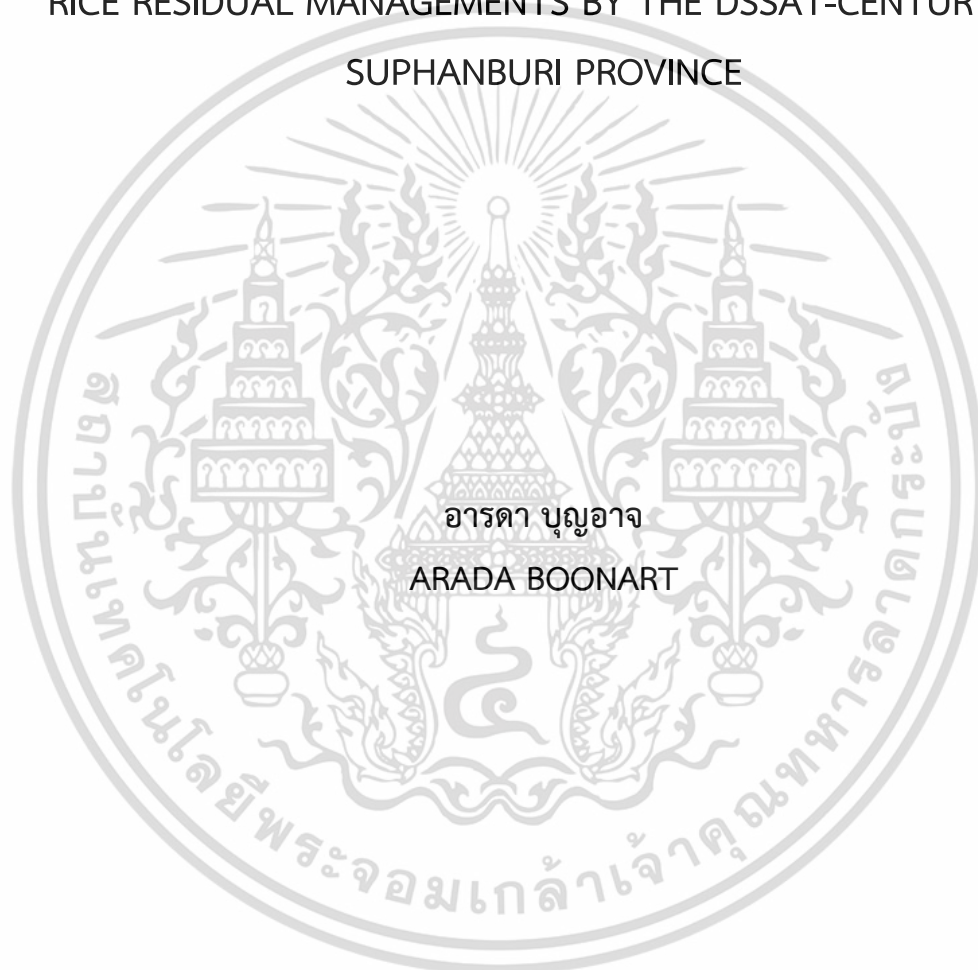


การประเมินการกักเก็บอินทรีย์คาร์บอนในดินนาที่ได้รับอิทธิพลจากการจัดการ  
เศษซากพืชที่ต่างกันโดยใช้แบบจำลอง DSSAT-CENTURY  
ในพื้นที่จังหวัดสุพรรณบุรี

ASSESSMENT OF ORGANIC CARBON SEQUESTRATION IN DIFFERENT  
RICE RESIDUAL MANagements BY THE DSSAT-CENTURY IN  
SUPHANBURI PROVINCE



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเกษตรศาสตร์  
คณะเทคโนโลยีการเกษตร  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
พ.ศ. 2565

KMITL-2022-AG-M-065-376

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ASSESSMENT OF ORGANIC CARBON SEQUESTRATION IN DIFFERENT  
RICE RESIDUAL MANagements BY THE DSSAT-CENTURY IN  
SUPHANBURI PROVINCE



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR THE  
DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN AGRICULTURE  
SCHOOL OF AGRICULTURAL TECHNOLOGY  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
2022  
KMUTL-2022-AG-M-065-376

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2022

SCHOOL OF AGRICULTURAL TECHNOLOGY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประเมินการกักเก็บอินทรีย์คาร์บอนในดินนาที่ได้รับอิทธิพลจากการจัดการเศษซากพืชที่ต่างกันโดยใช้แบบจำลอง DSSAT-CENTURY ในพื้นที่จังหวัดสุพรรณบุรี
ชื่อนักศึกษา	นางสาวอารดา บุญอาจ
รหัสประจำตัว	62604017
ปริญญา	วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต
สาขาวิชา	เกษตรศาสตร์
พ.ศ.	2565
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.สุกัญญา แยมประชา

### บทคัดย่อ

คาร์บอนทั้งหมดในดิน (Total Carbon: TC) หรืออินทรีย์คาร์บอนในดิน (Soil Organic carbon: SOC) เป็นตัวชี้วัดความอุดมสมบูรณ์ของดิน เกี่ยวข้องกับสมบัติดินทั้งทางกายภาพ ชีวภาพ และเคมี รูปของคาร์บอนที่ย่อยสลายได้ง่ายส่งผลต่อการหมุนเวียนธาตุอาหาร รูปที่ย่อยสลายได้ยาก (Heavy fraction: HF) เป็นส่วนสำคัญต่อการกักเก็บคาร์บอนในดิน รูปแบบการจัดการฟางข้าวหลังการเก็บเกี่ยวส่งผลโดยตรงต่อรูปของคาร์บอนในดินนาซึ่งต้องใช้ระยะเวลาในการศึกษา การใช้แบบจำลองสามารถทำนายการเปลี่ยนแปลงปริมาณและรูปของคาร์บอนในดินทั้งในอดีตและอนาคตระยะยาวได้ การวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของการเผาและไม่เผาฟางข้าวต่อการกักเก็บและรูปของอินทรีย์คาร์บอนในดินที่ปลูกข้าว และเพื่อทำนายปริมาณ TC และ HF ในดินนาที่มีการจัดการฟางข้าวสามรูปแบบ (เผาฟางข้าว ใส่ฟางข้าว 25% และใส่ฟางข้าว 100%) ด้วยแบบจำลอง DSSAT-CENTURY โดยเก็บตัวอย่างดินจากแปลงนาที่มีการจัดการแบบเผาฟางข้าว และไม่เผาฟางข้าว ในจังหวัดนครราชสีมา ชัยภูมิ นครสวรรค์ และสุพรรณบุรี จำนวน 39 plots สองระดับความลึก (ดินบน: 0-15 cm และดินล่าง: 15-30 cm) พบว่า การเผาและไม่เผาฟางข้าวไม่ส่งผลให้ปริมาณ TC และรูปของอินทรีย์คาร์บอนแตกต่างกัน แต่มีแนวโน้มทำให้การกักเก็บคาร์บอนจากการไม่เผาฟางข้าวสูงกว่าการเผาฟางข้าว ในขณะที่การกักเก็บคาร์บอน ปริมาณคาร์บอน ไนโตรเจน และซัลเฟอร์ทั้งหมด รวมทั้งรูปของคาร์บอนที่สลายตัวได้ง่ายและยากในดินบนสูงกว่าดินล่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ความหนาแน่นรวมและค่า pH ในดินบนต่ำกว่าดินล่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แบบจำลอง DSSAT-CENTURY มีประสิทธิภาพในระดับพอใช้ เมื่อทำนายปริมาณ TC ทั้งดินบนและดินล่างภายใต้เงื่อนไขมีการใส่ฟางข้าวต่อเนื่อง 10 ปี และใช้ข้อมูลตัวป้อนจากค่าวิเคราะห์ของแปลงที่มีการเผาฟางข้าวโดยมีค่า RMSEn เท่ากับ 25.73 และ 25.09% ตามลำดับ มีประสิทธิภาพในระดับพอใช้เมื่อทำนายปริมาณ TC ของดินบน เมื่อใช้ข้อมูลตัวป้อนจากสมการสมบัติดิน

โดยมีค่า RMSEn เท่ากับ 29.83% เมื่อจำลองการจัดการฟางข้าวสามรูปแบบอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 10 ปี (พ.ศ. 2565-2575) ของแปลงนาในอำเภอศรีประจันต์ จังหวัดสุพรรณบุรี พบว่า การเผาฟางข้าวลด ปริมาณ TC ลง 1.12% ในขณะที่การใส่ฟางข้าว 25% และ 100% เพิ่ม TC ในดินบน 3.24% และ 16.44% ตามลำดับ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>Thesis Title</b>	Assessment of organic carbon sequestration in different rice residual managements by the DSSAT-CENTURY in Suphanburi province
<b>Student Name</b>	Miss Arada Boonart
<b>Student ID</b>	62604017
<b>Degree</b>	Master of Science
<b>Program</b>	Agriculture
<b>Year</b>	2022
<b>Thesis Advisor</b>	Asst. Prof. Dr. Sukunya Yampracha

## ABSTRACT

Total carbon (TC) or soil organic carbon (SOC) is an indicator of soil fertility and major influence on physical, biological, and chemical properties. The light fractions (LF) of SOC are related to soil nutrient cycling, while the heavy fraction (HF) of SOC is important to carbon sequestration in the soil. The different methods of rice straw management influence a fraction of SOC and a long-term study is needed. Agroecology models such as the DSSAT-CENTURY model can monitor and predict the change of SOC and their fraction in the past and long-term future. The objective of this study was to study the effect of burn and non-burn rice straw on SOC sequestration and SOC fractions and to predict TC and HF in paddy soil with three rice straw management (burn, 25% rice straw added and 100% rice straw added) using the DSSAT-CENTURY model. The soil samples were collected from paddy soil with burn and non-burn rice straw in Nakhonratchasima, Chaiyaphum, Nakhonsawan, and Suphanburi Provinces. There were 39 plots with two soil layers (topsoil: 0-15 cm and subsoil: 15-30 cm). The result found that burn and non-burn rice straw were not affected by SOC sequestration and SOC fractions, but it trends to high carbon sequestration in non-burn plots. In addition, SOC sequestration, total carbon, total nitrogen, total sulfur, LF, and HF in the topsoil were higher significant than subsoil. The soil bulk density and soil pH in topsoil was significantly lowest than in subsoil. The efficiency of DSSAT-CENTURY for predicting TC in both soil layers was a fair level as indicated by RMSEn values were 25.73 and 25.09% respectively. Which the conduction

for simulation was continuous adding rice straw for 10 years and using input data from soil analysis data of burn plots. However, the efficiency of the model was a fair level for predicting TC in topsoil as using input data from the soil properties regression equation with 29.93% of RMSEn value. The simulation of 10 years (2022-2032) continuously applies three different methods of rice straw in Sriprachan District, Suphanburi Province found that TC in topsoil was decreased by 1.12% in rice straw burning, adding rice straw at the rate of 25% and 100% were increased TC 3.24% and 16.44%, respectively.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดีได้ขอขอบพระคุณท่านอาจารย์สุกัญญา แยมประชา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์เป็นผู้ให้ทั้งความรู้ ประสบการณ์ ความช่วยเหลือสนับสนุนในด้านต่างๆ และช่วยชี้แนะให้คำปรึกษาปัญหาทั้งด้านงานวิจัยและด้านจิตใจอย่างดีมาโดยตลอด ขอขอบคุณ ผศ.ดร. นิตยา ผกามาต ผู้เสียสละเวลาให้ความรู้ความเข้าใจและให้คำปรึกษาเรื่องแบบจำลองรวมถึงช่วยแก้ปัญหาในงานวิจัยครั้งนี้ได้ และขอขอบคุณ รศ.ดร. ปรมศ บรเรเทิง ศ.ดร. มยุรา สุนย์วีระ และผศ.ดร. ภัทรารัตน์ เทียมเก่า ประธานและกรรมการสอบสอบวิทยานิพนธ์ที่กรุณาให้คำแนะนำตลอดจนข้อชี้แนะต่างๆ ทำให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จเรียบร้อยด้วยดี

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณทุนยกเว้นค่าหน่วยกิตและทุนวิจัยส่งเสริมส่วนงานวิชาการ ประจำปีงบประมาณ 2564 จากคณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และเงินทุนอื่นๆ จาก ผศ.ดร.สุกัญญา แยมประชา

ขอขอบคุณรุ่นพี่ในระดับปริญญาโทที่คอยสอนและให้คำปรึกษา เพื่อนและน้องระดับปริญญาโทในเอกปฐพีวิทยาที่คอยช่วยเหลือ และได้ทำงานร่วมกัน ขอขอบคุณพี่และเพื่อนในเอกพีชไรท์ที่สอนและให้คำปรึกษาเรื่องแบบจำลอง ขอขอบคุณพี่ปริญญาเอกในเอกปฐพีวิทยาที่ให้คำปรึกษาด้านภาษาอังกฤษ และขอบคุณน้องปี 4 ในระดับชั้นปริญญาตรี และบุคลากรในเอกปฐพีวิทยาในที่คอยช่วยเหลือตลอดการทำงานวิจัย รวมถึงเกษตรกรเจ้าของแปลงที่ให้ความอนุเคราะห์ในการเก็บตัวอย่างดินและให้ความร่วมมือเป็นอย่างดี

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณครอบครัว เพื่อน คนรอบตัว และพี่กวาง (นักจิตวิทยา) ที่คอยรับฟัง สนับสนุน และเป็นกำลังใจที่ดีมาโดยตลอด ขอขอบคุณหนังสือ กาแฟ และดีโอ และขอบคุณตัวเองที่ตั้งใจ อดทน และผ่านทุกอย่างมาได้

สำหรับคุณงามความดีที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้แก่บิดา มารดา ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

อารดา บุญอาจ

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ณ
สารบัญตารางภาคผนวก.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
สารบัญภาพภาคผนวก.....	ฏ
<b>บทที่ 1 บทนำ.....</b>	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	4
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	4
1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	4
1.5 ขอบเขตการวิจัย.....	4
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....</b>	<b>6</b>
2.1 อินทรีย์คาร์บอนในดิน.....	6
2.1.1 รูปของอินทรีย์คาร์บอนในดิน.....	6
2.1.1.1 มวลชีวภาพจุลินทรีย์คาร์บอน (Microbial Biomass Carbon : MBC).....	7
2.1.1.2 อินทรีย์คาร์บอนที่ละลายได้ (Dissolved Organic Carbon : DOC).....	7
2.1.1.3 Particulate Organic Carbon (POC).....	8
2.1.1.4 Permanganate Oxidizable Carbon (KMnO <sub>4</sub> -C).....	8
2.1.1.5 Light Fraction Carbon (LF) และ Heavy Fraction Carbon (HF).....	8
2.1.2 ผลของรูปอินทรีย์คาร์บอนต่อสมบัติดิน.....	9
2.2 การจัดการฟางข้าว.....	10
2.2.1 การเผาฟางข้าว.....	10
2.2.2 การไม่เผาฟางข้าว.....	11
2.3 ผลการจัดการฟางข้าวต่อสมบัติดินและรูปของอินทรีย์คาร์บอน.....	12

# สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4 โปรแกรมระบบสนับสนุนการตัดสินใจเพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีทางการเกษตร (Decision Support System for Agrotechnology Transfer : DSSAT).....	13
<b>บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย</b> .....	<b>20</b>
3.1 การทดลองที่ 1 การศึกษาอิทธิพลของการจัดการฟางข้าวต่อการกักเก็บคาร์บอนและรูปของอินทรีย์คาร์บอนในดินที่ปลูกข้าว.....	20
3.1.1 พื้นที่ศึกษา และการเก็บข้อมูล.....	20
3.1.2 วิธีการเก็บตัวอย่างดิน.....	25
3.1.3 การวิเคราะห์ตัวอย่างดิน.....	26
3.1.4 วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ.....	27
3.2 การทดลองที่ 2 การทำนายอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดในดินและรูปของอินทรีย์คาร์บอนที่ย่อยสลายยาก (Heavy Fraction : HF) โดยใช้แบบจำลอง DSSAT-CENTURY.....	27
3.2.1 ศึกษาวิธีการประเมินข้อมูลตัวป้อน (Input Data) ของการทำนายอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดและคาร์บอนในรูปที่ย่อยสลายตัวได้ยากด้วยแบบจำลอง DSSAT-CENTURY.....	28
3.2.1.1 ใช้ข้อมูลตัวป้อนจากค่าวิเคราะห์ตัวอย่างดิน.....	28
3.2.1.2 ใช้ข้อมูลตัวป้อนจากการสร้างสมการทำนายคาร์บอนทั้งหมดและรูปของอินทรีย์คาร์บอนที่ย่อยสลายยาก.....	33
3.2.2 ทำนายปริมาณคาร์บอนทั้งหมดในดินและรูปของอินทรีย์คาร์บอนที่ย่อยสลายยากเมื่อจัดการฟางข้าวหลังการเก็บเกี่ยวที่ต่างกันของพื้นที่จังหวัดสุพรรณบุรี.....	35
<b>บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล</b> .....	<b>36</b>
4.1 การทดลองที่ 1 การศึกษาอิทธิพลของการจัดการฟางข้าวต่อการกักเก็บคาร์บอนและรูปของอินทรีย์คาร์บอนในดินที่ปลูกข้าว.....	36
4.1.1 สมบัติดินเบื้องต้น ปริมาณคาร์บอนทั้งหมด และรูปของคาร์บอน.....	36
4.1.2 ผลของการเผาฟางข้าวต่อปริมาณคาร์บอนทั้งหมดและรูปของอินทรีย์คาร์บอน.....	44

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2 การทดลองที่ 2 การทำนายอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดในดินและรูปของอินทรีย์คาร์บอน ที่ย่อยสลายยาก (Heavy Fraction : HF) โดยใช้แบบจำลอง DSSAT-CENTURY.....	47
4.2.1 ศึกษาวิธีการประเมินข้อมูลตัวป้อน (Input Data) ของการทำนายอินทรีย์ คาร์บอนทั้งหมดและคาร์บอนในรูปที่ย่อยสลายตัวได้ยากด้วยแบบจำลอง DSSAT-CENTURY.....	47
4.2.1.1 ใช้ข้อมูลตัวป้อนจากค่าวิเคราะห์ตัวอย่างดิน.....	47
4.2.1.2 ใช้ข้อมูลตัวป้อนจากการสร้างสมการทำนายคาร์บอนทั้งหมดและรูปของ อินทรีย์คาร์บอนที่ย่อยสลายยาก.....	57
4.2.2 การทำนายคาร์บอนทั้งหมดในดินและรูปของอินทรีย์คาร์บอนที่ย่อยสลายเมื่อ จัดการฟางข้าวหลังการเก็บเกี่ยวที่ต่างกันของพื้นที่จังหวัดสุพรรณบุรี.....	69
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	74
บรรณานุกรม.....	76
ภาคผนวก.....	89
ภาคผนวก ก.....	90
ภาคผนวก ข.....	93
ประวัติผู้เขียน.....	100

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 พิกัดตำแหน่ง ชุดดิน เนื้อดิน จำนวนปีที่มีการจัดการเผาฟางข้าวอย่างต่อเนื่อง และปีที่เก็บตัวอย่าง จำนวน 39 plots.....	22
4.1 สถิติเชิงพรรณนาของสมบัติดินเบื้องต้นที่วิเคราะห์ได้จากดินนาทั้งหมด 39 plots ในดินบน ที่ระดับความลึก 0-15 cm.....	38
4.2 สถิติเชิงพรรณนาของรูปของคาร์บอนและไนโตรเจนที่วิเคราะห์ได้จากดินนาทั้งหมด 39 plots ในดินชั้นบนที่ระดับความลึก 0-15 cm.....	39
4.3 สถิติเชิงพรรณนาของสมบัติดินเบื้องต้นที่วิเคราะห์ได้จากดินนาทั้งหมด 39 plots ในดินชั้นล่าง ที่ระดับความลึก 15-30 cm.....	41
4.4 สถิติเชิงพรรณนาของรูปของคาร์บอนและไนโตรเจนที่วิเคราะห์ได้จากดินนาทั้งหมด 39 plots ในดินชั้นล่างที่ระดับความลึก 15-30 cm.....	43
4.5 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ 2x2 Factorial in RCBD ของสมบัติดินเบื้องต้นและคาร์บอน ทั้งหมดในดินจากการจัดการแปลงแบบไม่เผาฟางข้าวและเผาฟางข้าวหลังการเก็บเกี่ยว ที่ 2 ระดับความลึก.....	45
4.6 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ 2x2 Factorial in RCBD ของรูปของคาร์บอนและไนโตรเจน ในดินจากการจัดการแปลงแบบไม่เผาฟางข้าวและเผาฟางข้าวหลังการเก็บเกี่ยว ที่ 2 ระดับความลึก.....	46
4.7 อินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด (TC) ในดินบน (Topsoil) และดินล่าง (Subsoil) ซึ่งเป็นค่าวิเคราะห์ ดินเริ่มต้น (Initial Value) จากแปลงที่มีการเผาฟางข้าว และผลจากการจำลองภายใต้ เงื่อนไขการใส่ฟางข้าวต่อเป็นเวลา 10 ปี โดยใช้แบบจำลอง DSSAT-CENTURY (Final Simulated Value).....	50
4.8 คาร์บอนรูปที่ย่อยสลายได้ยาก (SOM3 or HF) ในดินบน (Topsoil) และดินล่าง (Subsoil) ซึ่งเป็นค่าวิเคราะห์ดินเริ่มต้น (Initial Value) จากแปลงที่มีการเผาฟางข้าว และผลจากการ จำลองภายใต้เงื่อนไขการใส่ฟางข้าวต่อเป็นเวลา 10 ปี โดยใช้แบบจำลอง DSSAT-CENTURY (Final Simulated Valued).....	53
4.9 ผลทดสอบประสิทธิภาพแบบจำลองปริมาณอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด (TC) และคาร์บอน รูปที่ย่อยสลายได้ยาก (SOM3 or HF) ในชั้นดินบน (Topsoil) และชั้นดินล่าง (Subsoil).....	55

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.10 สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson's Correlation Coefficients) ระหว่างคาร์บอนทั้งหมดในดิน (Total Carbon: TC) และ Heavy Fraction (HF) กับสมบัติดินเบื้องต้น ของแปลงที่มีการจัดการแบบเผาฟางข้าว.....	58
4.11 ผลของคาร์บอนทั้งหมด (TC) ในดินบน (Topsoil) และดินล่าง (Subsoil) จากค่าที่ได้จากการคำนวณจากสมการ (Initial Value) และผลการจำลองภายใต้เงื่อนไขการใส่ฟางข้าวต่อเนื่องตามจำนวนปีที่ไม่เผาฟางข้าวตามแบบสอบถาม โดยใช้แบบจำลอง DSSAT-CENTURY (Final Simulated Value).....	62
4.12 ผลของคาร์บอนที่ย่อยสลายได้ยาก (SOM3 or HF) ในดินบน (Topsoil) และดินล่าง (Subsoil) จากค่าที่ได้จากการคำนวณจากสมการ (Initial Value) และผลการจำลองภายใต้เงื่อนไขการใส่ฟางข้าวต่อเนื่องตามจำนวนปีที่ไม่เผาฟางข้าวตามแบบสอบถาม โดยใช้แบบจำลอง DSSAT-CENTURY (Final Simulated Value).....	66
4.13 ผลทดสอบประสิทธิภาพของการทำนายปริมาณอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด (TC) และคาร์บอนรูปที่ย่อยสลายได้ยาก (SOM3 or HF) จากแบบจำลอง DSSAT-CENTURY.....	67
4.14 ผลการจำลอง (Final Simulated Value) และเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของคาร์บอนทั้งหมดในชั้นดินบน (TC Topsoil) ภายใต้เงื่อนไขการเผาฟางข้าว (T0) ใส่ฟางข้าว 25% (T25) และ 100% (T100) ต่อเนื่อง 10 ปี (พ.ศ. 2565-2575) ในอำเภอสรีประจันต์ จังหวัดสุพรรณบุรี.....	70
4.15 ผลการจำลอง (Final Simulated Value) และเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของคาร์บอนทั้งหมดในชั้นดินล่าง (TC Subsoil) ภายใต้เงื่อนไขการเผาฟางข้าว (T0) ใส่ฟางข้าว 25% (T25) และ 100% (T100) ต่อเนื่อง 10 ปี (พ.ศ. 2565-2575) ในอำเภอสรีประจันต์ จังหวัดสุพรรณบุรี.....	71
4.16 ผลการจำลอง (Final Simulated Value) และเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของคาร์บอนที่ย่อยสลายยากในชั้นดินบน (HF or SOM3 Subsoil) ภายใต้เงื่อนไขการเผาฟางข้าว (T0) ใส่ฟางข้าว 25% (T25) และ 100% (T100) ต่อเนื่อง 10 ปี (พ.ศ. 2565-2575) ในอำเภอสรีประจันต์ จังหวัดสุพรรณบุรี.....	72
4.17 ผลการจำลอง (Final Simulated Value) และเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของคาร์บอนที่ย่อยสลายยากในชั้นดินล่าง (HF or SOM3 Subsoil) ภายใต้เงื่อนไขการเผาฟางข้าว (T0) ใส่ฟางข้าว 25% (T25) และ 100% (T100) ต่อเนื่อง 10 ปี (พ.ศ. 2565-2575) ในอำเภอสรีประจันต์ จังหวัดสุพรรณบุรี.....	73

# สารบัญตารางภาคผนวก

## ตารางที่ภาคผนวกที่

หน้า

- 2.1 ค่าวิเคราะห์ที่ได้จากห้องปฏิบัติการ (Observed Value : O) และจากการสมการถดถอย  
พหุคูณ (Predicted Value : P) ของปริมาณคาร์บอนทั้งหมด (Total Carbon : TC) และ  
ปริมาณคาร์บอนที่ย่อยสลายได้ยาก (Heavy Fraction : HF) จำนวน 21 plots.....99



# สารบัญญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 โครงสร้างของแบบจำลอง DSSAT Version 4.8.....	15
2.2 แหล่งอินทรีย์คาร์บอนในดินของแบบจำลอง CENTURY.....	18
3.1 แผนที่จุดเก็บตัวอย่างดินในจังหวัดจันทนนครราชสีมา ชัยภูมิ นครสวรรค์ และสุพรรณบุรี จำนวน 39 plots.....	21
3.2 การแบ่งจุดเก็บตัวอย่างดิน.....	26
3.3 แผนผังขั้นตอนการสร้างแบบจำลอง DSSAT-CENTURY และการทดสอบประสิทธิภาพของ แบบจำลอง (แปลงไม่เผา (Non-Burn : NB) และเผาฟางข้าว (Burn : B) 20 plots).....	32
3.4 แผนผังขั้นตอนการสร้างสมการทำนายและการสร้างแบบจำลอง DSSAT-CENTURY และการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลอง (แปลงไม่เผาและเผาฟางข้าว 39 plots).....	34
4.1 ผลการทำนายปริมาณอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดโดยใส่ฟางข้าวต่อเนื่องเป็นเวลา 10 ปี (พ.ศ. 2552-2564 ขึ้นอยู่กับปีที่เก็บตัวอย่าง) โดยใช้แบบจำลอง DSSAT-CENTURY ที่ 2 ระดับความลึก จำนวน 10 plots.....	49
4.2 ผลการทำนายปริมาณอินทรีย์คาร์บอนรูปที่ย่อยสลายได้ยาก โดยใส่ฟางข้าวเป็นเวลา 10 ปี (พ.ศ. 2552-2564 ขึ้นอยู่กับปีที่เก็บตัวอย่าง) ในแปลงที่มีการเผาฟางข้าว โดยใช้แบบจำลอง DSSAT-CENTURY ที่ 2 ระดับความลึก จำนวน 10 plots.....	52
4.3 แสดงกราฟ 1:1 line ระหว่างค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ (Observed Value) และค่าที่ได้จาก การทำนาย (Predicted Value) ของอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดในดินจำนวน 10 plots ที่ระดับ ชั้นดินบนและชั้นดินล่าง.....	56
4.4 แสดงกราฟ 1:1 line ระหว่างค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ (Observed Value) และค่าที่ได้จาก การทำนาย (Predicted Value) ของคาร์บอนที่ย่อยสลายได้ยาก (SOM3 or HF) ของดิน จำนวน 10 plots ที่ระดับชั้นดินบนและชั้นดินล่าง.....	56
4.5 ผลการทำนายปริมาณคาร์บอนทั้งหมด โดยใส่ฟางข้าวในแปลงตามระยะเวลาการจัดการไม่เผา ข้าว โดยใช้แบบจำลอง DSSAT-CENTURY ที่ 2 ระดับความลึก จำนวน 21 plots.....	60
4.6 ผลการทำนายปริมาณคาร์บอนรูปที่ย่อยสลายได้ยาก โดยใส่ฟางข้าวในแปลงตามระยะเวลา การจัดการไม่เผาข้าว โดยใช้แบบจำลอง DSSAT-CENTURY ที่ 2 ระดับความลึก จำนวน 21 plots.....	64

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.7 แสดงกราฟ 1:1 line ระหว่างค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ (Observed value) และค่าที่ได้จากแบบจำลอง DSSAT-CENTURY (Predicted value) ของคาร์บอนทั้งหมดในดินจำนวน 21 plots ที่ระดับชั้นดินบน (Topsoil) และชั้นดินล่าง (Subsoil).....	68
4.8 แสดงกราฟ 1:1 line ระหว่างค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ (Observed value) และค่าที่ได้จากแบบจำลอง DSSAT-CENTURY (Predicted value) ของคาร์บอนที่ย่อยสลายได้ยากจำนวน 21 plots ที่ระดับชั้นดินบน (Topsoil) และชั้นดินล่าง (Subsoil).....	68



# สารบัญภาพภาคผนวก

ภาพภาคผนวกที่	หน้า
2.1 ตัวอย่างไฟล์ข้อมูลดิน.....	94
2.2 ตัวอย่างไฟล์ข้อมูลอากาศ.....	94
2.3 ตัวอย่างไฟล์ข้อมูลพืช.....	95
2.4 ตัวอย่างไฟล์ข้อมูลการจัดการ.....	95
2.5 ตัวอย่างการเพิ่มข้อมูลปริมาณคาร์บอนทั้งหมด และรูปของคาร์บอนที่ละลายได้ยาก (Stable C) หรือ Heavy Fraction ของหัวข้อดินที่วิเคราะห์ (Soil Analysis).....	96
2.6 ตัวอย่างการเพิ่มข้อมูลการนำฟางข้าวออกหลังการเกี่ยวเกี่ยว (Byproduct Takeoff, %).....	96
2.7 ตัวอย่างการกำหนดพรีตเมนต์ที่ใช้การทดลองในช่วงการปลูกพืชต่อเนื่องกับการพักดิน.....	97
2.8 ตัวอย่างกำหนด Method of Soil Organic Matter เป็น Century (Parton).....	97
2.9 ตัวอย่างผลจากไฟล์ xxxxxxxx.OLC เป็นไฟล์แสดงผลคาร์บอนในอินทรีย์วัตถุแบบราย 30 วัน (SOM C DAILY OUTPUT FILE).....	98

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

อินทรีย์คาร์บอนในดิน (Soil Organic Carbon : SOC) เป็นคาร์บอนที่วัดได้ในดิน ซึ่งในดินทั่วไป คาร์บอนอยู่ในรูปอินทรีย์ ดังนั้นเมื่อวัดคาร์บอนทั้งหมด (Total Carbon : TC) จึงหมายถึง SOC ซึ่งเป็นหนึ่งในตัวชี้วัดความอุดมสมบูรณ์ของดิน เนื่องจากคาร์บอนในดินสามารถเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้แก่ดินได้ (Singh et al. 2005) โดยมีความเกี่ยวข้องกับสมบัติดินทั้งทางกายภาพ ทางชีวภาพ และทางเคมี (Sahoo et al. 2019) เช่น ช่วยทำให้เกิดเม็ดดิน (Lee et al. 2009) เพิ่มการดูดซับธาตุอาหาร รักษา ระดับความเป็นกรดต่าง สนับสนุนกิจกรรมของจุลินทรีย์ และการหมุนเวียนธาตุอาหาร (Kaye and Hart, 1997; Li et al. 2018) เป็นต้น การหมุนเวียนคาร์บอนในดินขึ้นอยู่กับจุลินทรีย์ในดินและแหล่งของ คาร์บอนที่ย่อยสลายได้ง่าย (Labile Organic Carbon) ได้แก่ Microbial Biomass Carbon (MBC), Dissolved Organic Carbon (DOC), Particulate Organic Carbon (POC), Permanganate Oxidizable Carbon (KMnO<sub>4</sub>-C) และ Light Fraction Organic Carbon (LFOC) ซึ่งเป็นส่วนที่มีความ หลากหลาย มีปริมาณน้อยในดิน และใช้เวลาย่อยสลายไม่นาน (Li et al. 2018; Yuan et al. 2021) นอกจากนี้ดินยังมีคาร์บอนในส่วนที่ย่อยสลายได้ยาก ได้แก่ Heavy Fraction (HF) เป็นคาร์บอนส่วนที่ มีความเสถียรและมีอัตราการย่อยสลายต่ำ คาร์บอนส่วนนี้จึงสำคัญต่อการกักเก็บคาร์บอนในดิน (Tan et al. 2007)

นอกจากนี้คาร์บอนในดินมีความเกี่ยวข้องกับการปล่อยก๊าซเรือนกระจกซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของ ภาวะโลกร้อนในปัจจุบัน ภาคการเกษตรมีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกถึง 20% ของปริมาณก๊าซเรือน กระจกในชั้นบรรยากาศ โดยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากภาคการเกษตรส่วนใหญ่ ได้แก่ มีเทน (Methane: CH<sub>4</sub>) และคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon Dioxide: CO<sub>2</sub>) เป็นต้น ก๊าซมีเทนเกิดจากการย่อยสลายของ อินทรีย์วัตถุในสภาวะขาดออกซิเจน (Anaerobic) (พัชรี แสนจันทร์, 2558; Wang et al. 2015) การทำนามีโอกาสทำให้เกิดก๊าซมีเทนได้มาก (Haque et al. 2015) นอกจากนี้การย่อยสลายของ อินทรีย์วัตถุในสภาพออกซิเดชัน (Oxidation) ของอินทรีย์คาร์บอน ทำให้สามารถปลดปล่อย คาร์บอนไดออกไซด์ได้ด้วยเช่นกัน (West and Post. 2002) การเผาเศษซากพืชจึงเป็นทางหนึ่งในการ ปลดปล่อยก๊าซ CO<sub>2</sub> อินทรีย์คาร์บอนในดินจึงถือเป็นแหล่งปลดปล่อย หรือกักเก็บคาร์บอนขนาดใหญ่ที่ สำคัญขึ้นอยู่กับการจัดการเศษซากพืช ดินสามารถกักเก็บคาร์บอนถึง 3 เท่าของคาร์บอนในชั้นบรรยากาศ (Batjes. 1996) จึงทำให้การจัดการแปลงปลูกพืชที่แตกต่างกันส่งผลต่อการกักเก็บและปลดปล่อย คาร์บอนในดิน เช่น การไถพรวน (Musunguzi et al. 2014) การจัดการเศษซากพืชหลังการเก็บเกี่ยว

(Vasconcelos et al. 2018) รวมถึงการจัดการระหว่างการเก็บเกี่ยว ยกตัวอย่างเช่น การเปลี่ยนจากการเผาใบอ้อยก่อนการเก็บเกี่ยวเป็นไม่เผาใบอ้อย สามารถเพิ่มการกักเก็บคาร์บอนในดินบน (0–15 cm) ได้เพิ่มขึ้นเฉลี่ยประมาณ 17.5% ต่อปี (Luca et al. 2018) การปล่อยฟางข้าวไว้ในแปลงข้าวในฤดูฝนสามารถเพิ่มอินทรีย์คาร์บอนที่ย่อยสลายได้ง่าย (Wang et al. 2015) ด้วยเหตุนี้การจัดการเศษซากพืช โดยเฉพาะข้าวและอ้อยซึ่งเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของไทยจึงมีผลต่อการกักเก็บและปลดปล่อยคาร์บอนในดินของประเทศไทย (Paustian et al. 2016)

การจัดการฟางข้าวหลังการเก็บเกี่ยวเป็นกิจกรรมสำคัญสำหรับเตรียมพื้นที่เพาะปลูกสำหรับฤดูปลูกถัดไป ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกข้าวมากที่สุดในพื้นที่การเกษตรทั้งหมดของประเทศโดยมีพื้นที่ปลูกข้าวนานปีในปี พ.ศ. 2564 ประมาณ 62.4 ล้านไร่ (Office of Agricultural Economics [OAE], 2021) เกษตรกรมีการจัดการฟางข้าวที่ต่างกัน เช่น โกลบฟางข้าวทั้งหมดในแปลง นำฟางข้าวออกจากแปลงโดยใช้รถอัดฟางเพื่อขายหรือนำไปเป็นอาหารสัตว์ ปล่อยสัตว์เลี้ยงลงไปกินฟางข้าวในแปลง และเผาฟางข้าว เป็นต้น ปัจจัยที่ทำให้เกษตรกรมีการจัดการฟางข้าวที่ต่างกัน ได้แก่ ข้อจำกัดเรื่องน้ำชลประทาน เช่น เกษตรกรในบางพื้นที่มีระบบชลประทาน เมื่อภายหลังการเก็บเกี่ยวข้าวจำเป็นต้องรีบกำจัดฟางข้าวทันทีเพื่อเตรียมพื้นที่ในฤดูปลูกถัดไป ทำให้เกษตรกรในพื้นที่นี้อาจจะมีการเผาฟางข้าวเนื่องจากมีความรวดเร็วในการจัดการ และประหยัดค่าใช้จ่าย แต่ทำให้เกิดมลภาวะทางอากาศ และการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Allen et al. 2020) แม้อยู่ในพื้นที่เขตชลประทานเกษตรกรไม่เลือกวิธีหมักฟางก่อนการไถพรวนเนื่องจากใช้เวลานานกว่า ในขณะที่เกษตรกรที่มีแปลงปลูกข้าวใกล้พื้นที่ชุมชน หรือถนนมักจะไม่สามารถเผาฟางข้าวได้ เนื่องจากผิดกฎหมาย รวมถึงควันและฝุ่นละอองอาจเป็นมลพิษทางอากาศแก่ผู้คนบริเวณนั้นได้ สำหรับเกษตรกรที่อยู่นอกเขตชลประทานหรือในพื้นที่ที่มีสภาพแห้งแล้งที่ทำได้เพียงนาปี อาจจะมีการอัดฟางข้าวออกจากแปลง หรือปล่อยสัตว์เลี้ยงเพื่อให้กินหญ้าและฟางข้าวในแปลงทำให้เหลือฟางข้าวประมาณ 25% เป็นต้น จากการศึกษาการโกลบฟางข้าวไว้ในดิน มีแนวโน้มส่งผลให้มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนและการเกิดเม็ดดินสูงกว่าการเผาฟางข้าว และการนำฟางข้าวออกจากแปลง ตามลำดับ (Singh et al. 2005) และการศึกษาของ เครือมาศ สมัครการ (2554) พบว่าดินที่ผสมฟางข้าวมีแนวโน้มทำให้ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนสูงกว่าการเผาฟางข้าว และทำให้ดินมีความหนาแน่นรวมน้อยกว่าการเผาฟางข้าวเหมาะสมกับการเจริญของรากพืช

ในการศึกษาการกักเก็บคาร์บอนในดิน มีหลายการศึกษาใช้แบบจำลองในการทำนายการกักเก็บคาร์บอนในดิน เนื่องจากแบบจำลองเป็นเครื่องมือใช้ศึกษาและคาดคะเนการเปลี่ยนแปลงของคาร์บอนจากข้อมูลจริงของพื้นที่ระดับแปลง และนำมาใช้ทำนายพื้นที่ขนาดใหญ่ หรือระดับภูมิภาค รวมถึงสามารถใช้ทำนายในเวลาที่แตกต่างกันได้เพื่อประเมินการเปลี่ยนแปลงของคาร์บอนในดินในอนาคตระยะยาว เป็นประโยชน์เชิงนโยบายในการบริหารจัดการพื้นที่ (Falloon et al. 2002; Basso et al. 2011)

