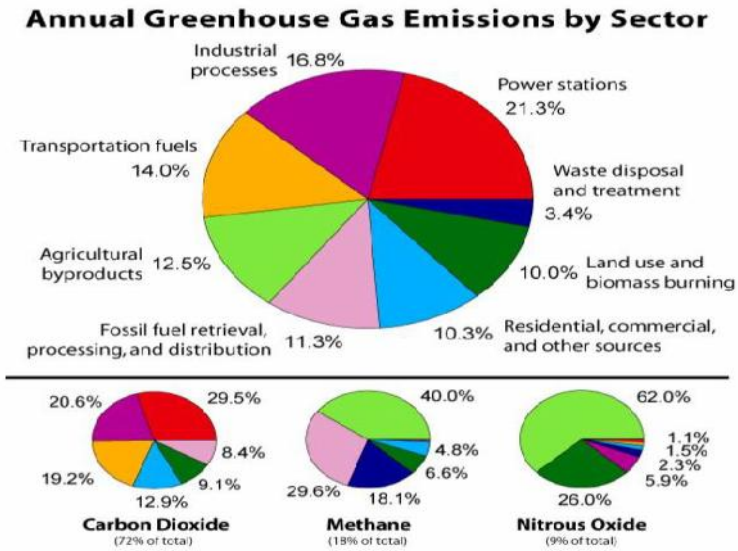
บทที่ 1 บทนำ
(Chapter I Introduction)

ดินนาในภาคตะวันออกเฉียงเหนือเป็นดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ เนื่องจากส่วนใหญ่เป็นดินทราย มีอินทรียวัตถุเฉลี่ย 0.56 เปอร์เซ็นต์ รัฐบาลจึงส่งเสริมให้มีการเพิ่มอินทรียวัตถุโดยการใส่วัสดุอินทรีย์ลงไปในดิน เช่น การไถกลบตอซังข้าว ซากพืช ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยคอก หรือวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร และอุตสาหกรรมเพื่อช่วยในการปรับปรุงบำรุงดินให้มีความอุดมสมบูรณ์ขึ้น อย่างไรก็ตาม การใส่วัสดุอินทรีย์เหล่านี้ลงในนาข้าวกลับส่งผลให้นาข้าวมีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกซึ่งทำให้โลกร้อนเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะก๊าซมีเทน (CH_4) (รูปที่ 1.1) อันเนื่องมาจากการย่อยสลายของปุ๋ยอินทรีย์ และซากพืชในสภาพที่ขาดออกซิเจนถึงแม้ว่านาข้าวจะมีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่น้อยเมื่อเทียบกับแหล่งอื่นแต่ก็เป็นแหล่งสำคัญของการปลดปล่อยก๊าซมีเทน และก๊าซไนตรัสออกไซด์ ส่งผลทำให้ประเทศไทยซึ่งขึ้นชื่อว่าเป็นประเทศที่มีการเพาะปลูกข้าวที่ใหญ่ และสำคัญของโลกถูกมองว่าเป็นแหล่งผลิตก๊าซเรือนกระจกแหล่งสำคัญของโลกเช่นกัน และนำมาซึ่งการกีดกันทางการค้า



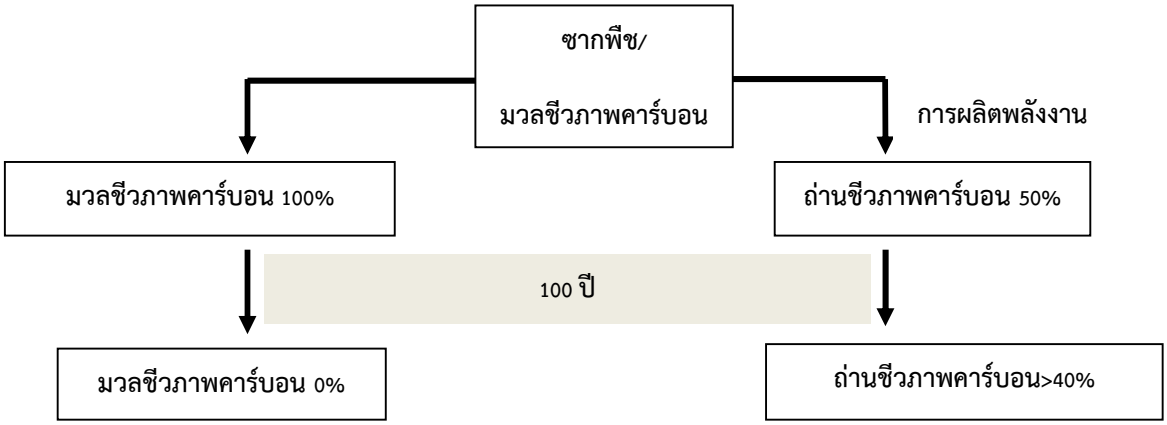
รูปที่ 1.1 ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละภาคส่วน
ที่มา: Rohde (2000)

ถ่าน (Charcoal)เป็นวัสดุอินทรีย์ที่ถูกเผาในสภาพที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำหรือไม่มีออกซิเจน ด้วยอุณหภูมิสูง 300 – 600 °C ซึ่งเรียกว่ากระบวนการไพโรไลซิส (Pylolysis) (Bruun, 2011) ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีวิถีชีวิตผูกพันกับการใช้ถ่านชีวภาพเพื่อการหุงต้ม แต่ถูกนำมาใช้เป็นสารปรับปรุงดินน้อยมาก ยกเว้น การใช้ขี้เถ้าถ่านชีวภาพที่มีการนำไปใช้ใส่ดินเพื่อเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน (เสาวคนธ์, 2556)

ถ่านซึ่งมีคาร์บอนที่เสถียร และคงทนต่อการย่อยสลาย หากใส่ลงไปในดินจึงเปรียบเสมือนการเพิ่มปริมาณคาร์บอน และช่วยกักเก็บคาร์บอนไว้ในดิน (Carbon sequestration) นอกจากนั้น ด้วยคุณสมบัติทางกายภาพของถ่าน ได้แก่ ความพรุน (Porosity) และพื้นที่ผิวสัมผัส (Surface area) ของถ่านซึ่งมีบทบาทสำคัญในการลดความ

หนาแน่นของดิน และเพิ่มความจุในการอุ้มน้ำของดิน ในส่วนคุณสมบัติทางเคมีซึ่งถ่านมีค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cation exchange capacity: CEC) สูง จึงส่งผลทำให้ดินมีความสามารถในการกักเก็บธาตุอาหารที่ใส่ลงไปในดิน หรือจากการย่อยสลายได้ดี และจะค่อยๆปลดปล่อยออกมาอย่างช้าๆ เปรียบเสมือน buffer ภายในดิน และถ่านมีค่า pH ที่สูงจึงช่วยในการปรับปรุงดินให้มีความเหมาะสมต่อความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืช จากคุณสมบัติของถ่านที่กล่าวมาข้างต้นถ่านจึงเป็นสารอินทรีย์ที่เหมาะสมในการใส่ลงไปในดินเพื่อปรับปรุงดิน ลดการสูญเสียธาตุอาหารในรูปของก๊าซ และช่วยเพิ่มผลผลิตข้าว อย่างไรก็ตาม ชนิดของถ่านเป็นปัจจัยที่มีผลต่อคุณสมบัติของถ่าน และการเจริญเติบโตของพืชที่แตกต่างกัน ดังนั้น โครงการวิจัยนี้จึงมีกรอบแนวคิดในการศึกษาโดยการขยายผลจากงานทดลองระดับเรือนทดลองเป็นระดับไร่นาของเกษตรกรเพื่อเป็นการพัฒนาและปรับปรุงวิธีการ และรูปแบบการใช้ถ่านในระบบการปลูกข้าวที่เหมาะสมและเกษตรกรมีส่วนร่วม

