

อิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินจากนาข้าวมาปลูกอ้อยต่อมวลชีวภาพจุลินทรีย์คาร์บอนและไนโตรเจนในดิน

Impact of land use change from paddy rice to sugarcane on soil microbial biomass carbon and nitrogen

นิรันดร์ ผิวดง^{1,2,3} และ วรณวิภา แก้วประดิษฐ์^{1,2,3*}

Neeranuch Phiwdaeng^{1,2,3} and Wanwipa Kaewpradit^{1,2,3*}

¹ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40002

¹ Faculty of Agriculture, Khon Kaen University, Khon Kaen, Thailand 40002

² ศูนย์วิจัยอ้อยและน้ำตาลภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40002

² Northeast Thailand Cane and Sugar Research Center, Khon Kaen University, Khon Kaen, Thailand

³ โครงการจัดการธาตุอาหารเพื่อการผลิตอ้อยอย่างยั่งยืนภายใต้สภาพภูมิอากาศเปลี่ยนแปลง

³ Nutrition Management for Sustainable Sugarcane Production under Climate Change Project, Khon Kaen University, Khon Kaen, Thailand

บทคัดย่อ: ความต้องการบริโภคน้ำตาลทั่วโลกที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้พื้นที่ปลูกอ้อยขยายตัวไปยังพื้นที่นาข้าวซึ่งเป็นพื้นที่ทำการเกษตรหลักของประเทศไทย การเปลี่ยนชนิดของพืชปลูกมักส่งผลกระทบต่อความอุดมสมบูรณ์ของดิน ดังนั้นงานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินจากนาข้าวมาปลูกอ้อยที่ส่งผลต่อมวลชีวภาพจุลินทรีย์คาร์บอนและไนโตรเจนในดิน ดำเนินการศึกษา ณ แปลงอ้อยของเกษตรกร จังหวัดบุรีรัมย์ ซึ่งเปลี่ยนจากนาข้าวมาปลูกอ้อยในระยะเวลาที่ต่างกัน ได้แก่ 6 ปี (SC6) 13 ปี (SC13) และ 17 ปี (SC17) โดยใช้ดินนาข้าว (PRC) เป็นดินอ้างอิง ดำเนินการสุ่มเก็บตัวอย่างดินพร้อมกันทุกกรรมวิธีที่ 3 ระดับความลึก (0-10 10-20 และ 20-30 ซม.) ในแต่ละแปลงตามแผนการเก็บข้อมูลแบบลำดับขั้น นำตัวอย่างดินทั้ง 3 ระดับความลึกไปวิเคราะห์หาความชื้นดินและประเมินระดับชั้นดินดาน ตัวอย่างดินที่ระดับความลึก 0-10 ซม. ถูกนำไปวิเคราะห์หามวลชีวภาพจุลินทรีย์คาร์บอนและไนโตรเจน ผลการศึกษาพบว่าหลังจากที่นาข้าวถูกเปลี่ยนมาปลูกอ้อยภายใต้สภาพที่มีการคืนใบอ้อยส่งผลให้ความชื้นดินเพิ่มขึ้น โดย 13 ปี (SC13) หลังจากนาข้าวถูกเปลี่ยนมาปลูกอ้อยส่งผลให้มีมวลชีวภาพจุลินทรีย์คาร์บอนและไนโตรเจนสูงที่สุด แต่เมื่อปลูกอ้อยต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 17 ปี (SC17) ส่งผลให้มวลชีวภาพจุลินทรีย์คาร์บอนและไนโตรเจนลดลง ดังนั้นการเปลี่ยนนาข้าวมาปลูกอ้อยต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 17 ปี ควรจะมีการไถกลบใบอ้อยซึ่งเป็นแนวทางหนึ่งในการเพิ่มมวลชีวภาพจุลินทรีย์คาร์บอนและไนโตรเจนซึ่งเป็นตัวชี้วัดความอุดมสมบูรณ์ของดินที่ตอบสนองอย่างรวดเร็วเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินและการจัดการ

คำสำคัญ: การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน; นาข้าว; อ้อย; ความอุดมสมบูรณ์ของดิน

ABSTRACT: The increase in sugar demand has led to a sugarcane cultivated area expansion, replacing paddy rice areas, which are the most occupied of all arable land in Thailand. However, changes in land use have affected soil fertility. The objective of this study was to investigate the effects of land use change from paddy rice field to sugarcane under sugarcane straw return on soil microbial biomass carbon and nitrogen. A field experiment was conducted in farmers' fields in Buriram province. The field sites were selected according to the history of the land use change (LUC) from paddy rice to upland sugarcane cultivation, namely, 6 (SC6), 13 (SC13) and 17 (SC17) years

* Corresponding author: wanwka@gmail.com; wanwka@kku.ac.th

Received: date; May 29, 2023 Revised date; August 27, 2023

Accepted: date; September 5, 2023 Published: date; March 4, 2024

after the LUC. The monocrop paddy rice (PRC) was a reference soil. Soil samples (0-10, 10-20 and 20-30 cm) were randomly collected from each land use fields based on a hierarchical scheme at the same time for determining soil moisture content and hard pan depth. Soil sample at 0-10 cm was used for microbial biomass carbon and nitrogen analysis. The results showed that LUC from PRC to sugarcane decreased soil moisture content. 13 years of LUC from PRC to SC (SC13) has the highest soil microbial biomass carbon and nitrogen. However, consecutive sugarcane cultivation (SC17) decreased soil microbial biomass carbon and nitrogen. Therefore, sugarcane straw incorporation after LUC to sugarcane for 17 years may improve soil microbial biomass carbon and nitrogen which are the sensitive indicator for monitoring and evaluating soil fertility under land use change and management.