แบบจำลองสามารถใช้จำลองการเปลี่ยนแปลงหรือการหมุนเวียนของคาร์บอนและธาตุอาหารอื่นๆ ในดิน เช่น ไนโตรเจน และซัลเฟอร์ โดยเฉพาะไนโตรเจนที่สัมพันธ์ต่ออัตราการย่อยสลายของอินทรีย์คาร์บอน (Falloon and Smith, 2000; Basso et al. 2011) โดยแบบจำลองที่นิยมใช้ในปัจจุบัน ได้แก่ Soil Nitrogen and Carbon Transformation Simulation Model (NCSOIL; Molina et al. 1983), Danish Simulation Model (DAISY; Hansen et al. 1990), DeNitrification-DeComposition (DNDC model; Li et al. 1997) และโมดูล CENTURY ในระบบสนับสนุนการตัดสินใจเพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีทางการเกษตร (Decision Support System for Agrotechnology Transfer: DSSAT) version 4.8.0 (Hoogenboom et al. 2021)

แบบจำลอง DSSAT เป็นแบบจำลองการเจริญเติบโตของพืชที่มีการใช้งานทั่วโลก และเป็นที่ยอมรับในประเทศไทย (Jones et al. 2003) โดยแบบจำลอง DSSAT-CENTURY สามารถทำนายการเปลี่ยนแปลงอินทรีย์วัตถุในดิน จากการใช้ข้อมูลดิน ข้อมูลภูมิอากาศรายวัน ข้อมูลการจัดการ และข้อมูลพืช ได้จากพืชหลายชนิด เช่น He et al. (2021) ศึกษาการทำนายอินทรีย์คาร์บอนในระบบการปลูกพืชหมุนเวียนระหว่าง ข้าวสาลี-คาโนรา-ถั่ว-ปอเทืองและข้าวสาลี-ข้าวสาลี Musinguzi et al. (2014) ทำนายอินทรีย์คาร์บอนภายใต้ระบบการปลูกข้าวโพด นอกจากนี้แบบจำลอง DSSAT-CENTURY ยังสามารถทำนายจำแนกรูปของอินทรีย์คาร์บอนและไนโตรเจนในดินและบนผิวดิน ได้แก่ อินทรีย์วัตถุแบบสด (Fresh Organic Matter: FOM) และ อินทรีย์วัตถุในดิน (Soil Organic Matter: SOM) โดยอินทรีย์วัตถุในดินแบ่งตามการย่อยสลายของอินทรีย์วัตถุ ได้ 3 รูป ได้แก่ 1) รูปที่ย่อยสลายได้ง่าย (SOM1) สามารถย่อยสลายได้ในระยะเวลาสั้นภายในเวลาไม่กี่เดือน ขึ้นอยู่กับเนื้อดินและสภาพแวดล้อม 2) รูปที่ย่อยสลายได้ยากปานกลาง (SOM2) สามารถย่อยสลายได้ประมาณ 5-20 ปี และ 3) รูปที่ย่อยสลายได้ช้า (SOM3) สามารถย่อยสลายได้ในระยะเวลา 200 ปี หรือนานกว่านั้นขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม ซึ่งแสดงถึงความสามารถในการกักเก็บคาร์บอนของดิน (Gijsman et al. 2002; Porter et al. 2010a; Basso et al. 2011)

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของอินทรีย์คาร์บอนใช้ระยะเวลานานในการศึกษา เนื่องจากคาร์บอนในส่วนที่ย่อยสลายได้ยากเป็นคาร์บอนส่วนที่มีความเสถียรและมีสัดส่วนมากในดิน ซึ่งใช้เวลาย่อยสลายนาน ทำให้การศึกษาการทดลองในระยะสั้นอาจจะไม่เห็นผลความแตกต่างที่ชัดเจนจากการจัดการฟางข้าวที่แตกต่างกัน การทำนายรูปของอินทรีย์คาร์บอนทั้งสองรูปด้วยการใช้แบบจำลอง DSSAT-CENTURY จึงเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาอิทธิพลของการจัดการฟางข้าวต่อรูปคาร์บอนในดินทั้งหมด และคาร์บอนที่ย่อยสลายได้ยากในดิน อย่างไรก็ตามการนำแบบจำลองมาใช้จำเป็นต้องมีการปรับแต่งแบบจำลองให้เหมาะสมกับข้อมูลของประเทศไทย

## 1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อศึกษาอิทธิพลของการจัดการฟางข้าวต่อการกักเก็บคาร์บอนและรูปของอินทรีย์คาร์บอนในดินที่ปลูกข้าว

1.2.2 เพื่อทำนายอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดในดินและรูปของอินทรีย์คาร์บอนที่ย่อยสลายยาก (Heavy Fraction : HF) โดยใช้แบบจำลอง DSSAT-CENTURY

## 1.3 สมมติฐานของการศึกษา

การจัดการฟางข้าวหลังการเก็บเกี่ยวในแปลงนาแบบต่างๆ อาจส่งผลต่อปริมาณอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด การกักเก็บอินทรีย์คาร์บอน และรูปของคาร์บอนในดิน ซึ่งมีผลต่อความอุดมสมบูรณ์ของดิน การกักเก็บคาร์บอน และส่งผลต่อความยั่งยืนของการใช้ที่ดินเพื่อทำการเกษตร การนำแบบจำลองมาทำนายปริมาณและรูปของอินทรีย์คาร์บอน จึงเป็นประโยชน์ต่อการบริหารจัดการเศษซากพืช

## 1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

การใส่ฟางข้าวในดินนาทำให้คาร์บอนจากส่วนของฟางข้าวกลับลงสู่ดิน ในขณะที่การนำฟางข้าวออกจากแปลง หรือเผาฟางข้าวจะทำให้สูญเสียคาร์บอนในบางส่วนไป ลดความอุดมสมบูรณ์ของดิน สร้างมลภาวะทางอากาศ โดยการใส่ฟางข้าวหลังการเก็บเกี่ยวอาจทำให้ส่งผลต่อรูปของคาร์บอนที่ย่อยสลายได้ง่าย ได้แก่ Microbial Biomass Carbon (MBC), Dissolved Organic Carbon (DOC), Particulate Organic Carbon (POC), Light Fraction Carbon (LF) และ Permanganate Oxidize Carbon ( $\text{KMnO}_4\text{-C}$ ) อาจมีปริมาณเพิ่มหลังการใส่เศษฟางข้าวในแต่ละฤดูกาลปลูก ทำให้มีปริมาณคาร์บอนที่ย่อยสลายได้ยากในดิน (Heavy Fraction : HF) มากขึ้นได้ในระยะยาว เนื่องจากดินจึงเป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอนแทนการปล่อยออกสู่ชั้นบรรยากาศซึ่งทำให้เกิดภาวะโลกร้อนในปัจจุบันซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวต้องใช้ระยะเวลาาน การใช้แบบจำลอง DSSAT-CENTURY มาศึกษาผลของการจัดการฟางข้าวในรูปแบบต่างๆต่อการกักเก็บและรูปของคาร์บอนในดิน ทำให้สามารถคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงของอินทรีย์คาร์บอนที่เป็นผลมาจากการจัดการฟางข้าวในรูปแบบต่างๆได้ล่วงหน้า จึงเป็นประโยชน์ในการบริหารจัดการฟางข้าวในอนาคตต่อไป

## 1.5 ขอบเขตการวิจัย

1.5.1 ศึกษาอิทธิพลของการจัดการฟางข้าวต่อรูปของอินทรีย์คาร์บอนในดิน ได้แก่ Microbial Biomass Carbon (MBC), Dissolved Organic Carbon (DOC), Particulate Organic Carbon (POC), Light Fraction Carbon (LF), Permanganate Oxidize Carbon ( $\text{KMnO}_4\text{-C}$ ) และ Heavy Fraction

(HF) รวมทั้งปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในดินที่ปลูกข้าวในพื้นที่ จังหวัดนครราชสีมา ชัยภูมิ นครสวรรค์ และสุพรรณบุรี จำนวน 39 plots โดยแบ่งเป็น 1) การจัดการแบบไม่เผาฟางข้าว 21 plots และ 2) การจัดการแบบเผาฟางข้าว 18 plots ที่ 2 ระดับความลึกคือ 0-15 cm และ 15-30 cm

1.5.2 ทำนายปริมาณคาร์บอนในดินทั้งหมด และรูปของคาร์บอนที่ย่อยสลายได้ยาก (SOM3 หรือ HF) ด้วยแบบจำลอง DSSAT-CENTURY จากการจัดการฟางข้าว 3 รูปแบบ ได้แก่ การเผาฟางข้าว การใส่ฟางข้าว 25% (ปล่อยฟางข้าวเหลือไว้ในดินนจากการขายฟางข้าว หรือปล่อยให้สัตว์เลี้ยงบริโภค) และการใส่ฟางข้าว 100% ต่อเนื่องเป็นเวลา 10 ปี



## บทที่ 2

# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 อินทรีย์คาร์บอนในดิน

อินทรีย์คาร์บอนในดิน (Soil Organic Carbon : SOC) เป็นส่วนประกอบของอินทรีย์วัตถุประมาณ 58% (Soil Organic Matter : SOM) เป็นอินทรีย์สารที่มาจากการเน่าเปื่อยของพืช สัตว์ และสิ่งมีชีวิต รวมทั้งจุลินทรีย์ในดินที่ตายไปแล้ว รวมถึงสารที่สร้างขึ้น หรือสังเคราะห์ และปลดปล่อยออกมาสู่ดินขณะยังมีชีวิตอยู่ด้วย มีความเกี่ยวข้องกับสมบัติดินทั้งทางกายภาพ ทางชีวภาพ และทางเคมีของดิน (Sahoo et al. 2019) และยังมีความเกี่ยวข้องกับการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เป็นสาเหตุสำคัญของภาวะโลกร้อน ในปัจจุบัน ดินสามารถกักเก็บอินทรีย์คาร์บอนได้ประมาณ 1,600 Pg ที่ระดับความลึก 1 m โดยเป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอนถึง 3 เท่าของคาร์บอนในชั้นบรรยากาศ (Batjes. 1996) ดังนั้นการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของอินทรีย์คาร์บอน และการเปลี่ยนรูปของอินทรีย์คาร์บอนในดินจึงมีผลต่อการปลดปล่อยและกักเก็บคาร์บอน การสะสมคาร์บอนในดินจากการจัดการทางการเกษตรมีความสัมพันธ์อย่างมากกับการใส่เศษซากพืช ปุ๋ยอินทรีย์ การย่อยสลายโดยจุลินทรีย์และสิ่งแวดล้อมในดิน โดยการใส่เศษซากพืช ปุ๋ยหมัก และปุ๋ยคอก สามารถเพิ่มอินทรีย์คาร์บอนในดินได้ (Li et al. 2018) ปริมาณคาร์บอนทั้งหมดเป็นผลรวมของอินทรีย์คาร์บอนและอนินทรีย์คาร์บอน อย่างไรก็ตามไม่ใช่ดินทุกพื้นที่ที่มีส่วนของอนินทรีย์คาร์บอน เนื่องจากขึ้นอยู่กับวัตถุดิบกำเนิดดินที่เป็นแร่คาร์บอเนต ดังนั้นโดยทั่วไปปริมาณคาร์บอนทั้งหมดของดินจึงเป็นปริมาณอินทรีย์คาร์บอนเป็นส่วนใหญ่ (Sparks et al. 1996)

#### 2.1.1 รูปของอินทรีย์คาร์บอนในดิน

การใส่เศษซากพืช หรือวัสดุอินทรีย์ลงดินเป็นการเพิ่มปริมาณคาร์บอนทำให้เกิดการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์เปลี่ยนมวลคาร์บอนในอินทรีย์วัตถุ เพื่อใช้เป็นแหล่งอาหารแล้วเปลี่ยนเป็นมวลคาร์บอนของจุลินทรีย์ โดยปกติจุลินทรีย์ย่อยสลายอินทรีย์คาร์บอนที่ย่อยสลายง่ายก่อนและเหลือคาร์บอนในส่วนที่มีความซับซ้อน เช่น ลิกนิน (Lignin) และกลุ่มไขมัน ซึ่งเป็นส่วนที่ใช้เวลานานในการย่อยสลายหรือเปลี่ยนรูปได้ยาก (Heavy Fraction) แต่อินทรีย์คาร์บอนกลุ่มนี้เป็นกลุ่มอินทรีย์วัตถุที่มีความเสถียร จึงเป็นแหล่งสำคัญสำหรับการกักเก็บคาร์บอนในดิน (Kallenbach et al. 2016; Tan et al. 2007) ส่วนคาร์บอนในกลุ่มที่จุลินทรีย์ย่อยสลายก่อนและใช้เวลาการย่อยสลายไม่นานเป็นคาร์บอนในรูปที่ย่อยสลายได้ง่ายมีอยู่หลายรูป ได้แก่ Dissolved Organic Carbon (DOC), Particulate Organic Carbon (POC), Permanganate Oxidizable Carbon (KMnO<sub>4</sub>-C) และ Light Fraction Organic Carbon (LFOC) และรวมถึงมวลชีวภาพจุลินทรีย์คาร์บอน (Microbial Biomass Carbon : MBC) โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นกลุ่มคาร์บอนที่เป็นแหล่งพลังงานสำคัญของจุลินทรีย์ในดินและเป็นรูปที่มีความสำคัญกับปริมาณธาตุอาหารและสมบัติดินที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของพืช (Liang et al. 2003; Haynes. 2005; Mi et al. 2016; Li et al. 2018; Yuan et al. 2021; Zhang et al. 2021) ความแตกต่างของรูปอินทรีย์คาร์บอนสามารถอธิบายได้ ดังนี้

### 2.1.1.1 มวลชีวภาพจุลินทรีย์คาร์บอน (Microbial Biomass Carbon : MBC)

มวลชีวภาพจุลินทรีย์คาร์บอน (Microbial Biomass Carbon : MBC) เป็นส่วนประกอบของอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดในดินมีประมาณ 1 - 7% (Li et al. 2016) นอกจากนี้มวลชีวภาพจุลินทรีย์คาร์บอนยังมีความสัมพันธ์อย่างมากกับมวลชีวภาพจุลินทรีย์ไนโตรเจน (Microbial Biomass Nitrogen : MBN) เป็นส่วนประกอบประมาณ 5% ของอินทรีย์ไนโตรเจนทั้งหมดในดิน (Wei et al. 2022) และไนโตรเจนใน MBN สามารถปลดปล่อยเป็นธาตุอาหารหลักของพืชได้ มวลชีวภาพจุลินทรีย์ทั้ง MBC และ MBN จึงมีบทบาทสำคัญต่ออินทรีย์วัตถุและการหมุนเวียนธาตุอาหาร (Li et al. 2018) อย่างไรก็ตามการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุของมวลชีวภาพจุลินทรีย์ส่งผลทำให้เกิดก๊าซเรือนกระจก โดย MBC มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับการปลดปล่อยมีเทน (Methane : CH<sub>4</sub>) และคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon dioxide : CO<sub>2</sub>) ในขณะที่ MBN ความสัมพันธ์เชิงลบกับ CO<sub>2</sub> และ ไนตรัสออกไซด์ (Nitrous oxide : N<sub>2</sub>O) แต่มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับการปลดปล่อย CH<sub>4</sub> (Chen et al. 2020)

### 2.1.1.2 อินทรีย์คาร์บอนที่ละลายได้ (Dissolved Organic Carbon : DOC)

อินทรีย์คาร์บอนที่ละลายน้ำได้ (Dissolved Organic Carbon : DOC) และ อินทรีย์ไนโตรเจนที่ละลายได้ (Dissolved Organic Nitrogen : DON) เป็นส่วนประกอบของ Dissolved Organic Matter (DOM) เป็นสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้ในสารละลายดิน โดยได้มาจากการปลดปล่อยของพืช เศษซากพืช และจุลินทรีย์ในดิน เช่น กรดอะมิโน คาร์โบไฮเดรต และกรดฮิวมิก เป็นต้น โดยรูปนี้เป็นสารตั้งต้น หรือแหล่งอาหารสำหรับจุลินทรีย์ และมีบทบาทในการหมุนเวียนธาตุอาหาร เนื่องจากเป็นสารอินทรีย์ที่ทำพันธะกับธาตุอาหารของพืช เช่น ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) และซัลเฟอร์ (S) และเป็นรูปที่สามารถย่อยสลายได้ง่าย นอกจากนี้มีบทบาทสำคัญกับสิ่งแวดล้อมโดยสามารถเคลื่อนที่ไปยังชั้นดินลึกและแหล่งน้ำใต้ดินโดยเฉพาะในดินทราย (Andersson et al. 2000; Haynes. 2005; Jones and Willett. 2006)

### 2.1.1.3 Particulate Organic Carbon (POC)

Particulate Organic Carbon (POC) เป็นส่วนของคาร์บอนในเศษซากพืชทั้งส่วนเหนือดินและในส่วนของรากพืชที่อยู่ระหว่างการย่อยสลาย และพร้อมที่จะถูกย่อยสลายโดยเป็นแหล่งของคาร์บอนที่สำคัญของจุลินทรีย์กลุ่ม heterotrophic ในการย่อยสลาย POC ยังส่งผลให้เกิดการหมุนเวียนธาตุอาหารเนื่องจากการปลดปล่อยธาตุอาหารจากเศษซากพืชกลับลงสู่ดิน จึงสามารถเป็นตัวชี้วัดคุณภาพของดินในระบบการเกษตรได้ คือ ถ้ามีมากแสดงถึงความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารในดินได้มาก (Cambardella and Elliott. 1992; Haynes. 2005)

### 2.1.1.4 Permanganate Oxidizable Carbon (KMnO<sub>4</sub>-C)

Permanganate Oxidizable Carbon (KMnO<sub>4</sub>-C) เป็นส่วนของคาร์บอนที่ย่อยสลายและเปลี่ยนรูปได้ง่าย สามารถวัดได้จากปริมาณคาร์บอนที่ออกซิไดซ์ได้ด้วยสารโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต (KMnO<sub>4</sub>) ซึ่งเป็นสารเคมีที่ไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม และราคาไม่แพง (ศุภจิตา อ่ำทอง, 2554) จึงเป็นวิธีที่เหมาะสมแก่การวิเคราะห์อินทรีย์คาร์บอนเพื่อเป็นดัชนีการประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน (Blair et al. 1995) นอกจากนี้ KMnO<sub>4</sub>-C ยังมีความสัมพันธ์กับปริมาณไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ในดินและอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดในดิน (Total Organic Carbon: TOC) โดยมีประมาณ 5-30% ของปริมาณอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดจึงสามารถใช้เป็นตัวชี้วัดการสะสมหรือสูญเสียอินทรีย์คาร์บอนในดิน และ KMnO<sub>4</sub>-C ยังตอบสนองต่อเปลี่ยนแปลงการจัดการทางการเกษตรไว้มากกว่าปริมาณอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด (ศุภจิตา อ่ำทอง, 2554 ; พรทิพย์ พุทธิโส และคณะ, 2564; Blair et al. 1995; Benbi et al. 2015)

### 2.1.1.5 Light Fraction Carbon (LF) และ Heavy Fraction Carbon (HF)

Light Fraction Carbon (LF) และ Heavy Fraction Carbon (HF) คือส่วนของอินทรีย์คาร์บอนที่มีความแน่นน้อยกว่าและมากกว่า 1.80 g/cm<sup>3</sup> (ความหนาแน่นของสารละลาย Sodium iodide, NaI) ตามลำดับ โดย LF เป็นส่วนของคาร์บอนในเศษซากพืชและจุลินทรีย์ที่อยู่ระหว่างการย่อยสลาย จึงสามารถเปลี่ยนรูปได้ง่ายกว่าส่งผลต่อสมบัติทางกายภาพของดิน และยังเกี่ยวข้องกับการปลดปล่อยธาตุอาหาร เนื่องจากเป็นสารตั้งต้นหรือแหล่งอาหารของจุลินทรีย์ (Liang et al. 2003; Tan et al. 2007) HF เป็นส่วนของคาร์บอนที่มีความเสถียรและใช้เวลานานในการย่อยสลาย มีสัดส่วนในอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดมากกว่าส่วนอินทรีย์คาร์บอนที่ย่อยสลายง่าย และเป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอนที่สำคัญในดิน จึงมีบทบาทสำคัญต่อการจัดการทางการเกษตรในระยะยาว (Li et al. 2007; Hu et al. 2021; Cui et al. 2022)

## 2.1.2 ผลของรูปอินทรีย์คาร์บอนต่อสมบัติดิน

จากการศึกษาของ Lee et al. (2009) พบความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างดินและปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดิน โดยแบ่งรูปของอินทรีย์คาร์บอน (POC) ตามขนาดของเม็ดดิน ได้แก่ เม็ดดินขนาดใหญ่ (Macro-Aggregates, ขนาด >0.25 mm) และเม็ดดินขนาดเล็ก (Micro-Aggregates, ขนาด 0.053 - 0.25 mm) อินทรีย์คาร์บอนในเม็ดดินขนาดใหญ่จะมีปริมาณสูงกว่า และมีอัตราการปลดปล่อยธาตุอาหาร (Mineralization) ได้ดีกว่า ในขณะที่ SOC ที่เกี่ยวข้องกับเม็ดดินขนาดเล็กจะมีความเสถียรและย่อยสลายได้ช้ากว่า นอกจากนี้มีการศึกษาอินทรีย์คาร์บอนด้วยวิธีทางกายภาพ (Physical Fractionation) พบว่า Light และ Heavy Fractions (Six et al. 2002; Tan et al. 2007) โดย Light Fraction มีความเสถียรน้อยกว่า ขณะที่ Heavy Fractions จะมีความเสถียรและความหนาแน่นของสูงกว่า (Tan et al. 2007; Sequeira et al. 2011) ทำให้ดินที่มีส่วน Heavy Fraction มากก็เก็บคาร์บอนมากและคงทนในดินได้นานกว่า

การศึกษาอินทรีย์คาร์บอนมีส่วนสำคัญต่อสมบัติทางเคมีของดินในสิ่งแวดล้อม เช่น  $\text{KMnO}_4\text{-C}$  ในดินทราย (พรทิพย์ พุทธิโส และคณะ, 2564) และ DOC ในดินนา (Wang et al. 2015) เป็นรูปที่มีความสำคัญในการย่อยสลายและการปลดปล่อยธาตุอาหารจากอินทรีย์วัตถุในดิน การที่ดินมีรูปทั้งสอง เป็นรูปที่แสดงถึงความสามารถในการย่อยสลายได้ง่าย สามารถเคลื่อนที่ได้ดี และชะล้างลงสู่ชั้นหน้าตัดดินลึกได้ (Gonet and Debska. 2011) ในบางกรณีนำรูปดังกล่าวมาใช้ประเมินการเปลี่ยนแปลงของอินทรีย์วัตถุในระยะสั้น แทนการวัดปริมาณอินทรีย์วัตถุ ซึ่งจะสังเกตการเปลี่ยนแปลงได้ต้องใช้เวลานาน

นอกจากนี้อินทรีย์คาร์บอนมีความสัมพันธ์กับสมบัติทางชีวภาพของดิน เช่น อินทรีย์คาร์บอนในรูปมวลชีวภาพจุลินทรีย์คาร์บอน (Microbial Biomass Carbon: MBC) ซึ่งโดยส่วนมากจะเป็นแหล่งของคาร์บอนในรูปที่ย่อยสลายได้ง่าย มีประมาณ 1-3% ของคาร์บอนทั้งหมดในดิน นอกจากนี้มวลชีวภาพจุลินทรีย์คาร์บอนมีความเกี่ยวข้องกับมวลชีวภาพจุลินทรีย์ไนโตรเจน (Microbial Biomass Nitrogen: MBN) ซึ่งมีประมาณ 5% ของไนโตรเจนทั้งหมดในดิน (Jenkinson and Ladd. 1981) ซึ่งทั้งสองส่วนนี้จะมีส่วนสำคัญเกี่ยวกับกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับการหมุนเวียนธาตุอาหาร รูปที่เป็นประโยชน์ของธาตุและการเกิด Immobilized ของจุลินทรีย์ (Moore et al. 2000)

## 2.2 การจัดการฟางข้าว

ข้าวเป็นอาหารหลักและเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย มีพื้นที่ปลูกในทุกภาคของประเทศไทย โดยมีพื้นที่ปลูกประมาณ 46% ของเนื้อที่ใช้ประโยชน์ทางการเกษตรทั้งหมด (OAE. 2021) พื้นที่ปลูกข้าวนาปีในปี 2563/2564 ประมาณ 62.4 ล้านไร่ และได้รับผลผลิตประมาณ 26.4 ตัน (OAE. 2021) ซึ่งหลังจากการเก็บเกี่ยวจึงเหลือฟางข้าวตกค้างในพื้นที่นาจำนวนมาก ในขณะที่จังหวัดสุพรรณบุรี มีพื้นที่ปลูกข้าวเป็นอันดับหนึ่งของภาคกลาง โดยมีพื้นที่ปลูกข้าวนาปีประมาณ 1.2 ล้านไร่ (OAE. 2021) ทำให้หลังการเก็บเกี่ยวเกษตรกรจึงมีการจัดการฟางข้าวเพื่อเตรียมพื้นที่สำหรับฤดูปลูกถัดไป เช่น การเผา การไถกลบ และการอัดฟางเพื่อขาย หรือนำไปเป็นอาหารสัตว์ ในปัจจุบันประเทศไทยเผชิญปัญหามลพิษทางอากาศในช่วงฤดูที่เก็บเกี่ยวผลผลิต จึงทำให้หลายหน่วยงานรณรงค์ลดการเผาฟางข้าวหลังการเก็บเกี่ยวมากขึ้น เช่น โครงการ Zero Burning เป็นการร่วมมือของภาครัฐและเอกชนเพื่อลดการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศ จากการเผาเศษซากพืชในภาคการเกษตร โดยมีเป้าหมายเพื่อให้พื้นที่การเกษตรของประเทศไทย 140 ล้านไร่ ปราศจากการเผาภายใน 3 ปี (ธนกร เสี่ยงม, 2562)

### 2.2.1 การเผาฟางข้าว

การเผาฟางข้าวหลังการเก็บเกี่ยวเป็นการจัดการโดยทั่วไปของเกษตรกรไทยในหลายพื้นที่ โดยประเทศไทยมีการเผาฟางข้าว ประมาณ 4.8 ล้านตัน ต่อปี (Kumar et al. 2020) เนื่องจากมีความรวดเร็ว และใช้ค่าใช้จ่ายน้อย ช่วยกำจัดวัชพืช โรคและแมลงภายในแปลง (กรมวิชาการเกษตร, 2548) นอกจากนี้ถ้าทำได้หลังจากการเผาเศษซากพืชยังสามารถปลดปล่อยธาตุอาหารกลับคืนสู่ดิน แต่การเผาทำให้ส่งผลเสียต่อสมบัติดินในระยะยาว (Oanh. 2021) จากการศึกษาของ เครือมาศ สมัครการ (2554) พบว่า ดินที่ใส่ฟางแล้วฟางข้าวจากการเผาที่มีปริมาณโพแทสเซียม (Potassium: K) สูงกว่าดินที่ผสมฟางข้าวแบบไม่เผ่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.01$ ) อย่างไรก็ตามการเผาฟางข้าวหลังการเก็บเกี่ยวทำให้ปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) คาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) ไนโตรเจนไดออกไซด์ ( $\text{NO}_2$ ) ก๊าซทั้งสองส่งผลต่อสุขภาพของมนุษย์ เช่น  $\text{NO}_2$  ไปจับกับฮีโมโกลบินแทนออกซิเจน ( $\text{O}_2$ ) จึงทำให้ร่างกายขาดออกซิเจน และส่งผลต่อผู้ที่ เป็นโรคเกี่ยวกับระบบทางเดินหายใจ ตามลำดับ นอกจากนี้  $\text{CO}_2$  เป็นก๊าซที่ส่งผลทำให้เกิดภาวะโลกร้อนมากขึ้น (วัชรภรณ์ เชื่อมกลาง และคณะ, 2563; Miura and Kanno, 1997; Climate Change Connection, 2020) ในปี พ.ศ. 2561 ประเทศไทยมีการปล่อยมลพิษทางอากาศ ได้แก่  $\text{PM}_{2.5}$ ,  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{NO}_x$ , CO,  $\text{CO}_2$  และ  $\text{CH}_4$  จากการเผาเศษฟางข้าวที่ประมาณ 37.65 kt , 42.64 kt, 2,223 t, 421.85 kt, 5,339 kt และ 43.55 kt ตามลำดับ และยังสูญเสียอินทรีย์คาร์บอนที่  $14 \pm 5$  kt (Junpen et al. 2018) จากการศึกษาผลจากการเปลี่ยนจากการจัดการแบบเผาฟางข้าวเป็นไม่เผาฟางข้าวแสดงให้เห็นว่าสามารถลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกได้ประมาณ 34.18 Mt  $\text{CO}_2$  eq/year หรือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประมาณ 31% จากการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดจากระบบการปลูกข้าวในประเทศจีน (Lu. 2015; Liu et al. 2014)

## 2.2.2 การไม่เผาฟางข้าว

การจัดการฟางข้าวแบบไม่เผาหลังการเก็บเกี่ยว ได้แก่ การอัดก้อนฟางหลังการเก็บเกี่ยวแล้ว ไถกลบ การขังน้ำหลังจากเก็บเกี่ยวแล้วไถกลบฟาง หรือการนำสัตว์เลี้ยงกินพืชปล่อยให้กินฟางข้าวในนา เป็นต้น สามารถลดปัญหามลพิษทางสิ่งแวดล้อม และเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้แก่ดิน แต่ละวิธีมีขั้นตอน ข้อดีและข้อจำกัดแตกต่างกัน ในการอัดฟางโดยใช้รถอัดฟางก่อนทำการไถกลบ ซึ่งต้องเป็นแปลงที่แห้งไม่มีน้ำขังเพื่อรถอัดฟางจะสามารถลงไปอัดฟางได้ โดยฟางข้าวที่อัดได้สามารถจำหน่ายได้ก้อนละ 25-35 บาท แต่ละก้อนหนัก 20-25 kg เพื่อเป็นอาหารสัตว์ ตกแต่งสถานที่ หรือนำไปผลิตพลังงานทดแทน (สำนักพัฒนาเทคโนโลยีเพื่ออุตสาหกรรมมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2559) หลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตและมีการนำฟางข้าวออกจากพื้นที่ด้วยการอัดก้อนฟาง หรือนำสัตว์เลี้ยงเข้ามา กินจะทำให้เคลื่อนย้ายฟางข้าวออกจากพื้นที่อยู่ในช่วง 50-100% โดยเฉลี่ยประมาณ 75% มวลชีวภาพของฟางข้าว (Hung et al. 2020) ฟางข้าวที่เหลืออยู่สามารถย่อยสลายได้ในดิน การไม่เผาฟางข้าวในแปลงแล้วมีการไถกลบกลบสู่ดินช่วยให้เพิ่มปริมาณอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดและธาตุอาหารที่อยู่ในฟางข้าว เช่น โปแทสเซียม ฟอสฟอรัส และไนโตรเจน ได้กลับลงสู่ดิน (Chivenge et al. 2020) อย่างไรก็ตาม ฟางข้าวมีปริมาณธาตุอาหารและอัตราการย่อยสลายต่ำ จึงอาจไม่สามารถทดแทนการใส่ปุ๋ยเคมีตามปริมาณธาตุอาหารที่พืชต้องการได้ (Thuy et al. 2008) นอกจากนี้การหมักฟางข้าวในแปลงน้ำขังแบบเปิดเป็นการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (CH<sub>4</sub>) ประมาณ 10% ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในระบบการเกษตรทั้งหมด (Food and Agriculture Organization [FAO]. 2015) ซึ่งเป็นการปลดปล่อยคาร์บอนออกสู่ชั้นบรรยากาศ แต่อย่างไรก็ตามการใส่ฟางข้าวยังคงเหลือส่วนของคาร์บอนที่ย่อยสลายได้ยากสะสมอยู่ในดินในรูปของอินทรีย์คาร์บอน (Gummert et al. 2020) การไม่เผาฟางข้าวจึงเป็นสิ่งที่ดีต่อการเกษตรและสิ่งแวดล้อมมากกว่าการเผา

## 2.3 ผลการจัดการฟางข้าวต่อสมบัติดินและรูปของอินทรีย์คาร์บอน

การใส่ฟางข้าวมีแนวโน้มทำให้มีปริมาณธาตุอาหารในดิน ช่องว่างในดิน และการสะสมของอินทรีย์คาร์บอนเพิ่มขึ้น ซึ่งในดินนาที่มีสภาพอากาศมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนสูงกว่าในสภาพดินไร่ เนื่องจากจุลินทรีย์ที่ใช้อากาศมีความสามารถในการย่อยสลายอินทรีย์คาร์บอนได้สูงกว่า (Xie et al. 2007) จากการศึกษาของ Haque et al. (2015) พบว่า การใส่เศษฟางข้าวร่วมกับปุ๋ยเคมีในสภาพน้ำขังส่งผลให้ดินมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด อินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดในดิน และปริมาณ Dissolved Organic Carbon (DOC) เพิ่มมากขึ้น ขณะที่ดินที่เผาฟางข้าวมีแนวโน้มของปริมาณฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมสูงกว่าดินที่ไม่เผาฟางข้าว แต่อินทรีย์คาร์บอนมีแนวโน้มลดลง และความหนาแน่นของดินเพิ่มขึ้น (เครื่องมือสมัครการ, 2554) อย่างไรก็ตามแปลงที่เผาฟางข้าว และไม่เผาฟางข้าว พบว่า ผลผลิตไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (Maneevitak et al. 2019) แต่การจัดการฟางข้าวที่แตกต่างกันส่งผลต่อการปลดปล่อยก๊าซที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (ศุภธิดา อำทอง และปวีณนุช ปวงวงศ์คำ, 2560; Liu et al. 2015; Nguyen et al. 2020)

ศุภธิดา อำทอง และปวีณนุช ปวงวงศ์คำ (2560) ศึกษารูปและการสะสมของอินทรีย์คาร์บอนในดินนา ในระบบการปลูกข้าวเคมีที่มีการเผาเศษฟางข้าวก่อนการเก็บเกี่ยว และระบบปลูกข้าวอินทรีย์ที่มีการนำเศษฟางข้าวออกจากแปลง ในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ พบว่า ดินที่มีการนำเศษฟางข้าวออกจากแปลงมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด (Total Organic Carbon) สูงกว่าแปลงที่มีการเผา ขณะที่แปลงที่ไม่นำเศษฟางข้าวออกและเผาหลังการเก็บเกี่ยวมีการสะสมรูปของอินทรีย์คาร์บอนที่ย่อยสลายง่าย (Course Particulate Organic Matter, Fine Particulate Organic Matter และ Permanganate Oxidizable Carbon) สูงกว่า

Wang et al. (2015) ศึกษาผลจากการไถกลบฟางข้าวหลังการเก็บเกี่ยวที่ระดับความลึก 10 cm ทั้งในข้าวนาปีและข้าวนาปรัง ที่อัตรา 528 kg/rai ในดินนาต่อรูปของอินทรีย์คาร์บอนที่ย่อยสลายง่ายในดิน สภาพอากาศกึ่งเขตร้อนในประเทศจีน พบว่า การไถกลบฟางข้าวหลังการเก็บเกี่ยว ทำให้เพิ่มอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด และอินทรีย์คาร์บอนในรูปที่ย่อยสลายง่ายทั้งสามรูป ได้แก่ Dissolved Organic Carbon (DOC) Microbial Biomass Carbon (MBC) และ Light Fraction Organic Carbon (LFOC) โดยเพิ่มขึ้นประมาณ 7.1-128.6% เมื่อเปรียบเทียบกับดินที่ไม่ใส่เศษซากพืช

Singh et al. (2005) ศึกษาผลการจัดการเศษฟางข้าว ได้แก่ การไถกลบฟางข้าว การเผาเศษฟางข้าว และการนำออกจากแปลงหลังการเก็บเกี่ยว ในประเทศอินเดีย พบว่า ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในแปลงที่มีการไถกลบฟางข้าวหลังการเก็บเกี่ยวสูงกว่าแปลงที่มีการเผาเศษฟางข้าวหลังการเก็บเกี่ยว และแปลงที่นำเศษฟางข้าวออกจากแปลง ตามลำดับ และมีความหนาแน่นรวมของดินน้อยกว่า

Ghimire et al. (2015) ศึกษาการจัดการเศษซากพืชร่วมกับการจัดการไนโตรเจนที่ส่งผลต่อการบอนในระบบการปลูกข้าวสาลีที่มีการพักดินในฤดูร้อนกับพื้นที่ทุ่งหญ้าธรรมชาติ พบว่าในการเผาเศษซากพืชในฤดูใบไม้ร่วงและไม่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน มีปริมาณการสะสมคาร์บอนลดลง 50% เมื่อเทียบกับพื้นที่ทุ่งหญ้าที่ไม่มีการรบกวน

Zhao et al. (2012) ศึกษาการเผาเศษซากพืชในพื้นที่ชุ่มน้ำทางตะวันออกเฉียงเหนือของจีน โดยทำการศึกษาในปี 2007-2009 เป็นระยะเวลา 2 ปี พบว่า ในการเผาเศษซากพืชส่งผลให้มี SOC DOC และ MBC หลังฤดูปลูกแรกสูงขึ้นกว่าการไม่เผาเศษซากพืช แต่การเพิ่มขึ้นของ DOC และ MBC ในฤดูปลูกที่สอง พบว่า DOC และ MBC ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีระดับนัยสำคัญทางสถิติกับการไม่เผาเศษซากพืช

Luca et al. (2018) ศึกษาผลจากการเปลี่ยนการเก็บอ้อยแบบเผาเป็นแบบการเก็บอ้อยแบบสดต่อการสะสมอินทรีย์คาร์บอนในดิน และความอุดมสมบูรณ์ของดินในประเทศบราซิล เป็นระยะเวลา 4 และ 12 ปี พบว่า การเปลี่ยนจากการเผาใบอ้อยเป็นไม่เผาใบอ้อยหลังการเก็บเกี่ยวมีแนวโน้มการกักเก็บคาร์บอนในดินเพิ่มขึ้นเฉลี่ยประมาณ 17.5% และโดยเฉพาะที่ระดับความลึก 0-5 cm

จะเห็นได้ว่าการเผาและไม่เผาเศษซากพืชส่งผลต่อปริมาณรูปของอินทรีย์คาร์บอนแตกต่างกันตามการจัดการสมบัติดิน และสภาพอากาศ