การใส่ถ่านในดินเป็นอีกเทคโนโลยีหนึ่งซึ่งจะช่วยในการปรับปรุงดิน และการกักเก็บคาร์บอนในดิน เนื่องจากถ่านมีคาร์บอนที่มีความเสถียร มีปริมาณคาร์บอนสูง และมีศักยภาพในการคงทนอยู่ในดินได้เป็นระยะเวลานานทำให้คาร์บอนซึ่งเป็นแหล่งอาหารของจุลินทรีย์ในนาข้าวลดลงจึงส่งผลให้กิจกรรมของ Methanogenic bacteria ลดลง เมื่อเทียบกับการใส่สารอินทรีย์อื่นๆ เช่น เศษซากพืช ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยพืชสด และปุ๋ยคอก ซึ่งมักจะเกิดการย่อยสลายอย่างรวดเร็วโดยเฉพาะในเขตร้อนชื้น และในสภาพที่น้ำขังส่งผลให้ปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกเพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2 จะเห็นได้ว่า การใส่ซากพืชหรือมวลชีวภาพลงไปในดิน 100 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเวลาผ่านไป 100 ปี จะมีปริมาณคาร์บอนในดินเหลือ 0 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่การใส่ถ่านชีวภาพจะเหลือมากกว่า 40 เปอร์เซ็นต์ของคาร์บอนที่ใส่ลงไปในดิน (รูปที่ 1.2) ดังนั้น เทคโนโลยีการใช้ถ่านใส่ลงในนาข้าวจึงเป็นเทคโนโลยีที่น่าสนใจในการช่วยกักเก็บคาร์บอนในดิน ลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก และช่วยปรับปรุงดินเพื่อเพิ่มผลผลิตข้าว นอกจากนี้ ถ่านยังทำให้มีคุณสมบัติในการช่วยดูดซับธาตุอาหารในดิน เนื่องจากมีค่า CEC สูง ช่วยปรับปรุงโครงสร้างทางกายภาพของดิน เช่น ความหนาแน่นของดิน การระบาย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ถ่านช่วยในการรักษาระดับ pH ในดินให้มีความเหมาะสมซึ่งจะทำให้มีสภาพแวดล้อมของดินที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของข้าว จากคุณสมบัติของถ่านที่มีคาร์บอนที่ย่อยสลายตัวช้า และมีค่า CEC สูงทำให้เพิ่มความเป็นประโยชน์ของปุ๋ยไนโตรเจนในนาข้าวลดการสูญเสียในรูปของก๊าซไนตรัสออกไซด์อีกด้วยอย่างไรก็ตาม ความสามารถในการกักเก็บคาร์บอน การลดปริมาณการปลดปล่อยก๊าซมีเทน และศักยภาพในการเพิ่มผลผลิตของพืชจากการใส่ถ่านนั้นขึ้นอยู่กับวัตถุดิบ และสภาพแวดล้อมของการเผา



รูปที่ 1.2 เปรียบเทียบการใส่มวลชีวภาพแบบดั้งเดิม กับการใส่ถ่านลงไปในดินต่อปริมาณคาร์บอนที่เหลืออยู่ในดินเมื่อเวลาผ่านไป 100 ปี

ที่มา: Lehmann et al. (2006)

บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง
(Chapter II Literature Review)

การทำการเกษตรในอดีตเกษตรกรมุ่งเน้นการเพิ่มผลผลิตให้ได้ตามความต้องการของตลาดโดยการใส่ปุ๋ยเคมี โดยไม่ได้คำนึงถึงผลกระทบในระยะยาวต่อสมบัติทางกายภาพของดิน และสิ่งแวดล้อม ปัจจุบันภาครัฐได้ส่งเสริมการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ และเศษซากพืชที่เหลือหลังจากเก็บเกี่ยวไถกลบเพื่อเป็นการเพิ่มอินทรียวัตถุในดิน ธาตุอาหาร และปรับปรุงโครงสร้างของดินให้มีความเหมาะสมในการเพาะปลูกพืช อย่างไรก็ตาม ปุ๋ยอินทรีย์ และซากพืชต่างๆ ที่ไถกลบลงในดินจะเกิดการย่อยสลาย (Decomposition) อย่างรวดเร็ว อันเนื่องมาจากปัจจัยทางด้านสภาพภูมิอากาศที่ร้อนชื้นของประเทศไทย และกิจกรรมทางการเกษตร การย่อยสลายของปุ๋ยอินทรีย์ และซากพืชจะปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ออกมาทำให้ประเทศไทยถูกโจมตีจากต่างประเทศว่าเป็นแหล่งของการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse gas) ที่สำคัญแหล่งหนึ่งของโลก และนำมาซึ่งการกีดกันทางการค้า ดังนั้น การคิดค้นเทคโนโลยีที่ช่วยเพิ่มปริมาณอินทรีย์คาร์บอน และความอุดมสมบูรณ์ของดิน รวมทั้งช่วยชะลอการปลดปล่อย CO_2ไปสู่บรรยากาศให้นานที่สุดจึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจในปัจจุบันนี้

1) ก๊าซมีเทน

ก๊าซมีเทนเป็นสารประกอบอินทรีย์ประเภทอะลิฟาติก (Aliphatics) และเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัวประเภทอัลเคนหรือพาราฟิน (Alkane or Paraffins) ก๊าซมีเทนเป็นก๊าซที่ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส มีจุดหลอมเหลวที่ -182.5 องศาเซลเซียส จุดเดือด -161.5 องศาเซลเซียส ละลายน้ำได้ต่ำ ทำปฏิกิริยาแทนที่กับฮาโลเจนเมื่อมีแสงหรืออุณหภูมิ 200-400 องศาเซลเซียส เมื่อเผาไหม้จะเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ (OEEP, 2000)

ก๊าซมีเทนเป็นก๊าซที่เกิดในธรรมชาติโดยกระบวนการย่อยสลายอินทรีย์หรือซากสิ่งมีชีวิตของแบคทีเรียบางชนิดในพื้นที่ที่ปราศจากออกซิเจน เช่น หนองน้ำ หรือนาข้าว เป็นต้น ก๊าซมีเทนมีคุณสมบัติพิเศษ คือ เผาไหม้ง่าย และปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา แม้ว่าก๊าซมีเทนมีอยู่ในบรรยากาศเพียง 1.7 ppm แต่ก๊าซมีเทนมีคุณสมบัติของก๊าซเรือนกระจกสูงกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ คือ ด้วยปริมาตรเท่ากัน ก๊าซมีเทนสามารถดูดกลืนรังสีอินฟราเรดได้ดีกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (IPPC, 2001)

2) กระบวนการเกิดก๊าซมีเทนในนาข้าว

การปลูกข้าวในสภาพน้ำขังอยู่ในสภาพการแลกเปลี่ยนก๊าซระหว่างอากาศในดินกับบรรยากาศน้อย ออกซิเจนจากบรรยากาศจะเข้าไปในดินได้ด้วยการแพร่กระจายลงยังผิวน้ำแต่เกิดขึ้นได้ช้ามาก (1/10,000 เท่าของในบรรยากาศ) (Khalil, 1993) ดังนั้น ดินจะอยู่ในสภาพที่ไม่มีออกซิเจน ส่วนปริมาณออกซิเจนที่มีอยู่เดิมจะถูกจุลินทรีย์นำไปใช้ในกระบวนการหายใจ อินทรียวัตถุ (Organic matter) ในดินที่มาจากรากข้าว ตอซัง ข้าวจากฤดูทำนาที่ผ่านมา วัชพืช จะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์พวก Methanogenic bacteria ในสภาวะไม่มีออกซิเจน

พลังงานที่ได้จะถูกจุลินทรีย์นำไปใช้ในกระบวนการ Fermentation หมายถึง กระบวนการทางชีวเคมีที่จุลินทรีย์ที่มีกิจกรรมในสภาพที่ไม่มีออกซิเจน ใช้สารประกอบอินทรีย์เป็นตัวรับอิเล็กตรอน ดังนั้น ผลที่ได้จากการสลายตัวก็จะเป็นสารประกอบอินทรีย์อยู่ในสภาพออกซิไดซ์และรีดิวซ์ Pyruvic acid จะเปลี่ยนแปลงต่อไปได้หลาย ๆ

รูปแบบ ซึ่งสารประกอบที่เกินขึ้นจากการสลายตัวของคาร์โบไฮเดรตในดินที่มีน้ำขังที่สำคัญ คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_3)กรดอะซิติค (Acetic acid) และ ก๊าซมีเทน(CH_4)

กระบวนการหายใจของจุลินทรีย์ในดินโดยปกติในสภาวะที่มีออกซิเจน ออกซิเจนจะเป็นตัวรับอิเล็กตรอน แต่ถ้าไม่มีออกซิเจน สารประกอบหรือธาตุอื่นๆ จะท้าหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอนในดินที่มีน้ำขัง จุลินทรีย์ที่อยู่ได้ทั้งในสภาพที่มีและไม่มีออกซิเจนรวมทั้งจุลินทรีย์ที่อยู่ได้เฉพาะที่ไม่มีออกซิเจนจะใช้ NO^{3-} , Mn^{+4}, Fe^{+3}, NO_4^{2-}, CO_2 และ H^+ เป็นตัวรับอิเล็กตรอนและเปลี่ยนเป็น N_2, Mn^{+2}, Fe^{+2}, S^{2-}, CH_4 และ H_2 ตามลำดับ ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ปฏิกิริยาและรีดอกซ์โพเทนเชียล (Eh) ในดินน้ำท่วม