Keywords: land use change; rice; sugarcane; soil fertility

บทนำ

อ้อยเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งของประเทศไทย เนื่องจากเป็นวัตถุดิบในการผลิตน้ำตาลทั้งเพื่อใช้ภายในประเทศและส่งออกไปจำหน่ายยังต่างประเทศ คาดการณ์ว่าในปี พ.ศ. 2571 ความต้องการบริโภคน้ำตาลทั่วโลกจะเพิ่มขึ้นมากถึง 203 ล้านตัน จาก 78 ล้านตัน โดยเฉพาะในแถบเอเชีย ตะวันออกกลาง และอเมริกาเหนือ ส่งผลให้ประเทศไทยซึ่งเป็นผู้ส่งออกน้ำตาลรายใหญ่อันดับที่ 2 ของโลก จะเป็นคู่แข่งสำคัญกับประเทศบราซิลที่จะส่งออกน้ำตาลไปยังตลาดดังกล่าว (OECD/FAO, 2019) และคาดการณ์ว่าประเทศไทยจะสามารถผลิตน้ำตาลได้มากถึง 15.6 ล้านตัน ในปีพ.ศ. 2571 เพื่อตอบสนองความต้องการบริโภคน้ำตาลทั่วโลกที่เพิ่มสูงขึ้น (OECD/FAO, 2019) ความต้องการบริโภคน้ำตาลทั่วโลกที่เพิ่มสูงขึ้นนำไปสู่การขยายตัวของพื้นที่ปลูกอ้อยไปยังพื้นที่ทำนาข้าวซึ่งเป็นพื้นที่ทำการเกษตรหลักของประเทศไทย (46 %) (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2562) ส่งผลให้พื้นที่ทำนาข้าวลดลงมากถึง 8 ล้านไร่ ในช่วง 10 ปีที่ผ่านมา (กรมพัฒนาที่ดิน, 2552; กรมพัฒนาที่ดิน, 2562) และพื้นที่ปลูกอ้อยเพิ่มขึ้นถึง 159,738 ไร่ ในปีการผลิตที่ 2564/2565 (สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย, 2565) เมื่อนาข้าวถูกเปลี่ยนมาปลูกอ้อยนอกเหนือจากเพิ่มผลผลิตของอ้อยให้เพียงพอต่อความต้องการบริโภคน้ำตาลของโลกที่เพิ่มขึ้นแล้ว ยังสามารถเพิ่มรายได้ให้กับเกษตรกรอีกด้วย ราคาอ้อยที่สูง นโยบายการรับประกันราคาอ้อย การสนับสนุนสินเชื่อดอกเบี้ยต่ำสำหรับต้นทุนการผลิต การเก็บเกี่ยวและการขนส่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลให้เกษตรกรเปลี่ยนนาข้าวมาปลูกอ้อย (Suchato et al., 2021) อรุณี และคณะ (2557) รายงานว่า เกษตรกรที่เปลี่ยนจากนาข้าวมาปลูกอ้อย มีรายได้มากกว่ารายได้จากการทำนาเมื่อปลูกในพื้นที่เดียวกัน ถึงแม้ว่าการปลูกอ้อยทำให้เกษตรกรมีรายได้เพิ่มขึ้น แต่ในขณะเดียวกันการเปลี่ยนแปลงชนิดของพืชปลูกและการจัดการหลังการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินมักจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางชีวภาพของดินโดยเฉพาะกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินซึ่งมีบทบาทสำคัญในการควบคุมการหมุนเวียนธาตุอาหารในดิน และยังเป็นตัวชี้วัดความอุดมสมบูรณ์ของดินที่สำคัญ (Gamboa and Galicia, 2011; Peerawat et al., 2018)

จุลินทรีย์ในดินเป็นองค์ประกอบของอินทรีย์วัตถุส่วนที่มีชีวิตในดิน ถึงแม้ว่าในดินจะมีจุลินทรีย์ไม่ถึง 5 เปอร์เซ็นต์ของอินทรีย์วัตถุทั้งหมดในดิน แต่จุลินทรีย์เหล่านี้มีบทบาทสำคัญในการควบคุมความอุดมสมบูรณ์ของดินโดยทำหน้าที่ในการย่อยสลายเศษซากพืช การสังเคราะห์สารประกอบอินทรีย์ เพิ่มเสถียรภาพของโครงสร้างดิน และควบคุมการหมุนเวียนธาตุอาหารในดินและกระบวนการต่างๆ ในระบบนิเวศซึ่งมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช (Gonzalez-Quinones et al., 2011) การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงจุลินทรีย์ในดินโดยส่งผลให้จำนวนแบคทีเรียลดลง แต่จำนวนเชื้อรา (อาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา) เพิ่มขึ้นหลังจากที่ป่าฝนเขตร้อนถูกเปลี่ยนมาปลูกยางพาราเป็นระยะเวลาประมาณ 13 ปี (Krashevskaya et al., 2015) Gamboa and Galicia (2011) พบว่าเมื่อมีการตัดไม้ทำลายป่าเพื่อมาทำการเกษตรนอกจากส่งผลให้กิจกรรมของเอนไซม์ β -glucosidase และ Dehydrogenase ลดลงแล้วยังส่งผลให้มวลชีวภาพจุลินทรีย์คาร์บอนลดลงด้วย Chen et al. (2022) พบว่าเมื่อพื้นที่ป่าไม้ถูกเปลี่ยนมาทำการเกษตร มวลชีวภาพจุลินทรีย์คาร์บอนและมวลชีวภาพจุลินทรีย์ไนโตรเจนในดินลดลง 59% และ 73 % ตามลำดับ เช่นเดียวกันกับการศึกษาของ Kara and Bolat (2007) พบว่าในดินป่าไม้มีมวลชีวภาพจุลินทรีย์คาร์บอนและมวลชีวภาพจุลินทรีย์ไนโตรเจนสูงกว่าในดินที่ทำการเกษตร การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงจุลินทรีย์ในดินโดยส่งผลให้มวลชีวภาพจุลินทรีย์คาร์บอน และอัตราส่วนของมวลชีวภาพจุลินทรีย์คาร์บอนต่อไนโตรเจนลดลงหลังจากที่ป่าไม้ถูกเปลี่ยนมาปลูกข้าวโพด (Bini et al., 2013)

การเปลี่ยนแปลงปริมาณและคุณภาพของซากพืชที่นำเข้าสู่ดินหลังจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินส่งผลในการเปลี่ยนแปลงจุลินทรีย์ในดิน (Simpson et al., 2007) ความแตกต่างของอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ปริมาณเซลล์ลูโลส ลิกนิน และโพลีฟีนอลในซากพืชที่นำเข้าสู่ดินมีบทบาทสำคัญต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน (Vityakon et al., 2000) อีกทั้งความแตกต่างระหว่างสภาพของดินยังเป็นปัจจัยสำคัญในการควบคุมจุลินทรีย์ในดิน การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินจากสภาพที่ไม่มีออกซิเจน (anaerobic) ไปยังสภาพที่มีออกซิเจน (aerobic) หรือในทางตรงกันข้าม ส่งผลในการเปลี่ยนแปลงประชากรจุลินทรีย์ในดิน (Li et al., 2019; Rokunuzzaman et al., 2016) Li et al. (2020) รายงานว่าเมื่อไรข้าวโพดซึ่งอยู่ภายใต้สภาพที่ได้รับออกซิเจนถูกเปลี่ยนมาทำนาซึ่งอยู่ภายใต้สภาพออกซิเจนจำกัดส่งผลให้จำนวนเชื้อราและแบคทีเรียลดลง เช่นเดียวกันกับการศึกษาของ Sun et al. (2011) พบว่าเมื่อข้าวถูกเปลี่ยนมาปลูกผักซึ่งอยู่ภายใต้สภาพที่ได้รับออกซิเจนส่งผลให้จำนวนเชื้อราและแบคทีเรียเพิ่มขึ้น ในขณะที่มวลชีวภาพจุลินทรีย์คาร์บอน และมวลชีวภาพจุลินทรีย์ไนโตรเจนลดลงตามระยะเวลาที่มีการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน การเปลี่ยนแปลงของจุลินทรีย์ในดิน และมวลชีวภาพจุลินทรีย์มีความสัมพันธ์กับความชื้นดิน อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในเศษซากพืชที่คงไว้ในดิน รวมทั้งปริมาณธาตุอาหารที่อยู่ในดิน (Bini et al., 2013; Sun et al., 2021) ในขณะที่การให้เศษซากใบอ้อยพบว่าส่งเสริมกิจกรรมเอนไซม์ β -glucosidase cellulase peroxidase และ phenoloxidase ในดิน (Phukongchai et al., 2022) การเปลี่ยนแปลงของมวลชีวภาพจุลินทรีย์คาร์บอน และมวลชีวภาพจุลินทรีย์ไนโตรเจนซึ่งเป็นอินทรีย์วัตถุส่วนที่มีชีวิตและเปลี่ยนแปลงง่ายในดินจึงถูกนำมาใช้ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงความอุดมสมบูรณ์ของดินภายหลังการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินภายใต้สภาพดินและการจัดการที่แตกต่างกัน ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการมีเนอรัลไรเซชันของคาร์บอนและไนโตรเจนที่มีบทบาทสำคัญในการควบคุมความอุดมสมบูรณ์ของดินภายหลังการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน (Sharma et al., 2004; Guidi et al., 2014; Gabarron-Galeote et al., 2015) มวลชีวภาพจุลินทรีย์คาร์บอน และมวลชีวภาพจุลินทรีย์ไนโตรเจน จะตอบสนองอย่างรวดเร็วทั้งอาจจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงเมื่อเทียบกับปริมาณคาร์บอนและไนโตรเจนทั้งหมดในดินหลังการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินและการจัดการ (พรทิพย์ และคณะ, 2564; Kara and Bolat, 2007)

การวิจัยครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินจากนาข้าวซึ่งอยู่ภายใต้สภาพที่มีออกซิเจนจำกัดมาปลูกอ้อยซึ่งอยู่ภายใต้สภาพที่ได้รับออกซิเจนภายใต้การคืนใบอ้อยลงสู่แปลงหลังการเก็บเกี่ยวต่อการเปลี่ยนแปลงของมวลชีวภาพจุลินทรีย์คาร์บอนและมวลชีวภาพจุลินทรีย์ไนโตรเจนในดิน จากการศึกษาครั้งนี้เกษตรกรสามารถนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ประกอบการตัดสินใจที่จะเปลี่ยนจากนาข้าวมาปลูกอ้อย ตลอดจนการพัฒนาแนวทางการจัดการดินหลังจากเปลี่ยนมาปลูกอ้อยให้เหมาะสมเพื่อเพิ่มความยั่งยืนของระบบการปลูกอ้อยแทนการทำนาข้าว

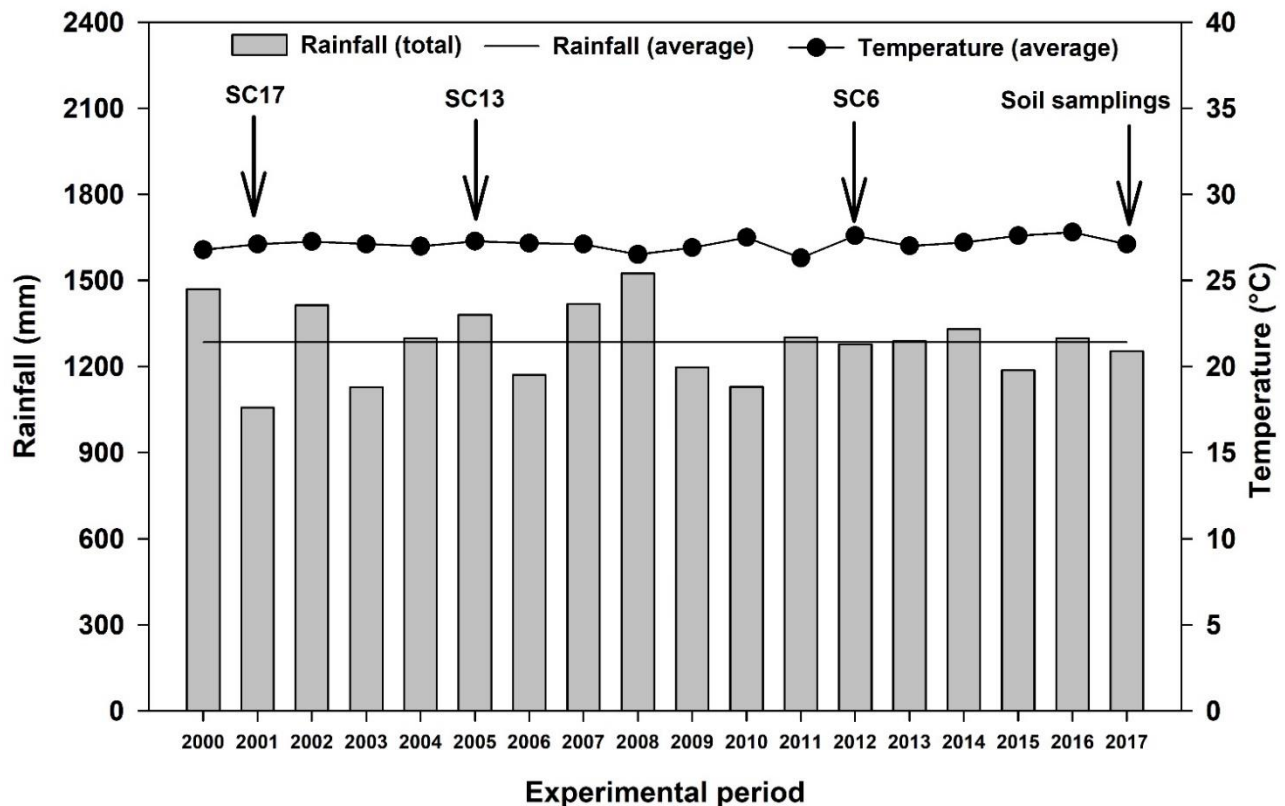


Figure 1 Total rainfall (mm) and average temperature (°C) at the experimental site after land use change. SC6: conversion from paddy rice to sugarcane in 2012, SC13: conversion from paddy rice to sugarcane in 2005, SC17: conversion from paddy rice to sugarcane in 2001.

วิธีการศึกษา

พื้นที่ศึกษา

ดำเนินงานทดลองในสภาพแปลงของเกษตรกร (field experiment) ณ อำเภอลำปลายมาศ จังหวัดบุรีรัมย์ (15°04'32.3"N 102°48'11.0"E) ดำเนินการคัดเลือกแปลงเกษตรกรที่มีการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินจากนาข้าวมาปลูกอ้อยในช่วงระยะเวลาที่แตกต่างกันและอยู่ในพื้นที่ใกล้เคียงกัน (Phiwdaeng et al., 2023) อีกทั้งยังมีการจัดการหลังการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินที่เหมือนกัน เพื่อลดความแปรปรวนของปัจจัยสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน จึงนำไปสู่การคัดเลือกแปลงที่มีการเปลี่ยนจากนาข้าวมาปลูกอ้อยในระยะเวลาที่ต่างกัน 3 ระยะเวลาได้แก่ 1) SC6 (15°4'30.38"N 102°48'11.94"E) เปลี่ยนจากนาข้าวมาปลูกอ้อยเป็นระยะเวลา 6 ปี (อ้อยต่อที่ 5) 2) SC13 (15°4'30.71"N 102°48'10.57"E) เปลี่ยนจากนาข้าวมาปลูกอ้อยเป็นระยะเวลา 13 ปี (อ้อยต่อที่ 12) และ 3) SC17 (15°4'33.24"N, 102°48'11.46"E) เปลี่ยนจากนาข้าวมาปลูกอ้อยเป็นระยะเวลา 17 ปี (อ้อยต่อที่ 16) และมีพื้นที่นาข้าว (PRC) (15°4'40.1"N, 102°48'11.6"E) ที่มีการปลูกข้าวต่อเนื่องติดต่อกันในระยะเวลามากกว่า 40 ปีเป็นดินอ้างอิง โดยทั้ง 4 พื้นที่ (SC6 SC13 SC17 และ PRC) ตั้งอยู่บนชุดดินชานี (aquic Haplustalfs) (Soil survey staff, 2010) มีอุณหภูมิเฉลี่ยที่ 27.1 องศาเซลเซียส และปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยที่ 1,284 มิลลิเมตร (**Figure 1**) พื้นที่นาข้าว (PRC) มีการจัดการแปลงโดยการไถกลบฟางข้าวหลังการเก็บเกี่ยว และให้ปุ๋ยจำนวน 2 ครั้งโดยให้ปุ๋ยเคมีสูตร 16-16-8 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ ในระยะแตกกอและระยะตั้งท้อง ในขณะที่หลังจากนาข้าว