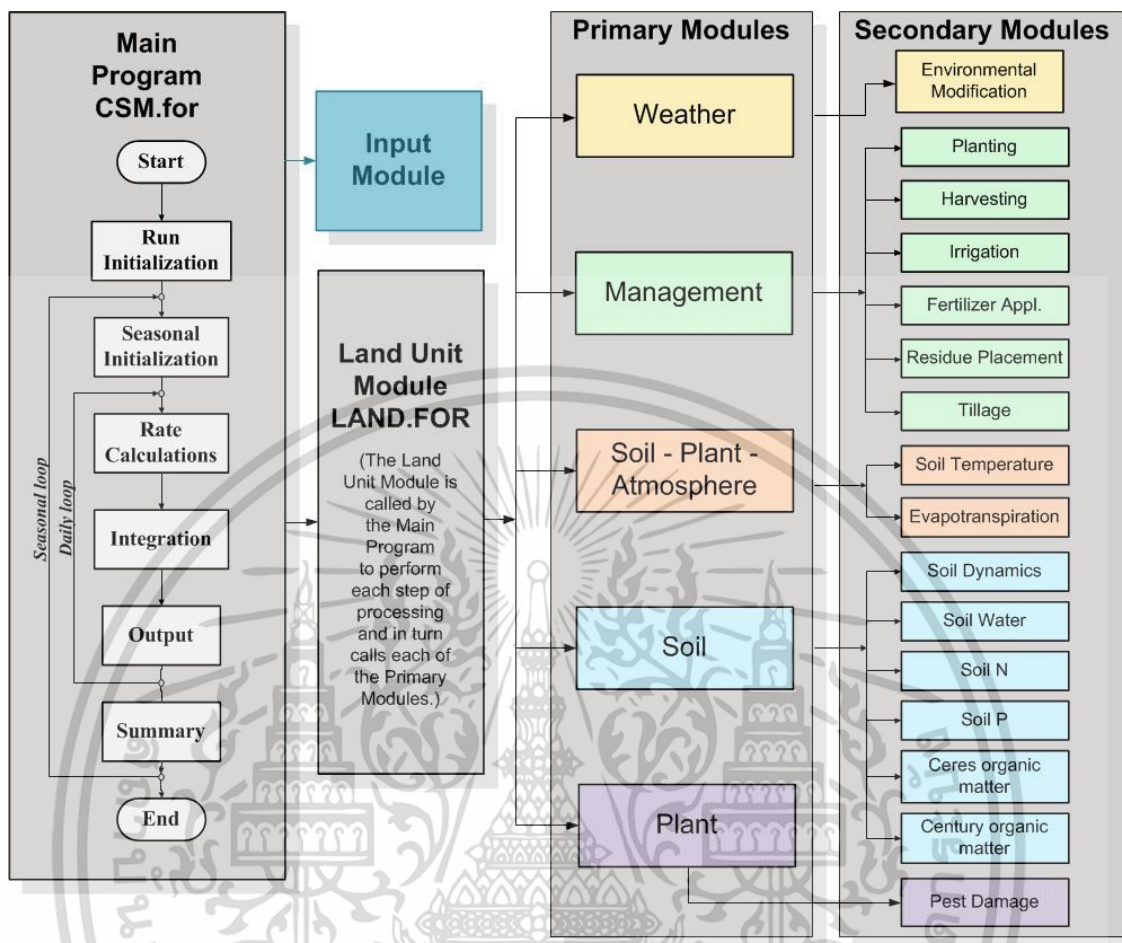
## 2.4 โปรแกรมระบบสนับสนุนการตัดสินใจเพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีทางการเกษตร (Decision Support System for Agrotechnology Transfer : DSSAT)

โปรแกรมระบบสนับสนุนการตัดสินใจเพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีทางการเกษตร (Decision Support System for Agrotechnology Transfer : DSSAT) เป็นแบบจำลองระบบการปลูกพืช (Cropping System Model : CSM) ที่ประกอบด้วยโครงสร้างของโมดูล (Module) ที่ทำงานต่างกันในสภาพแวดล้อมในการปลูกพืช สามารถใช้ในการทำนายการเจริญเติบโตของพืชทำให้คาดการณ์ผลผลิต รวมถึงปริมาณไนโตรเจน และรูปของคาร์บอนในดินได้ โดยใช้ข้อมูลดิน ภูมิอากาศ ข้อมูลพืช และระบบการจัดการ จึงเป็นแบบจำลองที่มีการใช้งานทั่วโลก (Jones et al. 2003) และได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องจนถึงปัจจุบัน DSSAT Version 4.8 เป็น version ล่าสุดครอบคลุมการทำนายพืชมากกว่า 40 ชนิด (Hoogenboom et al. 2021) ในแบบจำลองนี้ประกอบด้วยโครงสร้างการทำงานของโมดูลชั้นที่ 1 (Primary Module) แบ่งเป็น 5 ส่วน ได้แก่ 1) การจัดการ (Management Module) 2) ดิน (Soil Module) 3) ภูมิอากาศ (Weather Module) 4) ดิน-พืช-ภูมิอากาศ (Soil-Plant-Atmosphere

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Module) และ 5) พืช (Plant Module) (Jones et al. 2003; Kumsueb and Jintrawet. 2019) แสดงโครงสร้างของแบบจำลองดังภาพที่ 2.1

ในแต่ละส่วนโมดูลชั้นที่ 1 จะประกอบด้วยการทำงานของโมดูลชั้นที่ 2 (Secondary Modules) จะแบ่งย่อยเป็นโมดูลเพื่อใช้ในการทำงานของโมเดลระบบการปลูกพืช (ภาพที่ 2.1) เช่น การทำงานของโมดูลดิน (โมดูลชั้นที่ 1) ในระบบการปลูกพืชของโปรแกรม DSSAT จะแบ่งเป็นโมดูลชั้นที่ 2 ได้แก่ Soil Dynamics, Soil Water, Soil N, Soil P, Ceres Organic Matter และ Century Organic Matter จะมีการทำงานที่แตกต่างกันตามหัวข้อของโมดูล อย่างไรก็ตามการทำงานในส่วนของอินทรีย์วัตถุในดินของโปรแกรม DSSAT ได้บรรจุโมดูล CERES Organic Matter และ CENTURY Organic Matter (CENTURY) ทั้งสองโมดูลสามารถทำนายอินทรีย์คาร์บอน แต่ CENTURY สามารถทำนายรูปของอินทรีย์คาร์บอนและไนโตรเจนได้ โดยในการทำงานจะสามารถเลือกโมดูลที่ต้องการที่ขึ้นอยู่กับผลของแบบจำลอง (Output) ที่ต้องการ ชนิดของพืช หรือข้อจำกัดที่ต่างกัน โดยการทำงานทุกโมดูลในการสร้างแบบจำลองการเจริญเติบโตของพืชจะควบคุมโดยโปรแกรม DSSAT ที่มีความจำเพาะในแต่ละพื้นที่ที่มีการใช้ข้อมูลดิน ภูมิอากาศ ข้อมูลพืช และระบบการจัดการที่แตกต่างกัน



ภาพที่ 2.1 โครงสร้างของแบบจำลอง DSSAT Version 4.8 (Hoogenboom et al. 2021)

การทำงานโดยใช้แบบจำลอง DSSAT จำเป็นต้องมีข้อมูลตัวป้อน (Input Data) 4 ไฟล์ ได้แก่ ไฟล์ข้อมูลดิน ไฟล์ข้อมูลภูมิอากาศ ไฟล์ข้อมูลพืช และไฟล์ข้อมูลการจัดการ จากแปลงที่ต้องการทำนาย เพื่อจำลองการปลูกพืชในแบบจำลอง DSSAT และให้ได้ผลการทำนาย (Output Data) ของคาร์บอนในดินของระบบปลูกข้าว (อรรถชัย จินตะเวช และเทวินทร์ แก้วเมืองมูล, 2559) โดยมีการจำลองระบบการเพาะปลูกด้วยโมดูลพืช CERES-Rice ภายใต้การจำลองพื้นฐานของแบบจำลองใน Cropping System Model (CSM) สามารถจำลองการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช รวมทั้งการตอบสนองต่อสภาพภูมิอากาศ พันธุกรรมพืช สภาพแวดล้อม และการจัดการระบบการปลูกพืชที่แตกต่างกัน สามารถนำไปใช้ได้ในงานวิจัยหลายด้าน (Hoogenboom et al. 2021) เช่น ระบบชลประทาน (Ahmad et al. 2013) ธาตุอาหารในดินและพืช (Ahmad et al. 2012; Zhang et al. 2018) และการตอบสนองต่อสภาพ

อากาศ (Phakamas et al. 2013) โดยแบบจำลองใช้ข้อมูลตัวป้อน ได้แก่ ข้อมูลดิน ข้อมูลภูมิอากาศ ข้อมูลการจัดการ และข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของพืช ดังนี้

1) ไฟล์ข้อมูลดิน (xxxx.SOL) เป็นข้อมูลค่าวิเคราะห์สมบัติดินในชั้นหน้าตัดดิน ที่ได้จากการวิเคราะห์จากห้องปฏิบัติการตามพื้นที่ปลูกนั้นๆ เช่น ค่า pH เนื้อดิน (ร้อยละของอนุภาคดินเหนียว อนุภาคทรายแป้ง) ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกของดิน (Cation Exchange Capacity: CEC) คาร์บอนและไนโตรเจนทั้งหมดในดิน และความหนาแน่นรวมของดิน

2) ไฟล์ข้อมูลภูมิอากาศ (xxxxxxx.WTH) เป็นข้อมูลภูมิอากาศแบบรายวันตลอดทั้งปี ได้แก่ ข้อมูลปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุด และข้อมูลพลังงานดวงอาทิตย์ นำมาจัดทำไฟล์อากาศ (.WTH) 1 ไฟล์ต่อ 1 ปี สำหรับนำเข้าในแบบจำลอง DSSAT ตามจำนวนปี และสถานที่ที่ใช้ในการศึกษา

3) ไฟล์ข้อมูลพืช (xxxxxxx.CUL) เป็นค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของพืช (Genetic Coefficient: GC) ได้จากการเก็บข้อมูลตามลักษณะประจำพันธุกรรมของข้าวเพื่อประเมินค่าการเจริญเติบโตและพัฒนาการของพืช (เบญจมาศ รสโสภา, 2557)

4) ไฟล์ข้อมูลการจัดการ เป็นไฟล์การจัดการแบบจำลอง โดยแต่ละแปลงจะใช้ไฟล์การจัดการแปลงละ 1 ไฟล์ เช่น การจำลองการปลูกพืช 1 รอบ ใช้การจัดการแบบ Experiment (xxxxxxx.RIX) และการจำลองแบบการปลูกพืชหมุนเวียน ใช้การจัดการแบบ Sequence (xxxxxxx.SOX) เป็นต้น โดยแบ่งการจัดการออกเป็น 4 ส่วน คือ 1) สภาพแวดล้อม (Environment) เป็นการกำหนดสภาพแวดล้อมภายในแปลง เช่น การกำหนดข้อมูลดิน อากาศ และค่าวิเคราะห์ดิน (Soil Analysis) 2) การจัดการ (Management) เป็นการกำหนดการจัดการพืชภายในแปลง เช่น พันธุ์พืช วันปลูกพืช การให้ปุ๋ย การไถพรวน และการเก็บเกี่ยว เป็นต้น 3) ทริตเมนต์ (Treatment) เป็นการกำหนดสภาพแวดล้อม การจัดการ และตัวเลือกการทำนาย (Simulation Option) ให้เหมือนหรือแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับตัวแปรของทริตเมนต์ที่ต้องการศึกษา และ 4) ตัวเลือกการทำนาย (Simulation Option) เป็นการกำหนดให้แบบจำลองทำนายตามที่ต้องการ เช่น วัน/เดือน/ปี ที่เริ่มทำนาย (Simulation Start Date) การกำหนดโมดูลพืช (Crop Module) การกำหนดโมดูลในการทำนายอินทรีย์วัตถุ (Method of Soil Organic Matter) และความถี่ของข้อมูลที่ได้จากแบบจำลอง (Frequency of Output) เป็นต้น

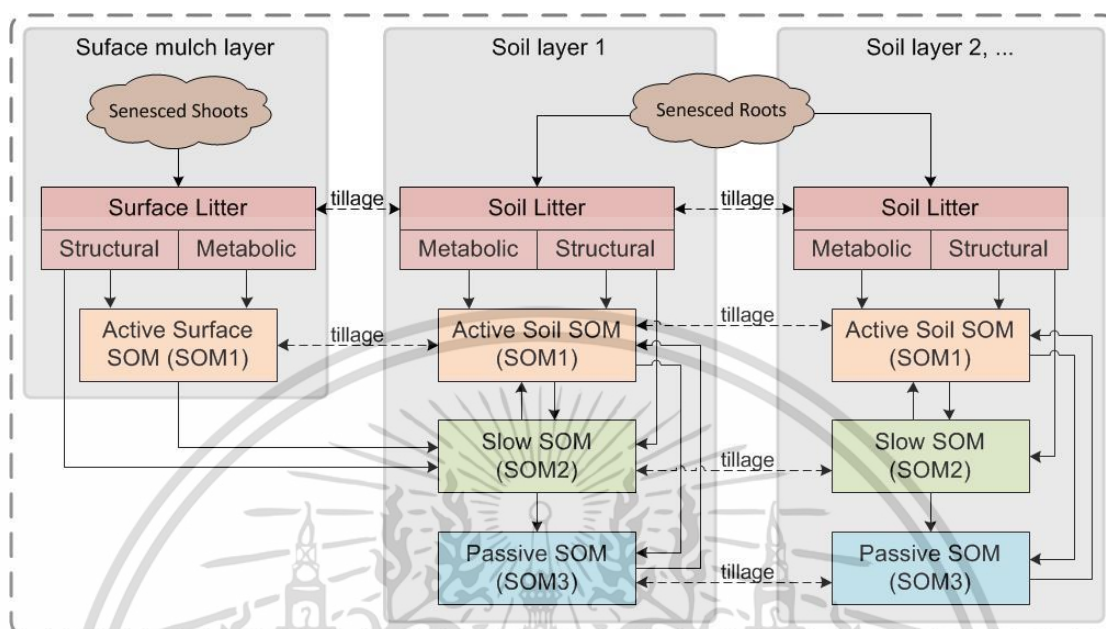
CENTURY เป็นโมดูลขั้นที่ 2 (Secondary Modules) สามารถทำนายปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน การหมุนเวียนของอินทรีย์คาร์บอน ซึ่งมีการใช้กับพืชหลายชนิดทั่วโลก (Hoogenboom et al. 2021) โมดูล CENTURY ได้รับการพัฒนาและทำงานร่วมกับ DSSAT โดย Gijssman et al. (2002) และ Porter et al. (2010a) CENTURY ทำงานร่วมกับ DSSAT-CSM ในส่วนของการทำนายอินทรีย์วัตถุ โดยโครงสร้างหลักของแบบจำลอง DSSAT-CENTURY สามารถทำนายอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดและรูปของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อินทรีย์คาร์บอนในรูปอินทรีย์วัตถุที่สลายตัวได้ง่ายและสลายตัวได้ยาก โดยแบ่งตามประเภทอินทรีย์วัตถุ ได้แก่ อินทรีย์วัตถุแบบสด (Fresh Organic Matter) และอินทรีย์วัตถุในดิน (Soil Organic Matter: SOM)

อินทรีย์วัตถุแบบสด (Surface Litter or Fresh Organic Matter) เป็นเศษซากพืชใหม่ที่เพิ่งร่วงหล่นสู่ดิน แบ่งเป็น 2 แหล่ง ได้แก่ 1) ส่วนที่ได้จากกระบวนการเมแทบอลิซึม (Metabolic Litter) เป็นส่วนที่ย่อยสลายได้ง่าย เช่น โปรตีน และน้ำตาล เป็นต้น และ 2) ส่วนที่เป็นโครงสร้าง (Structural Litter) คือ ส่วนที่ย่อยสลายได้ยากจากวัสดุสด โดยทั้งสองส่วนจัดเป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้างที่ยังไม่ย่อยสลาย (Porter et al. 2010a) (ภาพที่ 4.2)

อินทรีย์วัตถุในดิน เป็นส่วนเศษซากพืชที่ผสมลงสู่ดิน และผ่านการย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ CENTURY สามารถทำนายอินทรีย์วัตถุในดิน (Soil Organic Matter: SOM) 3 แหล่ง ได้แก่ 1) SOM1 คือจุลินทรีย์หรือเศษซากพืชที่ย่อยสลายได้ง่าย (Labile Pool หรือ Active Organic Matter) ซึ่งจะมีสัดส่วนน้อยในดิน (Sahoo et al. 2019) เช่น มวลชีวภาพจุลินทรีย์ (Koo et al. 2007) 2) SOM2 คือ วัสดุที่ย่อยสลายได้ยากปานกลาง เช่น สารอินทรีย์จำพวกลิกนิน ฟนังเซลล์ เป็นต้น ได้จากการย่อยสลาย SOM1 และส่วนที่เสถียรแล้วจากจุลินทรีย์ เป็นส่วนที่ย่อยสลายได้ช้าปานกลาง (Intermediate หรือ Slow Organic Matter) (Koo et al. 2007; Fallon and Smith, 2000; Porter et al. 2010a) 3) SOM3 คือวัสดุที่ย่อยสลายได้ช้ามาก (Passive Organic Matter) และส่วนที่เสถียรแล้วจากจุลินทรีย์ (ภาพที่ 2.2) SOM3 มีความสำคัญในการเป็นค่าเริ่มต้นของการจำลองอินทรีย์คาร์บอนในแบบจำลอง DSSAT-CENTURY จัดส่วนของคาร์บอนที่ย่อยสลายได้ยากและมีความเสถียรซึ่งตรงกับ Heavy Fraction จากการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ



ภาพที่ 2.2 แหล่งอินทรีย์คาร์บอนในดินของแบบจำลอง CENTURY (Gijsman et al. 2002)

การศึกษาโดยใช้แบบจำลองเป็นการคาดคะเนผลจากค่าเริ่มต้นซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากการทดลอง หรือค่าวิเคราะห์จากห้องปฏิบัติการ จัดเป็นข้อมูลตัวป้อน (Input Data) ในการจำลองคาร์บอนในดินโดยใช้แบบจำลอง DSSAT-CENTURY ที่ส่งผลต่อความแม่นยำของแบบจำลอง การใส่ค่าอินทรีย์คาร์บอน (Organic Carbon) และอินทรีย์คาร์บอนที่ย่อยสลายยาก (Stable Organic C หรือ SOM3) ในค่าวิเคราะห์ดินเริ่มต้น (Soil Analysis) ที่ได้จากการวิเคราะห์ดินของพื้นที่โดยตรง จะทำให้ค่าที่ได้จากแบบจำลองมีความแม่นยำมากขึ้น อย่างไรก็ตามถ้าไม่ใส่ค่าวิเคราะห์ดินเริ่มต้นดังกล่าว แบบจำลองจะคำนวณให้จากปริมาณอนุภาคดินเหนียวและทรายแป้ง ซึ่งมีความแม่นยำต่ำ ค่าวิเคราะห์ดินเริ่มต้นจึงมีความสำคัญอย่างมาก (Porter et al. 2010b)

ค่าที่ได้จากแบบจำลอง (Output Data) อาจมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับพื้นที่ศึกษาและการจัดการ ดังนั้นการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลอง (Model Validation) จึงเป็นเรื่องจำเป็น ถ้าค่าที่ได้จากแบบจำลอง (Predicted Value) และค่าที่จริงที่ได้จากห้องปฏิบัติการ (Observed Value) มีความใกล้เคียงกันแสดงถึงแบบจำลองมีความน่าเชื่อถือ โดยการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง ทำได้โดยใช้ค่าทดสอบสถิติ ดังต่อไปนี้ Root Mean Square Error (RMSE) และ normalized Root Mean Square Error (RMSEn), Index of Agreement และ Modelling Efficiency (EF) (Li et al. 2015; Salmerón et al. 2014; Saldaña-Villota and Cotes-Torres. 2021)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Basso et al. (2011) ใช้แบบจำลอง DSSAT-CENTURY ในการทำนายแหล่งของอินทรีย์คาร์บอนทั้ง 3 รูป ได้แก่ SOM1, SOM2 และ SOM3 ใน 5 ระบบการเกษตร สำหรับการปรับค่าแบบจำลอง และทำการทดสอบประสิทธิภาพแบบจำลองที่ William Keith Kellogg (W.K.) Kellogg Biological Station (KBS) Long-Term Ecological Research (LTER) สหรัฐอเมริกา พบว่า แบบจำลองให้ผลรูปของอินทรีย์คาร์บอนได้ใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้จริงในระดับดีมาก

Musinguzi et al. (2014) ทำนายอินทรีย์คาร์บอนโดยใช้แบบจำลอง DSSAT-CENTURY ในดินภายใต้ระบบการเกษตรแบบไม่เข้มข้น (Low-Input) ของข้าวโพด เพื่อทำนายผลผลิตและอินทรีย์คาร์บอนในอีก 50 ปีข้างหน้า ของประเทศอูกานดา พบว่า ค่าที่ทำนายได้และค่าที่วัดได้จริงของอินทรีย์คาร์บอนอยู่ในระดับดี แสดงให้เห็นว่าแบบจำลอง DSSAT-CENTURY เป็นเครื่องมือที่มีศักยภาพในการทำนายอินทรีย์คาร์บอนในระบบการเกษตรไม่เข้มข้น

Nicoloso et al. (2020) ศึกษาการสะสมคาร์บอนในดิน โดยใช้แบบจำลอง DSSAT-CENTURY ในพื้นที่ที่มีการไถพรวน แหล่งของไนโตรเจนแตกต่างกัน และการปลูกพืชหมุนเวียนต่างชนิดกัน ในพื้นที่ Cruz Alta ปี 1985 และ Manhattan ปี 1990 ทำการปรับค่าของแบบจำลองจนได้ใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้จริง และนำมาทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลอง แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองสามารถใช้ทำนายการหมุนเวียนของคาร์บอนในตอนกลางตะวันตกของสหรัฐอเมริกา และตอนใต้ของบราซิลได้

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินงานวิจัย

การศึกษาแบ่งเป็น 2 การทดลองแต่ละการทดลองมีขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานดังต่อไปนี้

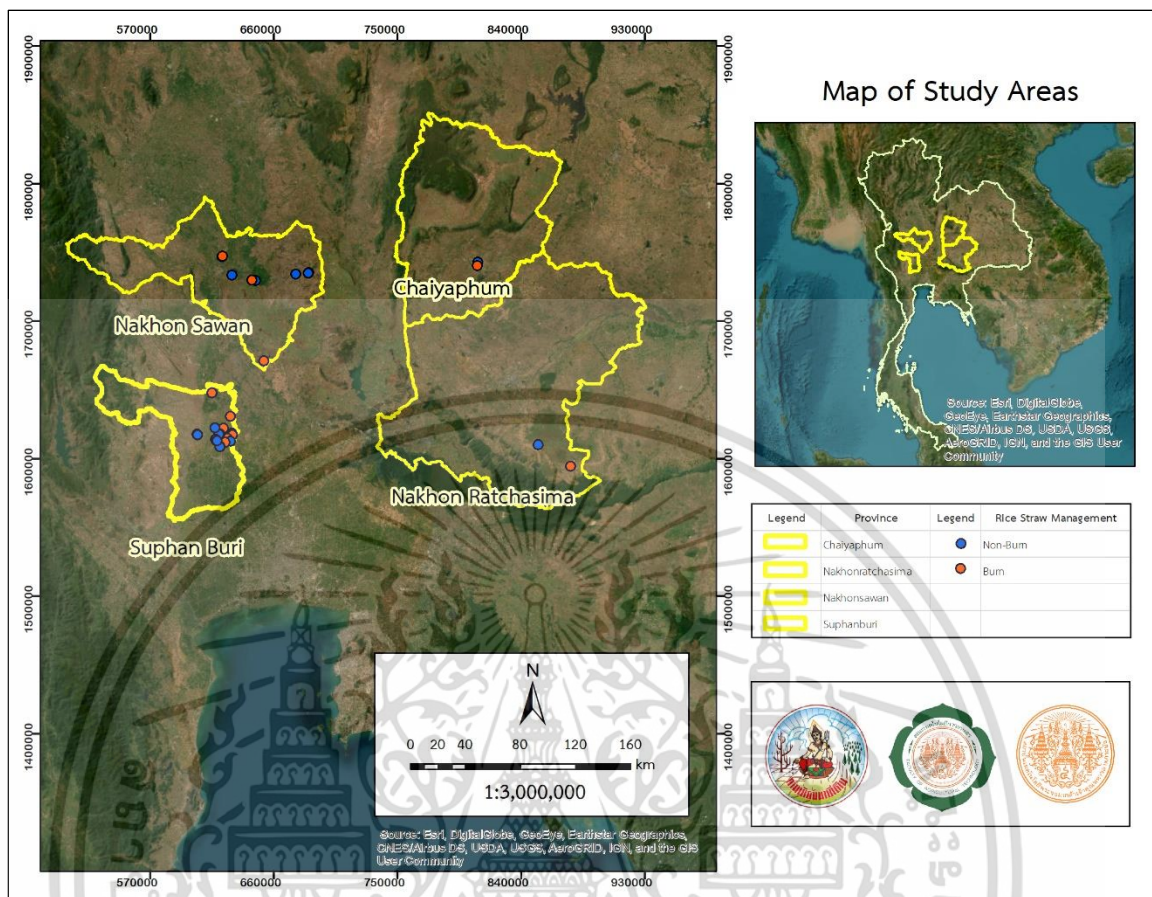
**การทดลองที่ 1** การศึกษาอิทธิพลของการจัดการฟางข้าวต่อการกักเก็บคาร์บอนและรูปของอินทรีย์คาร์บอนในดินที่ปลูกข้าว

**การทดลองที่ 2** การทำนายอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดในดินและรูปของอินทรีย์คาร์บอนที่ย่อยสลายยาก (Heavy Fraction : HF) โดยใช้แบบจำลอง DSSAT-CENTURY

#### 3.1 การทดลองที่ 1 การศึกษาอิทธิพลของการจัดการฟางข้าวต่อการกักเก็บคาร์บอนและรูปของอินทรีย์คาร์บอนในดินที่ปลูกข้าว

##### 3.1.1 พื้นที่ศึกษา และการเก็บข้อมูล

พื้นที่ศึกษาประกอบด้วยแปลงปลูกข้าวของพื้นที่จังหวัดนครราชสีมา ชัยภูมิ นครสวรรค์ และสุพรรณบุรี จำนวน 39 plots โดยเลือกแปลงข้าวที่มีเนื้อดินอยู่ในกลุ่มดินเนื้อละเอียดและปานกลาง โดยตรวจสอบชุดดินโดยใช้ระบบสารสนเทศเชิงพื้นที่เพื่อวางแผนการใช้ที่ดินเกษตรกรรมรายแปลง ข้อมูลชุดดิน (Soil Series) มาตรฐาน 1 : 25,000 (Land development department [LDD]. 2021) แต่ละชุดดินพยายามเลือกแปลงข้าวที่มีการจัดการฟางข้าว 2 รูปแบบ ได้แก่ เผาและไม่เผาฟางข้าวโดยทั้งสองแปลงในแต่ละชุดดินมีระยะห่างกันไม่เกิน 5 km วัดระยะห่างโดยใช้โปรแกรม Google Earth Pro และเก็บข้อมูลการจัดการแปลงโดยใช้แบบสอบถาม ได้แก่ พิกัดทางภูมิศาสตร์ การจัดการ ประวัติการใช้พื้นที่ และการจัดการฟางข้าว โดยจุดเก็บตัวอย่างดินแสดงดังภาพที่ 3.1 และตารางที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 แผนที่จุดเก็บตัวอย่างดินในจังหวัดจังหวัดนครราชสีมา ชัยภูมิ นครสวรรค์ และสุพรรณบุรี จำนวน 39 plots

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 พิกัดตำแหน่ง ชุดดิน เนื้อดิน จำนวนปีที่มีการเผาฟางข้าวอย่างต่อเนื่อง และปีที่เก็บตัวอย่างจำนวน 39 แปลง

No	Plot code	Latitude	Longitude	Province	Soil Series	Topsoil Texture	Rice Straw Management	Year Management	Soil Collection Year
1	NSSA	15.10922	100.42157	Nakhonsawan	Lop Buri (Lb-gm)	Clay	Non-Burn	>10	2021
2	NSSB	15.11029	100.42140	Nakhonsawan	Lop Buri (Lb-gm)	Clay	Burn	>5	2021
3	NSSC	15.79749	100.14257	Nakhonsawan	Phitsanulok (Psl)	Silty Clay	Non-Burn	>5	2021
4	NSSD	15.80001	100.14649	Nakhonsawan	Phitsanulok (Psl)	Silty Clay	Burn	>10	2021
5	SPPA	14.74679	100.19365	Suphanburi	Nakhon Pathom (Np)	Clay	Non-Burn	1	2021
6	SPPB	14.74822	100.19586	Suphanburi	Nakhon Pathom (Np)	Silty Clay	Burn	>10	2021
7	SPPC	14.66892	100.14735	Suphanburi	Chainat (Cn)	Silty Clay	Burn	>20	2021
8	SPPD	14.66851	100.14668	Suphanburi	Chainat (Cn)	Silty Clay	Burn	>20	2021
9	SPPE	14.63667	100.20513	Suphanburi	Nakhon Pathom (Np)	Clay Loam	Non-Burn	2	2021
10	SPPF	14.62691	100.20746	Suphanburi	Nakhon Pathom (Np)	Clay Loam	Burn	>10	2021
11	SPPG	14.60286	100.17190	Suphanburi	Chainat (Cn)	Silty Clay Loam	Burn	>35	2021
12	SPPH	14.58401	100.19320	Suphanburi	Chainat (Cn)	Silty Clay	Non-Burn	3	2021
13	SPPI	14.63347	100.12265	Suphanburi	Chainat (Cn)	Silty Clay Loam	Burn	1	2021
14	SPPJ	14.63137	100.11725	Suphanburi	Chainat (Cn)	Clay	Non-Burn	5	2021
15	SPPK	14.57442	100.15161	Suphanburi	Chainat (Cn)	Silty Clay Loam	Burn	10	2021

ตารางที่ 3.1 พิกัดตำแหน่ง ชุดดิน เนื้อดิน จำนวนปีที่มีจัดการเผาฟางข้าวอย่างต่อเนื่อง และปีที่เก็บตัวอย่างจำนวน 39 แปลง (ต่อ)

No	Plot code	Latitude	Longitude	Province	Soil Series	Topsoil Texture	Rice Straw Management	Year Management	Soil Collection Year
16	SPPL	14.57686	100.15628	Suphanburi	Chainat (Cn)	Silty Clay	Burn	>10	2021
17	SPPM	14.59845	100.09157	Suphanburi	Chainat (Cn)	Loam	Burn	>10	2021
18	SPPN	14.59637	100.09107	Suphanburi	Chainat (Cn)	Clay Loam	Non-Burn	10	2021
19	SPPO	14.67266	100.08937	Suphanburi	Chainat (Cn)	Clay	Burn	>10	2021
20	SPPP	14.67143	100.09039	Suphanburi	Chainat (Cn)	Clay	Non-Burn	1	2021
21	SPPQ	14.55138	100.12084	Suphanburi	Sing Buri (Sin)	Loam	Burn	>10	2021
22	SPPR	14.54756	100.12273	Suphanburi	Chainat (Cn)	Silty Clay Loam	Non-Burn	3	2021
23	SPPS	14.58801	100.10052	Suphanburi	Chainat (Cn)	Clay Loam	Non-Burn	20	2021
24	SPPT	14.58672	100.10291	Suphanburi	Chainat (Cn)	Clay Loam	Non-Burn	10	2021
25	NSAA	15.68094	100.64248	Nakhonsawan	Chalianglab (Cl)	Loam	Non-Burn	>10	2020
26	NSBB	15.68956	100.72964	Nakhonsawan	Chalianglab (Cl)	Sandy Loam	Non-Burn	1	2020
27	NSCC	15.68506	100.72878	Nakhonsawan	Chondaen (Cdn)	Sandy Loam	Non-Burn	1	2020
28	NSDD	15.63904	100.37011	Nakhonsawan	Chum Saeng (Cs)	Clay	Non-Burn	1	2020
29	NSEE	15.64279	100.34634	Nakhonsawan	Chum Saeng (Cs)	Clay	Burn	>10	2020
30	NSFF	15.67635	100.20997	Nakhonsawan	Nakhon Sawan (Ns-md)	Clay Loam	Non-Burn	>10	2020

ตารางที่ 3.1 พิกัดตำแหน่ง ชุดดิน เนื้อดิน จำนวนปีที่มีจัดการเผาฟางข้าวอย่างต่อเนื่อง และปีที่เก็บตัวอย่างจำนวน 39 แปลง (ต่อ)

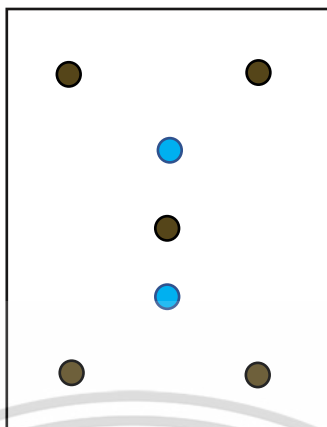
No	Plot code	Latitude	Longitude	Province	Soil Series	Topsoil Texture	Rice Straw Management	Year Management	Soil Collection Year
31	CPAA	15.74593	101.87952	Chaiyaphum	Thawatburi (Th)	Clay loam	Non-Burn	10	2019
32	CPBB	15.72193	101.87493	Chaiyaphum	Nong Kung (Nkg)	Silty clay	Burn	5	2019
33	NRAA	14.39657	102.48721	Nakhonratchasima	Nong Kung (Nkg-fsi)	Sandy clay loam	Non-Burn	10	2019
34	NRBB	14.39577	102.48722	Nakhonratchasima	Nong Kung (Nkg-fsi)	Loam	Burn	10	2019
35	NRCC	14.54171	102.27041	Nakhonratchasima	Watthana (Wa)	Clay	Non-Burn	2	2019
36	NRDD	14.54189	102.26987	Nakhonratchasima	Watthana (Wa)	Clay	Non-Burn	10	2019
37	SPAA	14.63082	99.96860	Suphanburi	Doem Bang Series (Db)	Sandy loam	Burn	10	2019
38	SPBB	14.62884	99.96963	Suphanburi	Doem Bang Series (Db)	Sandy clay loam	Non-Burn	10	2019
39	SPCC	14.90100	100.07137	Suphanburi	Chainat (Cn)	Silty clay	Burn	10	2020

### 3.1.2 วิธีการเก็บตัวอย่างดิน

เก็บตัวอย่างดินเพื่อศึกษาปริมาณคาร์บอนและสมบัติดินเบื้องต้นโดยแต่ละแปลงเก็บตัวอย่างดิน 2 ประเภท ได้แก่ เก็บแบบรบกวนตัวอย่างดิน (Disturbed Soil) และไม่รบกวนตัวอย่างดิน (Undisturbed Soil) ที่ 2 ระดับความลึก ได้แก่ 0-15 และ 15-30 cm การเก็บแบบรบกวนตัวอย่างดิน เก็บจำนวน 5 จุดต่อ 1 plots โดยเก็บกระจายทั้งแปลง ที่ระยะห่างจากขอบแปลงประมาณ 2 m (ภาพที่ 4) แล้วนำตัวอย่างดินที่ระดับความลึกเดียวกันทั้ง 5 จุด มารวมกันเป็น 1 ตัวอย่างผสมและคลุกเคล้าให้เข้ากัน แล้วแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ

ส่วนที่ 1 น้ำหนักประมาณ 1 kg นำไปผึ่งให้แห้งในที่ร่ม เพื่อวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอน และไนโตรเจน ได้แก่ คาร์บอน (Total Carbon : TC) ไนโตรเจน (Total Nitrogen : TN) และกำมะถัน (Total Sulfur : TS) ทั้งหมดในดิน Particulate Organic Carbon (POC) Permanganate Oxidizable Carbon (KMnO<sub>4</sub>-C) Light Fraction (LF) และ Heavy Fraction (HF) และสมบัติเบื้องต้นของดิน ได้แก่ เนื้อดิน ความหนาแน่นรวมของดิน (Bulk Density : BD) ความเป็นกรดต่างของดิน (pH) ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity : EC) ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cation Exchange Capacity : CEC)

ส่วนที่ 2 น้ำหนักประมาณ 0.5 kg เก็บในภาชนะรักษาอุณหภูมิที่ 4 °C เพื่อใช้เป็นดินสดสำหรับวิเคราะห์รูปของคาร์บอนและไนโตรเจน ได้แก่ Dissolved Organic Carbon (DOC), Dissolved Organic Nitrogen (DON), Microbial Biomass Carbon (MBC) และ Microbial Biomass Nitrogen (MBN) และเก็บตัวอย่างดินแบบไม่รบกวนดิน โดยใช้กระบอกรูปทรงกรวย (Soil Core) ด้วยวิธี Core Sample ที่ 2 ระดับความลึก จำนวน 2 ซ้ำ เพื่อวิเคราะห์ความหนาแน่นรวมของดิน (ภาพที่ 3.2)



**ภาพที่ 3.2** การแบ่งจุดเก็บตัวอย่างดิน ● หมายถึง จุดเก็บตัวอย่างแบบรบกวนตัวอย่างดิน (Disturbed Soil) ● หมายถึง จุดเก็บตัวอย่างแบบไม่รบกวนตัวอย่างดิน (Undisturbed Soil)

### 3.1.3 การวิเคราะห์ตัวอย่างดิน

วิเคราะห์สมบัติดินเบื้องต้น ได้แก่ ความเป็นกรดต่างของดิน วิเคราะห์ด้วยเครื่อง pH meter ที่สกัดส่วนดินต่อน้ำ 1:1 วิเคราะห์การนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity : EC) ที่สกัดส่วนดินต่อน้ำ 1:5 (กรมพัฒนาที่ดิน, 2544) วิเคราะห์เนื้อดินโดยวิธี Pipette Method (Gee and Bauder, 1986) วิเคราะห์ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cation Exchange Capacity : CEC) สกัดด้วย 1N ammonium acetate (pH 7.0) (International Institute for Tropical Agriculture [IITA]. 1979) วิเคราะห์คาร์บอน (Total Carbon : TC) ไนโตรเจน (Total Nitrogen : TN) และกำมะถันทั้งหมด (Total Sulfur : TS) ในดินด้วยวิธี Dry Combustion โดยเครื่อง CNS analyzer (LECO Corporation. 2016) และวิเคราะห์รูปของคาร์บอนและไนโตรเจน ได้แก่ 1) มวลชีวภาพจุลินทรีย์คาร์บอนและไนโตรเจน (Microbial Biomass Carbon: MBC และ Microbial Biomass Nitrogen: MBN) (Vance et al. 1987) 2) Particulate organic carbon (POC) (Cambardella and Elliott. 1992) 3) Permanganate oxidizable carbon ( $\text{KMnO}_4\text{-C}$ ) (Blair et al. 1995) 4) Light fraction carbon (LF) และ heavy fraction carbon (HF) (Cambardella and Elliott. 1992) และ 5) Dissolved Organic Carbon (DOC) และ Dissolved Organic Nitrogen (DON) (Jones and Willett. 2006) โดยรายละเอียดวิธีการวิเคราะห์ ดังแสดงในผนวก ก.