รีดักชัน	รีดอกซ์โพเทนเชียล	
O_2 -----> H_2O	+ 380 to + 320	
NO_3 -----> N_2 Mn^{+4} -----> Mn^{+2}	+ 280 to + 220	Denitrification, Manganese reduction
Fe^{+3} -----> Fe^{+2}	+ 180 to + 150	Iron reduction
SO_4^{2-} -----> S^{2-}	- 120 to - 180	Sulfate reduction
CO_2 -----> CH_4	- 200 to - 280	Methane reduction

ปฏิกิริยาเหล่านี้จะเกิดขึ้นในช่วง รีดอกซ์โพเทนเชียล (Eh) ที่แตกต่างกัน ปฏิริยานี้จะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องกันจากบนไปล่างของตาราง โดยที่เมื่อดินมีปริมาณออกซิเจนลดลง ค่า Ehก็จะลดลงตามไปด้วย และเมื่อ ค่า Eh ของดิน -200 ถึง -280 mV ปฏิกิริยา Methanefermentation จะเกิดขึ้น ซึ่งจะมีการผลิตก๊าซมีเทนออกมา นอกจากนี้ Eh ยังมีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลง pH นั่นคือ เมื่อพื้นที่นามีระยะเวลาของการขังน้ำนานขึ้น ค่า pH จะเพิ่มขึ้นและEh จะลดลง แต่เมื่อระบายน้ำออก ค่า pH จะลดลง Eh จะเพิ่มขึ้นในสภาพรีดักชั่นที่รุนแรงการสลายตัวของอินทรียวัตถุจะเกิดสารประกอบที่ยังสลายตัวไม่สมบูรณ์ (Intermediate Products) หลายชนิด เช่น กรดอินทรีย์ต่างๆ (Organic Acid) กรดอะซีติก(Acetic Acid) มักพบในดินที่มีน้ำขัง กรดอินทรีย์เหล่านี้จะย่อยสลายต่อเกิด CO_2และ CH_4

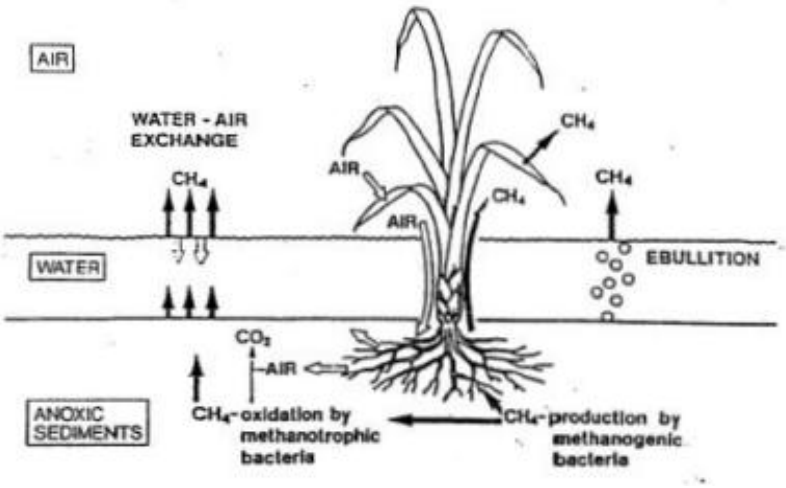
3) การปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว

IRRI (1991) ยืนยันว่าการเกิดก๊าซมีเทนจากนาข้าวเกิดได้ 3 ทาง คือโดยการแพร่ผ่านชั้นน้ำ (Diffusion) และฟองอากาศ (Bubble) ในปริมาณเล็กน้อยแต่การปล่อยก๊าซส่วนใหญ่หรือประมาณ 80% เกิดขึ้นผ่านทางต้นข้าว ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Barbara and Hogan (1991) รายงานว่า ก๊าซมีเทนที่เกิดจากนาข้าวจะถูกปลดปล่อยออกสู่บรรยากาศได้อย่างน้อย 3 ทาง (รูปที่ 2.1) คือ

-เคลื่อนผ่านต้นข้าวจากรากออกสู่บริเวณกาบใบและใบ (มากกว่าร้อยละ 90)

-เคลื่อนที่ผ่านน้ำสู่ผิวน้ำโดยกระบวนการแพร่ (Diffusion)

- การเคลื่อนที่ของฟองอากาศลอยขึ้นสู่ผิวน้ำ (Ebullition)



ที่มา: Barbara and Hogan(1991)

4) ปัจจัยที่มีผลต่อการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว

ปัจจัยที่มีผลต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทนที่เกิดจากนาข้าว ที่สำคัญ ได้แก่ พันธุ์ข้าว ระบบการทำนา ดิน ปุ๋ย สารเคมีปราบศัตรูพืช และสภาพภูมิอากาศ

4.1) ปัจจัยด้านพันธุ์ข้าวพันธุ์ข้าวปลูกมีประมาณ 120,000 พันธุ์ และประมาณว่าพันธุ์ข้าวที่พบในประเทศไทยมีไม่น้อยกว่า 35,000 พันธุ์ ทั้งนี้ในแต่ละพันธุ์จะมี ราก ใบ ล้าต้น รวง และเมล็ด การให้ผลผลิตแตกต่างกันออกไป ซึ่งปัจจุบันยังไม่มีข้อสรุปแน่ชัดว่า ข้าวพันธุ์ใดปลดปล่อยก๊าซมีเทนมากน้อยแค่ไหน(วรรณฑกา, 2543) การที่พันธุ์ข้าวมีผลต่อการเกิดก๊าซมีเทนนั้น ขึ้นกับลักษณะการเจริญเติบโตของราก การสะสมน้ำหนักแห้งของข้าวแต่ละพันธุ์มีผลต่อการเกิดก๊าซมีเทนแตกต่างกัน พันธุ์ที่มีแขนงรากมาก และเมื่อข้าวสะสมน้ำหนักแห้งมากท้าให้การเกิดและปลดปล่อยก๊าซมีเทนมาก

4.2) ปัจจัยด้านระบบการปลูกข้าวน้ำเป็นปัจจัยที่สำคัญมากในการปลูกข้าว ซึ่งสามารถจำแนกระบบการปลูกข้าวตามวิธีการจัดการน้ำได้(ทัศนีย์ , 2534)ดังต่อไปนี้

- นาข้าวที่มีน้ำขังตลอดฤดูกาลปลูกในระดับความลึก 2.5 – 7.5เซนติเมตร (Shalllow-Continuous Flooding)

-นาข้าวที่มีน้ำขังตลอดฤดูกาลปลูกในระดับความลึก 15 เซนติเมตร(Deep Continuous Flooding)

-นาข้าวที่มีการชลประทานแบบน้ำไหลในนาตลอดฤดูปลูก(Continuous Flowing Irrigation)

-นาข้าวที่มีการให้น้ำแบบทิ้งช่วง (Rotation Irrigation)

-นาข้าวที่มีการระบายน้ำออกจากนากลางฤดูปลูก (Midseason SoilDrying)

-นาน้ำฝน (Rainfed)น้ำย่อมมีผลทำให้มีสภาพแวดล้อมของดินแตกต่างกันไป จะมีผลต่อการเกิดและการปลดปล่อยมีเทนปิยบุตร (2536) ได้ศึกษาอิทธิพลของน้ำที่มีต่อกาปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว ที่ระดับน้ำในนาข้าว 0, 5, 10,20 cm. พบว่าอัตราการปลดปล่อยก๊าซมีเทนเท่ากับ 12.11 15.72 17.42 20.53 กรัมต่อตารางเมตร ต่อรอบปลูก ตามลำดับ ซึ่งการควบคุมน้ำให้มีน้ำท่วมขังอยู่ตลอดเวลาและมีระดับน้ำคงที่สูง ท้าให้ดินอยู่ในสภาพรีดักชัน ท้าให้เกิดก๊าซมีเทนเพิ่มมากขึ้น

4.3) ปัจจัยทางด้านดินคุณสมบัติทางกายภาพของดิน ความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน การระบายน้ำ ความสามารถในการดูดซับอาหารของพืช จะมีผลต่อการเจริญเติบโตและกิจกรรมของจุลินทรีย์ดินคุณสมบัติทางเคมีของดิน มีผลต่อการเจริญเติบโตและกิจกรรมของจุลินทรีย์ดินจะขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรดและด่างของดิน ซึ่งจะส่งผลต่ออัตราการปลดปล่อยก๊าซมีเทนเช่นกัน(ระวิวรรณ, 2537)Yagi and Minami (1990) รายงานว่า นาข้าวที่ปลูกในดินต่างชนิดกันในญี่ปุ่น จะมีอัตราการปลดปล่อยก๊าซมีเทนต่างกัน เนื่องจากดินแต่ละชนิดมีคุณสมบัติต่างๆ ต่างกัน