ถูกเปลี่ยนมาปลูกอ้อย (SC6 SC13 และ SC17) เกษตรกรมีการจัดการแปลงโดยมีการไถพรวนเพียง 1 ครั้งในช่วงก่อนเตรียมแปลงปลูก และหลังจากนั้นไม่มีการไถพรวนดิน มีการให้ปุ๋ยเคมีแก่อ้อยโดยพ่นสารละลายยูเรียอัตรา 2.3 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อน้ำ 40 ลิตรต่อไร่ ฉีดพ่นในแปลงบนผิวดินที่มีซากใบอ้อยปกคลุมอยู่หลังจากเก็บเกี่ยวอ้อยในช่วงฤดูฝนจำนวน 5 ครั้งระหว่างที่อ้อยเจริญเติบโต เมื่ออ้อยเข้าสู่ระยะแตกกอใส่ปุ๋ยสูตร 28-10-10 อัตรา 25 กิโลกรัมต่อไร่ และในระยะย่างปล้องใส่ปุ๋ยสูตร 13-7-28 อัตรา 25 กิโลกรัมต่อไร่

การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์ตัวอย่าง

ดำเนินการสุ่มเก็บตัวอย่างดินตามแผนการเก็บข้อมูลแบบลำดับขั้น (hierarchical scheme) โดยแบ่งออกเป็น 4 แปลง และในแต่ละแปลงถูกแบ่งออกเป็นแปลงย่อยขนาด 1 ตารางเมตร จำนวน 3 แปลงย่อยดัง **Figure 2** จากแต่ละการเปลี่ยนจากนาข้าวมาปลูกอ้อยในระยะเวลาที่ต่างกัน ดำเนินการเก็บตัวอย่างดินช่วงเดือน พฤศจิกายน 2560 พร้อมกันทุกกรรมวิธี โดยเก็บที่ระดับความลึก 0-10 10-20 และ 20-30 ซม. จำนวน 2 จุด ในแต่ละแปลงย่อย (**Figure 2**) โดยการประเมินระดับชั้นดินดาน (Hard pan) จากการขุดเจาะดินแล้วประเมินลักษณะทางกายภาพ (สีดิน สีของจุดประดิน (soil mottles) และ การอัดตัวแน่นของดิน) ที่ระดับชั้นต่างๆ (Shepherd et al., 2008) และนำตัวอย่างดินทั้ง 3 ระดับความลึกไปวิเคราะห์ความชื้นในดิน (moisture content in soil) ตามวิธีการวิเคราะห์ความชื้นในดินโดยกรมพัฒนาที่ดิน (2547) ในขณะที่ตัวอย่างดินสดที่ระดับความลึก 0-10 ซม. ถูกนำไปวิเคราะห์เพื่อหามวลชีวภาพจุลินทรีย์คาร์บอน (microbial biomass carbon; MBC) และมวลชีวภาพจุลินทรีย์ไนโตรเจน (microbial biomass nitrogen; MBN) โดยใช้วิธีการรมแล้วสกัด (Fumigation extraction; Amato and Ladd, 1988) นำตัวอย่างดินสดมารมด้วยคลอโรฟอร์มที่ผ่านการล้างและกลั่นเพื่อขจัดแอลกอฮอล์ เป็นเวลา 36 ชั่วโมง แล้วนำมาวิเคราะห์โดยใช้น้ำยาสกัด 0.5 M K_2SO_4 อัตราส่วน 1: 5 (ดินสด: 0.5 M K_2SO_4) หลังจากนั้นนำสารละลายที่สกัดได้มาวิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอน โดยวิธี Wet Oxidation โดยการนำมาไตเตรทด้วย 0.01 M $(NH_4)_2 [Fe(SO_4)_2]$ คำนวณ MBC จากผลต่างระหว่างค่าที่ได้จากดินที่รมและไม่รมด้วยคลอโรฟอร์มโดยใช้ค่าคงที่ปัจจัย K_{EC} เท่ากับ 0.33 (Sparling and West, 1988) ในขณะที่ตัวอย่างดินอีกส่วนหนึ่งถูกนำมาวิเคราะห์หามวลชีวภาพจุลินทรีย์ไนโตรเจน โดยใช้น้ำยาสกัด 1 M KCl อัตราส่วน 1:5 (ดินสด: 1M KCl) จากนั้นนำสารละลายที่สกัดได้มาวิเคราะห์หามวลชีวภาพจุลินทรีย์ไนโตรเจน โดยวิธี Ninhydrin reaction และวัดหาความเข้มข้นจากการดูดกลืนแสง โดยเครื่อง UV Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 570 นาโนเมตร คำนวณ MBN จากผลต่างระหว่างค่าที่ได้จากดินที่รมและไม่รมด้วยคลอโรฟอร์มโดยใช้ค่าคงที่ปัจจัย K_{EN} เท่ากับ 0.32 (Amato and Ladd, 1988)

การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนเมื่อมีการวัดซ้ำ (Repeated Measures ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Paired-samples T-test ($P < 0.05$) (Bergh, 1995) โดยใช้โปรแกรม R version 4.0.5 (R Core Team, 2019)

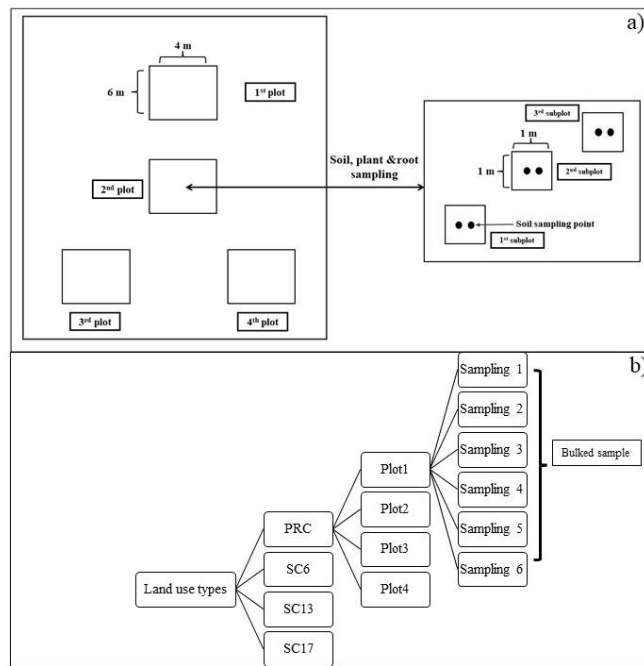


Figure 2 Soil sampling point in each land use field (a) and hierarchical sampling layout (b). PRC: monocrop paddy rice, SC6: conversion from paddy rice to sugarcane for 6 years, SC13: conversion from paddy rice to sugarcane for 13 years, and SC17: conversion from paddy rice to sugarcane for 17 years.
Source: Phiwdaeng et al. (2023)