### 3.1.4 วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์สถิติเชิงพรรณนาของสมบัติดินเบื้องต้นจากตัวอย่างดินทั้งหมด 39 plots ที่ 2 ระดับความลึก โดยใช้วิเคราะห์ข้อมูล 2 ประเภท คือ การวัดแนวโน้มสู่ศูนย์กลาง (Measure of Central Tendency) โดยใช้ค่าสถิติค่าเฉลี่ย (Mean) และค่ามัธยฐาน (Median : Med) และการวัดกระจายข้อมูล (Measure of dispersion หรือ Variability) โดยใช้ค่าสถิติส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation: SD) และค่าความเบ้ (Skewness) (ณัฐวิภา อ่อนละมัย, 2564; Nicholas. 2006) วิเคราะห์ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ

วิเคราะห์อิทธิพลของการเผาและไม่เผาฟางข้าว ต่อปริมาณอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด การกักเก็บคาร์บอน และรูปของอินทรีย์คาร์บอนในดินที่ 2 ระดับความลึก โดยวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (Analysis of variance : ANOVA) โดยใช้แผนการทดลองแบบ 2x2 แฟคทอเรียล ในแผนการทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ (RCBD) ทหาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

### 3.2 การทดลองที่ 2 การทำนายอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดในดินและรูปของอินทรีย์คาร์บอนที่ย่อยสลายยาก (Heavy Fraction : HF) โดยใช้แบบจำลอง DSSAT-CENTURY

การทำนายปริมาณคาร์บอนด้วยแบบจำลอง DSSAT-CENTURY ทำการศึกษาโดยแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน โดยในขั้นตอนที่ 1 คือ ศึกษาวิธีการประเมินข้อมูลตัวป้อน (Input Data) ที่สำคัญ คือ ค่าอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด (TC) และอินทรีย์คาร์บอนที่สลายตัวได้ยาก (HF) โดยเปรียบเทียบวิธีการประเมิน 2 วิธีการ คือ 1) ข้อมูลตัวป้อน TC และ HF จากค่าวิเคราะห์ตัวอย่างดินจากห้องปฏิบัติการ ใช้ตัวอย่างดินทั้งหมด 20 plots จากแปลงเผาฟางข้าว 10 plots สำหรับเป็นข้อมูลตัวป้อน และไม่เผาฟางข้าว 10 plots สำหรับทดสอบประสิทธิภาพแบบจำลอง และ 2) ใช้ข้อมูลตัวป้อน TC และ HF จากการสร้างสมการทำนาย ใช้ค่าวิเคราะห์ตัวอย่างดิน ใช้ตัวอย่างดินทั้งหมด 39 plots จากแปลงเผาฟางข้าว 18 plots ใช้สำหรับสร้างสมการทำนาย และไม่เผาฟางข้าว 21 plots ใช้สำหรับแทนค่าสมการทำนายและทดสอบประสิทธิภาพการจำลอง และขั้นตอนที่ 2 คือการจำลองและประเมินการกักเก็บปริมาณคาร์บอนจากการจัดการฟางข้าวหลังการเก็บเกี่ยวที่ต่างกันของพื้นที่จังหวัดสุพรรณบุรี คือ การเผาฟางข้าว ใส่ฟางข้าว 25% (แทนการอัดฟางข้าวและนำสัตว์มาเลี้ยง) และใส่ฟางข้าว 100%

### 3.2.1 ศึกษาวิธีการประเมินข้อมูลตัวป้อน (Input Data) ของการทำนายอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดและคาร์บอนที่ย่อยสลายตัวได้ยากด้วยแบบจำลอง DSSAT-CENTURY

ศึกษาวิธีการประเมินข้อมูลตัวป้อน (Input Data) คือ ค่าอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด (TC) และอินทรีย์คาร์บอนที่ย่อยสลายได้ยาก (SOM3 หรือ HF) เนื่องจากข้อมูลตัวป้อนทั้ง 2 ค่ามีความสำคัญต่อความแม่นยำของการทำนายด้วยแบบจำลอง และการวิเคราะห์ข้อมูลทั้ง 2 ในห้องปฏิบัติการสามารถทำได้ยาก ใช้เครื่องมือมีความเฉพาะ ค่าใช้จ่ายสูง และใช้เวลาในการวิเคราะห์ โดยเปรียบเทียบวิธีการประเมิน 2 วิธีการ คือ 1) ใช้ข้อมูลตัวป้อนจากค่าวิเคราะห์ตัวอย่างดินจากแปลงที่เผาฟางข้าว และ 2) สร้างสมการทำนายคาร์บอนทั้งหมดและรูปของคาร์บอนที่ย่อยสลายได้ยากจากสมบัติดินของแปลงที่เผาฟางข้าว ดังนี้

#### 3.2.1.1 ใช้ข้อมูลตัวป้อนจากค่าวิเคราะห์ตัวอย่างดิน

การทำนายอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดในดิน (Total Carbon : C) และรูปของอินทรีย์คาร์บอนที่ย่อยสลายได้ยาก (Heavy Fraction : HF) โดยเริ่มจากแปลงที่เผาฟางข้าวจำนวน 10 plots จำลองภายใต้เงื่อนไขของ TC และ HF จากแปลงข้าวที่เผาต่อเนื่องเป็นข้อมูลตัวป้อน เนื่องจากมีแนวคิดที่ว่า TC และ HF จากแปลงฟางข้าวที่เผาเป็นตัวแทนประเมินผลจากการใส่ฟางข้าวในอัตราต่างๆ ได้โดยใช้แบบจำลอง DSSAT-CENTURY (ภาพที่ 3.3) และใช้แปลงที่ไม่เผาฟางข้าวจำนวน 10 plots ในการประเมินประสิทธิภาพของจำลอง (ภาพที่ 3.3) และมีขั้นตอน 5 ขั้นตอน ดังนี้

##### ขั้นตอนที่ 1 เตรียมข้อมูลตัวป้อนสมบัติดิน และประวัติการจัดการแปลง

นำข้อมูลการวิเคราะห์ตัวอย่างดิน ได้แก่ ปริมาณคาร์บอนทั้งหมดในดิน (TC) และรูปของอินทรีย์คาร์บอนที่ย่อยสลายได้ยาก (HF) จากการทดลองที่ 1 โดยเลือกข้อมูลจากแปลงที่มีการจัดการแบบเผาฟางข้าว (Burn) คู่กับแปลงที่ไม่เผาฟางข้าว (Non-Burn) ที่อยู่ในพื้นที่ใกล้เคียงกัน จำนวน 10 คู่ จากตารางที่ 3.1 ใช้ข้อมูล 20 plots โดยแปลงที่มีการจัดการเผาฟางข้าวจำนวน 10 plots (NSSB, NSSD, SPPB, SPPF, SPPI, SPPO, NSEE, CPBB, NRBB, SPAA) ใช้ค่าวิเคราะห์คาร์บอนทั้งหมดในดิน (TC) และรูปของอินทรีย์คาร์บอนที่ย่อยสลายได้ยาก (HF) เป็นค่าวิเคราะห์ดินเริ่มต้น (Soil Analysis) และทำนายการใส่ฟางข้าวหลังการเก็บเกี่ยวย้อนหลังและกลับขึ้นมาถึงปีที่เก็บตัวอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 10 ปี (พ.ศ. 2552-2564 ขึ้นอยู่กับปีที่เก็บตัวอย่างดิน) และแปลงที่มีการจัดการเผาไม่ฟางข้าวจำนวน 10 plots (NSSA, NSSC, SPPA, SPPE, SPPJ, SPPP, NSDD, CPAA, NRAA, SPBB) ใช้สำหรับประเมินความถูกต้องของแบบจำลองหลังจากทำนาย จากผลการทำนายจากแบบจำลอง DSSAT-CENTURY

## ขั้นตอนที่ 2 การสร้างไฟล์ข้อมูลตัวป้อน (Input) และการทำนายของแบบจำลอง DSSAT-CENTURY (Prediction)

ข้อมูลตัวป้อน (Input data) ในการทำนายโดยใช้แบบจำลอง DSSAT ใช้ข้อมูลค่าวิเคราะห์ดินและการจัดการแปลงแบบผาฟางข้าวจำนวน 10 plots เพื่อนำมาสร้างไฟล์ข้อมูลตัวป้อน 4 ไฟล์ ได้แก่ ไฟล์ข้อมูลดิน (Soil) ไฟล์ข้อมูลภูมิอากาศ (Climate) ไฟล์ข้อมูลพืช (Plant) และไฟล์ข้อมูลการจัดการ (Management) ของแต่ละแปลง

1) ไฟล์ข้อมูลดิน (soil.SOL) ได้แก่ ความหนาแน่นของดิน ค่า pH เนื้อดิน (ร้อยละของอนุภาคดินเหนียว อนุภาคทรายแป้ง) ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกของดิน (Cation Exchange Capacity: CEC) คาร์บอนและไนโตรเจนทั้งหมดในดิน ความหนาแน่นรวมของดิน ใช้ข้อมูลจาก Default, DSSAT version 4.8.0.0 ตามชุดดินจากทั้ง 10 plots (ภาพภาคผนวกที่ 2.1)

2) ไฟล์ข้อมูลภูมิอากาศ (xxxxxxx.WTH) ได้แก่ ข้อมูลปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุด และข้อมูลพลังงานดวงอาทิตย์ แบบรายวัน ตลอดทั้งปี นำมาจัดทำไฟล์อากาศสำหรับนำเข้าในแบบจำลอง DSSAT โดยผ่านโปรแกรม WeatherData 1 ไฟล์ต่อ 1 ปี โดยใช้ข้อมูลย้อนหลังเป็นเวลา 10 ปี จาก The Prediction of Worldwide Energy Resources (POWER) project (NASA Langley Research Center, 2021) ตามพิกัดทางภูมิศาสตร์ของแปลงที่ผาฟางข้าว ทั้งหมดจำนวน 10 plots (ภาพภาคผนวกที่ 2.2)

3) ไฟล์ข้อมูลพืช (xxxxxxx.CUL) เลือกใช้ค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรม (Genetic Coefficient: GC) ของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 (Chainat 1) แทนพันธุ์ข้าวไม่ไวต่อช่วงแสงเนื่องจากสามารถปลูกได้ตลอดทั้งปี และเป็นประเภทของข้าวที่เกษตรกรเจ้าของแปลงใช้ โดยค่า GC ใช้ข้อมูลจาก Default, DSSAT version 4.8.0.0 (ภาพภาคผนวกที่ 2.3)

4) ไฟล์ข้อมูลการจัดการ (xxxxxxx.SQX) เป็นไฟล์การจัดการแบบจำลอง โดยแต่ละแปลงจะใช้ไฟล์การจัดการแปลงละ 1 ไฟล์ (ภาพภาคผนวกที่ 2.4) โดยสร้างจากโปรแกรม DSSAT แบ่งการจัดการแบ่งเป็น สภาพแวดล้อม (Environment) การจัดการ (Management) ทรีตเมนต์ (Treatment) และตัวเลือกการทำนาย (Simulation Option) ดังนี้

สภาพแวดล้อม (Environment) เป็นส่วนที่ใช้ในการเลือกสภาพแวดล้อมของแปลงในพื้นที่ปลูกนั้นๆ โดยสภาพแวดล้อมย่อยของหัวข้อแปลง (Field) จะเลือกไฟล์ดิน และไฟล์อากาศที่ได้จัดเตรียมไว้ในหัวข้อ 1) และ 2) ตามพื้นที่แปลง และสภาพแวดล้อมย่อยของหัวข้อดินที่วิเคราะห์ (Soil

Analysis) ใส่ค่าข้อมูลจริงของปริมาณคาร์บอนทั้งหมด และรูปของคาร์บอนที่ละลายได้ยาก (Stable C) หรือ Heavy Fraction เป็นค่าวิเคราะห์จริงจากห้องปฏิบัติการ (ภาพภาคผนวกที่ 2.5)

การจัดการ (Management) เป็นส่วนที่ใช้ในการเลือกการจัดการ โดยส่วนของหัวข้อย่อย วันที่ปลูก วันที่ใส่ปุ๋ย วิธีปลูก การจัดการเศษซากพืช ได้จากการสัมภาษณ์เกษตรกรรายแปลง ปริมาณการใส่ปุ๋ยใส่ตามคำแนะนำของกรมการข้าว ปริมาณการให้น้ำตั้งค่าจากแบบจำลองเป็นการให้น้ำแบบอัตโนมัติ (Automatic When Required) และวันที่เก็บเกี่ยวนับหลังจากวันที่ปลูก 120 วัน และใส่เปอร์เซ็นต์การนำออกของฟางข้าวหลังการเก็บเกี่ยว (Byproduct Takeoff, %) เป็น 0 เพื่อให้จำลองการใส่ฟางข้าวหลังการเก็บเกี่ยวในแปลงอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 10 ปี อย่างไรก็ตามการกำหนดวันที่เริ่มการจำลองเป็นการกำหนดย้อนหลังกลับไป 10 ปี ก่อนการเก็บตัวอย่างดินเพื่อให้แบบจำลองรันต่อเนื่องจนถึงปีที่เก็บตัวอย่าง (ภาพภาคผนวกที่ 2.6)

ทรีตเมนต์ (Treatment) เป็นส่วนที่ใช้กำหนดทรีตเมนต์ที่ใช้การทดลอง โดยเลือกตามสภาพแวดล้อมในแปลง (Environment) และการจัดการ (Management) ต่างกัน หรือเหมือนกันตามที่ทรีตเมนต์กำหนด ในการรันแบบจำลองในรูปแบบของ Sequence เป็นการจำลองทั้งในช่วงการปลูกพืชต่อเนื่องกับการพักดินในตลอดระยะเวลา 10 ปี จึงมีการกำหนดลำดับพืชปลูกและการพักดินตามสภาพแวดล้อมและการจัดการแปลง (ภาพภาคผนวกที่ 2.7)

ตัวเลือกการทำนาย (Simulation Option) เป็นการกำหนดการทำนายของแบบจำลองอยู่ในขั้นตอนการสร้างไฟล์การจัดการ โดยกำหนด วัน/เดือน/ปี เริ่มต้นทำนาย (Simulation Start Date) กำหนดก่อนการเริ่มปลูกพืชเป็นเวลา 10 วัน ย้อนหลังกลับไป 10 ปี ก่อนการเก็บตัวอย่างดิน เพื่อให้แบบจำลองรันต่อเนื่องจนถึงปีที่เก็บตัวอย่าง และกำหนดระยะเวลาการทำนาย (Runs, Years) 10 ปี กำหนดโมดูลพืช (Crop Module) เป็น CERES-Rice ในหน้าวิธีการ (Method) และกำหนด Method of Soil Organic Matter เป็น Century (Parton) (ภาพภาคผนวกที่ 2.8) ในหน้าการจัดการ (Managements) ส่วนของชลประทานและการจัดการน้ำ (Irrigation and Water Management) กำหนดการให้น้ำตามที่พืชต้องการ (Automatic When Required) ในหน้า Outputs กำหนดความถี่ของข้อมูลผลการจำลอง (Frequency of output (day)) เป็น 30 วัน

### ขั้นตอนที่ 3 ผลของแบบจำลอง (Output data)

ผลของแบบจำลอง (Output data) ใช้ผลจากไฟล์ xxxxxxxx.OLC (ภาพที่ 3.12) เป็นไฟล์แสดงผลคาร์บอนในอินทรีย์วัตถุแบบรายวัน (SOM C DAILY OUTPUT FILE) แต่มีการแสดงผลปริมาณแบบราย 30 วันตามการตั้งค่าจาก Simulation Option ผลแสดงตั้งแต่วันที่เริ่มต้นที่กำหนดเป็นเวลาย้อนหลังระยะเวลา 10 ปี จนถึงปีปัจจุบัน ค่าที่ใช้อยู่ในส่วนของอินทรีย์วัตถุบนชั้นดิน (SOM C in top layer) และอินทรีย์คาร์บอนที่ย่อยสลายยาก (Passive Soil Organic C) ซึ่งมีความหมายตรงกับปริมาณคาร์บอนทั้งหมดในดิน และรูปของคาร์บอนที่ย่อยสลายได้ยากในรูปของ Heavy Fraction Carbon ที่ได้จากแบบจำลอง ตามลำดับ เป็นผลการจำลอง (Output data; ภาพภาคผนวกที่ 2.9)

### ขั้นตอนที่ 4 ทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลอง (Model Validation)

ผลที่ได้จากแบบจำลอง (Output data; ภาพที่ 3.3) นำมาทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองของค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองกับแปลงที่มีการใส่ฟางข้าวหลังการเก็บเกี่ยว (Non-burn) จากผลวิเคราะห์ดินที่ได้จากการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ (Observed Value) จำนวน 10 plots แสดงดังแผนภาพที่ 3.3 โดยทำการทดสอบประสิทธิภาพแบบจำลองโดยนำมาสร้างกราฟ 1:1 line และใช้ค่าทดสอบทางสถิติดังนี้

1) Root Mean Square Error (RMSE) และ normalized Root Mean Square Error (RMSEn) คำนวณได้จากสมการที่ 3.1 และ 3.2 ตามลำดับ (Li et al. 2015; Saldaña-Villota and Cotes-Torres. 2021)

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}} \quad (3.1)$$

เมื่อ n คือ จำนวนค่าที่ได้จากการทดลอง  $P_i$  คือ ค่าที่ได้จากการทำนาย และ  $O_i$  คือ ค่าที่ได้จากการทดลอง

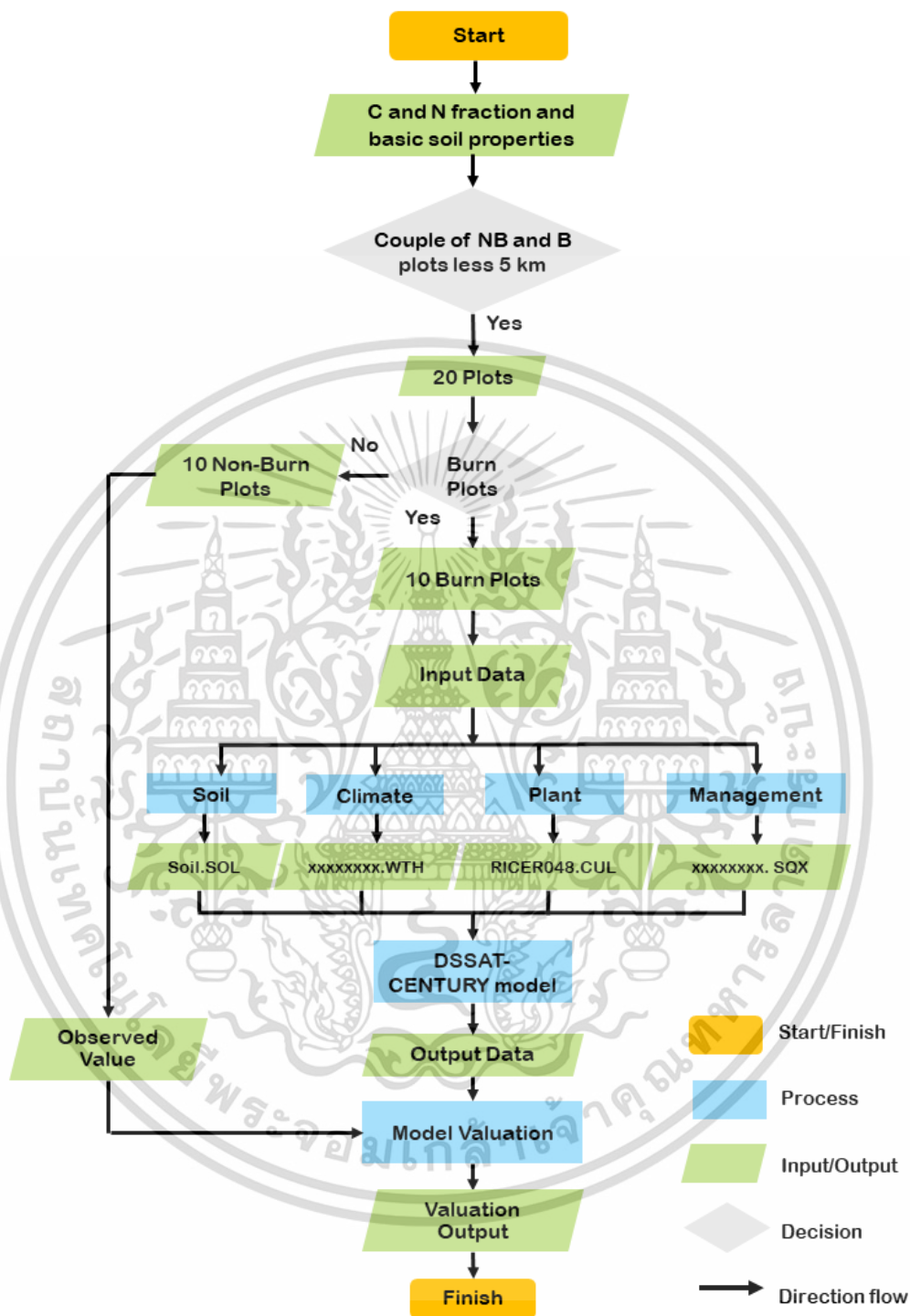
$$\text{RMSEn} = \frac{\text{RMSE}}{\bar{O}} \times 100 \quad (3.2)$$

เมื่อ  $\bar{O}$  คือ ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง

2) Index of Agreement (d) คำนวณได้จากสมการที่ 3.3 (Li et al. 2015; Salmerón et al. 2014)

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|P_i| + |O_i|)^2} \quad (3.3)$$

เมื่อ  $P_i$  คือ ค่าที่ได้จากการทำนาย และ  $O_i$  คือ ค่าที่ได้จากการทดลอง  $P_i - \bar{O}$  และ  $O_i - \bar{O}$



ภาพที่ 3.3 แผนผังขั้นตอนการสร้างแบบจำลอง DSSAT-CENTURY และการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลอง (แปลงไม่เผา (Non-Burn : NB) และเผาฟางข้าว (Burn : B) 20 plots)

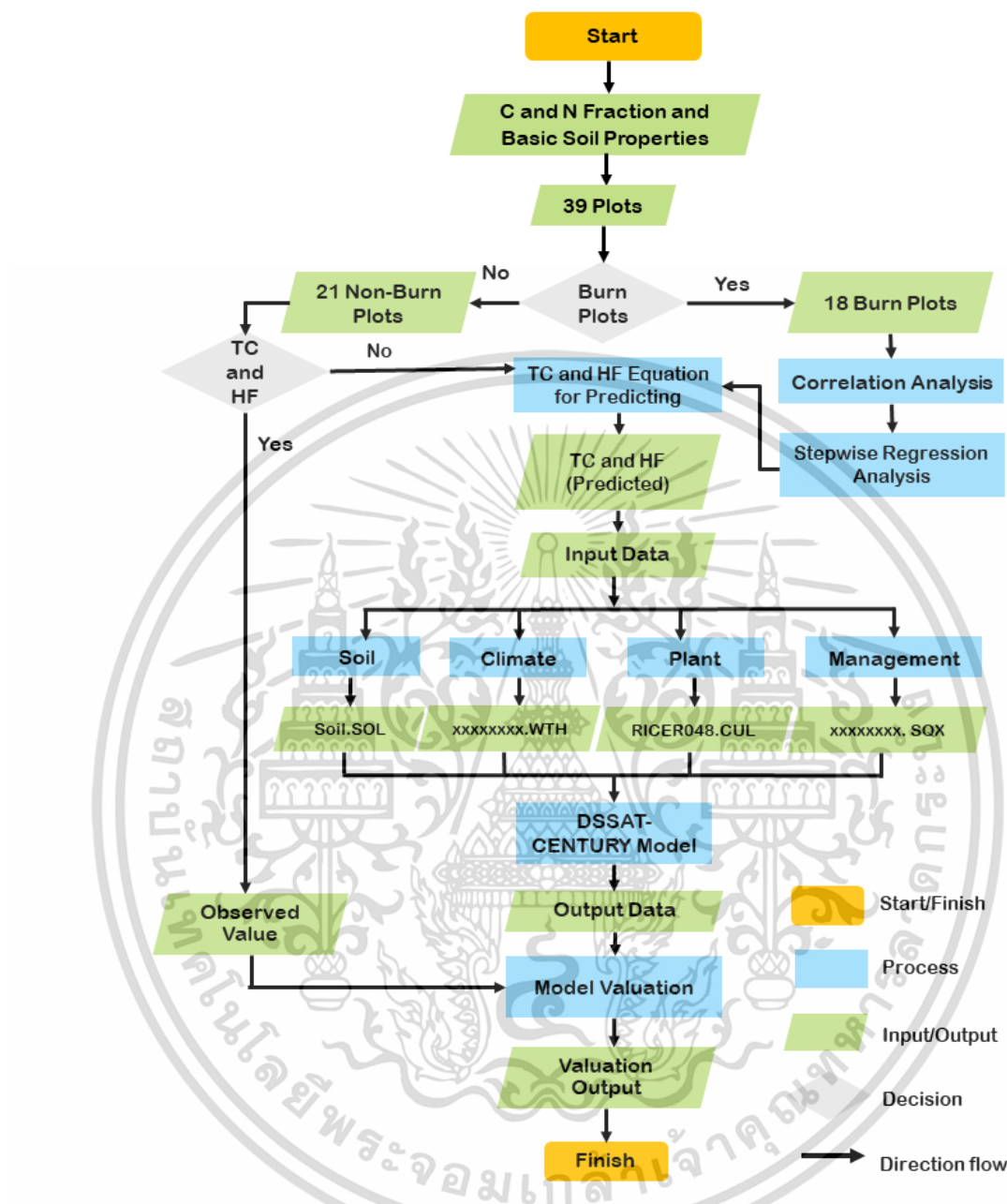
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.1.2 ใช้ข้อมูลตัวป้อนจากการสร้างสมการทำนายคาร์บอนทั้งหมดและรูปของอินทรีย์คาร์บอนที่ย่อยสลายยาก

สร้างสมการทำนายปริมาณคาร์บอนทั้งหมด (Total Carbon : TC) และอินทรีย์คาร์บอนที่ย่อยสลายยาก (Heavy Fraction : HF) ด้วยการวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณ (Stepwise Regression) เพื่อใช้สำหรับเป็นค่าวิเคราะห์ดินเริ่มต้น (Soil Analysis) ในส่วนสภาพแวดล้อม สำหรับแบบจำลอง DSSAT-CENTURY เป็นการทำนายรูปของคาร์บอนให้ได้ผลใกล้เคียงกับค่าวิเคราะห์จริง โดยไม่ต้องใช้ผลวิเคราะห์รูปของคาร์บอนจากห้องปฏิบัติการ โดยสร้างจากแปลงข้าวที่มีการจัดการแบบเผาฟางข้าวหลังการเก็บเกี่ยว จำนวน 18 plots นำไปวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (ภาพที่ 3.4) ระหว่างปริมาณคาร์บอนทั้งหมด อินทรีย์คาร์บอนที่ย่อยสลายยาก และสมบัติดินเบื้องต้น แล้วนำสมบัติดินที่มีสหสัมพันธ์ ( $p < 0.05$ ) นำมาสร้างสมการโดยการวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณด้วยวิธี Stepwise Regression (ภาพที่ 3.4)

นำค่าวิเคราะห์สมบัติดินที่มีสหสัมพันธ์กับปริมาณคาร์บอนทั้งหมดและอินทรีย์คาร์บอนที่ย่อยสลายยาก จากแปลงที่ไม่เผาฟางข้าวหลังการเก็บเกี่ยว จำนวน 21 plots จากการทดลองที่ 3.1 มาแทนค่าในสมการ เพื่อให้ได้ปริมาณคาร์บอนทั้งหมดและอินทรีย์คาร์บอนที่ย่อยสลายยากจากการทำนายโดยสมการ แล้วนำค่าปริมาณคาร์บอนทั้งหมดและอินทรีย์คาร์บอนที่ย่อยสลายยากโดยสมการ มาใช้เป็นค่าข้อมูลตัวป้อน (Input Data) ในส่วนค่าวิเคราะห์ดิน (Soil Analysis) และใช้ทำนายปริมาณคาร์บอนทั้งหมดและอินทรีย์คาร์บอนที่ย่อยสลายยาก ในการจัดการโดยไม่เผาฟางข้าวหลังการเก็บเกี่ยว ต่อเนื่องตามจำนวนปีที่มีการไม่เผาฟางข้าวตามแบบสอบถาม โดยใช้แบบจำลอง DSSAT-CENTURY (ภาพที่ 3.4) โดยทำตาม 5 ขั้นตอนในหัวข้อ 3.2.1.1

เมื่อได้ข้อมูลที่ทำนายได้จากแบบจำลอง (Output Data) นำข้อมูลที่ได้มาทดสอบประสิทธิภาพแบบจำลองจากค่าวิเคราะห์คาร์บอนทั้งหมดและอินทรีย์คาร์บอนที่ย่อยสลายยาก โดยสร้างกราฟ 1:1 line และวิเคราะห์ค่า RMSE, RMSEn และ d จากสมการ 3.1, 3.2, และ 3.3 ตามลำดับ



ภาพที่ 3.4 แผนผังขั้นตอนการสร้างสมการทำนายและการสร้างแบบจำลอง DSSAT-CENTURY และการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลอง (แปลงไม่เผาและเผาฟางข้าว 39 plots)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.2 ทำนายปริมาณคาร์บอนทั้งหมดในดินและรูปของอินทรีย์คาร์บอนที่ย่อยสลายยาก เมื่อจัดการฟางข้าวหลังการเก็บเกี่ยวที่ต่างกันของพื้นที่จังหวัดสุพรรณบุรี

เมื่อได้วิธีการที่เหมาะสมสำหรับทำนายคาร์บอนทั้งหมดในดินและรูปของอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดที่ย่อยสลายยาก (SOM3) จากการศึกษาหัวข้อ 3.2.1 แล้ว นำมาใช้ทำนายการจัดการฟางข้าวหลังการเก็บเกี่ยวโดยใช้ค่าเริ่มต้นจากแปลงในพื้นที่ อำเภอสรีประจันต์ จังหวัดสุพรรณบุรี จำนวน 20 plots มาทำนายการจัดการฟางข้าวที่ต่างกัน คือ การเผาฟางข้าว ใส่ฟางข้าว 25% และใส่ฟางข้าว 100% ต่อเนื่อง 10 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2565-2575 โดยใช้ข้อมูลอากาศจาก SEACLID/CORDEX Southeast Asia output for DSSAT Models (Ramkhamhaeng University, Center of Regional Climate Change and Renewable Energy [RU-CORE], 2018) โดยใช้ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศจำลองแบบ RCP4.5 เป็นการจำลองสถานการณ์แนวทางการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในระดับสถานการณ์การใช้มาตรการลดก๊าซเรือนกระจกปานกลาง ตามรายงานการประเมินสถานการณ์ด้านการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ ฉบับที่ 5 (The Fifth Assessment Report : AR5) ของคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ (Intergovernmental Panel on Climate Change : IPCC) ใช้ขั้นตอนในการจำลองขั้นตอนเดียวกับหัวข้อ 3.2.1.2

## บทที่ 4

### ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

#### 4.1 การทดลองที่ 1 การศึกษาอิทธิพลของการจัดการฟางข้าวต่อการกักเก็บคาร์บอนและรูปของอินทรีย์คาร์บอนในดินที่ปลูกข้าว

##### 4.1.1 สมบัติดินเบื้องต้น ปริมาณคาร์บอนทั้งหมด และรูปของคาร์บอน

การวิเคราะห์สถิติเชิงพรรณนาของสมบัติดินเบื้องต้นจากดินนา 39 plots ในระดับชั้นดินบน ที่ระดับความลึก 0–15 cm (ตารางที่ 4.1) พบว่า ปริมาณอนุภาคทราย ทรายแป้ง และดินเหนียวมีค่าเฉลี่ย (Mean) เท่ากับ 210, 379 และ 411 g/kg ตามลำดับ ดินมีสัดส่วนของอนุภาคดินเหนียวสูง จากค่าความเบ้ของปริมาณอนุภาคทราย ทรายแป้ง และดินเหนียว มีค่าเท่ากับ 1.19, -0.51 และ 0.19 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าปริมาณอนุภาคทราย และดินเหนียวมีการแจกแจงแบบเบ้ขวา ในขณะที่ปริมาณทรายแป้ง มีการแจกแจงแบบเบ้ซ้าย เนื่องจากดินตามธรรมชาติไม่มีความสม่ำเสมอ ตัวอย่างดินในชั้นดินบนมีเนื้อดินเป็นกลุ่มดินเนื้อละเอียด 19 plots และกลุ่มเนื้อดินปานกลาง 20 plots

ความหนาแน่นรวมของดิน (Bulk Density) มีค่าอยู่ในช่วง 0.94–2.10 g/cm<sup>3</sup> มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.47 g/cm<sup>3</sup> (ตารางที่ 4.1) ค่าเฉลี่ย pH ในดินมีค่าเท่ากับ 6.26 จัดเป็นกรดเล็กน้อย อยู่ในพิสัย 4.45–7.91 จัดเป็นกรดรุนแรงมากถึงด่างปานกลาง ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity: EC) พบว่า อยู่ในช่วง 0.02–0.46 mS/cm แสดงว่าดินทุกแปลงมีค่าความเค็มอยู่ในเกณฑ์ที่ไม่อันตรายต่อพืช ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cation Exchange Capacity: CEC) พบว่าอยู่ในช่วง 3.75–77.74 cmol/kg ปริมาณคาร์บอน ความเข้มข้นไนโตรเจน และกำมะถันทั้งหมดในดินมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 15.90, 1.31 และ 0.74 g/kg ตามลำดับ โดยปริมาณคาร์บอนทั้งหมดมีค่าอยู่ในช่วง 5.25–29.47 g/kg ซึ่งถ้านำไปแปลงค่าเป็นอินทรีย์วัตถุในประเทศไทยจะจัดอยู่ในระดับต่ำ-สูงมาก จึงทำให้ไนโตรเจนและกำมะถันทั้งหมดอยู่ในระดับต่ำ (วัฒนา พัฒนถาวร, 2563; Bagshaw et al. 2010) อย่างไรก็ตาม จำนวนตัวอย่าง (n) ของกำมะถันทั้งหมดมีจำนวนน้อยกว่าสมบัติดินอื่น เนื่องจากมีบางแปลงอาจมีปริมาณน้อยมากจนไม่สามารถวัดค่าได้ การกักเก็บอินทรีย์คาร์บอน อยู่ในช่วง 2.46–9.33 Mg/rai มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.39 Mg/rai ค่ามัธยฐานเท่ากับ 5.00 Mg/rai จะเห็นได้ว่าการกักเก็บคาร์บอนในชั้นดินบนมีค่าความแปรผันมากตามสมบัติอื่นๆของดิน (ตารางที่ 4.1) นอกจากนี้สัดส่วนของคาร์บอนและไนโตรเจน (C:N) เกี่ยวข้องโดยตรงกับกระบวนการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุ ที่ส่งผลทำให้เกิดการปลดปล่อย CO<sub>2</sub> ออกสู่บรรยากาศและการกักเก็บคาร์บอน (Diekow et al. 2005) หรือเกิด Mineralization และ

Immobilization ที่ทำให้เกิดการปลดปล่อยไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์และเกิดการใช้นิโตรเจนในดินโดยของจุลินทรีย์ในดินตามลำดับ (Qian et al. 2003; Hadas et al. 2004)

รูปของคาร์บอนและไนโตรเจนในดินของดิน 39 plots ที่ระดับความลึก 0-15 cm (ตารางที่ 4.2) พบว่า มวลชีวภาพจุลินทรีย์คาร์บอน (Microbial Biomass Carbon: MBC) มวลชีวภาพจุลินทรีย์ไนโตรเจน (Microbial Biomass Nitrogen: MBN) มีค่าอยู่ในช่วง 0.06–1.22 และ 0.00–0.04 g/kg ตามลำดับ และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.45 และ 0.01 g/kg ตามลำดับ อินทรีย์คาร์บอนที่ละลายได้ (Dissolve Organic Carbon : DOC) และอินทรีย์ไนโตรเจนที่ละลายได้ (Dissolve Organic Nitrogen : DON) อยู่ใน ช่วง 0.06–30.03 และ 0.00–0.02 mg/kg ตามลำดับ และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 9.09 และ 0.01 g/kg ตามลำดับ Light Fraction (LF) และ Heavy Fraction (HF) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.15 และ 12.60 g/kg ตามลำดับ คิดเป็น 0.19 และ 79.25% ของอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดในดิน ตามลำดับ ค่า Particulate Organic Carbon (POC) และอินทรีย์คาร์บอนที่สกัดด้วยโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ( $\text{KMnO}_4\text{-C}$ ) ค่าอยู่ในช่วง 0.20–8.53 และ 0.37–3.89 g/kg ตามลำดับ และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.93 และ 2.00 g/kg ตามลำดับ คิดเป็น 18.42 และ 12.57% ของอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด จะเห็นได้ว่าอินทรีย์คาร์บอนในดินบนส่วนใหญ่อยู่ในรูปที่ย่อยสลายได้ยาก (HF) ซึ่งเป็นส่วนที่แสดงถึงความสามารถในการกักเก็บคาร์บอนรองลงมาเป็นรูปที่กำลังสลายตัว (POC และ  $\text{KMnO}_4\text{-C}$ ) แสดงถึงการหมุนเวียนของธาตุต่างๆในดิน โดยเฉพาะไนโตรเจนและซัลเฟอร์ เกี่ยวข้องกับความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหาร อย่างไรก็ตามจำนวนตัวอย่าง (n) รูปของคาร์บอนและไนโตรเจนในดินของดินมีจำนวนน้อยกว่า 39 (n=39) สมบัติดินอื่นเนื่องจากมีบางแปลงอาจมีปริมาณน้อยมากจนไม่สามารถวัดค่าได้

ตารางที่ 4.1 สถิติเชิงพรรณนาของสมบัติดินเบื้องต้นที่วิเคราะห์ได้จากดินนาทั้งหมด 39 plots ในดินบนที่ระดับความลึก 0-15 cm

Parameter	n	Minimum	Maximum	Mean	Med	SD	Skewness
Sand (g/kg)	39	11.99	739.15	210.23	136.57	195.40	1.19
Silt (g/kg)	39	159.27	561.70	379.10	401.29	98.73	-0.51
Clay (g/kg)	39	58.89	701.33	410.67	376.00	167.27	0.19
Bulk Density (g/cm <sup>3</sup> )	39	0.94	2.10	1.47	1.42	0.27	0.64
pH (1:1)	39	4.45	7.91	6.26	6.42	0.88	-0.20
EC (1:5) (mS/cm)	39	0.02	0.46	0.14	0.13	0.10	1.68
CEC (cmol/kg)	39	3.75	77.74	28.33	23.16	18.77	1.08
Total Carbon (g/kg)	39	5.25	29.47	15.90	14.27	6.26	0.74
Total Nitrogen (g/kg)	39	0.61	2.64	1.31	1.25	0.43	0.79
Total Sulfur (g/kg)	31	0.21	2.20	0.74	0.57	0.46	1.44
C Sequestration (Mg/rai)	39	2.46	9.33	5.39	5.00	1.73	0.66

หมายเหตุ: n คือ จำนวน, Minimum คือ ค่าต่ำสุด, Maximum คือ ค่าสูงสุด, Mean คือ ค่าเฉลี่ย, Med คือ ค่ามัธยฐาน, SD คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) และ Skewness คือ ค่าความเบ้

ตารางที่ 4.2 สถิติเชิงพรรณนาของรูปของคาร์บอนและไนโตรเจนที่วิเคราะห์ได้จากดินนาทั้งหมด 39 plots ในดินชั้นบนที่ระดับความลึก 0-15 cm

Parameter	n	Minimum	Maximum	Mean	Med	SD	Skewness
MBC (g/kg)	37	0.06	1.22	0.45	0.38	0.32	1.03
MBN (g/kg)	32	nd	0.04	0.01	0.01	0.01	1.70
DOC (mg/kg)	33	0.60	30.03	9.09	7.08	7.44	1.06
DON (mg/kg)	32	nd	0.02	0.01	0.01	0.00	0.78
Light Fraction (g/kg)	39	0.04	0.43	0.15	0.14	0.08	1.53
Heavy Fraction (g/kg)	39	2.42	25.85	12.60	11.18	6.06	0.73
POC (g/kg)	31	0.20	8.53	2.93	2.70	1.60	1.32
KMnO <sub>4</sub> -C (g/kg)	39	0.37	3.89	2.00	1.86	0.79	0.54

หมายเหตุ: n คือ จำนวน, Minimum คือ ค่าต่ำสุด, Maximum คือ ค่าสูงสุด, Mean คือ ค่าเฉลี่ย, Med คือ ค่ามัธยฐาน, SD คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) และ Skewness คือ ค่าความเบ้

การวิเคราะห์สถิติเชิงพรรณนาของสมบัติดินเบื้องต้นจากดินนา 39 plots ในชั้นดินล่างที่ระดับความลึก 15-30 cm (ตารางที่ 4.3) พบว่า ปริมาณอนุภาคทราย ทรายแป้ง และดินเหนียวมีค่าเฉลี่ย (Mean) เท่ากับ 201, 364 และ 435 g/kg ตามลำดับ ดินมีสัดส่วนของอนุภาคดินเหนียวสูง จากค่าความเบ้ของปริมาณอนุภาคทราย ทรายแป้ง และดินเหนียว มีค่าเท่ากับ 1.24, -0.72 และ 0.15 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าปริมาณอนุภาคทราย และดินเหนียวมีการแจกแจงแบบเบ้ขวา ในขณะที่ปริมาณทรายแป้ง มีการแจกแจงแบบเบ้ซ้าย โดยตัวอย่างดินในชั้นดินล่างมีเนื้อดินเป็นกลุ่มดินเนื้อละเอียด 23 plots และกลุ่มเนื้อดินปานกลาง 19 plots