4.4) ปัจจัยทางด้านปุ๋ยปุ๋ยอินทรีย์มีอิทธิพลต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทน เนื่องจากเมื่อใส่ปุ๋ยอินทรีย์ลงไปในดินจะเกิดการสลายตัวของอินทรียวัตถุที่มีอยู่ในปุ๋ย ท้าให้ปลดปล่อยก๊าซมีเทนได้สูง ส่วนปุ๋ยเคมีเมื่อใส่ลงไปแล้วจะช่วยให้ต้นข้าวเจริญเติบโตได้ดี และท้าให้เกิดการส่งผ่านก๊าซมีเทนที่เกิดจากการสลายตัวของอินทรียวัตถุในดินผ่านข้าวออกสู้บรรยากาศเพิ่มขึ้นด้วย (วรรณฑกา, 2543)

4.5) **ปัจจัยทางด้านสารเคมีปราบศัตรูพืช**สารเคมีปราบศัตรูพืชจะมีอิทธิพลต่อแบคทีเรียในดิน ซึ่งจะขึ้นอยู่กับสมบัติทางเคมีและพิษวิทยาของสารเคมีแต่ละชนิด ซึ่งอาจท้าให้การย่อยสลายอินทรียวัตถุช้าลง เร็วขึ้น ขึ้นอยู่กับปริมาณการใช้ด้วย ในประเทศไทยมีการใช้สารเคมีปริมาณที่ต่ำเนื่องจากผลของต้นทุนการผลิตสูงขึ้น ท้าให้สารเคมีปราบศัตรูพืชในประเทศไทยมีอิทธิพลต่อปริมาณการปลดปล่อยก๊าซมีเทนในไทยน้อยมาก (ปิยบุตร, 2536)

4.6) **ปัจจัยทางด้านภูมิอากาศสภาพภูมิอากาศ** เช่น ปริมาณแสง อุณหภูมิ ปริมาณน้ำฝน เป็นต้น มีอิทธิพลต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว รังสีอินฟราเรดท้าให้อุณหภูมิของดินสูงขึ้น ส่งผลต่อกิจกรรมการสลายของจุลินทรีย์ในสภาพน้ำท่วมเกิดขึ้นได้ดีขึ้น (วรรณฑกา, 2543)

5) ถ่านชีวภาพ

ถ่านชีวภาพ (Biochar) คือ วัสดุอินทรีย์ที่ถูกเผาในสภาพที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำหรือไม่มีออกซิเจน ด้วยอุณหภูมิสูง 300-600 °C ซึ่งเรียกกระบวนการนี้ว่า กระบวนการไพโรไลซิส (Pyrolysis) (Bruun, 2011) ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีวิถีชีวิตผูกพันกับการใช้ถ่านชีวภาพเพื่อการหุงต้ม แต่ถูกนำมาใช้เป็นสารปรับปรุงดินน้อยมาก ยกเว้นการใช้ขี้เถ้าถ่านชีวภาพที่มีการนำไปใช้ใส่ดินเพื่อเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน อย่างไรก็ตาม มีนักวิทยาศาสตร์จำนวนมากให้ความสนใจในการใช้ถ่านชีวภาพเป็นวัสดุปรับปรุงดิน (Soil amendment) (Glasser et al., 2002; Topolianz et al., 2007; Masulili et al., 2010) เนื่องจาก ผลการศึกษาบ่งชี้ว่า การใส่ถ่านชีวภาพลงไปในดินช่วยปรับปรุงสมบัติของดิน (Lehman et al., 2003; Liang et al., 2006; Chan et al., 2007) อย่างไรก็ตาม ถ่านชีวภาพ (Biochar) ซึ่งก็

คือ อินทรียวัตถุที่ถูกเผาเป็นถ่านแล้วเช่นเดียวกันกับ ถ่าน (Charcoal) แต่มีความแตกต่างกันตรงที่ ถ่านส่วนมากมีวัตถุประสงค์ผลิตเพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงาน และใช้ในการหุงต้มเป็นส่วนใหญ่ แต่ขณะที่ถ่านชีวภาพจะใช้สำหรับใส่ลงไปในดินส่วนองค์ประกอบต่างๆ ไม่มีความแตกต่างกัน (Verheijen et al., 2010)

มีงานวิจัยจำนวนมากได้รายงานว่า การใส่ถ่านชีวภาพลงไปในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำจะทำให้ลดความหนาแน่นของดิน และเพิ่มความจุในการอุ้มน้ำ (Atkinson et al., 2010) โดยการใส่ถ่านชีวภาพจะไปเพิ่มความพรุนของดินเนื่องจากอนุภาคของถ่านชีวภาพมีรูพรุนภายในโครงสร้างอยู่แล้วทำให้สามารถดูดซับน้ำไว้ได้ดี และช่วยเพิ่มช่องว่างให้กับดิน นอกจากจะเพิ่มความพรุนของดินแล้วก็ยังเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสของดินด้วย ดังนั้น ดินที่ใส่ถ่านชีวภาพจึงสามารถอุ้มน้ำได้ดีกว่าดินที่ไม่ได้ใส่ถ่านชีวภาพ เสาวคนธ์ (2554) ได้ทำการใส่ถ่านชีวภาพลงในดินที่ปลูกข้าวโพดหวาน พบว่าความชื้นของดินที่ใส่ถ่านชีวภาพ (9-10%) สูงกว่าดินที่ไม่ใส่ถ่านชีวภาพ (5-7%) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เช่นเดียวกันกับงานทดลองของ Bruun (2011)พบว่า การไถกลบถ่านชีวภาพที่มีขนาดใหญ่ (เช่น >0.5 mm) จะมีผลทำให้การระบายอากาศของดินเพิ่มขึ้น และลดช่องว่างขนาดเล็กที่มีออกซิเจนในช่องว่างต่ำซึ่งจะมีผลต่อกระบวนต่างๆ ของดิน เช่น อัตราการย่อยสลายอินทรียวัตถุ, การเปลี่ยนแปลงของกระบวนการ Nitrification-denitrification และการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่างๆ อย่างไรก็ตาม หากมีการไถกลบถ่านชีวภาพที่มีอนุภาคขนาดเล็กลงไปในดินจะทำให้ไปเติมช่องว่างของดิน และทำให้เพิ่มความหนาแน่นของดินได้ (Brunn, 2011)

การใส่ถ่านชีวภาพลงไปในดินสามารถเพิ่ม CEC ของดินได้ โดยถ่านชีวภาพที่เผาใหม่ถูกทำปฏิกิริยากับออกซิเจนและน้ำในดินทำให้เกิดปฏิกิริยา oxidation ทำให้เพิ่มประจุลบสุทธิ ค่า CEC จึงเพิ่มขึ้น (Joseph et al., 2009) ส่วนถ่านชีวภาพที่มีอายุมากแล้วจะมีความเข้มข้นของประจุลบสูงจึงกระตุ้นให้เกิดการจับตัวกันของเม็ดดิน (soil aggregation) และเพิ่มความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารในดินต่อพืช (Liang et al., 2006; Major et al., 2010) นอกจากนี้ Inyang et al. (2010) ได้ทำการวัดค่าความจุในการแลกเปลี่ยนแอนไอออน (Anion exchange capacity: AEC) ในถ่านชีวภาพที่ผลิตจาก bagasse ซึ่งพบว่า การใส่ถ่านชีวภาพจะทำให้เพิ่ม CEC และ AEC ของดิน และช่วยปรับปรุงความจุในการจับยึดธาตุอาหารพืชของดินด้วย อย่างไรก็ตาม Granatstein et al. (2009)พบว่า ค่า CEC ไม่ได้เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อมีการใส่ถ่านชีวภาพ ถึงแม้ว่าการใส่ถ่านชีวภาพจะมีแนวโน้มเพิ่มค่า CEC เมื่อใส่ถ่านชีวภาพลงไปในดินที่มีค่า CEC ต่ำ

จากการศึกษาของ Granatstein et al. (2009) เกี่ยวกับผลของ pH ของดินเมื่อใส่ถ่านชีวภาพที่ผลิตจากวัตถุดิบแตกต่างกัน พบว่า มีความเปลี่ยนแปลงของ pH มาก เมื่อใส่ถ่านชีวภาพที่ผลิตจากพืชสมุนไพร 24.4 ตันต่อไร่ลงไปในดินทราย (Sandy soils) จะทำให้ pH ของดินเพิ่มขึ้นจาก 7.1 เป็น 8.1 ในขณะที่การใช้ถ่านชีวภาพจากไม้เนื้อแข็งทำให้ pH ของดินเพิ่มขึ้นเล็กน้อย อย่างไรก็ตาม เมื่อใส่ถ่านชีวภาพที่ผลิตจากวัตถุดิบต่างๆ ในอัตราเดียวกันลงไปในดินร่วนปนทรายแป้ง (Silt loam soils) พบว่า มีการเพิ่มขึ้นของ pH เพียงเล็กน้อยซึ่งน่าจะเกิดจากค่า CEC เริ่มต้นของดินอยู่ในระดับสูง