Table 1 Soil moisture content after land use change from paddy rice to sugarcane

Land use types	Soil moisture content (%)		
Soil depth (cm)	0-10	10-20	20-30
PRC	35.95±0.98 a	32.05±2.37 a	28.57±1.77 a
SC6	26.27±1.67 d	21.79±1.36 d	21.70±0.77 c
SC13	29.66±1.79 c	23.09±1.40 c	22.43±1.93 bc
SC17	32.49±0.95 b	26.18±1.56 b	24.92±1.48 ab
F-test	**	**	**

Note: The results are mean ($n = 4$) $\pm$ standard error (SE). Means followed by the same letter(s) among sites are not significantly different according to paired-samples T-test at $P < 0.05$. ** Significantly different at $P < 0.01$, *significantly different at $P < 0.05$ and ns: not significantly different. LUC: land use change, PRC: monocrop paddy rice, SC6: conversion from paddy rice to sugarcane for 6 years, SC13: conversion from paddy rice to sugarcane for 13 years, and SC17: conversion from paddy rice to sugarcane for 17 years.

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ความชื้นดินและระดับชั้นดินดาน (Soil moisture and hard pan)

เมื่อนาข้าวถูกเปลี่ยนมาปลูกอ้อยส่งผลให้ระดับความชื้นของดินทั้ง 3 ระดับความลึก ได้แก่ 0-10 10-20 และ 20-30 ซม. ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$; Table 1) และความชื้นของดินยังลดลงตามระดับความลึกของดิน เมื่อมีการเปลี่ยนจากนาข้าวมาปลูกอ้อยซึ่งเป็นพืชที่ต้องการการใช้น้ำในการเจริญเติบโตน้อยกว่าข้าวซึ่งเป็นพืชที่ปลูกภายใต้สภาพน้ำท่วมขัง (FAO, 2011) และเพื่อให้อ้อยเจริญเติบโตได้ดีจึงมีการระบายน้ำออกจากแปลง ส่งผลให้ความชื้นในดินหลังจากเปลี่ยนมาปลูกอ้อยลดลง อย่างไรก็ตามเมื่อนาข้าวถูกเปลี่ยนมาปลูกอ้อยเป็นระยะเวลา 17 ปี (SC17) ส่งผลให้มีความชื้นของดินทั้ง 3 ระดับความลึกสูงกว่า SC6 และ SC13 ($SC6 < SC13 < SC17$) (Table 1) การวางใบอ้อยปกคลุมดินอย่างต่อเนื่องหลังการเก็บเกี่ยวเป็นปัจจัยสำคัญในการเพิ่มความชื้นให้แก่ดิน โดยเฉพาะในดินชั้นบนซึ่งมีการวางใบอ้อยปกคลุมอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 17 ปี ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Santos et al. (2022) ที่รายงานว่า การวางใบอ้อยคลุมแปลงส่งผลในการเพิ่มความชื้นในดิน และ Hemwong et al. (2008) รายงานว่าการวางใบอ้อยคลุมแปลงหลังการเก็บเกี่ยวส่งผลในการเพิ่มความชื้นดินและยังส่งผลให้ดินสามารถกักเก็บความชื้นได้มากกว่าการไถกลบใบอ้อยหลังการเก็บเกี่ยว นอกจากนี้การวางใบอ้อยคลุมแปลงยังเป็นแนวทางหนึ่งในการเพิ่มอินทรีย์วัตถุให้แก่ดิน ในดินที่มีอินทรีย์วัตถุเพิ่มขึ้นส่งผลให้ความสามารถในการอุ้มน้ำของดินเพิ่มขึ้น (Hudson, 1994) ซึ่งอาจจะเป็นเหตุผลที่ทำให้ความชื้นดินเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่นาข้าวถูกเปลี่ยนมาปลูกอ้อยและมีการวางใบอ้อยปกคลุมดินอย่างต่อเนื่อง

การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินจากนาข้าวมาปลูกอ้อยส่งผลให้ระดับชั้นดินดานไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$; Table 2) การไถพรวน และการทำเทือกเพื่อเตรียมดินในทุกๆปี ในระหว่างที่มีน้ำท่วมขังเพื่อทำนาในทุกๆปีอาจจะทำให้เกิดการอัดตัวแน่นของดินทำให้เกิดชั้นดินดาน (เกวลิ้น และคณะ, 2558) ที่ตื้นกว่าไร่อ้อยซึ่งมีการไถพรวนเตรียมดินเพียง 1 ครั้งก่อนการปลูก การเกิดชั้นดินดานที่ตื้นทำให้การระบายน้ำลดลงในฤดูฝน ในขณะที่ฤดูแล้งน้ำจากดินชั้นล่างซึมผ่านมายังดินชั้นบนได้ลดลง ดินที่มีโครงสร้างดินที่ไม่ดีส่งผลให้อัตราการซึมผ่านของดินลดลง จึงส่งผลต่อความชื้นในดิน

Table 2 Soil hard pan after land use change from paddy rice to sugarcane

Land use types	Hard pan (cm)
PRC	25.63±2.99
SC6	27.71±1.85
SC13	28.13±2.08
SC17	30.21±1.42
F-test	ns

Note: The results are mean ($n = 4$) $\pm$ standard error (SE). ** Significantly different at $P < 0.01$, *significantly different at $P < 0.05$ and ns: not significantly different. PRC: monocrop paddy rice, SC6: conversion from paddy rice to sugarcane for 6 years, SC13: conversion from paddy rice to sugarcane for 13 years, and SC17: conversion from paddy rice to sugarcane for 17 years.

มวลชีวภาพจุลินทรีย์คาร์บอน มวลชีวภาพจุลินทรีย์ไนโตรเจน และอัตราส่วนของมวลชีวภาพจุลินทรีย์คาร์บอนต่อไนโตรเจน

เมื่อนาข้าวถูกเปลี่ยนมาปลูกอ้อยเป็นระยะเวลา 6 ปี (SC6) ส่งผลให้มวลชีวภาพจุลินทรีย์คาร์บอนลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$; Table 3) ในขณะที่ 13 ปีหลังจากนาข้าวถูกเปลี่ยนมาปลูกอ้อย (SC13) มีมวลชีวภาพจุลินทรีย์คาร์บอนสูงที่สุด ($P < 0.01$; Table 3) เช่นเดียวกับกับมวลชีวภาพจุลินทรีย์ไนโตรเจน พบว่า 13 ปีหลังจากนาข้าวถูกเปลี่ยนมาปลูกอ้อย (SC13) มีมวลชีวภาพจุลินทรีย์ไนโตรเจนสูงที่สุด แต่อย่างไรก็ตามเมื่อนาข้าวถูกเปลี่ยนมาปลูกอ้อยเป็นระยะเวลา 17 ปี กลับส่งผลให้มวลชีวภาพ