ความหนาแน่นรวมของดิน (Bulk Density) มีค่าอยู่ในช่วง 1.18–2.13 g/cm<sup>3</sup> มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.63 g/cm<sup>3</sup> ซึ่งมีค่าสูงกว่าชั้นดินบน (ตารางที่ 4.3) ค่าเฉลี่ย pH ในดินมีค่าเท่ากับ 6.73 จัดเป็นกลาง อยู่ในพิสัย 4.69–8.01 จัดเป็นกรดจัดมากถึงต่างปานกลาง ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity: EC) พบว่า อยู่ในช่วง 0.01–0.45 mS/cm แสดงว่าดินทุกแปลงมีค่าความเค็มอยู่ในเกณฑ์ที่ไม่อันตรายต่อพืช ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cation Exchange Capacity: CEC) พบว่าอยู่ในช่วง 4.20–69.92 cmol/kg ปริมาณคาร์บอน ความเข้มข้นไนโตรเจน และกำมะถันทั้งหมดในดินมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 9.34, 0.75 และ 0.38 g/kg ตามลำดับ ต่ำกว่าดินบน โดยปริมาณคาร์บอนทั้งหมดมีค่าอยู่ในช่วง 3.81–29.06 g/kg ซึ่งถ้านำไปแปลงค่าเป็นอินทรีย์วัตถุในประเทศไทยจะจัดอยู่ในระดับต่ำ-สูงมาก (วัฒนา พัฒนถาวร, 2563) อย่างไรก็ตามจำนวนตัวอย่าง (n) ของกำมะถันทั้งหมดมีจำนวนน้อยกว่าสมบัติดินอื่น เนื่องจากมีบางแปลงอาจมีปริมาณน้อยมากจนไม่สามารถวัดค่าได้ การกักเก็บอินทรีย์คาร์บอน การกักเก็บอินทรีย์คาร์บอน อยู่ในช่วง 1.78–10.25 Mg/rai มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.50 Mg/rai ค่ามัธยฐานเท่ากับ 3.06 Mg/rai จะเห็นได้ว่าการกักเก็บคาร์บอนในชั้นดินล่างมีค่าต่ำกว่าชั้นดินบนและมีความแปรผันมาก (ตารางที่ 4.3)

ตารางที่ 4.3 สถิติเชิงพรรณนาของสมบัติดินเบื้องต้นที่วิเคราะห์ได้จากดินนาทั้งหมด 39 plots ในดินชั้นล่างที่ระดับความลึก 15-30 cm

Parameter	n	Minimum	Maximum	Mean	Med	SD	Skewness
Sand (g/kg)	39	10.99	744.10	201.17	108.57	195.67	1.24
Silt (g/kg)	39	147.21	499.00	363.52	393.86	95.03	-0.72
Clay (g/kg)	39	59.33	751.11	435.30	431.78	174.24	0.15
Bulk Density (g/cm <sup>3</sup> )	39	1.08	2.13	1.63	1.64	0.25	-0.01
pH (1:1)	39	4.69	8.01	6.73	6.93	0.86	-0.94
EC (1:5) (mS/cm)	39	0.01	0.45	0.14	0.13	0.09	1.25
CEC (cmol/kg)	39	4.20	69.92	28.44	26.17	17.32	0.77
Total Carbon (g/kg)	39	3.81	29.06	9.34	7.68	5.46	2.24
Total Nitrogen (g/kg)	39	0.35	1.45	0.75	0.70	0.24	0.80
Total Sulfur (g/kg)	31	0.03	1.58	0.38	0.34	0.29	2.64
C Sequestration (Mg/rai)	39	1.78	10.25	3.50	3.06	1.78	2.40

หมายเหตุ: n คือ จำนวน, Minimum คือ ค่าต่ำสุด, Maximum คือ ค่าสูงสุด, Mean คือ ค่าเฉลี่ย, Med คือ ค่ามัธยฐาน, SD คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) และ Skewness คือ ค่าความเบ้

รูปของคาร์บอนและไนโตรเจนในดินของดิน 39 plots ในดินชั้นล่างที่ระดับความลึก 15-30 cm (ตารางที่ 4.4) พบว่า มวลชีวภาพจุลินทรีย์คาร์บอน (Microbial Biomass Carbon: MBC) มวลชีวภาพจุลินทรีย์ไนโตรเจน (Microbial Biomass Nitrogen: MBN) ค่าอยู่ในช่วง 0.01–1.19 และ 0.00–0.02 g/kg และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.36 g/kg และไม่สามารถวัดค่าได้ ตามลำดับ อินทรีย์คาร์บอนที่ละลายได้ (Dissolve Organic Carbon : DOC) และอินทรีย์ไนโตรเจนที่ละลายได้ (Dissolve Organic Nitrogen : DON) 0.01–32.04 และ 0.00–0.02 mg/kg และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.31 และ 0.01 g/kg ตามลำดับ Light Fraction (LF) และ Heavy Fraction (HF) โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.03 และ 7.06 g/kg ตามลำดับ และคิดเป็น 0.32 และ 75.59% ของอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดในดิน ตามลำดับ ค่า Particulate Organic Carbon (POC) มี และอินทรีย์คาร์บอนที่สกัดด้วยโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ( $\text{KMnO}_4\text{-C}$ ) ค่าอยู่ในช่วง 0.20–3.93 และ 0.44–2.96 g/kg และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.87 และ 1.05 g/kg ตามลำดับ คิดเป็น 9.31 และ 11.24% ของอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด จะเห็นได้ว่าอินทรีย์คาร์บอนในดินชั้นล่างอยู่ในรูปที่ย่อยสลายได้ยากเช่นเดียวกับดินบน ซึ่งเป็นส่วนที่แสดงถึงความสามารถในการกักเก็บคาร์บอน รองลงมาเป็นรูปที่กำลังสลายตัวมีการเปลี่ยนแปลงของคาร์บอน แสดงถึงการหมุนเวียนของธาตุต่างๆในดิน อย่างไรก็ตามจำนวนตัวอย่าง (n) รูปของคาร์บอนและไนโตรเจนในดินของดินมีจำนวนน้อยกว่า 39 (n=39) สมบัติดินอื่น เนื่องจากมีบางแปลงอาจมีปริมาณน้อยมากจนไม่สามารถวัดค่าได้

ตารางที่ 4.4 สถิติเชิงพรรณนาของรูปของคาร์บอนและไนโตรเจนที่วิเคราะห์ได้จากดินนาทั้งหมด 39 plots ในดินชั้นล่างที่ระดับความลึก 15-30 cm

Parameter	n	Minimum	Maximum	Mean	Med	SD	Skewness
MBC (g/kg)	34	0.01	1.19	0.36	0.31	0.30	1.05
MBN (g/kg)	28	nd	0.02	nd	nd	nd	1.83
DOC (mg/kg)	33	0.61	32.04	8.31	6.21	7.62	1.10
DON (mg/kg)	32	nd	0.02	0.01	0.01	nd	0.22
Light Fraction (g/kg)	37	nd	0.11	0.03	0.02	0.02	1.78
Heavy Fraction (g/kg)	39	2.04	26.44	7.06	5.39	5.21	2.39
POC (g/kg)	32	0.20	3.93	0.87	0.58	0.91	2.48
KMnO <sub>4</sub> -C (g/kg)	39	0.44	2.64	1.05	0.92	0.50	1.38

หมายเหตุ: n คือ จำนวน, Minimum คือ ค่าต่ำสุด, Maximum คือ ค่าสูงสุด, Mean คือ ค่าเฉลี่ย, Med คือ ค่ามัธยฐาน, SD คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) และ Skewness คือ ค่าความเบ้

#### 4.1.2 ผลของการเผาฟางข้าวต่อปริมาณคาร์บอนทั้งหมดและรูปของอินทรีย์คาร์บอน

ผลของการจัดการแบบเผาและไม่เผาฟางข้าวหลังการเก็บเกี่ยว พบว่า ไม่ส่งผลต่อความหนาแน่นรวมของดิน pH ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) ปริมาณคาร์บอนทั้งหมด (TC) ไนโตรเจนทั้งหมด (TN) กำมะถันทั้งหมด (TS) และการกักเก็บคาร์บอนในดิน (C-Seq) ให้มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 4.5) แต่ระดับความลึกของดินมีอิทธิพลต่อสมบัติดินในชั้นดินบน (0-15 cm) โดยมีค่าความหนาแน่นรวมของดิน และ pH ต่ำกว่าชั้นดินล่าง (15-30 cm) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าเฉลี่ย pH ในชั้นดินบนเป็นกรดเล็กน้อย ในขณะที่ในชั้นดินล่างมีค่าเฉลี่ยเป็นกลาง ปริมาณคาร์บอนทั้งหมด ไนโตรเจนทั้งหมด กำมะถันทั้งหมดในดิน และการกักเก็บคาร์บอน พบว่า ที่ระดับชั้นดินบนสูงกว่าชั้นดินล่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4.5)

การจัดการแบบเผาและไม่เผาฟางข้าวหลังการเก็บเกี่ยวไม่ส่งผลต่อมวลชีวภาพจุลินทรีย์คาร์บอน (MBC) และไนโตรเจน (MBN) อินทรีย์คาร์บอนที่ละลายได้ (DOC) และ อินทรีย์ไนโตรเจนที่ละลายได้ (DON) Light Fraction (LF) และ Heavy Fraction (HF) Particulate Organic Carbon (POC) และอินทรีย์คาร์บอนที่สกัดด้วยโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ( $\text{KMnO}_4\text{-C}$ ) (ตารางที่ 4.6) อย่างไรก็ตามรูปของ LF มวลชีวภาพจุลินทรีย์คาร์บอน และ DOC ซึ่งเป็นรูปอินทรีย์คาร์บอนที่ย่อยสลายได้ง่าย พบว่า ในดินที่ไม่เผาฟางข้าวมีแนวโน้มสูงกว่าดินที่เผา (ตารางที่ 4.6) ซึ่ง DOC เป็นแหล่งพลังงานแรกของจุลินทรีย์ในดิน (Gong et al. 2009) ซึ่งสอดคล้องกับมวลชีวภาพจุลินทรีย์ที่มากขึ้น การใส่ฟางข้าวหลังการเก็บเกี่ยวจึงอาจมีแนวโน้มทำให้มีจำนวนจุลินทรีย์และกิจกรรมของจุลินทรีย์เพิ่มมากขึ้น สอดคล้องกับการศึกษาของ Wang et al. (2015) พบว่าโลกฟางข้าวทำให้มีปริมาณ DOC, MBC และ LF สูงกว่าการไม่ใส่ฟางข้าวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้อินทรีย์วัตถุที่ย่อยสลายได้ง่ายเป็นคาร์บอนเปลี่ยนแปลงได้ไวต่อการจัดการดินและระบบการเกษตร ขณะที่อินทรีย์คาร์บอนที่ย่อยสลายได้ยาก (HF) ต้องใช้ระยะเวลาานประมาณ 50 ปีในการศึกษาความไวต่อการเปลี่ยนแปลง (Zhong et al. 2015) แต่ในระดับความลึกที่ต่างกัน พบว่า อินทรีย์วัตถุที่ย่อยสลายได้ง่าย ได้แก่ MBN, DON, LF, POC, และ  $\text{KMnO}_4\text{-C}$  และอินทรีย์คาร์บอนที่ย่อยสลายได้ยาก (HF) ในระดับชั้นดินบนสูงกว่าระดับชั้นดินล่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4.6) อย่างไรก็ตาม DOC และ MBC ในระดับชั้นความลึกที่ต่างกันไม่แตกต่างกันทางสถิติแต่ในชั้นดินบนมีแนวโน้มสูงกว่าชั้นดินล่าง (ตารางที่ 4.6) เนื่องจากดินบนมีเศษซากพืชและฟางข้าวสูงกว่าชั้นดินล่างทำให้มีแหล่งอาหาร และมีกิจกรรมของจุลินทรีย์มากกว่า สอดคล้องกับ Poeplau and Don (2013) รายงานว่าคาร์บอนในชั้นดินล่างมีความไว้น้อยกว่าชั้นดินบน

ตารางที่ 4.5 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ 2x2 Factorial in RCBD ของสมบัติดินเบื้องต้นและคาร์บอนทั้งหมดในดินจากการจัดการแปลงแบบไม่เผาฟางข้าวและเผาฟางข้าวหลังการเก็บเกี่ยว ที่ 2 ระดับความลึก

Parameter	BD (g/cm <sup>3</sup> )	pH (1:1)	EC (1:5) (mS/cm)	CEC (cmol/kg)	TC	TN	TS	C-Seq (Mg/rai)
					----- (g/kg) -----			
Management (M)								
Non-Burn	1.58	6.44	0.15	28.84	12.42	0.99	0.56	4.46
Burn	1.52	6.56	0.13	27.86	12.86	1.08	0.56	4.43
Depth (D)								
0-15 cm	1.47 <sup>b</sup>	6.26 <sup>b</sup>	0.14	28.33	15.90 <sup>a</sup>	1.31 <sup>a</sup>	0.74 <sup>a</sup>	5.39 <sup>a</sup>
15-30 cm	1.63 <sup>a</sup>	6.73 <sup>a</sup>	0.14	28.44	9.34 <sup>b</sup>	0.75 <sup>b</sup>	0.38 <sup>b</sup>	3.50 <sup>b</sup>
Mean	1.55	6.49	0.14	28.38	12.62	1.03	0.56	4.45
M	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
D	*	*	ns	ns	**	**	**	**
M*D	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	17.10	13.54	68.77	64.44	47.02	33.62	69.59	40.02

หมายเหตุ: BD คือ ความหนาแน่นรวมของดิน, EC คือ ค่าการนำไฟฟ้า, CEC คือ ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก, TC, TN, และ TS คือ คาร์บอน ไนโตรเจนและกำมะถันทั้งหมด ตามลำดับ, C-Seq คือ ค่าการกักเก็บคาร์บอน, ns คือ ไม่แตกต่างทางสถิติ, \* และ \*\* คือแตกต่างทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ  $p < 0.01$  และ  $p < 0.05$  ตามลำดับ, ตัวอักษรที่ต่างกันในกลุ่มคือแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ  $p < 0.01$  และ  $p < 0.05$  และ CV คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของความแปรปรวน (Coefficient of Variation)

ตารางที่ 4.6 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ 2x2 Factorial in RCBD ของรูปของคาร์บอนและไนโตรเจนในดินจากการจัดการแปลงแบบไม่เผา พางข้าวและเผาพางข้าวหลังการเก็บเกี่ยว ที่ 2 ระดับความลึก

Parameter	DOC	DON	MBC	MBN	LF	HF	POC	KMnO <sub>4</sub> -C
	(mg/kg)		(g/kg)					
Management (M)								
Non-Burn	9.8790	0.0092	0.4670	0.0081	0.10	9.80	1.63	1.51
Burn	7.3730	0.0098	0.3312	0.0082	0.08	9.86	2.17	1.54
Depth (D)								
0-15 cm	9.0890	0.0107 <sup>a</sup>	0.4494	0.0110 <sup>a</sup>	0.15 <sup>a</sup>	12.60 <sup>a</sup>	2.93 <sup>a</sup>	2.00 <sup>a</sup>
15-30 cm	8.3140	0.0082 <sup>b</sup>	0.3623	0.0048 <sup>b</sup>	0.03 <sup>b</sup>	7.06 <sup>b</sup>	0.87 <sup>b</sup>	1.05 <sup>b</sup>
Mean	8.7019	0.0094	0.4077	0.0081	0.09	9.83	1.89	1.53
M	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
D	ns	*	ns	**	**	**	**	**
M*D	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	86.62	48.01	76.16	81.54	61.95	58.13	67.50	43.67

หมายเหตุ: DOC และ DON คือ อินทรีย์คาร์บอนและไนโตรเจนที่ละลายได้ ตามลำดับ, MBC และ MBN คือ มวลชีวภาพจุลินทรีย์คาร์บอนและไนโตรเจน ตามลำดับ, LF และ HF คือ Light และ Heavy Fraction ตามลำดับ, POC คือ Particulate Organic Carbon, KMnO<sub>4</sub>-C คือ อินทรีย์คาร์บอนที่สกัดด้วยโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต, ns คือ ไม่แตกต่างทางสถิติ, \* และ \*\* คือแตกต่างทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ p<0.01 และ p<0.05 ตามลำดับ, และตัวอักษรที่ต่างกันในกลุ่มคือแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ p<0.01 และ p<0.05 และ CV คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของความแปรปรวน (Coefficient of Variation)

## 4.2 การทดลองที่ 2 การทำนายอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดในดินและรูปของอินทรีย์คาร์บอนที่ย่อยสลายยาก (Heavy Fraction : HF) โดยใช้แบบจำลอง DSSAT-CENTURY

การศึกษาโดยแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน ขั้นตอนที่ 1 คือ ศึกษาวิธีการประเมินข้อมูลตัวป้อน (Input Data) ที่สำคัญ โดยทำการประเมิน 2 วิธีการ และขั้นตอนที่ 2 คือการจำลองและประเมินการกักเก็บปริมาณคาร์บอนจากการจัดการฟางข้าวหลังการเก็บเกี่ยวที่ต่างกัน ใน อ.ศรีประจันต์ จ.สุพรรณบุรี คือ การเผาฟางข้าว ใส่ฟางข้าว 25% (แทนการอัดฟางข้าว) และใส่ฟางข้าว 100%

### 4.2.1 ศึกษาวิธีการประเมินข้อมูลตัวป้อน (Input Data) ของการทำนายอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดและคาร์บอนในรูปที่ย่อยสลายตัวได้ยากด้วยแบบจำลอง DSSAT-CENTURY

ทำการประเมินข้อมูลตัวป้อน (Input Data) ในส่วนของค่าวิเคราะห์ดินเริ่มต้น (Initial Value) 2 วิธีการ คือ 1) ใช้ข้อมูลตัวป้อนจากผลวิเคราะห์ตัวอย่างดิน และ 2) สร้างสมการทำนายคาร์บอนทั้งหมดและรูปของคาร์บอนที่ย่อยสลายได้ยาก

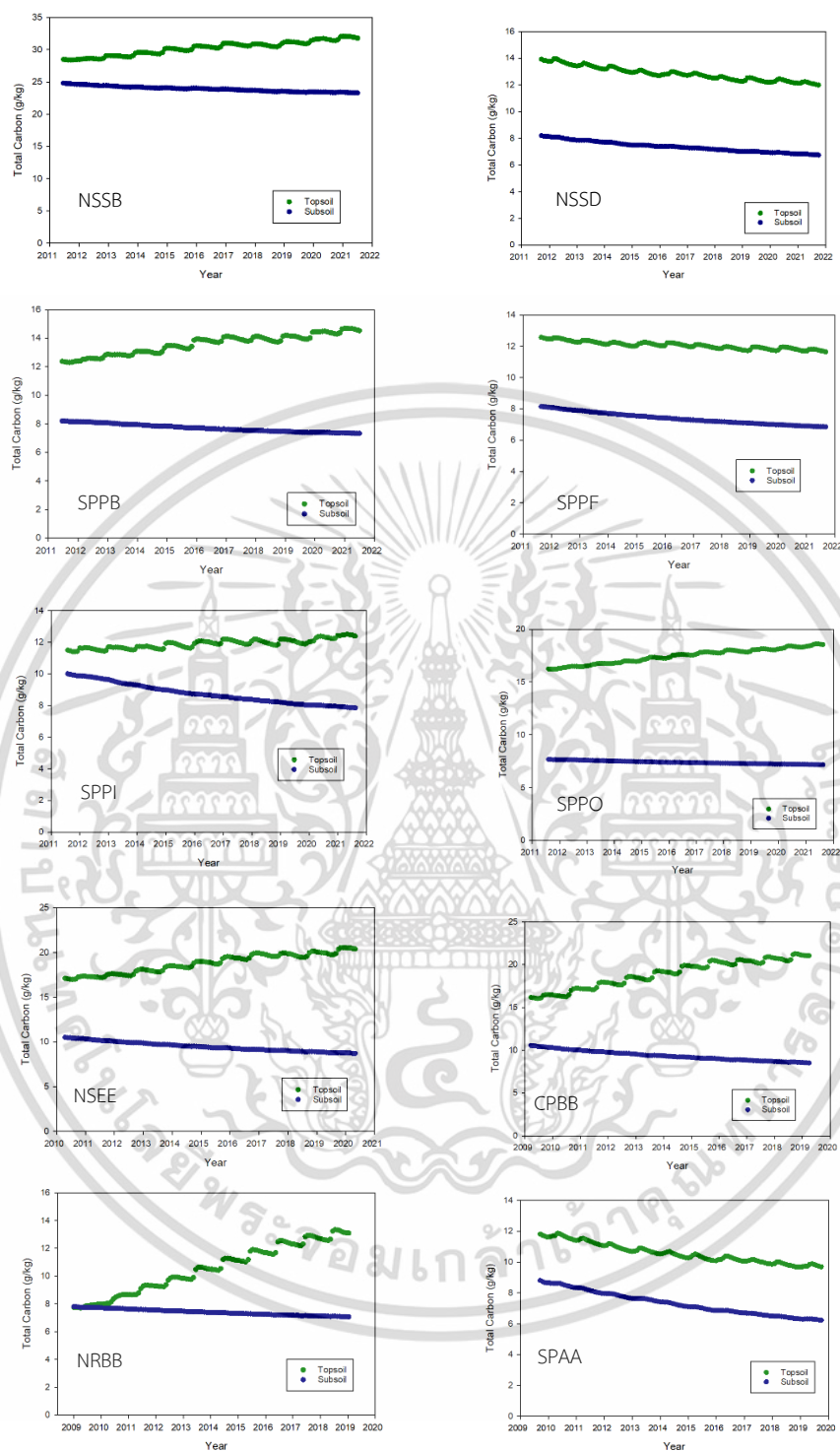
#### 4.2.1.1 ใช้ข้อมูลตัวป้อนจากค่าวิเคราะห์ตัวอย่างดิน

จากผลการทำนายปริมาณอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดและรูปของอินทรีย์คาร์บอนที่ย่อยสลายได้ยาก (Heavy Fraction : HF) ด้วยแบบจำลอง DSSAT-CENTURY โดยใช้ข้อมูลดิน อากาศ พืช และการจัดการ โดยใช้ค่าที่วิเคราะห์จากห้องปฏิบัติการจากแปลงที่มีการจัดการแบบเผาฟางข้าว ได้แก่ อินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดในดิน และอินทรีย์คาร์บอนที่ย่อยสลายได้ยาก (Heavy Fraction) เป็นข้อมูลตัวป้อนเป็นส่วนของค่าวิเคราะห์ดินเริ่มต้น (Initial Value) และทำนายภายใต้เงื่อนไขใส่ฟางข้าวหลังการเก็บเกี่ยวต่อเนื่องเป็นเวลา 10 ปี และเนื่องจากแบบจำลองให้ผลการทำนาย โดยแบ่งชั้นดินอยู่ในช่วง 0-20 cm และชั้นดินล่างอยู่ในช่วง 20-40 cm แต่การวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการชั้นดินบนและล่างมีความลึก 0-15 และ 15-30 cm ตามลำดับ ซึ่งระดับความลึกที่ต่างกันเพียงเล็กน้อยมีผลต่อปริมาณคาร์บอนไม่มาก และเพื่อลดความสับสนจึงขอใช้คำว่าชั้นดินบนและชั้นดินล่าง โดยไม่กำกับระดับความลึกในการอธิบายผลการทดลอง ผลการทำนาย (Final Simulated Value) ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด ในชั้นดินบน ของแปลงที่ 1(NSSB) , 3(SPPB), 5(SPPI), 7(NSEE), 8(CPBB) และ 9(NRBB) มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ขณะที่แปลงอื่นมีแนวโน้มลดลง และจากกราฟ (ภาพที่ 4.1) พบว่า ในดินชั้นบนทุกแปลงมีแนวโน้มมีปริมาณคาร์บอนสูงกว่าในดินชั้นล่าง และส่วนใหญ่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ขณะที่แปลง NSSD SPPF และ SPAA ในดินชั้นบนมีแนวโน้มลดลง อาจเนื่องมาจากแปลงทั้ง 3 แปลง มีวันปลูกในเดือนตุลาคม เดือนกันยายน และเดือนตุลาคม ตามลำดับ ซึ่งเป็นช่วงที่มีปริมาณน้ำฝนสูงกว่าแปลงอื่นๆที่ปลูกในช่วงเดือนมกราคม – เดือนสิงหาคม การปลูกซ้ำกันทุกๆปี เป็นเวลา 10 ปี จึงทำให้มีแนวโน้มปริมาณอินทรีย์

คาร์บอนทั้งหมดในดินบนลดลง เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำฝนทำให้เพิ่มการเจริญเติบโตของพืช รวมถึงเพิ่มปริมาณคาร์บอนลงสู่ดิน ในขณะที่เดียวกันอาจส่งผลโดยตรงต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์และการย่อยสลายอินทรีย์คาร์บอนในดินเพิ่มขึ้น รวมทั้งอาจจะล้างคาร์บอนออกจากดินบน จึงทำให้มีการสูญเสียคาร์บอนออกจากดินเพิ่มขึ้น (Song et al. 2012) ในขณะที่ชั้นดินล่าง พบว่า แปลงที่ 9(NRBB) มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นในขณะที่แปลงอื่นมีแนวโน้มลดลง (ตารางที่ 4.7) อย่างไรก็ตามจากกราฟ (ภาพที่ 4.1) พบว่า แปลง 6(SPPO) มีแนวโน้มคงที่ในขณะที่แปลงอื่นมีแนวโน้มลดลง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.1 ผลการทำนายปริมาณอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดโดยใส่ฟางข้าวต่อเนื่องเป็นเวลา 10 ปี (พ.ศ. 2552-2564 ขึ้นอยู่กับปีที่เก็บตัวอย่าง) โดยใช้แบบจำลอง DSSAT-CENTURY ที่ 2 ระดับความลึก จำนวน 10 plots

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

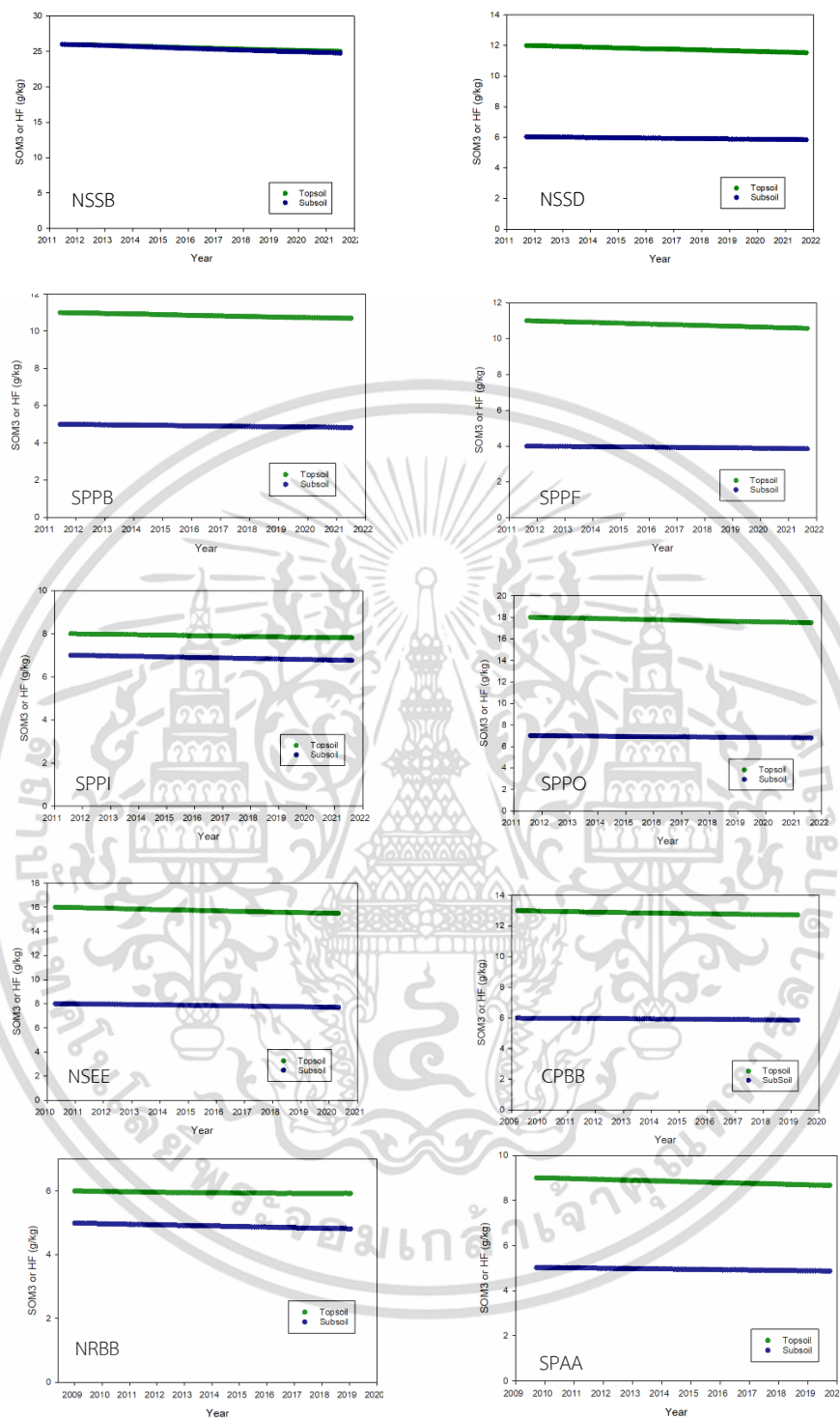
ตารางที่ 4.7 อินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด (TC) ในดินบน (Topsoil) และดินล่าง (Subsoil) ซึ่งเป็นค่าวิเคราะห์ดินเริ่มต้น (Initial Value) จากแปลงที่มีการเผาฟางข้าว และผลจากการจำลองภายใต้เงื่อนไขการใส่ฟางข้าวต่อเป็นเวลา 10 ปี โดยใช้แบบจำลอง DSSAT-CENTURY (Final Simulated Value)

No	Plot	TC (g/kg)		TC (g/kg)	
		Initial Value (Topsoil)	Final Simulated Value* (Topsoil)	Initial Value (Subsoil)	Final Simulated Value* (Subsoil)
1	NSSB	28.34	31.80	25.85	23.30
2	NSSD	15.78	11.99	11.58	6.74
3	SPPB	14.19	14.52	11.27	7.32
4	SPPF	14.47	11.64	11.06	6.85
5	SPPI	11.93	12.39	7.88	7.85
6	SPPO	19.08	16.82	18.19	7.31
7	NSEE	19.34	20.40	15.58	8.70
8	CPBB	17.66	21.03	13.29	8.50
9	NRBB	8.31	13.10	5.84	7.07
10	SPAA	12.77	9.69	8.66	6.23
	Mean	16.19	16.34	12.92	8.99

หมายเหตุ: NSXX คือแปลงในจังหวัดนครสวรรค์, SPXX คือ แปลงในจังหวัดสุพรรณบุรี, CPXX คือ แปลงในจังหวัดชัยภูมิ และ NRXX คือ แปลงในจังหวัดนครราชสีมา, Final Simulated Value\* เป็นข้อมูลผลการทำนายจากในวันสุดท้ายที่ได้จากแบบจำลอง DSSAT-CENTURY

ผลการทำนายรูปของอินทรีย์คาร์บอนที่ย่อยสลายได้ยาก (Heavy fraction : HF) โดยใส่ฟางข้าวหลังการเก็บเกี่ยวต่อเนื่องเป็นเวลา 10 ปี พบว่า ปริมาณ HF ที่ระดับความลึกในชั้นดินบนของแปลงที่ 2(NSSD), 3(SPPB), 4(SPPF), 6(SPPO), 7(NSEE) และ 8(CPBB) มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ขณะที่แปลงอื่นมีแนวโน้มลดลง และชั้นดินล่าง แปลงที่ 9 และ 10 มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นในขณะที่แปลงอื่นมีแนวโน้มลดลง (ตารางที่ 4.8) ในขณะที่ภาพที่ 4.2 ทุกแปลงมีแนวโน้มคงที่หรือลดลงทั้งสองระดับความลึก และที่ระดับความลึกในชั้นดินบนมีค่ามากกว่าชั้นดินล่าง แสดงให้เห็นว่าอินทรีย์คาร์บอนที่ย่อยสลายยากมีแนวโน้มค่อนข้างคงที่ และต้องใช้ระยะเวลาในการศึกษาการเปลี่ยนแปลง Song et al. (2012) รายงานว่า การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate change) และปริมาณน้ำฝนที่เพิ่มขึ้น ไม่ส่งผลต่อ Heavy Fraction ในระยะเวลาการศึกษา 6 ปี และ 13 ปีจากการศึกษาก่อนหน้านี้ (Froberg et al. 2008)





ภาพที่ 4.2 ผลการทำนายปริมาณอินทรีย์คาร์บอนรูปที่ย่อยสลายได้ยาก โดยใส่ฟางข้าวเป็นเวลา 10 ปี (พ.ศ. 2552-2564 ขึ้นอยู่กับปีที่เก็บตัวอย่าง) ในแปลงที่มีการเผาฟางข้าว โดยใช้แบบจำลอง DSSAT-CENTURY ที่ 2 ระดับความลึก จำนวน 10 plots

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.8** คาร์บอนรูปที่ย่อยสลายได้ยาก (SOM3 or HF) ในดินบน (Topsoil) และดินล่าง (Subsoil) ซึ่งเป็นค่าวิเคราะห์ดินเริ่มต้น (Initial Value) จากแปลงที่มีการเผาฟางข้าว และผลจากการจำลองภายใต้เงื่อนไขการใส่ฟางข้าวต่อเป็นเวลา 10 ปี โดยใช้แบบจำลอง DSSAT-CENTURY (Final Simulated Valued)

No	Plot	SOM3 or HF (g/kg)		SOM3 or HF (g/kg)	
		Initial Value	Final Simulated	Initial Value	Final Simulated
		(Topsoil)	Value* (Topsoil)	(Subsoil)	Value* (Subsoil)
1	NSSB	29.06	25.02	26.44	24.77
2	NSSD	8.25	11.52	6.11	5.83
3	SPPB	6.94	10.70	4.63	4.82
4	SPPF	6.80	10.58	3.89	3.85
5	SPPI	10.29	7.81	7.12	6.76
6	SPPO	7.68	17.49	6.87	6.83
7	NSEE	10.54	15.50	8.19	7.70
8	CPBB	11.61	12.72	6.30	5.86
9	NRBB	6.09	5.92	4.56	4.81
10	SPAA	8.80	8.67	4.67	4.87
	mean	10.61	12.59	7.88	7.61

หมายเหตุ: NSXX คือแปลงในจังหวัดนครสวรรค์, SPXX คือ แปลงในจังหวัดสุพรรณบุรี, CPXX คือ แปลงในจังหวัดชัยภูมิ และ NRXX คือ แปลงในจังหวัดนครราชสีมา, Final Simulated Value\* เป็นข้อมูลผลการทำนายจากในวันสุดท้ายที่ได้จากแบบจำลอง DSSAT-CENTURY

ผลทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลอง (Model Validation) จากค่าวิเคราะห์โดยห้องปฏิบัติการ (Observed Value) ของแปลงที่มีการจัดการแบบไม่เผาฟางข้าว (Non-Burn) ต่อเนื่องเป็นเวลา 10 ปี ถึงในปีที่เก็บตัวอย่างดิน และค่าที่ได้จากการทำนาย (Predicted Value) โดยแบบจำลอง DSSAT-CENTURY โดยใช้ข้อมูลตัวป้อนจากแปลงที่เผาฟางข้าว และจำลองในเงื่อนไขใส่ฟางข้าวต่อเนื่อง 10 ปี จากผลการทำนายแสดงปริมาณคาร์บอนทั้งหมด (TC) ในตารางที่ 4.7 และคาร์บอนที่ย่อยสลายได้ยาก (HF หรือ Stable C หรือ SOM3) ในตารางที่ 4.8 พบว่า ค่า normalized Root Mean Square Error (RMSEn) ของการทำนายอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด มีค่าเท่ากับ 25.73% และ 25.09% ตามลำดับในชั้นดินบนและชั้นดินล่าง ตามลำดับ (ตารางที่ 4.9) และส่วนของคาร์บอนที่ย่อยสลายได้ยากในดินชั้นบนและดินชั้นล่าง มีค่าเท่ากับ 32.65% และ 21.52% ตามลำดับ (ตารางที่ 4.9) โดยถ้าค่า RMSEn อยู่ระหว่าง 0 - 10% จัดว่าแบบจำลองทำนายได้ดีมาก ถ้าอยู่ระหว่าง 10 - 20% ถือว่าแบบจำลองทำนายได้ดี ถ้าอยู่ช่วง 20 - 30% ถือว่าแบบจำลองทำนายได้ในระดับพอใช้ และถ้ามากกว่า 30% ถือว่าแบบจำลองทำนายได้ไม่ดี (Li et al. 2015; Saldaña-Villota and Cotes-Torres, 2021) โดยค่า RMSEn ของอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดที่ระดับชั้นดินบนและดินล่าง และส่วนของคาร์บอนที่ย่อยสลายได้ยากที่ระดับชั้นดินล่างทำนายได้ในระดับพอใช้ และทำนายส่วนของคาร์บอนที่ย่อยสลายได้ยากที่ระดับชั้นดินบนทำนายได้ในระดับไม่ดี

Index of Agreement (d) ของอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดที่ระดับชั้นดินบนและดินล่าง มีค่าเท่ากับ 0.86 และ 0.93 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.9) และส่วนของคาร์บอนที่ย่อยสลายได้ยากที่ระดับชั้นดินบนและดินล่างมีค่าเท่ากับ 0.84 และ 0.98 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.9) โดยค่า d มีค่าอยู่ในช่วง 0 - 1 เมื่อ  $d \geq 0.9$  แสดงว่าแบบจำลองสามารถทำนายได้อยู่ระดับดีมาก ถ้าค่าอยู่ในช่วง  $0.8 \leq d < 0.9$  แสดงว่าแบบจำลองอยู่ในระดับดี ถ้าค่าอยู่ในช่วง  $0.7 \leq d < 0.8$  แสดงว่าทำนายได้อยู่ในระดับพอใช้ (Li et al. 2015; Salmerón et al. 2014) แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองสามารถทำนายอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดและคาร์บอนที่ย่อยสลายยากในชั้นดินล่างได้ระดับดีมาก และที่ระดับชั้นดินบนอยู่ในระดับดี

จากกราฟ 1:1 line ของอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด และคาร์บอนที่ย่อยสลายได้ยากจากการทำนายด้วยแบบจำลองและในดินบนและดินล่าง พบว่า ค่าที่ทำนายได้ส่วนใหญ่ต่ำกว่าค่าจากห้องปฏิบัติการ (ภาพที่ 4.3 และ 4.4 ตามลำดับ) จากการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองแสดงให้เห็นว่าแบบจำลอง DSSAT-CENTURY สามารถใช้ทำนายปริมาณอินทรีย์คาร์บอนและคาร์บอนส่วนที่สลายตัวยาก เมื่อจำลองในเงื่อนไขที่มีการใส่ฟางข้าวต่อเนื่องได้ แต่การจำลองครั้งนี้ใช้ข้อมูลตัวป้อนจากค่าวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการจริง ซึ่งต้องใช้เครื่องมือ วิธีการ และค่าใช้จ่ายสูง ซึ่งสามารถทำได้ในห้องปฏิบัติการเพียงไม่กี่แห่งในประเทศไทย

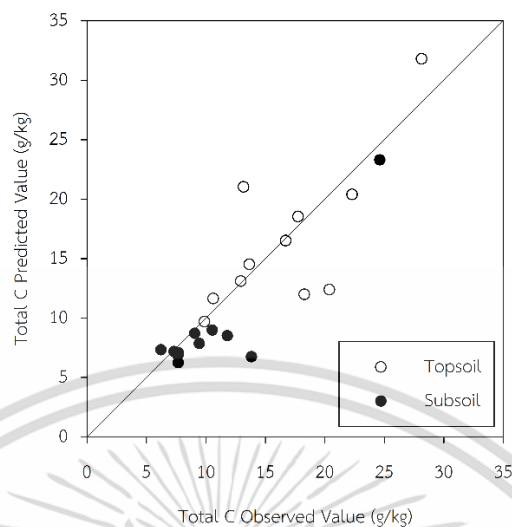
ตารางที่ 4.9 ผลทดสอบประสิทธิภาพแบบจำลองปริมาณอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด (TC) และคาร์บอนรูปที่ย่อยสลายได้ยาก (SOM3 or HF) ในชั้นดินบน (Topsoil) และชั้นดินล่าง (Subsoil)

Statistical Analysis	Topsoil		Subsoil	
	TC	SOM3 or HF	TC	SOM3 or HF
RMSE	4.30	4.47	2.64	1.82
RMSEn (%)	25.73	32.65	25.09	21.52
d	0.86	0.84	0.93	0.98