การละลายธาตุอาหารจากดินที่ทำการเกษตรเป็นผลทำให้ความอุดมสมบูรณ์ของดินลดลง จึงทำให้มีความจำเป็นในการใส่ปุ๋ยอินทรีย์เพิ่มขึ้น และนอกจากนี้ยังชักนำให้เกิดกระบวนการ Eutrophication ในน้ำใต้ดิน และน้ำผิวดินอีกด้วย (Laird et al., 2010) มีงานวิจัยจำนวนมากชี้ให้เห็นว่าการใส่ถ่านชีวภาพลงไปในดินช่วยลดการละลายของธาตุอาหารและสารอื่นๆได้ (Ding et al., 2010; Glaser et al., 2002; Laird et al., 2010; Novak et al., 2009)

จากคุณสมบัติของถ่านชีวภาพที่มีพื้นที่ผิวสัมผัสมากทำให้สามารถดูดยึดธาตุอาหารพืชได้สูง นอกจากนี้ ถ่านชีวภาพมีความสามารถในการเพิ่มความจุของการอุ้มน้ำในดินซึ่งอาจช่วยในการปรับปรุงการหมุนเวียนธาตุอาหารพืชในดินได้ด้วย อย่างไรก็ตาม ถ่านชีวภาพที่มีอนุภาคขนาดเล็กที่ดูดซับธาตุอาหารไว้จะมีการเคลื่อนย้ายลงไปด้านล่างของชั้นดินตามการเคลื่อนที่ของน้ำซึ่งทำให้มีธาตุอาหารไหลออกจากระบบเกษตรได้เช่นกัน (Leifeld et al., 2007; Major et al., 2010)สภาพการแวดล้อมในการเผาถ่านชีวภาพ และวัตถุดิบในการเผามีผลต่อส่วนประกอบและโครงสร้างของถ่านชีวภาพ ซึ่งส่งผลต่อปริมาณธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืชแตกต่างกัน ถ่านชีวภาพที่ผลิตจากปุ๋ยคอก และผลิตภัณฑ์จากสัตว์จะมีปริมาณธาตุอาหารสูงเมื่อเปรียบเทียบกับวัตถุดิบที่เป็นไม้เนื้อแข็ง อย่างไรก็ตาม โดยทั่วไปถ่านชีวภาพน่าจะมีความสำคัญอย่างมากในการใช้เป็นสารปรับปรุงดิน และการเปลี่ยนแปลงรูปของธาตุอาหารพืช (De Luca et al., 2009)

การใส่ถ่านชีวภาพลงไปในดินมีผลต่อความอุดมสมบูรณ์ กิจกรรม และความหลากหลายของสิ่งมีชีวิตในดิน โดยถ่านชีวภาพจะไปกระตุ้นกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน (Hammes and Schmidt, 2009) นอกจากนี้ ถ่านชีวภาพยังเป็นแหล่งธาตุอาหาร และช่วยปรับปรุงสภาพแวดล้อมของดินทั้งด้านกายภาพ และชีวภาพทำให้มีสภาพที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต และการทำกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน (Krull et al., 2010) จากคุณสมบัติของถ่านชีวภาพที่มีรูพรุน พื้นที่ผิวสัมผัสสูง จึงทำให้มีความสามารถในการดูดซับอินทรียวัตถุ และธาตุอาหารที่สามารถละลายน้ำได้มากจึงทำให้เพิ่มแหล่งอาหารที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ เช่น แบคทีเรีย, แอคติโนมัยซีส และไมโครไรซ่า นอกจากนี้ ความสมดุล ความหลากหลาย และกิจกรรมของจุลินทรีย์ยังมีความสัมพันธ์อย่างมากกับ pH ของดิน ถ่านชีวภาพจะช่วยเป็นตัวควบคุมการเปลี่ยนแปลงของ pH ในดินให้กับจุลินทรีย์ เนื่องจาก ถ่านชีวภาพมีค่า CEC สูง อย่างไรก็ตาม ถ่านชีวภาพซึ่งมีความเสถียร ต้านทานต่อการย่อยสลาย ทำให้ไม่เหมาะกับการเป็นอาหารของจุลินทรีย์ แต่หากใช้ถ่านชีวภาพที่ผลิตใหม่ใส่ลงไปในดินอาจช่วยในการเพิ่มอาหารที่ช่วยในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้ เนื่องจากในถ่านที่ผลิตใหม่ยังคงมีธาตุอาหารโดยเฉพาะ แคลเซียม และโพแทสเซียม อยู่ปริมาณมาก และอาจมีน้ำมันชีวภาพหรือสารประกอบอินทรีย์ซึ่งจะช่วยในการเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนจุลินทรีย์ได้ (Sparkes and Stoutjesdijk, 2011)

จากสมบัติของถ่านชีวภาพเมื่อใส่ลงไปในดินทำให้มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ และชีวภาพของดินที่ได้กล่าวมาข้างต้นซึ่งมีผลต่อการเพาะปลูกพืชอย่างมาก Chan et al. (2007)ได้ทำการศึกษาในเรือนทดลองโดยปลูกผักกาดในดินที่ประเทศ Australian พบว่า ถ่านชีวภาพที่ผลิตจากไม้พุ่ม (pH = 9.4) ที่อัตรา 100 ตันต่อเฮกแตร์ ทำให้ pH ของดินเพิ่มขึ้นจาก 4.77 เป็น 5.99 แต่ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช อย่างไรก็ตาม เมื่อใส่ถ่านชีวภาพร่วมกับปุ๋ยไนโตรเจนทำให้ทั้งค่า pH ของดิน และการเจริญเติบโตของพืชเพิ่มขึ้นถึง 266% เมื่อเทียบกับไม่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน เช่นเดียวกันกับ Van Zwieten et al. (2010)พบว่า ข้าวสาลีมีประสิทธิภาพการใช้ไนโตรเจนเพิ่มขึ้นเมื่อใส่ถ่านชีวภาพร่วมกับปุ๋ยไนโตรเจนลงไปในดิน จากงานทดลองนี้จึงชี้ให้เห็นว่า ถ่านชีวภาพช่วยชักนำให้เพิ่มประสิทธิภาพการใช้ไนโตรเจนของพืช งานวิจัยการใส่ถ่านชีวภาพในสภาพไร่นาจำนวนมากได้แสดงให้เห็นว่า ถ่านชีวภาพสามารถเพิ่มผลผลิตพืชหลายๆ ชนิด โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใส่ถ่านชีวภาพร่วมกับปุ๋ยเคมีหรือปุ๋ยอินทรีย์ เช่น ปุ๋ยคอก (Blackwell et al., 2009) สอดคล้องกับงานวิจัยของ ทัพไท และคณะ (2554) ซึ่งได้ทำการเปรียบเทียบอิทธิพลของถ่านชีวภาพในอัตราที่แตกต่างกันโดยไถพรวนลงดินก่อนปักดำข้าวนาสวน พบว่า ถ่านชีวภาพ อัตรา 2,560 กิโลกรัมต่อไร่ สามารถ

เพิ่มจำนวนหน่อข้าวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็ตาม ควรมีการใส่ปุ๋ยเคมีร่วมกับการใช้ถ่านชีวภาพเพื่อปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ของดินนา โดยผลของถ่านชีวภาพต่อการเจริญเติบโตของพืชมีความแตกต่างกันในแต่ละชนิดพืช พืชตระกูลถั่วมีน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้นเกือบ 20 เท่า (ผลผลิตเพิ่มขึ้น 1916%) น้ำแห้งของหญ้าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย 93% เมื่อเปรียบเทียบกับดินที่ไม่ได้ใส่ถ่านชีวภาพ Major et al. (2010)รายงานว่า ผลผลิตข้าวโพดที่ปลูกในดินที่ใส่ถ่านชีวภาพตลอด 4 ปี สูงกว่าดินอื่นๆ ยกเว้นในปีแรกของการใส่ถ่านชีวภาพซึ่งไม่มีผลต่อผลผลิตข้าวโพดนอกจากนี้ การใส่ถ่านชีวภาพในระยะยาวยังเป็นผลดีต่อคุณสมบัติของดิน ช่วยปรับปรุงดินโดยเฉพาะดินที่มีปัญหา เช่น ดินเปรี้ยว Solaiman et al. (2010) ได้รายงานว่า การใส่ถ่านชีวภาพในดินเปรี้ยวซึ่งมีค่า CEC ต่ำ เมื่อใส่ปุ๋ยเคมีที่อัตราครึ่งหนึ่งของอัตราแนะนำร่วมกับการใส่ถ่านชีวภาพมีผลทำให้ผลผลิตของข้าวสาลีเพิ่มขึ้น 18% อย่างไรก็ตาม Hemwong and Cadisch (2012) ได้พบว่า ผลของการใส่ถ่านต่อผลผลิตของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 แตกต่างกันตามชนิดของถ่าน และการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในช่วงข้าวตั้งท้องช่วยเพิ่มผลผลิตข้าวได้ถึง 20, 42 และ15 เปอร์เซ็นต์ ที่ใส่ถ่านไม้ไผ่, ถ่านยูคาลิปตัส และถ่านแกลบ ตามลำดับ