จุลินทรีย์คาร์บอนและมวลชีวภาพจุลินทรีย์ในโตรเจนลดลงเมื่อเทียบกับ SC13 (Table 3) เห็นได้ว่าระยะเวลาที่แตกต่างกันหลังจากนาข้าวถูกเปลี่ยนมาปลูกอ้อยส่งผลให้มวลชีวภาพจุลินทรีย์คาร์บอนและมวลชีวภาพจุลินทรีย์ในโตรเจนมีความแตกต่างกัน ($SC6 < SC13 < SC17$) นอกจากนี้ยังพบว่าอัตราส่วนของมวลชีวภาพจุลินทรีย์คาร์บอนต่อไนโตรเจนยังลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติหลังจากนาข้าวถูกเปลี่ยนมาปลูกอ้อย จาก 4.91 เป็น 4.31 4.08 และ 4.09 ใน SC6 SC13 และ SC17 ตามลำดับ ($P < 0.01$; Table 3) การลดลงของมวลชีวภาพจุลินทรีย์คาร์บอนหลังจากนาข้าวถูกเปลี่ยนมาปลูกอ้อยอาจได้รับอิทธิพลจากการเปลี่ยนแปลงสภาพดินจากสภาพน้ำท่วมขังและขาดออกซิเจนในฤดูทำนาปลูกอ้อยซึ่งอยู่ภายใต้สภาพได้รับออกซิเจน ความแตกต่างของสภาพดินอาจส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงประชากรจุลินทรีย์ในดิน ส่งผลให้จุลินทรีย์พวกที่ใช้ ออกซิเจน (aerobe) ได้แก่ แบคทีเรีย เชื้อรา และแอคโตไมซีต ลดลง ในขณะที่จุลินทรีย์พวกที่ไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobe) และพวกที่ใช้และไม่ใช้ออกซิเจน (facultative anaerobe) เพิ่มขึ้น (Sahrawat, 2004) การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินและการจัดการส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงประชากรจุลินทรีย์และกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน (Ding et al., 2013; Cederlund et al., 2014; Katulanda et al., 2018) นอกจากสภาพของดินแล้ว การจัดการหลังการเปลี่ยนแปลงการปลูกพืชและคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของดินยังเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อประชากรจุลินทรีย์ในดิน (Girvan et al., 2003; Hartmann et al., 2015) อีกทั้งระยะเวลาที่มีการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินยังส่งผลต่อประชากรจุลินทรีย์ในดิน มวลชีวภาพจุลินทรีย์คาร์บอน และมวลชีวภาพจุลินทรีย์ในโตรเจนในดิน (Peerawat et al., 2018; Sun et al., 2011) พรทิพย์ และคณะ (2564) รายงานว่าหลังจากที่อ้อยถูกเปลี่ยนมาปลูกยางพาราในช่วงแรก (4-5 ปี) ไม่ส่งผลให้มวลชีวภาพจุลินทรีย์คาร์บอนมีความแตกต่างกัน ในขณะที่ 11-12 ปีหลังจากอ้อยถูกเปลี่ยนมาปลูกยางพารามีมวลชีวภาพจุลินทรีย์คาร์บอนสูงที่สุด และลดลงเมื่ออ้อยถูกเปลี่ยนมาปลูกยางพาราเป็นเวลา 22-23 ปี

ความแตกต่างระหว่างปริมาณและคุณภาพของฟางข้าวและใบอ้อยที่คงไว้ในแปลงหลังการเก็บเกี่ยวอาจจะส่งผลให้จุลินทรีย์นำคาร์บอนและไนโตรเจนไปใช้ในการสร้างมวลชีวภาพได้แตกต่างกัน (ฟางข้าว อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 78 ลิกกิน 2.9% โพลีฟีนอล 0.7% เซลลูโลส 50.7%) (ใบอ้อย อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 102 ลิกกิน 4.6% โพลีฟีนอล 2% เซลลูโลส 40.1%) (Kaewpradit et al., 2008; Hemwong et al., 2008) เนื่องจากฟางข้าวมีอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่ต่ำกว่าอ้อย และมีเซลลูโลสที่สูงกว่าอ้อย อีกทั้งยังมีปริมาณลิกกินและโพลีฟีนอลซึ่งเป็นส่วนที่ย่อยสลายยากต่ำกว่าใบอ้อย จึงส่งผลให้จุลินทรีย์นำคาร์บอนและไนโตรเจนไปใช้ในกระบวนการย่อยสลาย มากกว่านำไนโตรเจนไปใช้ในการสร้างมวลชีวภาพ (อิมโมบิไลเซชัน) การเกิดกระบวนการอิมโมบิไลเซชันที่สูงหลังจากเปลี่ยนมาปลูกอ้อยจึงส่งผลให้อัตราส่วนของมวลชีวภาพจุลินทรีย์คาร์บอนต่อไนโตรเจนหลังจากเปลี่ยนมาปลูกอ้อยลดลง การเปลี่ยนแปลงมวลชีวภาพจุลินทรีย์ในดินมีความสัมพันธ์กับอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในเศษซากพืชที่คงไว้ในดิน (Bini et al., 2013; Sun et al., 2021)

มวลชีวภาพจุลินทรีย์คาร์บอนและมวลชีวภาพจุลินทรีย์ในโตรเจนยังมีความสัมพันธ์กับความชื้นดิน และปริมาณธาตุอาหารที่อยู่ในดินโดยเฉพาะปริมาณอินทรีย์คาร์บอน และไนโตรเจนในดิน (Bini et al., 2013; Sun et al., 2021) ถึงแม้ว่าความชื้นในดินหลังจากนาข้าวถูกเปลี่ยนมาปลูกอ้อยจะลดลงแต่ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นดินและมวลชีวภาพจุลินทรีย์คาร์บอน และมวลชีวภาพจุลินทรีย์ในโตรเจนจากการศึกษาครั้งนี้ (data not show) ซึ่งอาจจะเป็นไปได้ว่าการเปลี่ยนแปลงมวลชีวภาพจุลินทรีย์คาร์บอนและมวลชีวภาพจุลินทรีย์ในโตรเจนในดินหลังจากนาข้าวถูกเปลี่ยนมาปลูกอ้อยอาจจะได้รับอิทธิพลมาจากการเปลี่ยนแปลงความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารในดินที่เปลี่ยนแปลงไปหลังการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน ซึ่งส่งผลให้มวลชีวภาพจุลินทรีย์ในดินเปลี่ยนแปลงไป (Sharma et al., 2004; Sun et al., 2011; Ding et al., 2022) การเปลี่ยนแปลงความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารในดินอาจส่งผลให้มวลชีวภาพจุลินทรีย์คาร์บอนและมวลชีวภาพจุลินทรีย์ในโตรเจนลดลงหลังจากนาข้าวถูกเปลี่ยนมาปลูกอ้อยเป็นระยะเวลา 17 ปี (SC17) ดังนั้นมวลชีวภาพจุลินทรีย์คาร์บอน และมวลชีวภาพจุลินทรีย์ในโตรเจนจึงเป็นตัวชี้วัดหนึ่งที่สำคัญในการบ่งชี้การเปลี่ยนแปลงความอุดมสมบูรณ์ของดินหลังจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินและการจัดการ

Table 3 Microbial biomass carbon (MBC), microbial biomass nitrogen (MBN) and microbial biomass carbon:nitrogen ratio (MBC:MBN ratio) after land use change from paddy rice to sugarcane