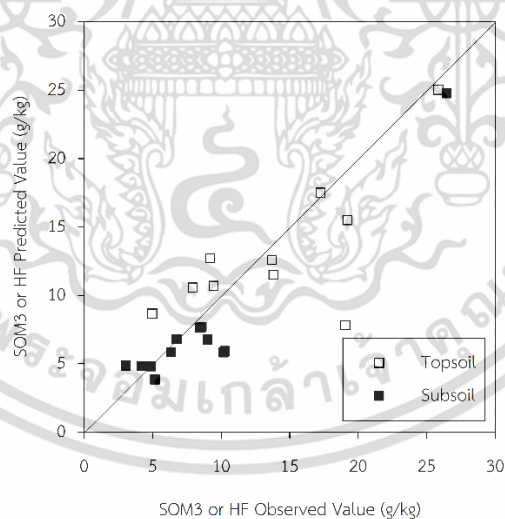
หมายเหตุ: RMSE คือ Root Mean Square Error, RMSEn คือ normalized Root Mean Square Error, และ d คือ Index of Agreement



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.3 แสดงกราฟ 1:1 line ระหว่างค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ (Observed Value) และค่าที่ได้จากการทำนาย (Predicted Value) ของอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดในดินจำนวน 10 plots ที่ระดับชั้นดินบนและชั้นดินล่าง



ภาพที่ 4.4 แสดงกราฟ 1:1 line ระหว่างค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ (Observed Value) และค่าที่ได้จากการทำนาย (Predicted Value) ของคาร์บอนที่ย่อยสลายได้ยาก (SOM3 or HF) ของดินจำนวน 10 plots ที่ระดับชั้นดินบนและชั้นดินล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.1.2 ใช้ข้อมูลตัวบ่งชี้จากการสร้างสมการทำนายคาร์บอนทั้งหมดและรูปของอินทรีย์คาร์บอนที่ย่อยสลายยาก

การวิเคราะห์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson's correlation coefficients) ของแปลงข้าวที่มีการจัดการแบบเผาฟางข้าวหลังการเก็บเกี่ยว จำนวน 18 plots พบว่า ปริมาณคาร์บอนทั้งหมด (Total Carbon) มีความสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับอนุภาคดินเหนียว ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) และ Heavy Fraction มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( $r$ ) เท่ากับ 0.37\*, 0.54\*\*, และ 0.98\*\* ตามลำดับ และมีความสัมพันธ์เชิงลบกับความหนาแน่นรวมทั้งหมดในดิน (BD) (ตารางที่ 4.10) สอดคล้องกับการศึกษาของ อุเทน จันละบุตร และภูวดล โกมณเทียร (2559) อนุภาคทรายมีความสัมพันธ์เชิงลบกับอินทรีย์คาร์บอน ในขณะที่อนุภาคดินเหนียวมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับอินทรีย์คาร์บอน เนื่องจากอนุภาคดินเหนียวมากขึ้นทำให้อัตราการย่อยสลายของอินทรีย์วัตถุช้าลง (McLaughlan. 2006; Xu et al. 2016) นอกจากนี้อนุภาคดินเหนียวมีพื้นที่ผิวที่เป็นประจุลบมากทำให้สามารถจับกับประจุบวก เช่น อินทรีย์วัตถุได้ (Xu et al. 2016) ทำให้อนุภาคดินเหนียวจึงมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก ( $p < 0.01$ ) และความสามารถการแลกเปลี่ยนประจุบวกมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับอินทรีย์คาร์บอน ( $p < 0.01$ )

อินทรีย์คาร์บอนที่ย่อยสลายได้ยาก (Heavy Fraction: HF) มีความสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กับอนุภาคดินเหนียว ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก และปริมาณคาร์บอนทั้งหมด มีค่า  $r$  เท่ากับ 0.45\*\*, 0.63\*\* และ 0.98\*\* ตามลำดับ และมีความสัมพันธ์เชิงลบกับความหนาแน่นรวมทั้งหมดในดิน มีค่า  $r$  เท่ากับ -0.51\*\* (ตารางที่ 4.10)

ตารางที่ 4.10 สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson's Correlation Coefficients) ระหว่างคาร์บอนทั้งหมดในดิน (Total Carbon: TC) และ Heavy Fraction (HF) กับสมบัติดินเบื้องต้น ของแปลงที่มีการจัดการแบบเผาฟางข้าว

Parameter	Total Carbon	Heavy Fraction
Sand	-0.27	-0.31
Silt	-0.09	-0.14
Clay	0.37*	0.45**
Bulk Density	-0.58**	-0.51**
pH (1:1)	0.05	0.06
EC (1:5)	0.16	0.21
CEC	0.54**	0.63**
Total Carbon	1	0.98**
Heavy Fraction	0.98**	1

หมายเหตุ: - คือ ความสัมพันธ์เชิงลบ, \*\* คือ  $p < 0.01$  และ \* คือ  $p < 0.05$

จากวิเคราะห์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson's Correlation Coefficients) แล้วนำสมบัติดินที่มีความสัมพันธ์กับปริมาณคาร์บอนทั้งหมด ของแปลงที่มีการจัดการแบบเผาฟางข้าวจำนวน 18 plots ไปสร้างสมการทำนายปริมาณคาร์บอนทั้งหมด (Total Carbon : TC) และคาร์บอนที่ย่อยสลายได้ยาก (Heavy Fraction : HF) ด้วยการวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณ (Stepwise Regression) พบว่าจากสมการที่ 4.1 พบว่า ความหนาแน่นรวมทั้งหมดในดินและความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกสามารถอธิบายความผันแปรของปริมาณคาร์บอนทั้งหมดได้ 54.16% ( $R^2 = 0.54^{**}$ ) และจากสมการที่ 4.2 พบว่า ความหนาแน่นรวมทั้งหมดในดินและความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก สามารถอธิบายความผันแปรของอินทรีย์คาร์บอนที่ย่อยสลายยากได้ 56.41% ( $R^2 = 0.56^{**}$ ) ได้สมการดังนี้

$$TC = 26.14697 - 12.29091(BD) + 0.19181(CEC) \quad (4.1)$$

$$(R^2 = 0.54^{**}, n=36)$$

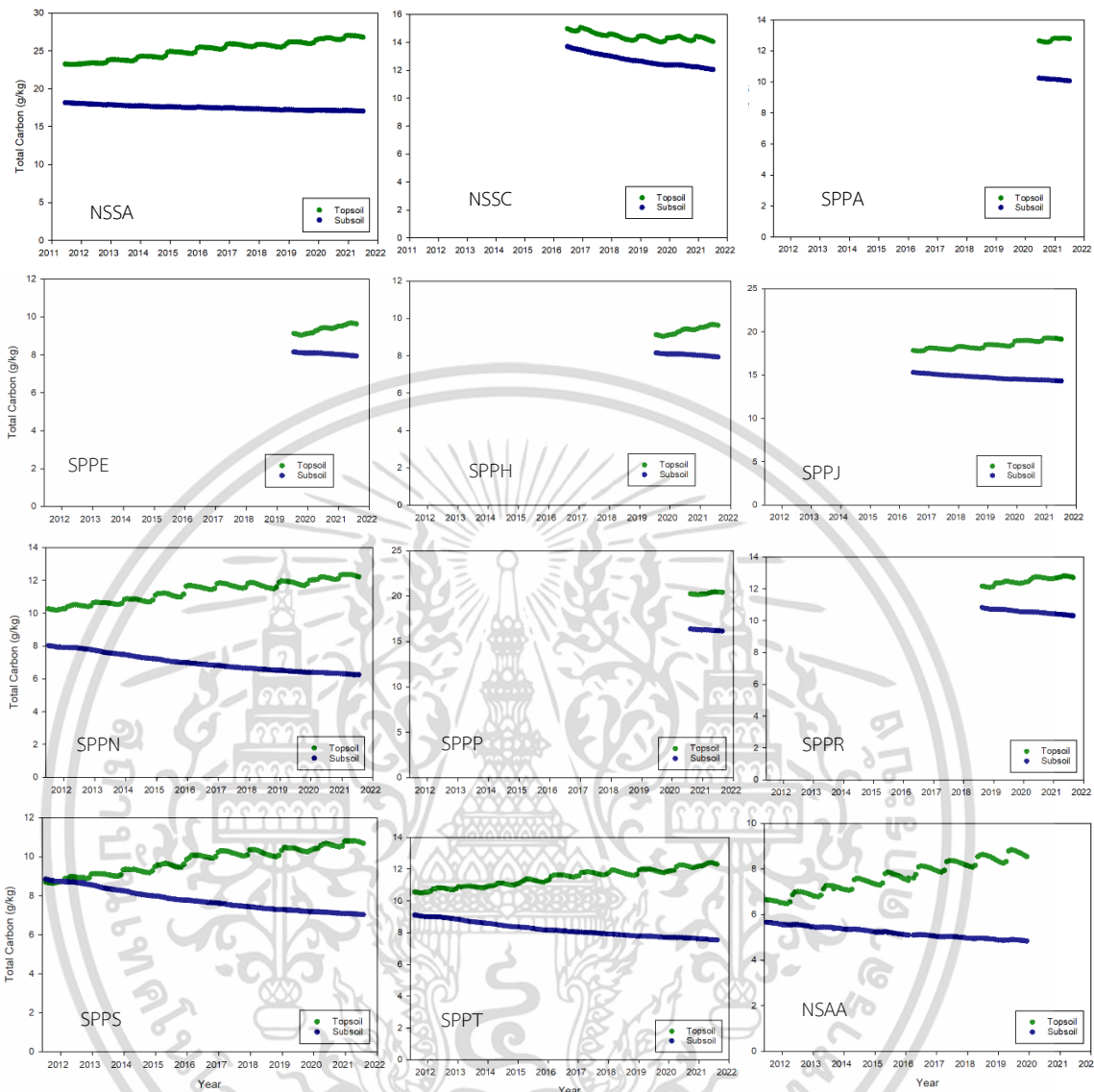
$$HF = 18.15565 - 9.49693(BD) + 0.21911(CEC) \quad (4.2)$$

$$(R^2 = 0.56^{**}, n=36)$$

เมื่อ TC คือ ปริมาณคาร์บอนทั้งหมด (Total Carbon, g/kg), CEC คือค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cation Exchange Capacity, cmol/kg), BD คือ ความหนาแน่นรวมทั้งหมดของดิน (Bulk Density, g/cm<sup>3</sup>) และ HF คือ ปริมาณคาร์บอนที่ย่อยสลายได้ยาก (Heavy Fraction, g/kg)

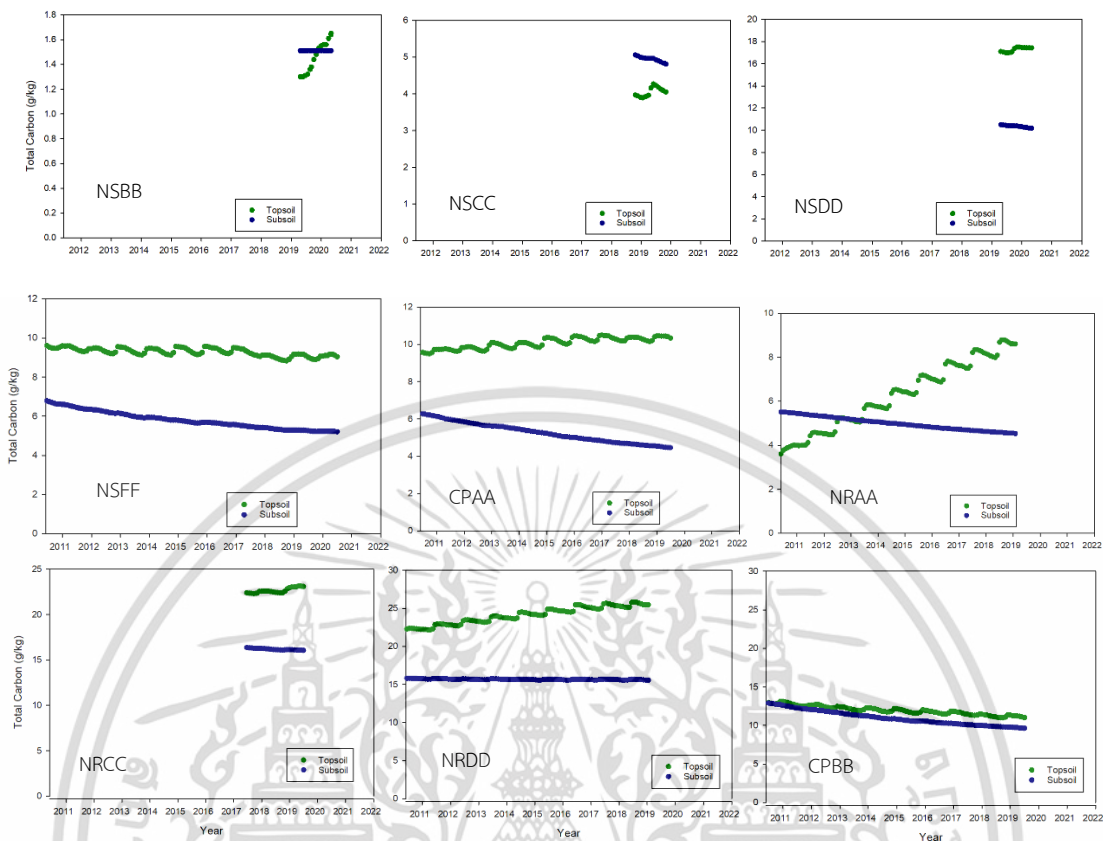
นำสมบัติดินของ 21 แปลง (ไม่เผาฟางข้าว) แทนในสมการที่ 4.1 และ 4.2 เพื่อคำนวณข้อมูลตัวป้อน (TC และ HF) แล้วนำไปจำลองด้วยแบบจำลอง DSSAT-CENTURY ปริมาณคาร์บอนทั้งหมด (TC) และคาร์บอนที่ย่อยสลายได้ยาก (HF) จากการแทนค่าสมบัติดินในสมการที่ 4.1 และ 4.2 ตามลำดับ ของทั้ง 21 plots แสดงในตารางภาคผนวกที่ 2.1 นำไปใช้เป็นข้อมูลตัวป้อน (Initial Value) ในส่วนของค่าวิเคราะห์ดิน (Soil Analysis) ในแบบจำลอง DSSAT-CENTURY และมีการจัดการโดยใส่ฟางข้าวหลังการเก็บเกี่ยวเกี่ยวต่อเนื่องตามจำนวนปีที่มีการจัดการแบบไม่เผาฟางข้าวจากแบบสัมภาษณ์ เพื่อทำนายปริมาณอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด (TC) และอินทรีย์คาร์บอนที่ย่อยสลายได้ยาก (HF) จากแบบจำลอง DSSAT-CENTURY (Final Simulated Value)

จากผลการทำนายปริมาณอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด (TC) ด้วยแบบจำลอง DSSAT-CENTURY โดยใช้ค่า อินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดในดิน (TC) และอินทรีย์คาร์บอนที่ย่อยสลายได้ยาก (HF) ที่ได้จากการคำนวณจากสมการของแปลงที่มีการจัดการแบบไม่เผาฟางข้าวเป็นข้อมูลตัวป้อน (Initial Value) โดยทำนายภายใต้เงื่อนไขใส่ฟางข้าวหลังการเก็บเกี่ยวเกี่ยวต่อเนื่องตามการจัดการแบบไม่เผาฟางข้าวจากข้อมูลในแบบสัมภาษณ์ ผลการทำนาย (Final Simulated Value) พบว่า ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดในชั้นดินบน ส่วนใหญ่มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นยกเว้นแปลงที่ 2(NSSC), 3(SPPA), 4(SPPE), 5(SPPH), 8(SPPP), 16(NSFF), 17(CPAA), และ 21(SPBB) มีแนวโน้มลดลง ชั้นดินล่างส่วนมากมีแนวโน้มลดลง ยกเว้นแปลงที่ 4(SPPE), 13(NSBB), 14(NSCC) และ 18(NRCC) มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นในขณะที่แปลงอื่นมีแนวโน้มลดลง (ภาพที่ 4.5 และตารางที่ 4.11)



ภาพที่ 4.5 ผลการทำนายปริมาณคาร์บอนทั้งหมด โดยใช้ฟางข้าวในแปลงตามระยะเวลาการจัดการไม่เผาข้าว โดยใช้แบบจำลอง DSSAT-CENTURY ที่ 2 ระดับความลึก จำนวน 21 plots

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.5 ผลการทำนายปริมาณคาร์บอนทั้งหมด โดยใส่ฟางข้าวในแปลงตามระยะเวลาการจัดการไม่เผาข้าว โดยใช้แบบจำลอง DSSAT-CENTURY ที่ 2 ระดับความลึก จำนวน 21 plots (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.11 ผลของคาร์บอนทั้งหมด (TC) ในดินบน (Topsoil) และดินล่าง (Subsoil) จากค่าที่ได้จากการคำนวณจากสมการ (Initial Value) และผลการจำลองภายใต้เงื่อนไขการใส่ฟางข้าวต่อเนื่องตามจำนวนปีที่ไม่เผาฟางข้าวตามแบบสอบถาม โดยใช้แบบจำลอง DSSAT-CENTURY (Final Simulated Value)

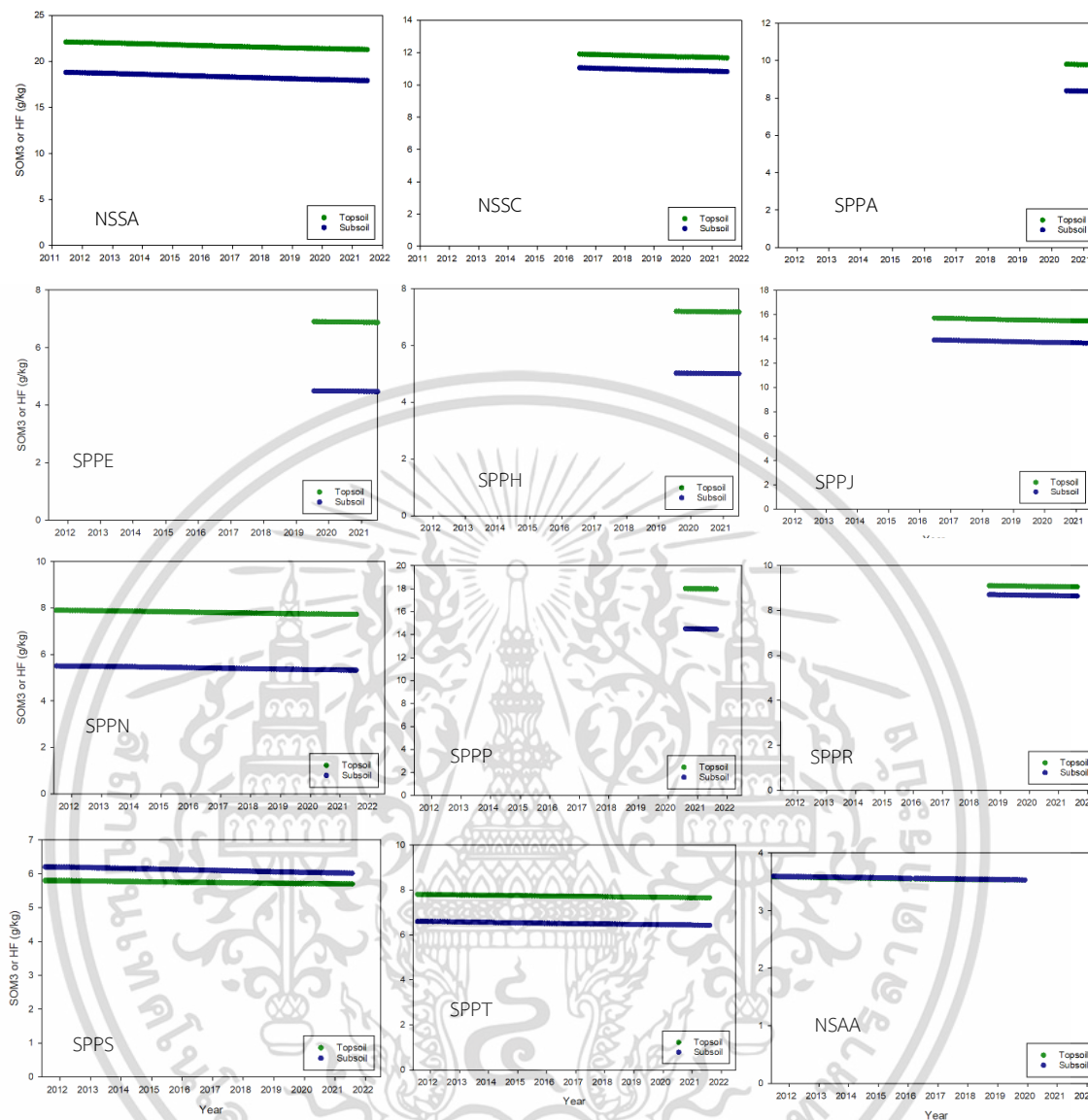
No	Plot	TC (g/kg)		TC (g/kg)	
		Initial Value (Topsoil)	Final Simulated Value* (Topsoil)	Initial Value (Subsoil)	Final Simulated Value* (Subsoil)
1	NSSA	24.07	26.81	20.80	17.06
2	NSSC	15.35	14.05	13.71	12.05
3	SPPA	13.22	12.78	10.98	10.07
4	SPPE	9.87	9.63	6.85	7.94
5	SPPH	20.42	9.63	17.16	7.94
6	SPPJ	18.38	19.15	16.22	14.33
7	SPPN	11.03	12.22	8.09	6.25
8	SPPP	21.23	20.41	17.40	16.15
9	SPPR	12.45	12.71	11.23	10.31
10	SPPS	8.59	10.68	9.01	7.03
11	SPPT	10.99	12.32	9.26	7.54
12	NSAA	5.60	8.55	6.07	4.84
13	NSBB	1.30	1.65	1.35	1.51
14	NSSC	3.79	4.05	4.46	4.81
15	NSDD	16.53	17.43	14.69	10.18
16	NSFF	10.20	9.04	7.76	5.21
17	CPAA	10.60	10.34	6.75	4.46
18	NRAA	3.48	8.60	1.86	4.53
19	NRCC	22.62	23.08	21.79	16.06
20	NRDD	21.40	25.45	21.32	15.56
21	SPBB	13.22	11.02	13.77	9.64
	Mean	13.06	13.31	11.45	9.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทำนายรูปของอินทรีย์คาร์บอนที่ย่อยสลายได้ยาก (SOM3 or Heavy fraction: HF) จากการใช้ข้อมูลตัวบ่งชี้จากสมการที่ 4.2 และใส่พารามิเตอร์การเก็บเกี่ยวต่อเนื่องตามระยะเวลาการไม่เผาพางข้าวตามแบบสัมภาษณ์ พบว่า คาร์บอนที่ย่อยสลายยากในชั้นดินบน ส่วนใหญ่มีลดลงยกเว้นแปลงที่ 13(NSBB), 14(NSCC), 15(NSDD) และ 18(NRAA) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับชั้นดินล่างส่วนมากมีแนวโน้มลดลง ยกเว้นแปลงที่ 13(NSBB), 17(CPAA) และ 18(NRAA) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในขณะที่แปลงอื่นมีแนวโน้มลดลง (ภาพที่ 4.6 และตารางที่ 4.12)

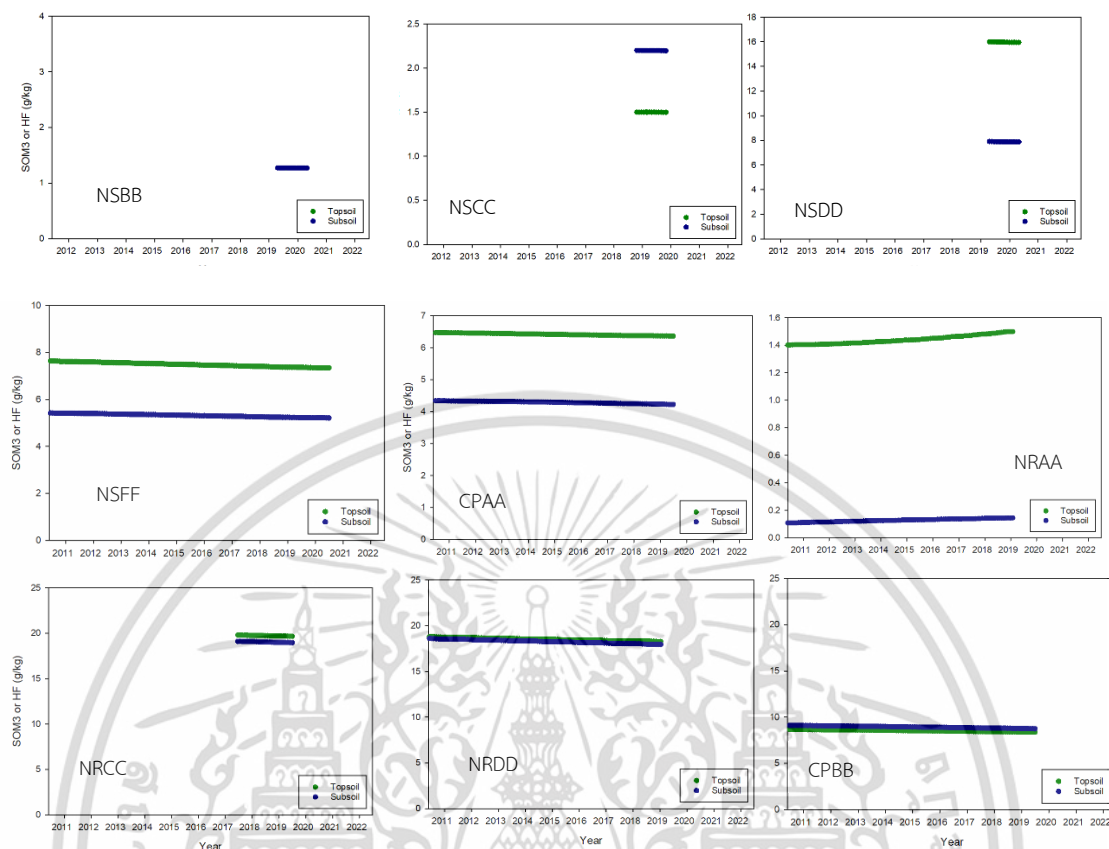
ผลทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลอง (Model Validation) จากค่าวิเคราะห์โดยห้องปฏิบัติการ (Observed Value) ของแปลงที่มีการจัดการแบบไม่เผาพางข้าว (Non-Burn) และค่าที่ได้จากการทำนาย (Predicted Value) โดยแบบจำลอง DSSAT-CENTURY โดยใช้ข้อมูลตัวบ่งชี้จาก TC และ HF ที่ได้จากสมการแปลงที่ไม่เผาพางข้าว และจำลองในเงื่อนไขไม่เผาพางข้าวตามจำนวนปีจากแบบสัมภาษณ์ จากผลการทำนายที่แสดงปริมาณคาร์บอนทั้งหมด (TC) ในตารางที่ 4.11 และคาร์บอนที่ย่อยสลายได้ยาก (HF หรือ Stable C หรือ SOM3) ในตารางที่ 4.12 พบว่า ค่า normalized Root Mean Square Error (RMSEn) ของการทำนายอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด มีค่าเท่ากับ 21.77% และ 41.87% ตามลำดับในชั้นดินบนและชั้นดินล่าง ตามลำดับ (ตารางที่ 4.13) และส่วนของคาร์บอนที่ย่อยสลายได้ยากในดินชั้นบนและดินชั้นล่าง มีค่าเท่ากับ 31.16% และ 41.91% ตามลำดับ (ตารางที่ 4.13) โดยค่า RMSEn ของอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดที่ระดับชั้นดินบนอยู่ในระดับพอใช้ และทำนายอินทรีย์คาร์บอนในชั้นดินล่าง และส่วนของคาร์บอนที่ย่อยสลายได้ยากที่ระดับชั้นดินล่างและชั้นดินบนทำนายได้ในระดับไม่ดี

Index of Agreement (d) ของอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดที่ระดับชั้นดินบนและดินล่าง มีค่าเท่ากับ 0.93 และ 0.91 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.13) และส่วนของคาร์บอนที่ย่อยสลายได้ยากที่ระดับชั้นดินบนและดินล่างมีค่าเท่ากับ 0.83 และ 0.91 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.13) โดยค่า d แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองสามารถทำนายอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดและคาร์บอนที่ย่อยสลายยากในชั้นดินล่างได้ระดับดีมาก และที่ระดับชั้นดินบนอยู่ในระดับดี



ภาพที่ 4.6 ผลการทำนายปริมาณคาร์บอนรูปที่ย่อยสลายได้ยาก โดยใส่ฟางข้าวในแปลงตามระยะเวลาการจัดการไม่เผาข้าว โดยใช้แบบจำลอง DSSAT-CENTURY ที่ 2 ระดับความลึก จำนวน 21 plots

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.6 ผลการทำนายปริมาณคาร์บอนรูปที่ย่อยสลายได้ยาก โดยใส่ฟางข้าวในแปลงตามระยะเวลาการจัดการไม่เผาข้าว โดยใช้แบบจำลอง DSSAT-CENTURY ที่ 2 ระดับความลึก จำนวน 21 plots (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.12 ผลของคาร์บอนที่ย่อยสลายได้ยาก (SOM3 or HF) ในดินบน (Topsoil) และดินล่าง (Subsoil) จากค่าที่ได้จากการคำนวณจากสมการ (Initial Value) และผลการจำลองภายใต้เงื่อนไขการใส่ ฟางข้าวต่อเนื่องตามจำนวนปีที่ไม่เผาฟางข้าวตามแบบสอบถาม โดยใช้แบบจำลอง DSSAT-CENTURY (Final Simulated Value)

No	Plot	SOM3 or HF (g/kg)		SOM3 or HF (g/kg)	
		Initial Value	Final Simulated	Initial Value	Final Simulated
		(Topsoil)	Value* (Topsoil)	(Subsoil)	Value* (Subsoil)
1	NSSA	22.07	21.28	18.84	17.89
2	NSSC	11.87	11.67	10.99	10.82
3	SPPA	9.85	9.77	8.40	8.35
4	SPPE	6.95	6.87	4.54	4.47
5	SPPH	16.71	7.17	14.34	5.00
6	SPPJ	15.75	15.45	13.93	13.64
7	SPPN	7.86	7.72	5.47	5.32
8	SPPP	17.99	17.95	14.50	14.46
9	SPPR	9.06	9.04	8.66	8.64
10	SPPS	5.80	5.70	6.19	6.02
11	SPPT	7.83	7.65	6.63	6.43
12	NSAA	3.61	3.53	3.59	3.53
13	NSBB	-0.78	1.27	-0.71	1.27
14	NSSC	1.49	1.50	2.21	2.20
15	NSDD	13.38	15.95	11.69	7.88
16	NSFF	7.58	7.34	5.39	5.21
17	CPAA	6.52	6.36	3.72	4.22
18	NRAA	1.39	1.50	0.08	0.14
19	NRCC	19.79	19.66	19.14	18.96
20	NRDD	18.89	18.28	18.66	17.95
21	SPBB	8.74	8.37	9.14	8.74
	Mean	10.11	9.72	8.83	8.15

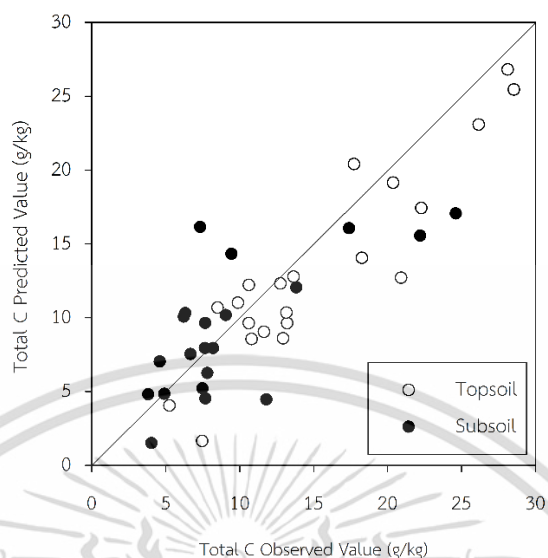
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.13** ผลทดสอบประสิทธิภาพของการทำนายปริมาณอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด (TC) และคาร์บอนรูปที่ย่อยสลายได้ยาก (SOM3 or HF) จากแบบจำลอง DSSAT-CENTURY

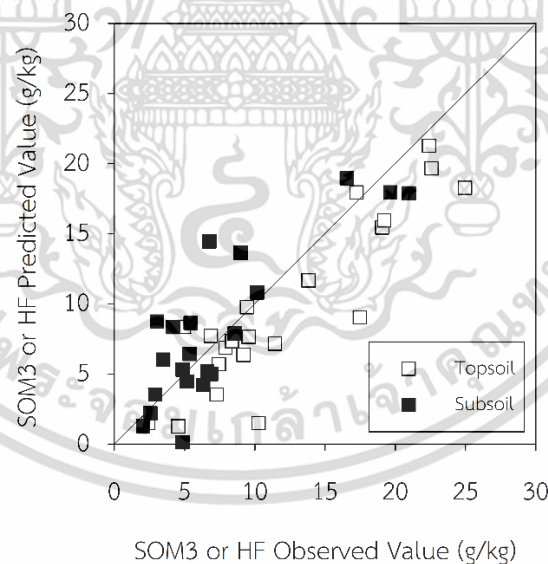
Statistical Analysis	Topsoil		Subsoil	
	TC	SOM3 or HF	TC	SOM3 or HF
RMSE	3.35	3.80	3.96	3.10
RMSEn (%)	21.77	31.16	41.87	41.91
d	0.93	0.91	0.83	0.91

หมายเหตุ: RMSE คือ Root Mean Square Error, RMSEn คือ normalized Root Mean Square Error, และ d คือ Index of agreement

กราฟ 1:1 line ของปริมาณคาร์บอนทั้งหมด (ภาพที่ 4.7) และคาร์บอนรูปที่ย่อยสลายได้ยาก (ภาพที่ 4.8) ในการจัดการแบบไม่เผาฟางข้าว จำนวน 21 plots แสดงระหว่างค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ (Observed Value) และค่าที่ได้จากการทำนาย (Predicted Value) พบว่า ค่าที่ได้จากการทำนายส่วนใหญ่มีแนวโน้มความแม่นยำต่ำกว่าค่าที่ได้จากการวิเคราะห์จากห้องปฏิบัติการทั้ง TC และ HF อาจเนื่องมาจากการใช้ค่าวิเคราะห์ดินเริ่มต้น (Initial Value) ทั้ง TC และ HF ที่คำนวณได้จากสมการทำนายโดยใช้ค่าความหนาแน่นรวมทั้งหมดในดิน (BD) และค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) สามารถทำนาย TC และ HF ได้ 54.16% และ 56.41% ตามลำดับ มีบางแปลงได้ค่าต่ำกว่าค่าที่ได้จากห้องปฏิบัติการ โดยเฉพาะ TC ในชั้นดินบน มีค่าที่คำนวณได้จากสมการต่ำกว่าค่าที่ได้จากห้องปฏิบัติการ 16 plots จากทั้งหมด 21 plots (ตารางภาคผนวกที่ 2.1) และมีบางแปลงมีค่าติดลบทั้ง TC และ HF อาจทำให้ประสิทธิภาพการทำนายลดลงและทำนายได้ต่ำกว่าค่าที่ได้จากห้องปฏิบัติการ



ภาพที่ 4.7 แสดงกราฟ 1:1 line ระหว่างค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ (Observed value) และค่าที่ได้จากแบบจำลอง DSSAT-CENTURY (Predicted value) ของคาร์บอนทั้งหมดในดินจำนวน 21 plots ที่ระดับชั้นดินบน (Topsoil) และชั้นดินล่าง (Subsoil)



ภาพที่ 4.8 แสดงกราฟ 1:1 line ระหว่างค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ (Observed value) และค่าที่ได้จากแบบจำลอง DSSAT-CENTURY (Predicted value) ของคาร์บอนที่ย่อยสลายได้ยากจำนวน 21 plots ที่ระดับชั้นดินบน (Topsoil) และชั้นดินล่าง (Subsoil)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.2 การทำนายคาร์บอนทั้งหมดในดินและรูปของอินทรีย์คาร์บอนที่ย่อยสลายเมื่อจัดการฟางข้าวหลังการเก็บเกี่ยวที่ต่างกันของพื้นที่จังหวัดสุพรรณบุรี

จำลองปริมาณคาร์บอนทั้งหมด (TC) และคาร์บอนที่ย่อยสลายยาก (HF หรือ SOM3) โดยใช้ข้อมูลตัวป้อนจากสมการที่ 4.1 และ 4.2 ของหัวข้อ 4.2.1.2 (เนื่องจากสามารถนำไปปฏิบัติได้จริงมากกว่าหัวข้อ 4.2.1.1) ภายใต้เงื่อนไขการเผาฟางข้าว (T0) ใส่ฟางข้าว 25% ของฟางข้าวทั้งหมด (T25) และ 100% ของฟางข้าวทั้งหมด (T100) ต่อเนื่อง 10 ปี (พ.ศ. 2565-2575) โดยใช้อากาศล่วงหน้าจาก SEACLID/CORDEX Southeast Asia output for DSSAT Models ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศแบบ RCP4.5 (RU-CORE. 2018) ในอำเภอศรีประจันต์ จังหวัดสุพรรณบุรี จำนวน 20 plots พบว่า ค่าที่ได้จากการทำนาย (Output Data) ของคาร์บอนทั้งหมดในชั้นดินบน (TC Topsoil) ที่มีการเผาฟางข้าว (T0) ต่อเนื่องหลังจากผ่านไป 10 ปี ส่วนมากมีปริมาณ TC ลดลง 0.66–3.78% ในขณะที่การใส่ฟางข้าวต่อเนื่องที่ 25% (T25) และ 100% (T100) ปริมาณคาร์บอนทั้งหมดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นที่ 0.05–9.29% และ 7.85–30.23% ตามลำดับ (ตารางที่ 4.14) ในขณะที่ในระดับชั้นดินล่าง (TC Subsoil) ทุกแปลงมีแนวโน้มลดลงทั้งการจัดการแบบ T0, T25 และ T100 โดยในระดับ T0 มีค่าเฉลี่ยการลดลงน้อยที่สุดที่ 10.85% และ T100 ค่าเฉลี่ยการลดลงมากที่สุดที่ 12.52% (ตารางที่ 4.15) การลดลงของอินทรีย์คาร์บอนอาจเนื่องมาจากอากาศอนาคตที่ใช้ในการทำนายของปี พ.ศ. 2565-2575 มีอุณหภูมิเฉลี่ย (TAV) สูงกว่า อยู่ในช่วง 25.9–26.2°C ขณะที่อุณหภูมิเฉลี่ย (TAV) ของอากาศในปี พ.ศ. 2554-2564 อยู่ในช่วง 22.5–24.3°C อาจเป็นไปได้ว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นอาจมีอัตราการย่อยสลายสูงขึ้น จึงมีการสลายตัวของอินทรีย์คาร์บอนมากขึ้น (Conant et al. 2011) อย่างไรก็ตามจากการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองของคาร์บอนทั้งหมดในชั้นดินล่างตารางที่ 4.13 ยังมีประสิทธิภาพต่ำ และจากกราฟ 1:1 line มีแนวโน้มทำนายได้ต่ำกว่าค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

คาร์บอนที่ย่อยสลายยาก (HF หรือ SOM3) ทั้งระดับชั้นดินบน (Topsoil) และระดับชั้นดินล่าง (Subsoil) ทุกแปลง พบว่าหลังการจัดการแบบ T0, T25 และ T100 เป็นเวลา 10 ปีทำให้มีปริมาณ SOM3 ลดลง โดย T100 ลดลงมากที่สุด (1.09–2.99%) รองลงมาเป็น T0 (1.33–2.63%) และ T25 (1.27–2.63%) ลดลงน้อยที่สุด (ตารางที่ 4.16) อย่างไรก็ตามที่ชั้นดินบนมีแนวโน้มลดลงน้อยกว่าชั้นดินล่าง โดยในชั้นดินล่าง พบว่า ที่การจัดการฟางข้าวแบบ T100 ลดลงมากที่สุดโดยลดลงเฉลี่ย 2.92% รองลงมาเป็น T25 (2.61%) และ T0 (2.41%) ตามลำดับ (ตารางที่ 4.17) อย่างไรก็ตามจากการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองของคาร์บอนที่ย่อยสลายยากจากตารางที่ 4.13 ยังมีประสิทธิภาพต่ำ และจากกราฟ 1:1 line มีแนวโน้มทำนายได้ต่ำกว่าค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ จึงอาจเป็นผลทำให้การใส่ฟางต่อเนื่องมีแนวโน้มการกักเก็บคาร์บอนลดลง