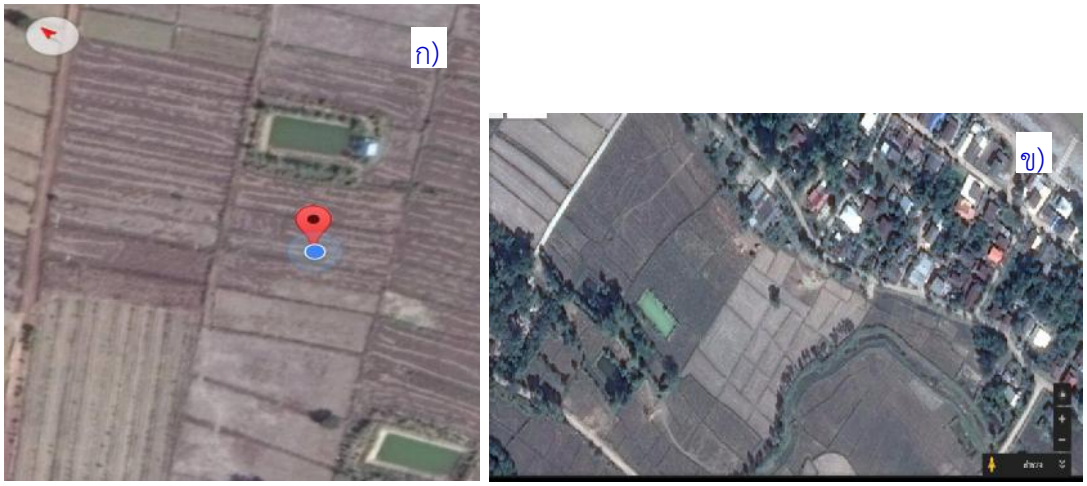
นาข้าวเป็นแหล่งหนึ่งที่สำคัญในการปลดปล่อยก๊าซมีเทน การลดการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจะเป็นการควบคุมภาวะโลกร้อนได้ Feng et al. (2012) ได้ทำการศึกษาการใช้ถ่านที่เผาที่อุณหภูมิที่แตกต่างกัน (300 400 และ 500° C) ใส่ลงไปในดินนา พบว่า การปลดปล่อยมีเทนลดลงเมื่อมีการใส่ถ่านซึ่งไม่ได้ใช่ผลจากการไปยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่ทำให้เกิดกระบวนการ methanogenic โดยการใส่ถ่านลงไปในดินนาทำให้เกิด 1) เพิ่มจำนวนของ methanotrophic proteobacterialและ 2) ลดสัดส่วนของการเกิดกระบวนการ methanogenic ต่อจำนวนของ methanotrophic proteobacterialการใส่สารอินทรีย์ลงไปในดินเพื่อปรับปรุงดิน และเพิ่มผลผลิตของข้าวนั้นมีงานวิจัยจำนวนมากได้ทำการศึกษาไว้ นิภา และคณะ (2556) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับผลของการใส่ฟางข้าวต่อผลผลิตข้าวและการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก พบว่า เมื่อใส่ฟางข้าวในปริมาณที่เพิ่มขึ้นทำให้ได้ผลผลิตเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพของคาร์บอนอินทรีย์ที่ใส่ 1 หน่วยต่อผลผลิตข้าว (RY/C_{input}) ให้ผลผลิตข้าวลดลงเมื่ออัตราคาร์บอนอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่ประสิทธิภาพของอัตราคาร์บอนอินทรีย์เพิ่มขึ้นทำให้สัดส่วนการปล่อยคาร์บอนก๊าซต่อคาร์บอนอินทรีย์ที่ใส่ 1 หน่วย (C_{gas}/C_{input}) ลดลง อย่างไรก็ตาม มีรายงานจำนวนมาก พบว่า การใส่ฟางข้าวลงในนาข้าวจะเพิ่มขึ้นโดยขึ้นอยู่กับวิธีการจัดการไถกลบฟางข้าวลงดิน (Ma et al., 2009; Xie et al., 2010)การใส่ถ่านช่วยลดการปลดปล่อยก๊าซมีเทนในนาข้าวได้อย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับการใส่ฟางข้าวลงไปในดิน (Feng et al.,2012)สอดคล้องกับ Liu et al. (2011) พบว่า ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซมีเทนสะสมในนาข้าวลดลงมากถึง 91.2 เปอร์เซ็นต์ เมื่อใส่ถ่านลงในนาข้าว อย่างไรก็ตาม ปัจจัยที่มีผลต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทนในนาข้าวเมื่อใส่ถ่านนั้นมีปัจจัยควบคุมหลายอย่าง ได้แก่ คุณสมบัติทางกายภาพ และทางเคมีซึ่งขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิต (Lehmann, 2007) ชนิดของวัตถุดิบ คุณสมบัติของดินที่ชักนำให้เกิดกระบวนการปลดปล่อยก๊าซมีเทน

บทที่ 3 วัสดุ และวิธีดำเนินการวิจัย
(Chapter III Material and methodology)

3.1 พื้นที่ในการทำวิจัย (Experimental site)

งานวิจัยนี้เป็นการดำเนินการวิจัยในไร่นาของเกษตรกร บริเวณจังหวัดนครพนม โดยดำเนินการประชุมและวางแผนการคัดเลือกพื้นที่ และตัวแทนเกษตรกรร่วมกับเกษตรกรในพื้นที่ คัดเลือกพื้นที่ที่ปลูกข้าว 2 รูปแบบ คือ **การปลูกข้าวที่มีการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว** และ **การปลูกข้าวแบบอินทรีย์เคมี (ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยคอก)** ซึ่งเป็นการศึกษาเปรียบเทียบรูปแบบการปลูกข้าวโดยวิธีดังเดิม (วิธีของเกษตรกร) กับการปลูกข้าวโดยการใส่ถ่านแกลบ โดยได้ดำเนินการคัดเลือกพื้นที่ไร่นาของเกษตรกร 2 พื้นที่ โดยแบ่งออกเป็น นาข้าวเคมีอย่างเดียว และนาข้าวอินทรีย์เคมี ได้แก่

1) ตำบลบ้านผึ้ง อำเภอเมือง จังหวัดนครพนม (แปลงนาข้าวเคมีอย่างเดียว) (รูปที่ 3.1ก)
2) ตำบลเวินพระบาท อำเภอท่าอุเทน จังหวัดนครพนม (แปลงนาข้าวอินทรีย์เคมี) (รูปที่ 3.1ข)



รูปที่ 3.1 สถานที่ทำการวิจัยใน จ.นครพนม ก) ตำบลบ้านผึ้ง อ.เมือง และ ข) ตำบลเวินพระบาท อ.ท่าอุเทน

3.2 กรรมวิธี (Treatments)

การทดลองทั้งสองแปลงทดลองในไร่นาของเกษตรกร (รูปที่ 3.2) ทำการจัดกรรมวิธีที่เหมือนกันโดยวางแผนการทดลองแบบ RCBD (Randomized complete block design) มี 4 กรรมวิธี จำนวน 4 ซ้ำ ดังต่อไปนี้

กรรมวิธีที่ 1 ดินอย่างเดียว (Soil alone)
กรรมวิธีที่ 2 ถ่านแกลบอย่างเดียว (Rice husk charcoal)
กรรมวิธีที่ 3 วิธีการของเกษตร(Farmer practice)
กรรมวิธีที่ 4 วิธีการของเกษตร + ถ่านแกลบ ที่ระยะข้าวสร้างช่อดอก (PI)
(Farmer practice + rice husk charcoal at PI)

รูปที่ 3.2 แปลงวิจัย ก) แปลงข้าวเคมี และ ข) แปลงข้าวอินทรีย์เคมี

โดยมีผังแปลงทดลองดังแผนผังที่ 3.1

101 ดินอย่างเดียว	201 วิธีของเกษตรกร + ถ่านแกลบที่ระยะ PI	301 ดินอย่างเดียว	401 ถ่านแกลบ
102 วิธีของเกษตรกร (ปุ๋ย 2 ครั้ง)	202 ดินอย่างเดียว	302 วิธีของเกษตรกร (ปุ๋ย 2 ครั้ง)	402 วิธีของเกษตรกร + ถ่านแกลบที่ระยะ PI
103 วิธีของเกษตรกร + ถ่านแกลบที่ระยะ PI	203 ถ่านแกลบ	303 ถ่านแกลบ	403 วิธีของเกษตรกร (ปุ๋ย 2 ครั้ง)
104 ถ่านแกลบ	204 วิธีของเกษตรกร (ปุ๋ย 2 ครั้ง)	304 วิธีของเกษตรกร + ถ่านแกลบที่ระยะ PI	404 ดินอย่างเดียว