Land use types	Microbial biomass carbon ($\mu\text{g/g}$)		Microbial biomass nitrogen ($\mu\text{g/g}$)		MBC:MBN ratio	
PRC	263.96 $\pm$ 15.55	b	53.86 $\pm$ 4.32	c	4.91 $\pm$ 0.30	a
SC6	244.33 $\pm$ 15.35	c	56.88 $\pm$ 2.07	c	4.31 $\pm$ 0.42	b
SC13	290.12 $\pm$ 7.81	a	71.21 $\pm$ 2.97	a	4.08 $\pm$ 0.23	b
SC17	261.38 $\pm$ 6.77	b	63.99 $\pm$ 3.42	b	4.09 $\pm$ 0.20	b
F-test	**		**		**	

Note: The results are mean ($n = 4$) $\pm$ standard error (SE). Means followed by the same letter(s) among sites are not significantly different according to paired-samples T-test at $P < 0.05$. ** Significantly different at $P < 0.01$, *significantly different at $P < 0.05$ and ns: not significantly different. PRC: monocrop paddy rice, SC6: conversion from paddy rice to sugarcane for 6 years, SC13: conversion from paddy rice to sugarcane for 13 years, and SC17: conversion from paddy rice to sugarcane for 17 years.

สรุป

เมื่อนาข้าวถูกเปลี่ยนมาปลูกอ้อยภายใต้สภาพที่มีการคงใบอ้อยปกคลุมดินหลังการเก็บเกี่ยวนำไปสู่การเพิ่มความชื้นของดินตามระยะเวลาที่นาข้าวถูกเปลี่ยนมาปลูกอ้อย 13 ปีหลังจากนาข้าวถูกเปลี่ยนมาปลูกอ้อย (SC13) ส่งผลให้มีมวลชีวภาพจุลินทรีย์คาร์บอนและมวลชีวภาพจุลินทรีย์ไนโตรเจนสูงที่สุด ในขณะที่ 17 ปี (SC17) หลังจากนาข้าวถูกเปลี่ยนมาปลูกอ้อยส่งผลให้มวลชีวภาพจุลินทรีย์คาร์บอนและมวลชีวภาพจุลินทรีย์ไนโตรเจนลดลง ดังนั้นการไถกลบใบอ้อยหลังจากที่มีการเปลี่ยนจากนาข้าวมาปลูกอ้อยต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 17 ปี เพื่อเพิ่มพื้นที่สัมผัสระหว่างใบอ้อยและดินอาจจะเป็นแนวทางในการเพิ่มมวลชีวภาพจุลินทรีย์ซึ่งเป็นอินทรีย์วัตถุส่วนที่มีชีวิตที่สามารถนำมาใช้ประเมินอิทธิพลจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินและการจัดการดินต่อการเปลี่ยนแปลงความอุดมสมบูรณ์ของดิน และองค์ความรู้ที่ได้ยังสามารถนำไปพัฒนาแนวทางในการจัดการแปลงหลังจากนาข้าวถูกเปลี่ยนมาปลูกอ้อย เพื่อเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดินและความยั่งยืนของระบบการปลูกอ้อยแทนการทำนา

คำขอบคุณ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณงบวิจัยจากโครงการปริญญาเอกกาญจนาภิเษก รุ่นที่ 18 (PHD 0136/2558) ภายใต้การกำกับดูแลของสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยและสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ

เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาที่ดิน. 2552. สรุปการใช้ที่ดินของไทยปี 2551/2552. แหล่งข้อมูล:

http://www1.ddd.go.th/web_OLP/result/luse_result60-61.htm ค้นเมื่อ 12 กรกฎาคม 2564.

เกวลิน ศรีจันทร์, สุชาติ กรูณา และสัณชัย ภู่งิน. 2558. มุมมองดินเชิงกายภาพเพื่อประสิทธิภาพการผลิตพืช. วารสารดินและปุ๋ย. 37: 1-4.

กรมพัฒนาที่ดิน. 2562. สรุปการใช้ที่ดินของไทยปี 2560/2551. แหล่งข้อมูล:

http://www1.ddd.go.th/web_OLP/result/luse_result60-61.htm. ค้นเมื่อ 12 กรกฎาคม 2564.

- พรทิพย์ พุทธิโส, Alain Brauman และพฤษภา หล้าวงษา. 2564. อินทรีย์คาร์บอนส่วนที่เปลี่ยนแปลงได้ง่ายในดินทรายที่มีการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินจากอ้อยเป็นยางพาราในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย. *แก่นเกษตร*. 49(5): 1183-1193.
- สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย. 2565. รายงานสถานการณ์การปลูกอ้อย ปีการผลิต 2564/65. แหล่งข้อมูล: <https://w2.ocsb.go.th/wp-content/uploads/2023/04/รายงานพื้นที่ปลูกอ้อยและผลผลิตอ้อยปี-2564-65.pdf> ค้นเมื่อ 19 พฤษภาคม 2566.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2562. ตาราง เนื้อที่ใช้ประโยชน์ทางการเกษตร รายจังหวัด ปีพ.ศ. 2562. แหล่งข้อมูล: <https://www.oae.go.th/assets/portals/1/files/socio/LandUtilization2562.pdf>. ค้นเมื่อ 12 กรกฎาคม 2564.
- อรุณี พรหมคำบุตร, อนุชา เหลาเคน และอนันต์ พลธานี. 2557. การปลูกอ้อยในนา: วิธีการผลิต แรงจูงใจ และ ผลกระทบ. *แก่นเกษตร*. 42 (ฉบับพิเศษ2): 331-338.
- Amato, M., and J.N. Ladd. 1988. Assay for microbial biomass based on ninhydrin reactive nitrogen in extracts of fumigated soil. *Soil Biology and Biochemistry*. 20: 107-114.
- Bergh, D. D. 1995. Problems with repeated measures analysis: Demonstration with a study of the diversification and performance relationship. *The Academy of Management Journal*. 38(6): 1692-1708.
- Bini, D., C.A. dos Santos, K.B. do Carmo, N. Kishino, G. Andrade, W. Zangaro, and M.A. Nogueira. 2013. Effects of land use on soil organic carbon and microbial processes associated with soil health in Southern Brazil. *European Journal of Soil Biology*. 55: 117-123.
- Cederlund, H., E. Wessén, K. Enwall, C.M. Jones, J. Juhanson, M. Pell, L. Philippot, and S. Hallin. 2014. Soil carbon quality and nitrogen fertilization structure bacterial communities with predictable responses of major bacterial phyla. *Applied Soil Ecology*. 84: 62-68.
- Chen, Q., F. Yang, and X. Cheng. 2022. Effects of land use change type on soil microbial attributes and their controls: Data synthesis. *Ecological Indicators*. 138: 108852.
- Ding, G., J.M. Novak, D. Amarasiriwardena, P.G. Hunt, and B. Xing. 2002. Soil organic matter characteristics as affected by tillage management. *Soil Science Society of America Journal*. 66: 42-429.
- Ding, G.C., Y.M. Piceno, H. Heuer, N. Weinert, A.B. Dohrmann, A. Carrillo, G.L. Andersen, T. Castellanos, C.C. Tebbe, and K. Smalla. 2013. Changes of soil bacterial diversity as a consequence of agricultural land use in a semi-arid ecosystem. *PLoS One*. 8(3): e59497.
- FAO. 2011. Chapter 3: crop water needs. Available: <https://www.fao.org/3/S2022E/s2022e07.htm#TopOfPage>. Accessed Jun. 17, 2022.
- Gabarron-Galeote, M.A., S. Trigalet, and B. van Wesemael. 2015. Effect of land abandonment on soil organic carbon fractions along a Mediterranean precipitation gradient. *Geoderma*. 249-250: 69-78.
- Gamboa, A.M., and L. Galicia. 2011. Differential influence of land use/cover change on topsoil carbon and microbial activity in low-latitude temperate forests. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 142: 280-290.
- Girvan, M.S., B. Juliet, J.N. Pretty, A.M. Osborn, and S.B. Andrew. 2003. Soil type is the primary determinant of the composition of the total and active bacterial communities in arable soils. *Applied and Environmental Microbiology*. 69: 1800-1809.