**ตารางที่ 4.14** ผลการจำลอง (Final Simulated Value) และเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนไปของคาร์บอนทั้งหมดในชั้นดินบน (TC Topsoil) ภายใต้เงื่อนไขการเผาฟางข้าว (T0) ใส่ฟางข้าว 25% (T25) และ 100% (T100) ต่อเนื่อง 10 ปี (พ.ศ. 2565-2575) ในอำเภอศรีประจันต์ จังหวัดสุพรรณบุรี

No	Plot	TC Topsoil (g/kg)						
		Day0	T0	% of change	T25	% of change	T100	% of change
1	SPPA	12.65	12.81	1.26	13.55	7.11	15.43	21.98
2	SPPB	12.53	12.80	2.15	13.53	7.98	15.35	22.51
3	SPPC	15.74	15.37	-2.35	15.92	1.14	17.75	12.77
4	SPPD	20.37	19.63	-3.63	20.15	-1.08	21.97	7.85
5	SPPE	9.13	9.07	-0.66	9.64	5.59	11.23	23.00
6	SPPF	13.17	12.83	-2.58	13.47	2.28	15.20	15.41
7	SPPG	12.82	12.44	-2.96	12.92	0.78	14.77	15.21
8	SPPH	19.60	19.02	-2.96	19.61	0.05	21.41	9.23
9	SPPI	10.77	10.46	-2.88	11.01	2.23	12.91	19.87
10	SPPJ	17.85	18.39	3.03	19.07	6.83	20.86	16.86
11	SPPK	9.90	10.18	2.83	10.82	9.29	12.69	28.18
12	SPPL	15.30	15.44	0.92	16.07	5.03	18.05	17.97
13	SPPM	10.52	10.15	-3.52	10.71	1.81	12.51	18.92
14	SPPN	10.27	10.57	2.92	11.21	9.15	13.18	28.33
15	SPPO	18.25	18.09	-0.88	18.71	2.52	20.40	11.78
16	SPPP	20.24	19.78	-2.27	20.43	0.94	22.15	9.44
17	SPPQ	11.42	11.67	2.19	12.43	8.84	14.23	24.61
18	SPPR	12.17	11.71	-3.78	12.22	0.41	13.89	14.13
19	SPPS	8.70	8.87	1.95	9.42	8.28	11.33	30.23
20	SPPT	10.57	10.36	-1.99	10.97	3.78	12.84	21.48
	Mean	13.71	13.56	-1.12	14.15	3.24	15.97	16.44

หมายเหตุ: Day0 คือ ปริมาณคาร์บอนทั้งหมดก่อนวันเริ่มการดำเนินการทำนา (Simulation Start Date)  
SPXX คือ แปลงในจังหวัดสุพรรณบุรี

**ตารางที่ 4.15** ผลการจำลอง (Final Simulated Value) และเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนไปของคาร์บอนทั้งหมดในชั้นดินล่าง (TC Subsoil) ภายใต้เงื่อนไขการเผาฟางข้าว (T0) ใส่ฟางข้าว 25% (T25) และ 100% (T100) ต่อเนื่อง 10 ปี (พ.ศ. 2565-2575) ในอำเภอศรีประจันต์ จังหวัดสุพรรณบุรี

No	Plot	TC Subsoil (g/kg)						
		Day0	T0	% of change	T25	% of change	T100	% of change
1	SPPA	10.25	9.48	-7.51	9.48	-7.51	9.41	-8.20
2	SPPB	9.55	8.87	-7.12	8.87	-7.12	8.76	-8.27
3	SPPC	12.34	11.10	-10.05	11.00	-10.86	10.92	-11.51
4	SPPD	17.91	16.14	-9.88	16.04	-10.44	16.04	-10.44
5	SPPE	8.15	7.37	-9.57	7.32	-10.18	7.21	-11.53
6	SPPF	10.25	9.19	-10.34	9.17	-10.54	9.13	-10.93
7	SPPG	11.26	10.08	-10.48	9.95	-11.63	9.85	-12.52
8	SPPH	16.21	14.83	-8.51	14.72	-9.19	14.71	-9.25
9	SPPI	10.37	9.05	-12.73	8.91	-14.08	8.79	-15.24
10	SPPJ	15.31	14.00	-8.56	13.95	-8.88	13.87	-9.41
11	SPPK	9.38	8.20	-12.58	8.09	-13.75	7.96	-15.14
12	SPPL	13.42	12.27	-8.57	12.16	-9.39	12.11	-9.76
13	SPPM	8.93	7.62	-14.67	7.47	-16.35	7.34	-17.81
14	SPPN	8.03	6.72	-16.31	6.66	-17.06	6.48	-19.30
15	SPPO	15.40	14.26	-7.40	14.17	-7.99	14.15	-8.12
16	SPPP	16.39	15.03	-8.30	14.91	-9.03	14.90	-9.09
17	SPPQ	7.04	5.53	-21.45	5.42	-23.01	5.23	-25.71
18	SPPR	10.82	9.68	-10.54	9.55	-11.74	9.44	-12.75
19	SPPS	8.84	7.53	-14.82	7.41	-16.18	7.25	-17.99
20	SPPT	9.11	7.86	-13.72	7.72	-15.26	7.60	-16.58
	Mean	11.62	10.36	-10.85	10.26	-11.73	10.17	-12.52

หมายเหตุ: Day0 คือ ปริมาณคาร์บอนทั้งหมดก่อนวันเริ่มการต้นการทำนาย (Simulation Start Date)

SPXX คือ แปลงในจังหวัดสุพรรณบุรี

ตารางที่ 4.16 ผลการจำลอง (Final Simulated Value) และเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของคาร์บอนที่ย่อยสลายยากในชั้นดินบน (HF or SOM3 Subsoil) ภายใต้เงื่อนไขการเผาฟางข้าว (T0) ใส่ฟางข้าว 25% (T25) และ 100% (T100) ต่อเนื่อง 10 ปี (พ.ศ. 2565-2575) ในอำเภอศรีประจันต์ จังหวัดสุพรรณบุรี

No	Plot	HF or SOM3 Topsoil (g/kg)						
		Day0	T0	% of change	T25	% of change	T100	% of change
1	SPPA	9.80	9.62	-1.84	9.63	-1.73	9.64	-1.62
2	SPPB	10.40	10.20	-1.94	10.21	-1.83	10.21	-1.79
3	SPPC	13.10	12.83	-2.06	12.83	-2.08	12.81	-2.22
4	SPPD	16.50	16.15	-2.11	16.15	-2.12	16.11	-2.36
5	SPPE	6.90	6.78	-1.80	6.79	-1.66	6.80	-1.48
6	SPPF	10.30	10.05	-2.40	10.06	-2.32	10.06	-2.38
7	SPPG	9.80	9.58	-2.25	9.57	-2.34	9.56	-2.45
8	SPPH	16.70	16.30	-2.41	16.30	-2.40	16.24	-2.74
9	SPPI	7.70	7.55	-1.91	7.55	-1.89	7.55	-1.96
10	SPPJ	15.70	15.40	-1.93	15.40	-1.89	15.39	-2.00
11	SPPK	7.30	7.19	-1.58	7.19	-1.55	7.19	-1.54
12	SPPL	12.70	12.46	-1.93	12.46	-1.91	12.46	-1.87
13	SPPM	7.70	7.55	-1.96	7.55	-1.91	7.55	-1.97
14	SPPN	7.90	7.78	-1.56	7.78	-1.48	7.78	-1.47
15	SPPO	16.30	15.87	-2.63	15.87	-2.63	15.81	-2.99
16	SPPP	18.00	17.53	-2.62	17.53	-2.62	17.46	-2.98
17	SPPQ	9.00	8.87	-1.47	8.87	-1.42	8.87	-1.44
18	SPPR	9.10	8.89	-2.27	8.89	-2.29	8.87	-2.51
19	SPPS	5.80	5.72	-1.33	5.73	-1.27	5.74	-1.09
20	SPPT	7.80	7.66	-1.81	7.66	-1.75	7.66	-1.80
	Mean	11.02	10.79	-2.09	10.79	-2.08	10.77	-2.21

หมายเหตุ: Day0 คือ ปริมาณคาร์บอนทั้งหมดก่อนวันเริ่มการต้นการทำนาย (Simulation Start Date)  
SPXX คือ แปลงในจังหวัดสุพรรณบุรี

**ตารางที่ 4.17** ผลการจำลอง (Final Simulated Value) และเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของคาร์บอนที่ย่อยสลายยากในชั้นดินล่าง (HF or SOM3 Subsoil) ภายใต้เงื่อนไขการเผาฟางข้าว (T0) ใส่ฟางข้าว 25% (T25) และ 100% (T100) ต่อเนื่อง 10 ปี (พ.ศ. 2565-2575) ในอำเภอศรีประจันต์ จังหวัดสุพรรณบุรี

No	Plot	HF or SOM3 Subsoil (g/kg)						
		Day0	T0	% of change	T25	% of change	T100	% of change
1	SPPA	8.38	8.18	-2.34	8.19	-2.30	8.17	-2.49
2	SPPB	7.38	7.21	-2.40	7.21	-2.37	7.19	-2.63
3	SPPC	10.30	10.06	-2.29	10.04	-2.52	10.01	-2.86
4	SPPD	15.40	15.04	-2.31	15.01	-2.52	14.96	-2.86
5	SPPE	4.49	4.38	-2.33	4.38	-2.44	4.37	-2.61
6	SPPF	8.18	7.91	-3.34	7.91	-3.33	7.90	-3.44
7	SPPG	9.10	8.87	-2.55	8.84	-2.80	8.82	-3.05
8	SPPH	14.30	13.95	-2.48	13.91	-2.72	13.86	-3.07
9	SPPI	7.80	7.62	-2.28	7.60	-2.52	7.58	-2.80
10	SPPJ	13.90	13.55	-2.50	13.53	-2.69	13.47	-3.12
11	SPPK	7.20	7.05	-2.08	7.03	-2.32	7.01	-2.61
12	SPPL	11.80	11.53	-2.28	11.50	-2.51	11.47	-2.78
13	SPPM	6.20	6.07	-2.13	6.05	-2.35	6.04	-2.60
14	SPPN	5.50	5.40	-1.88	5.39	-2.01	5.37	-2.35
15	SPPO	13.90	13.53	-2.69	13.50	-2.88	13.45	-3.27
16	SPPP	14.50	14.12	-2.66	14.09	-2.86	14.04	-3.20
17	SPPQ	4.20	4.12	-1.85	4.11	-2.06	4.10	-2.36
18	SPPR	8.70	8.47	-2.59	8.46	-2.80	8.42	-3.17
19	SPPS	6.20	6.09	-1.83	6.07	-2.07	6.06	-2.30
20	SPPT	6.60	6.46	-2.18	6.44	-2.37	6.42	-2.68
	Mean	9.35	9.12	-2.41	9.10	-2.61	9.08	-2.92

หมายเหตุ: Day0 คือ ปริมาณคาร์บอนทั้งหมดก่อนวันเริ่มการดำเนินการทำนาย (Simulation Start Date)  
SPXX คือ แปลงในจังหวัดสุพรรณบุรี

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 การทดลองที่ 1 การศึกษาอิทธิพลของการจัดการฟางข้าวต่อการกักเก็บคาร์บอนและรูปของอินทรีย์คาร์บอนในดินที่ปลูกข้าว

อิทธิพลของการจัดการฟางข้าวแบบเผาและไม่เผาฟางข้าวหลังการเก็บเกี่ยวไม่ส่งผลต่อความแตกต่างของสมบัติดินของเบื้องต้น และรูปของอินทรีย์คาร์บอนและไนโตรเจนในดิน ในขณะที่ความลึกในชั้นดินบนส่งผลต่อรูปของคาร์บอนย่อยสลายได้ง่าย ได้แก่ Light Fraction, Particulate Organic Carbon และคาร์บอนที่สกัดด้วยโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต และอินทรีย์คาร์บอนที่ย่อยสลายได้ยาก (Heavy Fraction) สูงกว่าชั้นดินล่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และ อินทรีย์คาร์บอนที่ย่อยสลายได้ยาก Heavy Fraction เป็นสัดส่วนที่มากที่สุดภายในอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดประมาณ 70-80% รองเป็นสัดส่วนที่ย่อยสลายได้ง่าย ได้แก่ Particulate Organic Carbon คาร์บอนที่สกัดด้วยโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต มวลชีวภาพจุลินทรีย์คาร์บอน Light Fraction และอินทรีย์คาร์บอนที่ละลายได้ ตามลำดับ

#### 5.2 การทดลองที่ 2 การทำนายอินทรีย์คาร์บอนในดินและรูปของอินทรีย์คาร์บอนที่ย่อยสลายยาก (SOM3) โดยใช้แบบจำลอง DSSAT-CENTURY

จากการศึกษาการเปรียบเทียบวิธีการทำนายของค่าข้อมูลตัวบ่อนอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด และอินทรีย์คาร์บอนที่ย่อยสลายยากที่ใช้สำหรับแบบจำลอง DSSAT-CENTURY ในค่าวิเคราะห์ดิน (Soil Analysis) 2 วิธีการ วิธีการที่ 1 ค่าข้อมูลตัวบ่อนที่ได้จากค่าวิเคราะห์จากห้องปฏิบัติการของแปลงที่มีการจัดการแบบเผาฟางข้าว พบว่า ค่าที่ได้จากการทำนายของอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดทั้งในชั้นดินบนและดินล่าง และอินทรีย์คาร์บอนที่ย่อยสลายยากในชั้นดินล่างสามารถทำนายได้ในระดับพอใช้ ในขณะที่อินทรีย์คาร์บอนที่ย่อยสลายยากในชั้นดินบนอยู่ในระดับที่ไม่ดี และวิธีที่ 2 ค่าข้อมูลตัวบ่อนที่คำนวณได้จากการแทนค่าสมบัติดินลงในสมการ Regression พบว่า สามารถทำนายอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดในชั้นดินบนได้พอใช้ ขณะที่อินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดในชั้นดินล่างและอินทรีย์คาร์บอนที่ย่อยสลายได้ยากทั้งสองชั้นความลึกอยู่ในระดับที่ไม่ดี อย่างไรก็ตามในวิธีการที่ 1 สามารถทำนายได้ดีกว่า แต่เป็นวิธีที่มีข้อจำกัดในการเก็บตัวอย่างแปลงเผาและไม่เผาฟางข้าวคู่กันที่เป็นชุดดินเดียวกัน และต้องใช้เครื่องมือวิเคราะห์ที่เฉพาะ และมีค่าใช้จ่ายสูง จึงเลือกวิธีที่ 2 ในการทำนายและประเมินอินทรีย์คาร์บอนในพื้นที่จังหวัดสุพรรณบุรี

จากการทำนายอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดและรูปของอินทรีย์คาร์บอนที่ย่อยสลายได้ยากในดินที่มีการเผาฟางข้าว ใส่ฟางข้าว 25 และ 100% ในสภาพอากาศอนาคต พ.ศ. 2565-2575 ของปริมาณฟางข้าวทั้งหมด พบว่า การใส่ฟางข้าวทำให้เพิ่มปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในชั้นดินบนที่ 16.44 และ 3.24% ที่การใส่ฟางข้าว 100% และ 25% ตามลำดับ ในขณะที่การเผาฟางข้าวทำให้อินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดลดลง

1.12% ในขณะที่ชั้นดินล่างอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดลดลงทั้ง 3 การจัดการ โดยการใส่ฟางข้าว 100% ลดลงมากที่สุด รองลงมาเป็น 25% และการเผาฟางข้าว ตามลำดับ ในขณะที่อินทรีย์คาร์บอนที่ย่อยสลายยาก ลดลงทั้ง 2 ระดับความลึก และทั้ง 3 การจัดการ โดยในการใส่ฟางข้าว 100% ลดลงมากที่สุดทั้ง 2 ระดับความลึกในดิน ภายใต้สภาพอากาศการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศแบบ RCP 4.5 ในปี พ.ศ. 2565-2575 ดังนั้นในการจัดการแบบใส่ฟางข้าว 25% เป็นวิธีที่เหมาะสมสามารถเพิ่มอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดในดินชั้นบนและลดการสูญเสียอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ยากในชั้นดิน รวมถึงสามารถเพิ่มรายได้จากการขายฟางข้าว นำไปเลี้ยงสัตว์ หรือใช้ประโยชน์ในด้านอื่นๆ เป็นแนวทางในการจัดการฟางข้าวหลังการเก็บเกี่ยวในพื้นที่อำเภอศรีประจันต์ จังหวัดสุพรรณบุรีได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

- กรมวิชาการเกษตร. 2548. การจัดการเขตศักยภาพการผลิตข้าว จังหวัดสุพรรณบุรี. พิมพ์ครั้งที่ 2. ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี. กรุงเทพฯ.
- เครื่องมือ สัมครการ. 2554. แนวโน้มการสะสมคาร์บอนในดินที่ใช้ปลูกข้าวจากการใส่ฟางข้าวและฟางข้าวเผา. E-Journal of graduate school, มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- ณัฐวิภา อ่อนละมัย. 2564. การศึกษาความแปรปรวนเชิงพื้นที่ของโพแทสเซียมในดินทรายใช้ปลูกข้าวโดยใช้ธรณีสถิติ. วิทยานิพนธ์. มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- ธนกร เสี่ยม. 2562. โครงการ ‘Zero Burn เกษตรปลอดการเผา’ ชวนชาวไทยไร้ฝุ่นควัน ลดการปล่อยมลพิษให้เหลือน้อยที่สุด.  
[Online]. Available : <https://thailand.opendevlopmentmekong.net/th/news/zero-burn-campaign-minimizes-farming-emission/>
- เบญจมาศ รสโสภา. 2557. การพัฒนาคำแนะนำการปลูกข้าวเฉพาะพื้นที่:สัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของข้าวที่นิยมปลูกในปัจจุบัน. กรมการข้าว.
- พรทิพย์ พุทธิโส Alain Brauman และพฤษภา หล้าวงษา. 2564. อินทรีย์คาร์บอนส่วนที่เปลี่ยนแปลงได้ง่ายในดินทรายที่มีการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินจากอ้อยเป็นยางพาราในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย. แก่นเกษตร 49(5), 1183-1193.
- พัชรี แสนจันทร์. 2558. การลดมีเทนฟุตพรีนทีในนาข้าว จังหวัดขอนแก่น. แก่นเกษตร. 43(4), 597-604.
- วัชรารณณ์ เชื่อมกลาง นิรันดร์ คงฤทธิ์ และหฤษฎ์สลักษณ์ วิริยะ. 2563. การทำนายอัตราการเกิดโรคระบบทางเดินหายใจจากมลพิษ และความแปรปรวนสภาวะภูมิอากาศในจังหวัดนครราชสีมาด้วยแบบจำลองเชิงสถิติ และการจำลองเหตุการณ์แบบมอลติคาร์โล. วารสารชุมชนวิจัย. 14(1), 146-154.
- วัฒนา พัฒนถาวร. 2563. การศึกษาปริมาณคาร์บอนในดินของประเทศไทย. กรมพัฒนาที่ดิน.
- ศุภธิดา อ่ำทอง และปวีณ์นุช ปวงวงศ์คำ. 2560. ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ส่วนต่างๆ และการเก็บสะสมภายใต้ดินปลูกข้าว. วารสารวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร, มหาวิทยาลัยแม่โจ้. 34(2), 1-13.

- ศุภธิดา อ่ำทอง. 2554. รายงานการวิจัยผลการวิจัย การพัฒนาวิธีการวิเคราะห์ Permanganate Oxidizable Carbon เพื่อใช้ในการวัดปริมาณอินทรีย์วัตถุในการประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน. รายงานการวิจัย. มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- สำนักพัฒนาเทคโนโลยีเพื่ออุตสาหกรรมมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. 2559. รายงานฉบับสมบูรณ์ การศึกษาการใช้ชีวมวลฟางข้าว ใบและยอดอ้อย และลำต้นข้าวโพด เพื่อผลิตพลังงานทดแทน. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- อรรถชัย จินตะเวช และเทวินทร์ แก้วเมืองมูล. 2559. วิจัยพัฒนานำใช้และสร้างนวัตกรรมระบบสนับสนุนการตัดสินใจเพื่อพยากรณ์ผลผลิตข้าวรายฤดูล่วงหน้า 3-6 เดือน (DSS-SRY4cast). รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์. สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม.
- อุเทน จันละบุตร และภูวดล โกมณเทียร. 2559. ปริมาณคาร์บอนสะสมในดินในพื้นที่เกษตรกรรมในลุ่มน้ำชีตอนกลาง จังหวัดมหาสารคาม. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า. 34(1), 79-88.
- Ahmad, S., Ahmad, A., Ali, H., Hussain, A., Garcia y Garcia, A., Khan, M.A., Zia-Ul-Haq, M., Hasanuzzaman, M., and Hoogenboom, G. 2013. Application of the CSM-CERES-Rice model for evaluation of plant density and irrigation management of transplanted rice for an irrigated semiarid environment. *Irrigation Science*. 31(3), 491-506.
- Ahmad, S., Ahmad, A., Soler, C.M.T., Ali, H., Zia-Ul-Haq, M., Anothai, J., Hussain, A., Hoogenboom, G., and Hasanuzzaman, M. 2012. Application of the CSM-CERES-Rice model for evaluation of plant density and nitrogen management of fine transplanted rice for an irrigated semiarid environment. *Precision Agriculture*. 13, 200-218.
- Allen, J., Pascual, K. S., Romasanta, R. R., Trinh, M. V., T, V, Thach, N. V. Hung, Sander, B. O., and Chivenge P. 2020. **Rice straw management effects on greenhouse gas emissions and mitigation options**. Switzerland: Springer Nature.
- Andersson, S., Nilsson, S. I., and Saetre, P. 2000. Leaching of dissolved organic carbon (DOC) and dissolved organic nitrogen (DON) in mor humus as affected by temperature and pH. *Soil Biology and Biochemistry*. 32(1), 1-10.

- Bagshaw, J., Moody, P., and Pattison T. 2010. **Soil health for vegetable production in Australia-Part 4: Measuring soil health**. The State of Queensland, Department of Employment, Economic Development and Innovation. Australia.
- Basso, B., Gargiulo O., Paustian, K., Robertson, G. P., Porter, C., Grace, P. R. and Jones, J. W. 2011. Procedures for initializing soil organic carbon pools in the DSSAT-CENTURY model for agricultural systems. **Soil Science Society of America Journal**. 75(1), 69.
- Batjes, N.H. 1996. Total carbon and nitrogen in the soils of the world. **European Journal of Soil Science**. 47, 151-163.
- Benbi, D. K., Brar, K, Toor, A. S., and Sharma, S. 2015. Sensitivity of labile soil organic carbon pools to long-term fertilizer, straw and manure management in rice-wheat system. **Pedosphere**. 25(4), 534-535.
- Blair, G.J., Lefory, R.D.B. and Lise, L. 1995. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation and the development of a carbon management index for agricultural system. **Australian Journal of Agricultural Research**. 46, 1459-1466.
- Cambardella, M.R. and Elliott, E.T. 1992. Particulate soil organic matter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society of America Journal**. 56, 777-783.
- Chen, M., Chang, L., Zhang, J., Guo, F., Vymazal, J., Q. He, and Chen, Y. 2020. Global nitrogen input on wetland ecosystem: The driving mechanism of soil labile carbon and nitrogen on greenhouse gas emissions. **Environmental Science and Ecotechnology**. 4, 1-13.
- Chivenge, P., Rubianes, F., Chin, D.V., Thach, T.V., Khang, V.T., Romasanta, R.R., Hung, N.V. and Trinh, M.V. 2020. **Rice straw incorporation influences nutrient cycling and soil organic matter**. Switzerland: Springer Nature.
- Climate Change Connection. 2020. **CO<sub>2</sub> equivalents. Emissions**.  
[Online]. Available : <https://climatechangeconnection.org/emissions/co2-equivalents>.

- Conant, R. T. 2011. Temperature and soil organic matter decomposition rates—synthesis of current knowledge and a way forward. **Global Change Biology**. 17, 3392–3404.
- Cui, S., Zhu, X., and Cao, G. 2022. Effects of Years of Rice Straw Return on Soil Nitrogen Components from Rice–Wheat Cropped Fields. **Agronomy**. 12(1247), 1-12.
- Diekow, J., Mielniczuk, J., Knicker, H., Bayer, C., Dick, D.P., and Kögel-Knabner, I. 2005. Soil C and N stocks as affected by cropping systems and nitrogen fertilisation in a southern Brazil Acrisol managed under no-tillage for 17 years. **Soil and Tillage Research**. 81(1), 87-95.
- Falloon, P. and Smith, P. 2000. Modelling refractory soil organic matter. **Biology and Fertility of Soils**. 30, 388-398.
- Falloon, P., Smith, P., Szabó, J., and Pásztor, L. 2002. Comparison of approaches for estimating carbon sequestration at the regional scale. **Soil Use and Management**. 18(3), 164-174.
- Food and Agriculture Organization (FAO). 2015. **Estimating greenhouse gas emissions in agriculture: a manual to address data requirements for developing countries**. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Froberg, M., Hanson, P.J., Todd, D.E., and Johnson, D.W. 2008. Evaluation of effects of sustained decadal precipitation manipulations on soil carbon stocks. **Biogeochemistry**. 89,151–161.
- Gee, G. W. and Bauder, J. W. 1986. **Particle-size analysis**. **Methods of Soil Analysis: Part 1 Physical and Mineralogical Methods**. Soil Science Society of America, Inc. Madison, Wisconsin, USA.
- Ghimire, R., Machado, S. and Rhinhardt, K. 2015. Long-term crop residue and nitrogen management effects on soil profile carbon and nitrogen in wheat–fallow systems. **Journal of Agronomy**. 107(6), 2230-2240.

- Gijsman, A.J., Hoogenboom, G., Parton, W.J. and Kerraradidge, P.C. 2002. Modifying DSSAT crop models for low-input agricultural systems using a soil organic matter–residue module from CENTURY. **Journal of Agronomy**. 94(3), 462-474.
- Gonet, S. S. and Debska, B. 2011. Dissolved organic carbon and dissolved nitrogen in soil under different fertilization treatments. **Plant Soil Environ**. 52(2), 55-63.
- Gong, W., Yan, X., Wang, J., Hu, T., and Gong, Y. 2009. Long-term manure and fertilizer effects on soil organic matter fractions and microbes under a wheat–maize cropping system in northern China. **Geoderma**. 149, 318–324.
- Gummert, M., Hung, N. V., Chivenge, P., and Douthwaite, B. 2020. **Sustainable rice straw management**. Cham, Switzerland: Springer Nature.
- Hadas, A., Kautsky, L., Goek, M., and Kara, E. E. 2004. Rates of decomposition of plant residues and available nitrogen in soil, related to residue composition through simulation of carbon and nitrogen turnover. **Soil Biology and Biochemistry**. 36(2), 255-266.
- Hansen, S., Jensen, H.E., Nielsen, N.E., and Svendsen, H. 1990. **Daisy: Soil plant atmosphere system model**. The National Agency for Environmental Protection, Copenhagen.
- Haque, M. M., Kim, S. Y., Ali, M. A., and Kim, P. J. 2015. Contribution of greenhouse gas emissions during cropping and fallow seasons on total global warming potential in mono-rice paddy soils. **Plant and Soil**. 387, 251-264.
- Haynes, R. J. 2005. Labile Organic matter fractions as central components of the quality of agricultural soils: An Overview. **Advances In Agronomy**. 85, 221-268.
- He, W., Grant, B.B., Jing, Q., Lemke, R., Luce, M.St., Jiang, R., Qian B., Campbell C.A., VanderZaag, A., Zou, G., and Smith, W.N. 2021. Measuring and modeling soil carbon sequestration under diverse cropping systems in the semiarid prairies of western Canada. **Journal of Cleaner Production**. 328.

- Hoogenboom, G., Porter, C.H., Shelia, V., Boote, K.J., Singh, U., White, J.W., Pavan, W., Oliveira, F.A.A., Moreno-Cadena, L.P., Lizaso, J.I., Asseng, S., Pequeno, D.N.L., Kimball, B.A., Alderman, P.D., Thorp, K.R., Jones, M.R., Cuadra, S.V., Vianna, M.S., Villalobos, F.J., Ferreira, T.B., Batchelor, W.D., Koo, J., Hunt, L.A., and Jones, J.W. 2021. **Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT) Version 4.8 (DSSAT.net)**. DSSAT Foundation, Gainesville, Florida, USA.
- Hu, N., Zhao, L., Li, Q., Jiang, Y., Sui, B., and Wang, H. 2021. Changes in carbon fractions with corn straw incorporation and comparison of carbon sequestration efficiency in Phaeozem derived from two parent materials in China. **Arabian Journal of Geosciences**. 14(1352).
- Hung, N. V., Maguyon-Detras, M. C., Migo, M. V., Quilloy, R., Balingbing, C., Chivenge, P., and M. Gummert. 2020. **Rice Straw Overview: Availability, Properties, and Management Practices**. Switzerland: Springer Nature.
- International Institute for Tropical Agriculture (IITA). 1979. **Selected methods for soil and plant analysis**. Manual Series No.1, Ibadan.
- Jenkinson, D.S. and Ladd, J.N. 1981. **Microbial biomass in soil: measurement and turnover**. Soil biochemistry. New York.
- Jones, D.L. and Willett, V.B. 2006. Experimental evaluation of methods to quantify dissolved organic nitrogen (DON) and dissolved organic carbon (DOC) in soil. **Soil Biology and Biochemistry**. 38, 991-999.
- Jones, J.W., Hoogenboom, G., Porter, C.H., Boote K.J., Batchelor, W.D, Hunt, L.A, Wilkens, P.W., Singh, U., Gijsman, A.J., and Ritchie, J.T. 2003. The DSSAT cropping system model. **European Journal of Agronomy**. 18(3-4), 235-265.
- Junpen, A., Pansuk, J., Kamnoet, O., Cheewaphongphan, P., and Garivait, S. 2018. Emission of air pollutants from rice residue open burning in Thailand. **Atmosphere**. 9(11).

- Kallenbach, C., Frey, S. and Grandy, A. (2016). Direct evidence for microbial-derived soil organic matter formation and its ecophysiological controls. **Nature Communications**. 7(13630).
- Kaye, J.P. and Hart, S.C. 1997. Competition for nitrogen between plants and soil microorganisms. **Trends in Ecology and Evolution**. 12(4), 139-143.
- Koo, J., Bostick, W.M., Naab, J.B., Jones, J.W., Graham, W.D. and Gijssman, A.J. 2007. Estimating soil carbon in agricultural systems using ensemble kalman filter and DSSAT-CENTURY. **Transactions of the ASABE**. 50(5), 1851-1865.
- Kumar, I., Bandaru, V., Yampracha, S., Sun, L. and Fungtammasan, B. 2020. Limiting rice and sugarcane residue burning in Thailand. **Journal of Environmental Management**. 276(15).
- Kumsueb, B. and Jintrawet, A. 2020. Recent Evaluations and Applications of a Cassava Model in Thailand: A Review. **Current Applied Science and Technology**. 20(1), 156-162.
- Land Development Department. 2021. **LDD on farm land use planing**. [Online]. Available : <https://londonfarm.ldd.go.th/londonfarm/main>.
- LECO Corporation. 2016. **Operation In: Trumac CNS/NS Carbon/Nitrogen/Sulfur Determinators Instruction Manual**. LECO Europe B.V., U.S.
- Lee, S.B., Lee, C.H., Jung, K.Y., Park, K.D., Lee, D., and Kim, P.J., 2009. Changes of soil organic carbon and its fractions in relation to soil physical properties in a long-term fertilized paddy. **Soil and Tillage Research**. 104(2), 227–232.
- Li, C., Frohling, S., Crocker, G.J., Grace, P.R., Klir, J., Körchens, M., and Poulton, P.R. 1997. Simulating trends in soil organic carbon in long-term experiments using the DNDC model. **Goderma**. 81(1-2), 0-60.
- Li, H., Han, X, Wang, F., Qiao, Y., and Xing, B. 2007. Impact of soil management on organic carbon content and aggregate stability. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**. 38 (13-14), 1673-1690.

- Li, J., Wen, Y., Li, X., Li, Y., Yang, X., Lin, Z., Song, Z., Cooper, J.M., and Zhao, B. 2018. Soil labile organic carbon fractions and soil organic carbon stocks as affected by long-term organic and mineral fertilization regimes in the North China Plain. **Soil and Tillage Research**. 175, 281-290.
- Li, Y., Chang, S. X., Tian, L., and Zhang, Q. 2018. Conservation agriculture practices increase soil microbial biomass carbon and nitrogen in agricultural soils: A global meta-analysis. **Soil Biology and Biochemistry**. 121, 50-58.
- Li, Y., Wu, J. Shen, J., Liu, S., Wang, C., Chen, D., Huang, T., and Zhang, J. 2016. Soil microbial C:N ratio is a robust indicator of soil productivity for paddy fields. **Sci Rep**. 6, 1-8.
- Li, Z. T., Yang, J. Y., Drury, C. F. and Hoogenboom, G. 2015. Evaluation of the DSSAT-CSM for simulating yield and soil organic C and N of a long-term maize and wheat rotation experiment in the Loess Plateau of Northwestern China. **Agricultural Systems**. 135, 90-104.
- Liang, B.C., McConkey, B.G., Schoenau, J., Curtin, D., Campbell, C.A., Moulin, A.P., Lafond, G.P., Brandt, S.A., and Wang, H. 2003. Effect of tillage and crop rotations on the light fraction organic carbon and carbon mineralization in Chernozemic soils of Saskatchewan. **Canadian Journal of Soil Science**. 83(1), 65-72.
- Liu, C., Lu, M., Cui, J., Li, B., and Fang, C. 2014. Effects of straw carbon input on carbon dynamics in agricultural soils: a meta-analysis. **Global Change Biology**. 20(5), 1366-1381.
- Liu, G., Yu, H., Ma, J., Xu, H., Wu, Q., Yang, J., and Zhuang, Y. 2015. Effects of straw incorporation along with microbial inoculant on methane and nitrous oxide emissions from rice fields. **Science of The Total Environment**. 518-519, 209-216.
- Lu, F. 2015. How can straw incorporation management impact on soil carbon storage? A metaanalysis. **Mitig Adapt Strateg Glob Change**. 20, 1545-1568.
- Luca, E.F., Chaplot, V., Mutema, M., Feller, C., Ferreira, M.L., Cerri, C.C., Couto, H.T.Z.2018. Effect of conversion from sugarcane preharvest burning to residues green-trashing

- on SOC stocks and soil fertility status: Results from different soil conditions in Brazil. **Geoderma**. 310, 238-248.
- Maneepitak, S., Ullah, H., Datta, A., Shrestha, R.P., Shrestha, S., and Kachenchart, B. 2019. Effects of water and rice straw management practices on water savings and greenhouse gas emissions from a double-rice paddy field in the Central Plain of Thailand. **Agricultural Water Management**. 107, 18–29.
- McLauchlan, K.K. 2006. Effects of soil texture on soil carbon and nitrogen dynamics after cessation of agriculture. **Geoderma**. 136(1-2), 289-299.
- Mi, W., Wu, L., Brookes, P.C., Liu, Y., Zhang, X., and Yang, X. 2016. Changes in soil organic carbon fractions under integrated management systems in a low-productivity paddy soil given different organic amendments and chemical fertilizers. **Soil and Tillage Research**. 163, 64-70.
- Miura, Y. and Kanno, T. 1997. Emissions of trace gases (CO<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub>, and N<sub>2</sub>O) resulting from rice straw burning. **Soil Science and Plant Nutrition**. 43(4), 849-854.
- Molina, J.A.E., Clapp, C.E., Shaffer, M.J., Chichester, F.W. and Larson, W.E. 1983. NCSOIL, a model of nitrogen and carbon transformations in soil: description, calibration and behavior. **Soil Science Society of America Journal**. 47, 85-91.
- Moore, J. M., Klose, S., and Tabatabai, M. A. 2000. Soil microbial biomass carbon and nitrogen as affected by cropping systems. **Biology and Fertility of Soils**. 31(3-4), 200-210.
- Musinguzi, P., Ebanyat, P., Tenywa, J., Mwanjalolo, M., Basamba, T. Tenywa, M., and Porter, C. 2014. Using DSSAT-CENTURY model to simulate soil organic carbon dynamics under a low-input maize cropping system. **Journal of Agricultural Science**. 6(5), 120-131.
- NASA Langley Research Center (LaRC). 2021. **The Prediction of Worldwide Energy Resources (POWER) project**.  
[Online]. Available : <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>

- Nguyen, T.T., Sasaki, Y., Kakuda, K. and Fujii, H. 2020. Comparison of paddy soil fertility under conventional rice straw application versus cow dung compost application in mixed crop–livestock systems in a cold temperate region of Japan. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**. 66(1), 106-115.
- Nicholas, J. 2021. **Introduction to Descriptive Statistics**. Sydney. UPS, University of Sydney.
- Nicoloso, R.S., Amado, T.J.C. and Rice, C.W. 2020. Assessing strategies to enhance soil carbon sequestration with the DSSA-CENTURY model. **Eur. J. Soil Sci.** 1-16.
- Oanh, N. T. K. 2022. Rice straw open burning: emissions, effects and multiple benefits of non-burning alternatives. **Vietnam Journal of Science, Technology and Engineering**. 63(4), 79-85.
- Office of Agricultural Economics (OAE). 2021. [Online]. Available : <https://www.oae.go.th/>
- Paustian, K., Lehmann, J, Ogle, S, Reay, D, Robertson, G.P., and Smith, P. 2016. Climate-smart soils. **Nature**. 532, 49-57.
- Phakamas, N., Jintrawet, A., Patanothai, A., Sringam, P., and Hoogenboom, G. 2013. Estimation of solar radiation based on air temperature and application with the DSSAT v4.5 peanut and rice simulation models in Thailand. **Agricultural and Forest Meteorology**. 180(1), 182-193.
- Poeplau, C. and Don, A. 2013. Sensitivity of soil organic carbon stocks and fractions to different land-use changes across Europe. **Geoderma**. 192, 189–201.
- Porter, C.H., Jones, J., Adiku, S., Gijsman, A.J., Gargiulo, O., and Naab, J. B. 2010a. Modeling organic carbon and carbon-mediated soil processes in DSSAT v4.5. **Operational Research**. 10(3), 247–278.
- Porter, C.H., Jones, J.W., Adiku, S.G.K., Gijsman, A.J., Gargiulo, O., and Singh, U. 2010b. **DSSAT v4.5 User's Guide**. DSSAT-Century soil organic matter module data requirements and initialization procedures.