แผนผังที่ 3.1 แผนผังการจัดการทดลอง

3.3 การเตรียมวัสดุในการทดลอง (Material experimental preparation)

1) การเก็บข้อมูลการเพาะปลูกข้าวของเกษตรกร

งานวิจัยนี้ทำโดยการมีส่วนร่วมของเกษตรกร โดยการใช้แปลงเกษตรกรในการทำวิจัยเพื่อให้เกษตรกรได้เปรียบเทียบและได้เห็นผลการวิจัยได้อย่างชัดเจนเพื่อใช้ในการตัดสินใจในการปฏิบัติในการเพาะปลูกข้าวต่อไปใน

อนาคต ดังนั้น การวิจัยนี้จึงทำการเข้าไปพูดคุยและให้เกษตรกรภายในหมู่บ้านกรอกแบบสอบถามเกี่ยวกับข้อมูลการเพาะปลูกข้าว และทัศนคติเกี่ยวกับการใช้ถ่านในการปรับปรุงดิน จำนวนพื้นที่ละ 6 ครัวเรือน โดยมีแบบสอบถาม ดังรูปที่ 3.3

แบบสอบถามการเพาะปลูกข้าว

โครงการวิจัย ศึกษาการใช้ถ่านเพื่อการกักเก็บคาร์บอนในดิน การปลดปล่อยก๊าซมีเทน และผลผลิตข้าว แบบเกษตรกรมีส่วนร่วม : กรณีศึกษา จังหวัดนครพนม

ทุนสนับสนุนการวิจัย สำนักงานคณะกรรมการศึกษาแห่งชาติ (วช.) ปีงบประมาณ 2558

คำอธิบาย:แบบสอบถามประกอบด้วย 3 ส่วน

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไป

ชื่อ-สกุล.....อายุ.....ปี อาชีพ.....

ที่อยู่.....

จำนวนบุตร..... คน ระดับการศึกษา..... รายได้เฉลี่ยต่อเดือน.....บาท

ส่วนที่ 2 ข้อมูลการเพาะปลูกข้าว

1) พื้นที่ปลูก ☐ ข้าวจ้าว .....ไร่ เป็น ☐ หอมมะลิ 105 .....ไร่ ☐ อื่นๆ(ระบุ).....ไร่
☐ ข้าวเหนียว.....ไร่เป็น ☐ กข 6 .....ไร่ ☐ อื่นๆ(ระบุ).....ไร่

2) จำนวนครั้งปลูกข้าวในรอบปี ☐1 ครั้ง ☐2 ครั้ง ☐3 ครั้ง

3) ข้าวนาปี ทำนาแบบ ☐ นาดำ .....ไร่ ☐ นาหว่าน .....ไร่

☐ ข้าวหอมมะลิ.....กระสอบ โดยจำหน่าย.....กระสอบ เก็บไว้กิน.....กระสอบ
ทำพันธุ์.....กิโลกรัม

☐ ข้าวเหนียว.....กระสอบ โดยจำหน่าย.....กระสอบ เก็บไว้กิน.....กระสอบ
ทำพันธุ์.....กิโลกรัม

ข้าวนาปรัง ทำนาแบบ ☐ นาดำ .....ไร่ ☐ นาหว่าน .....ไร่

☐ ข้าวหอมมะลิ.....กระสอบ โดยจำหน่าย.....กระสอบ เก็บไว้กิน.....กระสอบ
ทำพันธุ์.....กิโลกรัม

☐ ข้าวเหนียว.....กระสอบ โดยจำหน่าย.....กระสอบ เก็บไว้กิน.....กระสอบ
ทำพันธุ์.....กิโลกรัม

4) วิธีการเตรียมเมล็ดพันธุ์ ☐ แช่น้ำก่อนหว่าน ☐ ไม่แช่ก่อนหว่าน

5) อัตราเมล็ดพันธุ์ที่ใช้ ☐นาหว่าน .....กก./ไร่ ☐ นาดำ .....กก/ไร่อายุกล้าย้ายปลูก.....วัน

6) ต้นกล้าข้าวได้จากการ ☐ ตกกล้าเอง จำนวน.....ไร่ ☐ ซื้อกล้า จำนวน.....มัด ราคา.....บาท

7) ปุ๋ยที่ใช้ ☐ ปุ๋ยมูลโค-กระบือ ปริมาณ.....กก./ไร่ ☐ ปุ๋ยหมัก ปริมาณ.....กก./ไร่
☐ ปุ๋ยเคมี สูตร.....ปริมาณ.....กก./ไร่ จำนวน.....ครั้ง
สูตร.....ปริมาณ.....กก./ไร่ จำนวน.....ครั้ง
สูตร.....ปริมาณ.....กก./ไร่ จำนวน.....ครั้ง
☐ น้ำหมักชีวภาพ ปริมาณ.....ลิตร/ไร่ จำนวน.....ครั้ง

8) มีการใช้ปุ๋ยพืชสดหรือไม่.....ถ้ามีพืชปุ๋ยสดชนิด.....

9) กำจัดศัตรูพืช.....ครั้ง ครั้งที่ 1 ใช้ยา.....กำจัด.....อายุข้าว.....วัน
ครั้งที่ 2 ใช้ยา.....กำจัด.....อายุข้าว.....วัน
ครั้งที่ 3 ใช้ยา.....กำจัด.....อายุข้าว.....วัน

10) เก็บเกี่ยวข้าวโดย ☐ แรงงานคน ☐ เครื่องเกี่ยว ☐ เครื่องเกี่ยวนวด

11) ฟางข้าวที่ได้หลังการเก็บเกี่ยวนำไปใช้
☐ ทำปุ๋ย ☐ เลี้ยงโค-กระบือ ☐ จำหน่าย ☐ แลกเปลี่ยน ☐ เผาทิ้ง

12) แหล่งน้ำที่ใช้ในการปลูกข้าว
☐ สระ-บ่อ ☐ น้ำชลประทาน ☐ น้ำฝน ☐ แม่น้ำ ☐ ลำคลอง

13) ปัญหาที่พบในการปลูกข้าว
.....
.....

14) ความคิดเห็นเกี่ยวกับการใช้ถ่านในการปรับปรุงดิน

.....

.....

ส่วนที่ 3 ข้อเสนอแนะ

.....

.....

รูปที่ 3.3 แบบสอบถามการเพาะปลูกข้าวของเกษตรกร

รูปที่ 3.4 การสัมภาษณ์เกษตรกรผู้ปลูกข้าวในทั้งสองพื้นที่วิจัย

รูปที่ 3.5 ส่วนหนึ่งของเกษตรกรผู้ปลูกข้าวทั้งสองพื้นที่วิจัย

2) การเตรียมถ่านและการใส่ถ่าน (charcoal preparation and application)

วัตถุดิบที่ใช้ในการเผาถ่าน ได้แก่ แกลบ (รูปที่ 3.6) เนื่องจากเป็นวัสดุที่หาได้ง่ายและมีปริมาณมากในชุมชน วิธีการเผาเป็นการเผาแบบดั้งเดิม โดยใช้ปี๊บสังกะสีเจาะเป็นรูเล็กๆ รอบๆ ด้านบนเจาะเป็นรูต่อด้วยแผ่นสังกะสีที่ม้วนเป็นท่อเพื่อให้เป็นที่ระบายของควันในระหว่างการเผา (รูปที่ 3.7) นำเศษฟางข้าวใส่เข้าไปในปี๊บแล้วจุดไฟ ตั้งปี๊บขึ้น พร้อมกับใส่แกลบโดยรอบของให้ปิดปี๊บ (รูปที่ 3.8)

รูปที่ 3.7 ปี๊บสังกะสีเจาะที่ใช้ในการเผาถ่านแกลบ

รูปที่ 3.8 ใส่แกลบรอบๆ ปี๊บที่จุดไฟแล้วจนท่วมปี๊บ

หลังจากนั้นคอยเฝ้าสังเกตอยู่ตลอดเวลาโดยเกลี่ยแกลบอยู่เป็นระยะๆไม่ให้ไหม้ (รูปที่ 3.9) จนกระทั่งแกลบไหม้ทั่วทั้งกอง จึงเอาปี๊บออกแล้วหยุดความร้อนด้วยการราดน้ำให้ชุ่ม เพื่อไม่ให้เกิดการเผาไหม้ต่อไปไม่เช่นนั้นจะได้เถ้าแทนถ่าน (รูปที่ 3.10) ถ่านแกลบที่ได้เมื่อเย็นแล้วนำมาชั่งและใส่ลงในแปลงที่มีกรรมวิธีที่ใส่ถ่านแกลบ ในอัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ (3.7 และ 2.2 กิโลกรัมต่อแปลงย่อย ในแปลงข้าวเคมี และอินทรีย์เคมี ตามลำดับ) หลังปักดำ (รูปที่ 3.11) และใส่ถ่านแกลบอีกครั้งช่วงข้าวตั้งท้องเฉพาะกรรมวิธีของเกษตรกรที่ใส่ถ่านแกลบที่ระยะ PI