- Gonzalez-Quiñones, V., E. Stockdale, N. Banning, F. Hoyle, Y. Sawada, A. Wherrett, D. Jones, and D. Murphy. 2011. Soil microbial biomass interpretation and consideration for soil monitoring. *Soil Research*. 49: 287-304.
- Guidi, C., J. Magid, M. Rodeghiero, D. Gianelle, and L. Vesterdal. 2014. Effects of forest expansion on mountain grassland, changes within soil organic carbon fractions. *Plant Soil*. 385: 373-387.
- Hudson, B.D. 1994. Soil organic matter and available water capacity. *Soil Water Conservation*. 48: 188-193.
- Hartmann, M., B. Frey, J. Mayer, P. Mäder, and F. Widmer. 2015. Distinct soil microbial diversity under long-term organic and conventional farming. *The ISME Journal*. 9: 1177-1194.
- Hemwong, S., G. Cadisch, B. Toomsan, V. Limpinuntana, P. Vityakon, and A. Patanothai. 2008. Dynamics of residue decomposition and N₂ fixation of grain legumes upon sugarcane residue retention as an alternative to burning. *Soil and Tillage Research*. 99: 84-97.
- Kara, Ö., and İ. Bolat. 2008. The effect of different land uses on soil microbial biomass carbon and nitrogen in Bartın Province. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*. 32: 281-288.
- Kaewpradit, W., B. Toomsan, P. Vityakon, V. Limpinuntana, P. Saenjan, S. Jogloy, A. Patanothai, and G. Cadisch. 2008. Regulating mineral N release and greenhouse gas emissions by mixing groundnut residues and rice straw under field conditions. *European Journal of Soil Science*. 59: 640-652.
- Katulanda, P.M., F.L. Walley, H.H. Janzen, and B.L. Helgason. 2018. Land use legacy regulates microbial community composition in transplanted Chernozems. *Applied Soil Ecology*. 129: 13-23.
- Krashevskaya, V., B. Klärner, R. Widyastuti, M. Maraun, and S. Scheu. 2015. Impact of tropical lowland rainforest conversion into rubber and oil palm plantations on soil microbial communities. *Biology and Fertility of Soils*. 51: 697-705.
- Li, X., J. Ma, Y. Yang, H. Hou, G. Jun- Liu, and F. Chen. 2019. Short-term response of soil microbial community to field conversion from dryland to paddy under the land consolidation process in North China. *Agriculture*. 9: 216.
- Li, X., H. Zhang, M. Sun, N. Xu, G. Sun, and M. Zhao. 2020. Land use change from upland to paddy field in Mollisols drives soil aggregation and associated microbial communities. *Applied Soil Ecology*. 146: 103351.
- OECD/FAO. 2019. *OECD-FAO Agricultural Outlook 2019-2028*. OECD Publishing. Rome: Paris/Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Peerawat, M., A. Bland, J. Trap, T. Chevallier, P. Alonso, F. Gay, P. Thaler, A. Spor, D. Sebag, C. Choosai, N. Suvannang, K. Sajjaphan, and A. Brauman. 2018. Rubber plantation ageing controls soil biodiversity after land conversion from cassava. *Agriculture, Ecosystems, and Environment*. 257: 92-102.
- Phiwdaeng, N., W. Kaewpradit, S. Blagodatsky, and F. Rasche. 2023. Temporal soil carbon and nitrogen accumulation after land use change from paddy rice to upland sugarcane cropping in Thailand, *Geoderma Regional*. 2023: e00656.
- Phukongchai, W., W. Kaewpradit, and F. Rasche. 2022. Inoculation of cellulolytic and ligninolytic microorganisms accelerates decomposition of high C/N and cellulose rich sugarcane straw in tropical sandy soils. *Applied Soil Ecology*. 172: 104355.
- R Core Team. 2019. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing.

- Rokunuzzaman, M., Y. Ueda, L.Chen, S. Tanaka, and K. Ohnishi. 2016. Effects of Land use changes from paddy fields on soil bacterial communities in a hilly and mountainous area. *Microbes and Environment*. 31(2): 160-164.
- Sahrawat, K.L. 2004. Organic matter accumulation in submerged soils. *Advances in Agronomy*. 81: 169-201.
- Santos, A.K.B., G.V. Popin, M.R. Gmach, M.R. Cherubin, M.S. Neto, and C.E.P. Cerri. 2022. Changes in soil temperature and moisture due to sugarcane straw removal in central-southern Brazil. *Scientia Agricola*. 79(6): e20200309.
- Sharma, P., S.C. Rai, R. Sharma, and E. Sharma. 2004. Effects of land use change on soil microbial C, N and P in a Himalayan watershed. *Pedobiologia*. 48: 83-92.
- Shepherd, T.G., F. Stagnari, M. Pisante, and J. Benites, 2008. *Visual Soil Assessment– Field guide for orchards*. FAO, Rome, Italy.
- Simpson, A.J., M.J. Simpson, E. Smith, and B.P. Kelleher. 2007. Microbially derived inputs to soil organic matter: are current estimates too low? *Environmental Science and Technology*. 41: 8070–8076.
- Sparling, G.P., and A.W. West. 1988. A direct extraction method to estimate soil microbial C: calibration in situ using microbial respiration and ¹⁴C labelled cells. *Soil Biology Biochemistry*. 20: 337-343.
- Suchato, R., A. Patoomnakul, and N. Photchanaprasert. 2021. Alternative cropping adoption in Thailand: A case study of rice and sugarcane production. *Heliyon*. 7: e08629.
- Sun, B., Z.X. Dong, X.X. Zhang, Y. Li, H. Cao, and Z.L. Cui. 2011. Rice to vegetables: short- versus long-term impact of land-use change on the indigenous soil microbial community. *Microbial Ecology*. 62: 474-485.
- Sun, M., T. Li, D. Li, Y. Zhao, F. Gao, L. Sun, and X. Li. 2021. Conversion of land use from upland to paddy field changes soil bacterial community structure in mollisols of Northeast China. *Microbial Ecology*. 81(4): 1018-1028.
- Vityakon, P., S. Meepetch, G. Cadisch, and B. Toomsan. 2000. Soil organic matter and nitrogen transformation mediated by plant residues of different quality in sandy acid upland and paddy soil. *Netherlands Journal of Agricultural Science*. 48: 75-90.