- Qian, Y.L., Bandaranayake, W., Parton, W.J., Meham, B., Harivandi, M.A., and Mosier, A.R. 2003. Long-term effects of clipping and nitrogen management in turfgrass on soil organic carbon and nitrogen dynamics. **Journal of Environment Quality**. 32(5), 1694-1700.
- Ramkhamhaeng University, Center of Regional Climate Change and Renewable Energy (RU-CORE). 2018. **SEACLID/CORDEX Southeast Asia output for DSSAT Models**. [Online]. Available : <http://www.rucore.ru.ac.th/SARCCIS>.
- Sahoo, U.K., Singh, S. L., Gogoi, A., Kenye, A., and Sahoo, S. S. 2019. Active and passive soil organic carbon pools as affected by different land use types in Mizoram, Northeast India. **PLoS ONE**. 14(7), 1-16.
- Saldaña-Villota, T. M. and Cotes-Torres, J. M. 2021. Comparison of statistical indices for the evaluation of crop models performance. **Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín**. 74(3), 9675-9684.
- Salmerón, M., Caverro, J., Isla, R., Porter, C.H., Jones J.W., and Boote, K.J. 2014. DSSAT Nitrogen cycle simulation of cover crop–maize rotations under irrigated Mediterranean conditions. **Journal of Agronomy**. 106, 1283-1296.
- Sequeira C. H., Alley, M. M. and Jones, B. P. 2011. Evaluation of potentially labile soil organic carbon and nitrogen fractionation procedures. **Soil Biology and Biochemistry**. 43(2), 438-444.
- Singh, G., Jalota, S.K., and Sidhu, B.S. 2005. Soil physical and hydraulic properties in a rice-wheat cropping system in India: effects of rice-straw management. **Soil Use and Management**. 21(1), 17-21.
- Six, J., Conant, R.T., Paul, E.A. and Paustian, K. 2002. Stabilization mechanisms of soil organic matter: implications for C-saturation of soils. **Plant and Soil**. 241, 155-176.
- Smith, P., Smith, J.U., Powlson, D.S., McGill, W.B., Arah, J.R.M., Chertov, O.G., Coleman, K. Franko, U., Frohling, S., Jenkinson, D.S., Jensen, L.S., Kelly, R.H., Klein-Gunnewiek, H., Komarov, A.S., Li, C., Molina, J.A.E., Mueller, T., Parton, W.J., Thornley, J.H.M. and

- Whitmore, A.P. 1997. A comparison of the performance of nine soil organic matter models using datasets from seven long-term experiments. **Geoderma**. 81(1-2), 153-225.
- Song, B., Niu, S., Zhang, Z., Yang, H., Li, L. and Wan, S. 2012. Light and heavy fractions of soil organic matter in response to climate warming and increased precipitation in a temperate steppe. **PLoS ONE**. 7(3), e33217.
- Sparks, D.L., Page, A.L., Helmke, P.A., Loeppert, R.H., Soltanpour, P.N., Tabatabai, M.A., Johnston, C.T., and Sumner, M.E. 1996. **Methods of soil analysis part 3 : chemical methods**. Soil science society of America.
- Tan, Z., Lal, R., Owens, L., and Izaurrealde, R. 2007. Distribution of light and heavy fractions of soil organic carbon as related to land use and tillage practice. **Soil and Tillage Research**. 92(1-2), 53-59.
- Thuy, N.H., Shan, Y., Bijay-Singh, WK., Cai, Z., and Yadvinder-Singh, BRJ. 2008. Nitrogen supply in rice-based cropping systems as affected by crop residue management. **Soil Science Society of America Journal**. 72, 514-523.
- Vance, E.D., Brookes, P.C., and Jenkinson, DS. 1987. Microbial biomass measurements in forest soils: the use of the chloroform fumigation-incubation method in strongly acid soils. **Soil Biology and Biochemistry**. 19, 697-702.
- Vasconcelos, A.L.S., Cherubin, M.R., Feigl, B.J., Cerri, C.E.P., Gmach, M.R., and Siqueira-Neto, M. 2018. Greenhouse gas emission responses to sugarcane straw removal. **Biomass & Bioenergy**. 113, 15-21.
- Wang, W., Lai, D.Y F., Wang, C., Pan, T., and Zeng, C. 2015. Effects of rice straw incorporation on active soil organic carbon pools in a subtropical paddy field. **Soil and Tillage Research**. 152, 8-16.
- Wei, L., Ge, T., Zhu, Z., Ye, R., Peñuelas, J., Li, Y., Lynn, T.M., Jones D.L., Wu, J., and Kuzyakov, Y. 2022. Paddy soils have a much higher microbial biomass content than

- upland soils: A review of the origin, mechanisms, and drivers. **Agriculture, Ecosystems & Environment**. 326, 1-11.
- West, T. O. and Post, W. M. 2002. Soil organic carbon sequestration rates by tillage and crop rotation. **Soil Science Society of America Journal**. 66(6), 1930-1946.
- Xie, Z., Zhu, J., Liu, G., Cadisch, G., Hasegawa, T., Chen, C., Sun, H., Tang, H. and Zeng, Q. 2007. Soil organic carbon stocks in China and changes from 1980s to 2000s. **Global Change Biology**. 13(9), 1989-2007.
- Xu, X., Shi, Z., Li, D., Rey, A., Ruan, H., Craine, J.M., Liang, J., Zhou, J., and Luo, Y. 2016. Soil properties control decomposition of soil organic carbon: Results from data-assimilation analysis. **Geoderma**. 262, 235-242.
- Yuan, G., Huan, W., Song, H., Lu, D., Chen, X., Wang, H., and Zhou, J. 2021. Effects of straw incorporation and potassium fertilizer on crop yields, soil organic carbon, and active carbon in the rice-wheat system. **Soil and Tillage Research**. 209, 1-8.
- Zhang, J., Miao, Y., Batchelor, W.D., Lu, J., Wang, H., and Kang, S. 2018. Improving High-Latitude Rice Nitrogen Management with the CERES-Rice Crop Model. **Agronomy**. 8, 263.
- Zhang, Z., Yan, J., Han, X., Zou, W., Chen, X., Lu, X., and Feng, Y. 2021. Labile organic carbon fractions drive soil microbial communities after long-term fertilization. **Global Ecology and Conservation**. 32, 1-11.
- Zhao, H., Tong, D.Q., Lin, Q., Lu, X., and Wang, G. 2012. Effect of fires on soil organic carbon pool and mineralization in a Northeastern China wetland. **Geoderma**. 189-190, 532-539.
- Zhong, Y., Yang, W., and Shangguan, Z. 2015. Soil carbon and nitrogen fractions in the soil profile and their response to long-term nitrogen fertilization in a wheat field. **CATNA**. 135, 38-46.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## ภาคผนวก ก.

### การวิเคราะห์ตัวอย่างดิน

วิเคราะห์สมบัติดินเบื้องต้น ได้แก่ ความเป็นกรดต่างของดิน วิเคราะห์ด้วยเครื่อง pH meter ที่สกัดส่วนดินต่อน้ำ 1:1 วิเคราะห์การนำไฟฟ้า (Electrical conductivity : EC) ที่สกัดส่วนดินต่อน้ำ 1:5 (กรมพัฒนาที่ดิน, 2544) วิเคราะห์เนื้อดินโดยวิธี pipette method (Gee and Bauder, 1986) วิเคราะห์คาร์บอน (Total Carbon : TC) ไนโตรเจน (Total Nitrogen : TN) และกำมะถันทั้งหมด (Total Sulfur : TS) ในดินด้วยวิธี Dry Combustion โดยเครื่อง CNS analyzer (LECO Corporation, 2016) และวิเคราะห์รูปของคาร์บอนและไนโตรเจน ดังนี้

1) Microbial Biomass Carbon (MBC) และ Microbial Biomass Nitrogen (MBN) (Vance, et al. 1987) ชั่งดินสด 10 g ปรับความชื้นดิน 0.03 MPa (~40% ของดิน field capacity) บ่มตัวอย่างดิน (Pre-incubated) ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  °C) เป็นเวลา 7 วันเก็บในที่มืด แล้วชั่งตัวอย่างดินเป็น 2 ชุด ชุดที่ 1 (fumigated) นำตัวอย่างดินรมด้วย Chloroform ( $\text{CHCl}_3$ ) ที่ปราศจากแอลกอฮอล์ นาน 48 ชั่วโมง และชุดที่ 2 (non-fumigated) เป็นตัวอย่างดินไม่รมด้วย Chloroform โดยชั่งดินและเก็บไว้ในที่อุณหภูมิห้อง เมื่อครบ 48 ชั่วโมง นำตัวอย่างดินที่ fumigated และ non-fumigated มาเติมสารสกัด  $0.5 \text{ M K}_2\text{SO}_4$  40 ml (ดิน:สารละลาย, 1:4) เขย่า 200 rpm นาน 30 นาที และกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 5 แล้วนำสารละลายที่กรองได้วัดไปวิเคราะห์มวลชีวภาพจุลินทรีย์คาร์บอน (MBC) โดยวิธีของ Vance et al. (1987) และวิเคราะห์มวลชีวภาพจุลินทรีย์ไนโตรเจน (MBN) โดยวิธีการกลับ

2) Particulate Organic Carbon (POC) (Cambardella and Elliott. 1992) ชั่งดินที่ผ่านตะแกรงขนาด 2 mm 10 g ใส่หลอด Centrifuge ขนาด 50 ml และเติม Sodium Hexametaphosphate (ที่มีความเข้มข้น  $5.0 \text{ g/l}$ ) 30 ml แล้วนำมาเขย่า 200 rpm นาน 15 ชั่วโมงกรองผ่านตะแกรงร่อนขนาด  $53 \mu\text{m}$  แล้วล้างด้วยน้ำกลั่น เก็บส่วนที่อยู่บนตะแกรงร่อน นำไปอบที่อุณหภูมิ  $50$  °C ชั่งน้ำหนัก และวัดตัวอย่างดินโดยใช้เครื่อง Dry Combustion รุ่น CNS analyzer

3) Permanganate Oxidizable Carbon ( $\text{KMnO}_4\text{-C}$ ) (Blair et al. 1995) ชั่งดินที่ร่อนผ่านตะแกรง  $0.5 \text{ mm}$  1.0000 g ใส่หลอด centrifuge 50 ml แล้วเติม  $0.033 \text{ M KMnO}_4$  25 ml เขย่า 120 rpm นาน 1 ชั่วโมง เหยี่ยงที่  $1030 \times \text{g}$  นาน 5 นาที และนำสารละลายกรองผ่านกระดาษกรอง Whatman No.1 และปิเปตสารละลายที่กรองมา 1 ml แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นใน Volumetric Flask 50 ml แล้วนำไปวัดที่ค่า Absorbance ที่ความยาวคลื่น  $565 \text{ nm}$  ด้วยเครื่อง spectrophotometer

4) Light Fraction Carbon (LF) และ Heavy Fraction Carbon (HF) (Cambardella and Elliott. 1992) ใช้ดิน 10 g ใส่หลอด centrifuge 50 ml เติม Sodium iodide 30 ml ที่มีความหนาแน่น  $1.80 \text{ g/cm}^3$  และเขย่า 200 rpm นาน 60 นาที นำมาหมุนเหวี่ยงด้วยความเร็ว  $1000 \times g$  เป็นเวลา 10 นาที ส่วนใสเหนียวตะกอนเป็นคาร์บอนในรูป Light Fraction เทส่วนใสเหนียวตะกอนผ่านกระดาษกรองขนาด  $0.45 \mu\text{m}$  และล้างด้วย  $0.01 \text{ M}$  calcium chloride และน้ำกลั่น 3 ครั้ง แล้วนำดินไปอบที่อุณหภูมิ  $60^\circ\text{C}$  นาน 48 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักดินและวัดด้วยเครื่อง เครื่อง Dry Combustion รุ่น CNS analyzer ส่วนตะกอนดินด้านล่างที่เหลือจากส่วนใสเหนียวตะกอนมาหมุนเหวี่ยงด้วยน้ำกลั่น 20 ml แล้วเทน้ำส่วนเหนียวตะกอนทิ้ง โดยทำทั้งหมด 3 รอบ แล้วล้างส่วนตะกอนดินลง Moisture Can นำมาอบที่อุณหภูมิ  $60^\circ\text{C}$  นาน 48 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักดิน และร่อนผ่านตะแกรงขนาด  $0.100 \text{ mm}$  และวัดปริมาณคาร์บอนด้วยเครื่อง เครื่อง Dry Combustion รุ่น CNS Analyzer

5) Dissolved Organic Carbon (DOC) และ Dissolved Organic Nitrogen (DON) (Jones and Willett. 2006) ชั่งดินสด 2.5 g ใส่หลอด centrifuge ขนาด 50 ml เติมน้ำยาสกัด  $2 \text{ M}$  KCl 25 ml (1:10) เขย่าด้วยเครื่องเขย่าเป็นเวลา 15 นาที ความเร็วรอบ 200 rpm นำไปเหวี่ยงต่อที่ความเร็ว  $8000 \times g$  เป็นเวลา 10 นาที และกรองส่วนใสเหนียวตะกอนด้วยกระดาษกรองขนาด  $0.45 \mu\text{m}$  แล้วนำสารละลายที่กรองได้ไปวิเคราะห์คาร์บอน (DOC) โดยวิธีของ Walkley and Black และวิเคราะห์ไนโตรเจน (DON) โดยวิธีกลั่น (ถ้ายังไม่ได้วัดสารละลายให้ เก็บไว้ที่อุณหภูมิ  $-20^\circ\text{C}$ )



ภาคผนวก ข.

การทดลองที่ 2 การทำนายอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดในดินและรูป  
ของอินทรีย์คาร์บอนที่ย่อยสลายยาก (Heavy Fraction : HF)  
โดยใช้แบบจำลอง DSSAT-CENTURY

## ภาคผนวก ข.

```

SOIL - Notepad
File Edit Format View Help
6 A .108 .236 .367 1 1.31 1.51 1.18 16.3 39.9 0 .12 5.1 4.1 4.2 -99
35 Bt1 .103 .195 .369 .35 .58 1.5 .63 23.9 36.4 40 .06 4.8 3.8 4.9 -99
50 Bt2 .098 .181 .383 .21 .54 1.46 .5 25.9 42.3 50 .05 4.8 3.8 5.5 -99
80 Bt2 .098 .181 .383 .1 .54 1.46 .5 25.9 42.3 50 .05 4.8 3.8 5.5 -99
100 Bt3 .118 .201 .385 .05 .34 1.45 .34 32.9 40.1 50 .03 4.9 3.7 6.2 -99

*TH0200001 LDD SIC 450 Nong Khung(Nkg)LL PEPER
@SITE COUNTRY LAT LONG SCS FAMILY
N-RACHASIMA THAILAND -99 0 f,mixed,active,iso Aerice Endoaqualfs
@SCOM SALB SLU1 SLDL SLRO SLNF SLPF SMHB SMPX SMKE
BN .13 27.5 .2 84 1 1 IB001 IB001 IB001
@SLB SLMH SLLL SDUL SSAT SRGF SSKS SBDM SLOC SLCL SLSI SLCF SLNI SLHM SLHB SCEC SADC
20 Apg .241 .374 .389 1 .09 1.44 1.41 46.1 50.7 0 .14 5.8 4.9 33.8 -99
40 Btg1 .271 .402 .417 .2 .09 1.45 .95 52.8 46.4 0 .1 7 5.7 35.2 -99
59 Btg1 .271 .402 .417 .1 .09 1.45 .95 52.8 46.4 0 .1 7 5.7 35.2 -99
115 Btg2 .269 .398 .413 .05 .09 1.45 .57 53.1 45.1 2 .06 8.1 6.1 34.3 -99
190 Btg3 .191 .311 .387 0 .09 1.44 .45 40.7 57.2 20 .05 8.6 6.7 38.7 -99
240 Cg1 .02 .061 .302 0 21 1.71 .01 0 0 2 -99 6.6 -99 -99 -99
380 Cg2 .02 .061 .302 0 21 1.71 .01 0 0 2 -99 6.6 -99 -99 -99
450 Cg3 .02 .061 .302 0 21 1.71 .01 0 0 2 -99 6.6 -99 -99 -99

*TH0355001 L L 100 Thawat Buri(Th)LL
@SITE COUNTRY LAT LONG SCS FAMILY
SURIN THAILAND -99 0 f,kaolinitic,iso Typic(Plinthic)Endoaqualfs
@SCOM SALB SLU1 SLDL SLRO SLNF SLPF SMHB SMPX SMKE
G .13 24.5 .05 81 1 1 IB001 IB001 IB001
@SLB SLMH SLLL SDUL SSAT SRGF SSKS SBDM SLOC SLCL SLSI SLCF SLNI SLHM SLHB SCEC SADC
14 Apg .172 .304 .4 1 .33 1.4 1.24 25.5 48.5 0 .12 5.4 4.2 9.3 -99
28 ABg .156 .279 .366 .3 .33 1.51 .72 27.5 32.5 2 .07 6.9 5.5 4.9 -99
40 BAG .188 .313 .378 .1 .33 1.47 .28 24.5 35.5 1 .03 6.4 4.9 6.5 -99
45 BAG .188 .313 .378 .01 .33 1.47 .28 34.5 35.5 1 .03 6.4 4.9 6.5 -99
66 Btg1 .232 .357 .385 0 .26 1.45 .3 34 36 0 .03 6.4 5 8.9 -99
100 Btg2 .283 .404 .419 0 .26 1.38 .3 55.5 26.5 0 .03 6.4 5.4 11.6 -99
    
```

ภาพภาคผนวกที่ 2.1 ตัวอย่างไฟล์ข้อมูลดิน

```

SPPB1901 - Notepad
File Edit Format View Help
*WEATHER DATA -NASA weather SPPB
@ INSI LAT LONG ELEV TAV AMP REFT WINDT
NASA 14.748 100.196 34.9 24.3 7.5 2.0 2.0
@DATE SRAD TMAX TMIN RAIN
19001 18.9 31.2 17.6 0
19002 19.9 31.4 17.6 0
19003 13.1 30.1 18.5 0
19004 11.1 29.1 20.6 0
19005 6.8 30 21.6 0.1
19006 14 32.8 21.9 0.2
19007 17.3 33.9 21.8 0.2
19008 12.4 33.7 23 0
19009 13.6 33.1 23.3 0
19010 15.6 34.6 22.8 0
19011 16.2 33.3 24 0
19012 18.3 35.6 24.6 0
19013 19.2 36.2 23.2 0
19014 18.6 34 23.6 0
19015 15.9 32.5 24.1 1.2
19016 16 32.8 23.6 0.5
19017 18.8 34.5 22.4 0
19018 12 32.3 20.9 0
19019 15.6 33.5 21.1 0
19020 19.1 35.8 22.6 0
19021 19.7 35.6 23.5 0
19022 20.7 35.1 23.7 0
19023 21.2 34.9 20.5 0
19024 21.4 35.5 19.6 0
19025 20.9 35.2 20.9 0
19026 21.4 34 19.4 0
19027 21.4 33 19.6 0
19028 21.1 33.8 17.3 0
19029 20.8 34.7 18.4 0
19030 18.7 35.3 20.9 0
    
```

ภาพภาคผนวกที่ 2.2 ตัวอย่างไฟล์ข้อมูลอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

RICER048 - Notepad
File Edit Format View Help
IB0017 IR 66 . IB0001 500.0 50.0 490.0 12.5 62.0 .0265 1.00 83.0 28.0 15.0 15.0 | 1.00 1.0
IB0018 IR 72x . IB0001 400.0 100.0 580.0 12.0 76.0 .0230 1.00 83.0 28.0 15.0 15.0 | 1.00 1.0
IB0019 RD 7 (cal.) . IB0001 603.3 150.0 452.5 11.2 65.0 .0230 1.00 83.0 28.0 15.0 15.0 | 1.00 1.0
IB0021 CICAB . IB0001 700.0 120.0 360.0 11.7 60.0 .0270 1.00 83.0 28.0 15.0 15.0 | 1.00 1.0
IB0022 LOW TEMP_SEN . IB0001 400.0 120.0 420.0 12.0 60.0 .0250 1.00 83.0 35.0 15.0 15.0 | 0.80 1.0
IB0023 LOW TEMP_TOL . IB0001 400.0 120.0 420.0 12.0 60.0 .0250 1.00 83.0 22.4 15.0 15.0 | 1.25 1.0
IB0024 17 BR11,T,AMAN . IB0001 740.0 180.0 400.0 10.5 55.0 .0250 1.00 83.0 31.1 15.0 15.0 | 0.90 1.0
IB0025 18 BR22,T,AMAN . IB0001 650.0 110.0 400.0 12.0 60.0 .0250 1.00 83.0 28.0 15.0 15.0 | 1.00 1.0
IB0026 19 BR 3,T,AMAN . IB0001 650.0 110.0 420.0 12.0 65.0 .0250 1.00 83.0 28.0 15.0 15.0 | 1.00 1.0
IB0027 20 BR 3,BORO . IB0001 650.0 90.0 400.0 13.0 65.0 .0250 1.00 83.0 28.0 15.0 15.0 | 1.00 1.0
IB0029 CPICB . IB0001 380.0 150.0 300.0 12.8 38.0 .0210 1.00 83.0 28.0 15.0 15.0 | 1.00 1.0
IB0030 LEMONT . IB0001 500.0 50.0 300.0 12.8 60.0 .0207 1.00 83.0 28.0 15.0 15.0 | 1.00 1.0
IB0031 RN12 . IB0001 380.0 50.0 300.0 12.8 40.0 .0199 1.00 83.0 24.3 15.0 15.0 | 1.15 1.0
IB0032 TW . IB0001 360.0 50.0 290.0 12.8 55.0 .0210 1.00 83.0 28.0 15.0 15.0 | 1.00 1.0
IB0115 IR 64* . IB0001 540.0 160.0 490.0 12.0 50.0 .0250 1.10 83.0 28.0 15.0 15.0 | 1.00 1.0
IB0116 HEAT SENSITIVE . IB0001 460.0 5.0 390.0 13.5 62.0 .0250 1.00 83.0 24.3 15.0 15.0 | 1.15 1.0
IB0117 BR14 . IB0001 560.0 200.0 500.0 11.5 45.0 .0260 1.00 83.0 28.0 15.0 15.0 | 1.00 1.0
IB0119 BR11 . IB0001 825.0 300.0 390.0 11.5 52.0 .0240 1.00 83.0 28.0 15.0 15.0 | 1.00 1.0
IB0120 PANT-4 . IB0001 830.0 160.0 300.0 11.4 45.0 .0300 1.00 83.0 35.0 15.0 15.0 | 0.80 1.0
IB0121 JAYA . IB0001 830.0 180.0 200.0 11.4 40.0 .0300 1.00 83.0 35.0 15.0 15.0 | 0.80 1.0
IB0122 BPR10 . IB0001 740.0 200.0 225.0 13.5 40.0 .0230 1.00 83.0 28.0 15.0 15.0 | 1.00 1.0
IB0151 ZHENG DAO 9380 . IB0001 400.0 120.0 420.0 13.0 60.0 .0270 1.00 83.0 24.3 15.0 15.0 | 1.15 1.0
IB0200 CL-448 . IB0001 100.0 120.0 250.0 12.0 40.0 .0250 1.00 83.0 22.4 15.0 15.0 | 1.25 1.0
IB0051 KS-282 Crice . IB0001 290.0 17.0 490.0 13.0 55.0 .0500 1.00 83.0 40.0 15.0 15.0 | 0.70 1.0
IB0052 Basmati-515 Frice . IB0001 460.0 120.0 512.0 11.0 37.0 .0210 1.00 75.0 28.0 15.0 15.0 | 1.00 1.0

MC0020 RD 23 . IB0001 310.3 140.0 370.0 11.2 53.0 .0230 0.30 83.0 28.0 15.0 15.0 | 1.00 1.0
TR0001 KDM105 . IB0001 502.3 123.3 386.5 12.7 45.7 .0270 1.00 83.0 29.5 15.0 15.0 | 0.95 1.0
TR0002 NIEW SANPATONG . IB0001 495.8 128.3 364.2 12.7 40.7 .0277 0.70 83.0 32.9 15.0 15.0 | 0.85 1.0
TR0003 SUPANBURI 60 . IB0001 540.0 154.7 497.0 11.9 77.7 .0280 1.00 83.0 27.2 15.0 15.0 | 1.00 1.0
TR0004 CHAINAT 1 . IB0001 570.0 122.8 334.8 11.9 63.1 .0278 1.00 83.0 28.0 15.0 15.0 | 1.00 1.0
TR0005 DOA 1 . IB0001 388.5 20.0 381.8 12.0 73.8 .0275 1.10 83.0 24.3 15.0 15.0 | 1.15 1.0

```

ภาพภาคผนวกที่ 2.3 ตัวอย่างไฟล์ข้อมูลพืช

```

CPB80901 - Notepad
File Edit Format View Help
*EXP_DETAILS: CPB80901SQ CPB81902RI RESIDUE SIMULATION FOR SUPHAN BURI 2019

*GENERAL
@PEOPLE
Arada
@ADDRESS
KNITL
@SITE
Suphan Buri 2018 SP
@ PAREA PRNO PLEN PLDR PLSP PLAY HAREA HRNO HLEN HARM.....
-99 -99 -99 -99 -99 -99 -99 -99 -99 -99

*TREATMENTS
-----FACTOR LEVELS-----
@N R O C TNAME ..... CU FL SA IC HP MI MF MR MC MT ME MH SM
1 1 1 0 100-Rice+SA . 1 1 1 0 1 0 1 0 0 0 0 1 1
1 2 1 0 100-Fallow+SA . 2 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 2 2
2 1 1 0 0-Rice+SA . 1 1 1 0 1 0 1 0 0 0 0 0 3 1
2 2 1 0 0-Fallow+SA . 2 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 4 2

*CULTIVARS
@C CR INGENO CNAME
1 RI TR0004 CHAINAT 1
2 FA -99 -99

*FIELDS
@L ID_FIELD WSTA.... FLSA FLOB FLDT FLDD FLDS FLST SLTX SLOP ID_SOIL FLNAME
1 CPB80901 CPBB -99 -99 -99 -99 -99 -99 SIC 15 TH02000001 -99
@L .....YCRD .....ELEV .....AREA .SLEN .FLWR .SLAS FLHST FHDUR
1 -99 -99 -99 -99 -99 -99 -99 -99 -99 -99

*S0IL ANALYSIS
@A SADAT SHHB SMPX SMKE SANAME
1 20001 -99 -99 -99 SA
@A SABL SADM SAOC SANI SAPHN SAPHB SAPX SAKE SASC

```

ภาพภาคผนวกที่ 2.4 ตัวอย่างไฟล์ข้อมูลการจัดการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Soil Analysis**

Level Description

1	SA
---	----

Add Delete

**Determination Method**

pH:

Phosphorus:

Potassium:

**Level 1**

Year: 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021

Analysis date (dd/MM/yyyy): 18/12/2021

**Soil Analysis Layers**

Depth, base of layer, cm	Bulk density, moist, g cm <sup>-3</sup>	Organic carbon, %	Total nitrogen, %	pH in water	pH in buffer	Phosphorus, extractable, mg kg <sup>-1</sup>	Potassium, exchangeable, cmol	Stable Organic Carbon, %
15		2.83						2.6
30		2.91						2.6

Add Layer Delete Layer

ภาพภาคผนวกที่ 2.5 ตัวอย่างการเพิ่มข้อมูลปริมาณคาร์บอนทั้งหมด และรูปของคาร์บอนที่ละลายได้ยาก (Stable C) หรือ Heavy Fraction ของหัวข้อดินที่วิเคราะห์ (Soil Analysis)

**Harvest**

Level Description

1	Rice
2	Fallow

Add Delete

**Harvest Numbers**

Level 1

Year: 2011 Crop: Rice Management: On reported date(s)

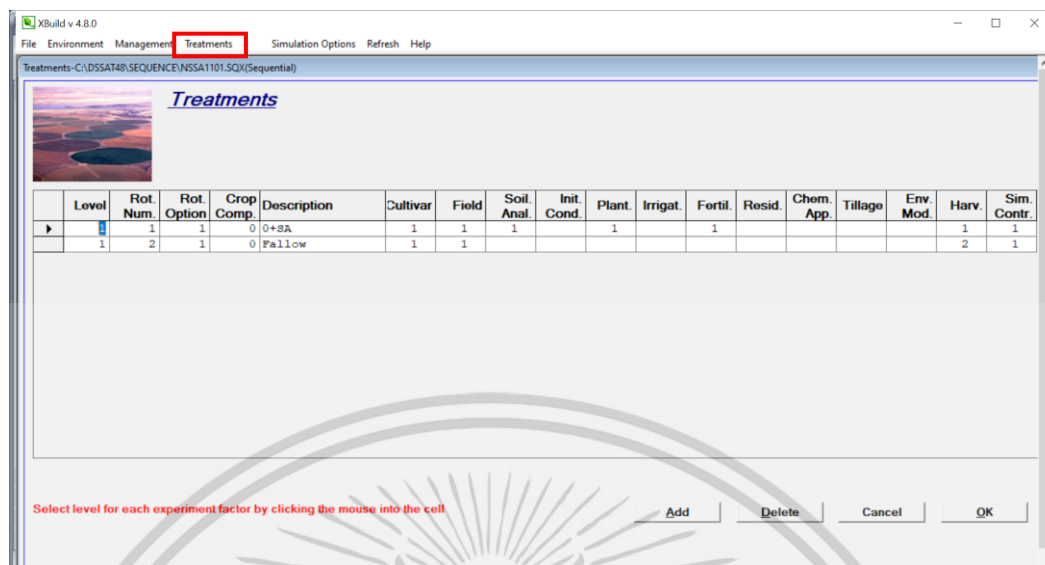
Date (dd/MM/yyyy)	Stage	Component	Size Group	Grain Harvest, %	Byproduct takeoff, %
01/11/2011	S8006			100	0

Add Harvest Delete Harvest

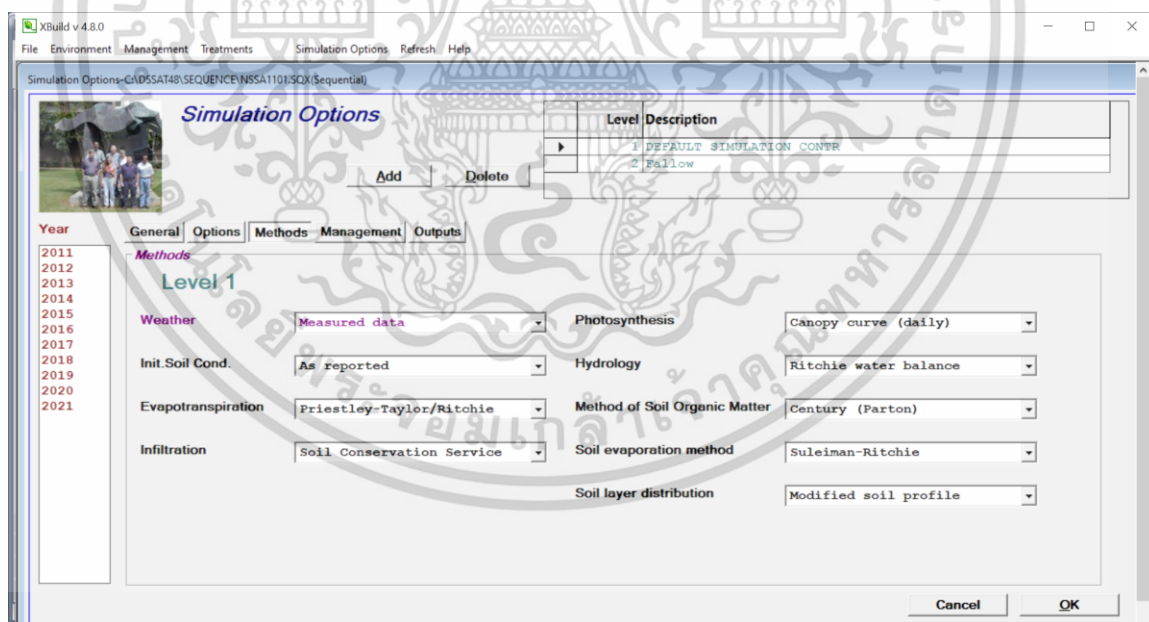
Cancel OK

ภาพภาคผนวกที่ 2.6 ตัวอย่างการเพิ่มข้อมูลการนำฟางข้าวออกหลังการเก็บเกี่ยว (Byproduct Takeoff, %)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพภาคผนวกที่ 2.7 ตัวอย่างการกำหนดพรีตเมนต์ที่ใช้การทดลองในช่วงการปลูกพืชเนื่องกับการพักดิน



ภาพภาคผนวกที่ 2.8 ตัวอย่างกำหนด Method of Soil Organic Matter เป็น CENTURY (Parton)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NRBB0901.OLC - Notepad

File Edit Format View Help

\*SOM C DAILY OUTPUT FILE

\*DSSAT Cropping System Model Ver. 4.8.0.027 -release JUL 12, 2022 16:42:47

\*RUN 1 : 100-Rice+SA RICER048 NRBB0901 1  
 MODEL : RICER048 - Rice  
 EXPERIMENT : NRBB0901 SQ NRBB1902RI RESIDUE SIMULATION FOR NAKHON RATCHASIM  
 DATA PATH : C:\DSSAT48\Sequence\  
 TREATMENT 1 : 100-Rice+SA RICER048

@YEAR DOY	DAS	<--- SOM C in top layers --->				<- SOM + LIT C in top layers ->				<----- Total Soil Organic Carbon (SOM + LIT) ----->								
		20cm-kg	20cm-%	40cm-kg	40cm-%	20cm-kg	20cm-%	40cm-kg	40cm-%	Total Surface	Soil	0-5	5-15	15-20	20-30	30-450	Surface	
2009 003	0	22320	0.775	22620	0.780	22320	0.775	22620	0.780	170443	0	170443	5976	11952	4392	8845	139278	0
2009 033	30	22273	0.773	22597	0.779	22275	0.773	22597	0.779	170322	0	170322	5971	11920	4384	8827	139220	0
2009 063	60	22234	0.772	22564	0.778	22315	0.775	22566	0.778	170283	7	170276	5988	11924	4395	8806	139152	0
2009 093	90	22217	0.771	22538	0.777	22250	0.773	22539	0.777	170248	152	170096	5967	11874	4379	8783	139093	29
2009 123	120	22305	0.776	22506	0.776	22583	0.785	22539	0.777	170766	453	170313	6092	11922	4443	8784	139073	144
2009 135	132	22385	0.778	22504	0.776	22569	0.785	22524	0.777	170644	441	170203	6068	11891	4427	8773	139044	196
2009 135	0	22385	0.778	22504	0.776	22940	0.797	22592	0.779	173443	2749	170693	6207	12056	4494	8812	139124	196
2009 165	30	22555	0.785	22497	0.776	22898	0.797	22538	0.777	172995	2545	170451	6198	11960	4455	8784	139053	315
2009 195	60	22641	0.788	22490	0.776	22906	0.797	22515	0.776	172697	2384	170313	6202	11910	4437	8765	138998	382
2009 225	90	22709	0.790	22476	0.775	22931	0.798	22495	0.776	172427	2215	170212	6212	11873	4425	8751	138951	445
2009 255	120	22766	0.792	22460	0.774	22956	0.799	22476	0.775	172172	2048	170124	6226	11841	4416	8737	138905	497
2009 285	150	22818	0.794	22444	0.774	22982	0.800	22458	0.774	171932	1884	170048	6245	11811	4407	8724	138861	543
2009 315	180	22901	0.797	22425	0.773	23035	0.802	22437	0.774	171624	1662	169962	6270	11777	4397	8708	138809	616
2009 345	210	22935	0.798	22403	0.773	23050	0.802	22413	0.773	171383	1532	169851	6287	11741	4386	8691	138747	661
2010 010	240	22920	0.798	22379	0.772	23027	0.801	22387	0.772	171233	1506	169727	6289	11714	4374	8672	138678	675
2010 014	244	22925	0.798	22376	0.772	23030	0.801	22383	0.772	171206	1491	169714	6291	11712	4373	8670	138669	679
2010 014	0	22925	0.798	22376	0.772	23030	0.801	22383	0.772	171206	1491	169714	6291	11712	4373	8670	138669	679
2010 044	30	23002	0.801	22347	0.771	23115	0.805	22355	0.771	170905	1254	169651	6351	11682	4368	8651	138600	744
2010 074	60	23046	0.803	22315	0.769	23155	0.806	22322	0.770	170709	1095	169614	6431	11658	4368	8628	138528	733
2010 104	90	23091	0.804	22284	0.768	23167	0.807	22289	0.769	170746	1210	169537	6491	11617	4355	8605	138468	743

Ln 1, Col 1 100% Windows (CRIF) UTF-8

ภาพภาคผนวกที่ 2.9 ตัวอย่างผลจากไฟล์ xxxxxxxx.OLC เป็นไฟล์แสดงผลคาร์บอนในอินทรีย์วัตถุ  
 แบบราย 30 วัน (SOM C DAILY OUTPUT FILE)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางภาคผนวกที่ 2.1** ค่าวิเคราะห์ที่ได้จากห้องปฏิบัติการ (Observed Value : O) และจากการสมการถดถอยพหุคูณ (Predicted Value : P) ของปริมาณคาร์บอนทั้งหมด (Total Carbon : TC) และปริมาณคาร์บอนที่ย่อยสลายได้ยาก (Heavy Fraction : HF) จำนวน 21 plots

Plot	TC Topsoil (g/kg)		TC Subsoil (g/kg)		HF Topsoil (g/kg)		HF Subsoil (g/kg)	
	O	P	O	P	O	P	O	P
NSSA	28.13	24.07	24.62	20.80	20.97	18.84	22.39	22.07
NSSC	18.27	15.35	13.83	13.71	10.17	10.99	13.81	11.87
SPPA	13.64	13.22	6.22	10.98	4.18	8.40	9.44	9.85
SPPE	10.61	9.87	7.65	6.85	5.16	4.54	7.91	6.95
SPPH	13.21	20.42	8.20	17.16	6.88	14.34	11.42	16.71
SPPJ	20.38	18.38	9.44	16.22	9.00	13.93	19.06	15.75
SPPN	10.62	11.03	7.81	8.09	4.86	5.47	6.87	7.86
SPPP	17.74	21.23	7.32	17.40	6.75	14.50	17.25	17.99
SPPR	20.92	12.45	6.32	11.23	5.43	8.66	17.47	9.06
SPPS	8.50	8.59	4.59	9.01	3.47	6.19	7.44	5.80
SPPT	12.75	10.99	6.67	9.26	5.36	6.63	9.55	7.83
NSAA	10.80	5.60	4.90	6.07	2.90	3.59	7.28	3.61
NSBB	7.46	1.30	4.03	1.35	2.04	-0.71	4.55	-0.78
NSCC	5.25	3.79	3.81	4.46	2.57	2.21	2.42	1.49
NSDD	22.29	16.53	9.05	14.69	8.57	11.69	19.21	13.38
NSFF	11.64	10.20	7.48	7.76	6.62	5.39	8.37	7.58
CPAA	13.16	10.60	11.80	6.75	6.32	3.72	9.19	6.52
NRAA	12.93	3.48	7.68	1.86	4.87	0.08	10.27	1.39
NRCC	26.17	22.62	17.40	21.79	16.55	19.14	22.58	19.79
NRDD	28.55	21.40	22.21	21.32	19.64	18.66	24.96	18.89
SPBB	9.88	13.22	7.67	13.77	3.04	9.14	4.96	8.74
Mean	15.38	13.06	9.46	11.45	7.40	8.83	12.21	10.11

หมายเหตุ: SPXX คือ แปลงในจังหวัดสุพรรณบุรี, NSXX คือ แปลงในจังหวัดนครสวรรค์, CPXX คือ จังหวัดชัยภูมิ และ NRXX คือ แปลงในจังหวัดนครราชสีมา

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวอารดา บุญอาจ
วัน เดือน ปีเกิด	21 พฤศจิกายน พ.ศ. 2539
ที่อยู่	บ้านเลขที่ 845 ซอย 4 บน ถนนประชาพัฒนา แขวงทับยาว เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520
ประวัติการศึกษา	(2561) วิชาเอกปรัชญาวិทยา ภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช เกรดเฉลี่ย 3.60 คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ทุนยกเว้นค่าหน่วยกิต ทุนวิจัยส่งเสริมส่วนงานวิชาการ ประจำปีงบประมาณ 2564
ประสบการณ์การทำงานและผลงานวิจัย	อารดา บุญอาจ, ศิวกร พรคณิง, และ สุกัญญา แยมประชา. 2563. การทำนายการปลดปล่อยไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์สำหรับดินนาที่มีการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ต่างชนิดกัน. ในงานประชุมวิชาการนำเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 50 กลุ่มวิทยาศาสตร์ เกษตร และเทคโนโลยี. (601-613). กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง นันทนัช ชาวพะเยาว์, อารดา บุญอาจ, พัชรินทร์ สุรินทร์, จวรรชนก ปรีสงค์, และ สุกัญญา แยมประชา. 2563. อิทธิพลของพันธุ์ข้าวต่อการสะสมมวลชีวภาพและปริมาณธาตุอาหาร. (614-625). ใน การประชุมวิชาการนำเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 50 กลุ่มวิทยาศาสตร์ เกษตร และเทคโนโลยี. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อารดา บุญอาจ, จวรรชนก ปรีสงค์, และ สุกัญญา แยมประชา. 2565. ผลของการจัดการต่อซังข้าวต่อการกักเก็บคาร์บอน ปริมาณคาร์บอนและไนโตรเจนทั้งหมดในดินนา. การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 60 สาขาพืช. (59-66). กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้