., Gong, S., Zhang, Q., Zhang, W., Liu, D., Zou, C. and Chen, X., 2018, Carbon footprint assessment for irrigated and rainfed maize (*Zea mays* L.) production on the Loess Plateau of China, Biosyst. Eng. 167: 75-86

[10] Bartlett, J.E., Kotrlik, J.W. and Higgins, C.C., 2001, Organizational research: Determining appropriate sample size in survey research, Inform. Technol. Learn. Perform. J. 19: 43-50.

[11] Patthanaissaranukool, W., Polprasert, C. and Englande, A.J., 2013, Potential reduction of carbon emission from crude palm oil production based on energy and carbon balances, Appl. Energy 102: 710-717.

[12] Pimentel, D., Lal, R. and Singmaster, J., 2010, Carbon capture by biomass and soil are sound: CO_2 burial wastes energy, Environ. Develop. Sustain. 201: 447-448.

[13] TCR (The Climate Registry), U.S. Default Factors for Calculating CO_2 Emissions from Fossil Fuel and Biomass Combustion, Available Source: https://www.theclimate registry.org/wp-content/uploads/2017/05 /2017-Climate-Registry-Default-Emission-Factors.pdf, April 9, 2020.

[14] FAO (Food and Agriculture Organization of The United Nations), 2017, Global Database of GHG Emissions Related to Feed Crops: A Life Cycle Inventory, Version 1, Livestock Environmental Assessment and Performance Partnership, FAO, Rome.

[15] TGO (Thailand Greenhouse Gas Organiza tion), 2020, Emission Factors (Updated on February 2020), Available Source: http:// thaicarbonlabel.tgo.or.th/products_emissi

on/products_emission.pnc, April 9, 2020.

[16] Yousefi, M., Damghani, A. and Khoramivafa, M., 2014, Energy consumption, greenhouse gas emissions and assessment of sustain ability index in corn agroecosystems of Iran, Sci. Total Environ. 493: 330-335.

[17] Eranki, P., Devkota, J. and Landis, A., 2019, Carbon footprint of corn-soy-oats rotations in the US Midwest using data from real biological farm management practices, J. Clean. Prod. 210: 170-180

[18] Sureeporn, K. and Napat, J., 2018, Assessment of greenhouses gas emission and mitigation from maize cultivation in Thailand for sustainable production systems, Thammasat Int. J. Sci. Tech. 26(7): 1176-1196.

[19] Nakhon Ratchasima Provincial Agricultural Extension and Development Center (Horticulture), Available Source: http://osd101.ldd.go.th/Q/manual/table_compost.pdf, September 22, 2019. (in Thai)

[20] Polprasert, C., Patthanaissaranukool, W., and Englande, A.J., 2015, A choice between RBD (refined, bleached, and deodorized) palm olein and palm methyl ester productions from carbon movement categorization, Energy 88: 610-620.