รูปที่ 3.9 การเผาถ่านแกลบที่ต้องคอยเฝ้าให้เกิดการไหม้ที่ทั่วถึง

รูปที่ 3.10 ขั้นตอนการรดน้ำหลังการเผาถ่านเรียบร้อย

รูปที่ 3.11 การใส่ถ่านหลังการปักดำข้าว

3) การเตรียมกล้าแปลงปลูก และปักดำข้าว

การวิจัยใช้ข้าวพันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 นำเมล็ดข้าวไปแช่ในน้ำสะอาด นานประมาณ 12-24 ชั่วโมง จากนั้นนำเมล็ดพันธุ์ขึ้นมาวางบนพื้นที่น้ำไม่ขัง และมีการถ่ายเทอากาศดี นำกระสอบป่านชุบน้ำจนชุ่มมาหุ้มเมล็ดพันธุ์โดยรอบ รดน้ำทุกเช้าและเย็น เพื่อรักษาความชุ่มชื้น หุ้มเมล็ดพันธุ์ไว้นานประมาณ 30-48 ชั่วโมง เมล็ดข้าวจะงอกขนาด “ตุ่มตา” (มียอดและรากเล็กน้อยโดยรากจะยาวกว่ายอด) พร้อมที่จะนำไปหว่านได้ จากนั้น นำไปหว่านลงในแปลงเพาะกล้า ในอัตรา 7กิโลกรัมต่อไร่เมื่อต้นกล้าอายุ 30 วัน ถอนต้นกล้าแล้วไปปักดำในแปลงที่เตรียมไว้ (รูปที่ 3.12)

รูปที่ 3.12 การถอนต้นกล้าข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ของเกษตรกรในแปลงที่เตรียมไว้

ทำการไถดะ และไถพรวนดิน และทำคันดินเพื่อแบ่งแปลงใหญ่ออกเป็นแปลงย่อย โดยขนาดของแปลงปลูกใช้พื้นที่ทั้งหมดในแปลงข้าวเคมี และอินทรีย์เคมี เท่ากับ 280 และ 184 ตารางเมตร ตามลำดับโดยแบ่งแปลงใหญ่

ออกเป็นแปลงย่อย จำนวน 16 แปลง แต่ละแปลงย่อยมีขนาด 2.28 เมตร x 8.75 เมตร และ 2 เมตร x 5.75 เมตร สำหรับแปลงข้าวเคมี และอินทรีย์เคมี ตามลำดับ (รูปที่ 3.12) ระยะที่ใช้ปักดำขนาด 25 x 25 เซนติเมตร ปลูกแปลงย่อยละ 6 แถว แถวละ 20 หลุม จำนวน 3 ต้น/หลุม (รูปที่ 3.13)

การใส่ปุ๋ยจะปฏิบัติเช่นเดียวกันกับแปลงนาของเกษตรกรใช้สูตรปุ๋ยเดียวกันกับเกษตรกร ในแปลงข้าวเคมี หลักปักดำข้าวจะใส่ปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) ผสมกับปุ๋ยชีวภาพอัดเม็ด ตราสิงโต (รูปที่ 3.14) ในสัดส่วน 1:2 ใส่ในแปลงย่อยที่เป็นกรรมวิธีของเกษตรกร ในอัตรา 400 กรัมต่อแปลงย่อย ส่วนแปลงข้าวอินทรีย์เคมี สูตร 6-3-3 ผสมมูลไก่ (รูปที่ 3.15) ในสัดส่วน 2:10 อัตรา 230 กรัมต่อแปลงย่อย เมื่อข้าวเข้าสู่ระยะตั้งท้อง (PI) ทำการใส่ปุ๋ยครั้งที่สองในแปลงที่เป็นกรรมวิธีของเกษตรกร (ใส่ปุ๋ย 2 ครั้ง) โดยแปลงข้าวเคมีใส่ปุ๋ยยูเรียอย่างเดียว อัตรา 400 กรัมต่อแปลงย่อย ส่วนแปลงข้าวอินทรีย์เคมีใส่ปุ๋ยผสมเดิม อัตรา 230 กรัมต่อแปลงย่อย เช่นเดียวกันกับช่วงหลักปักดำในระหว่างการศึกษาทำการกำจัดวัชพืช และดูแลโรคแมลงตามความเหมาะสม

รูปที่ 3.13 การปักดำข้าวในแปลงทดลองทั้งสองพื้นที่

รูปที่ 3.14 ปุ๋ยเคมีที่เกษตรกรใช้ในแปลงข้าวเคมี ต.บ้านผึ้ง อ.เมือง จ.นครพนม

รูปที่ 3.15 ปุ๋ยอินทรีย์เคมี สูตร 6-3-3 ที่เกษตรกรใช้ในแปลงข้าวเคมี

4) การวัดก๊าซมีเทน

การเก็บตัวอย่างก๊าซ ทำการวัดก๊าซในเวลาประมาณ 10:00 น. อันดับแรกวางกล่องเก็บตัวอย่างก๊าซ (Chamber) (รูปที่ 3.16) ลงไปในแปลงและกดลงไปในดินไม่ให้มีช่องว่างให้อากาศเข้า - ออก ใช้ดินน้ำมันอุดรูด้านบนไว้แล้วทำการวัดก๊าซมีเทน ที่นาทีที่ 0 โดยนำเครื่องวัดก๊าซ ยี่ห้อ KIMO รุ่น FG110 จุ่มลงไปในกล่องเก็บตัวอย่างก๊าซทิ้งไว้ 30 วินาที (รูปที่ 3.15) จดบันทึกค่าที่ได้แล้วปิดด้วยดินน้ำมันเหมือนเดิม และวัดอีกครั้งทุกนาทีที่ 5, 10, 15 และ 20 นาที พร้อมทั้งวัดความสูงของ chamber จากระดับผิวน้ำถึงปลาย chamber และอุณหภูมิขณะที่ทำการวัด แล้วนำค่าที่ได้จากการวัดมาคำนวณโดยใช้สูตร

$$E = \frac{dc}{dt} \times \frac{(h)(MW)(Tst)}{(Mv)(Tst+T)}$$

เมื่อ

E= อัตราการปลดปล่อยก๊าซมีเทน (mg CH_4 m^{-2} h^{-1})

dc/dt = อัตราการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซมีเทน (ppm h^{-1})

h = ความสูงของกรองจากระดับผิวน้ำ (m)

Mw = น้ำหนักโมเลกุลของ CH_4 (16.123 x 10^3 mg)

Mv = ปริมาตรโมเลกุลของ CH_4 (22.41 x 10^{-3} mg)

T = อุณหภูมิ (˚c)

Tst = อุณหภูมิมาตรฐาน (273.2 ˚k) = 0 ˚c

ทุกครั้งที่ทำการวัดจะทำการบันทึกอุณหภูมิ และปริมาณน้ำฝน

รูปที่ 3.16 กล่องเก็บตัวอย่างก๊าซ (chamber)

รูปที่ 3.17 การวัดก๊าซมีเทน (CH_4) ในนาข้าวโดยใช้เครื่องวัดก๊าซ ยี่ห้อ KIMO รุ่น FG110

5) การเก็บข้อมูล

5.1) ข้อมูลการสำรวจความคิดเห็นการใช้สารอินทรีย์ปรับปรุงดิน และเพิ่มผลผลิตข้าว

- รูปแบบการปลูกข้าว (ใช้ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว, ปุ๋ยเคมีร่วมปุ๋ยอินทรีย์, ปุ๋ยอินทรีย์อย่างเดียว)
- ชนิด และปริมาณของปุ๋ยเคมีที่ใช้
- ชนิด และปริมาณของปุ๋ยอินทรีย์ที่ใช้
- ทัศนคติ และผลที่คาดว่าจะได้รับต่อการใส่ถ่านในนาข้าว

5.2) ข้อมูลดิน

ข้อมูลดินทำการเก็บตัวอย่างดินก่อนและหลังการใส่ถ่าน ที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร โดยทำการเก็บวัดค่า ดังต่อไปนี้

- ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดิน (soil organic C) โดยใช้วิธี Walkey and Black method และคำนวณหาปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดิน โดยใช้หารด้วย ค่า factor = 1.72 (NRCS, 2011)
- ปริมาณธาตุอาหารในดิน ได้แก่ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total N) ใช้วิธี micro-Kjeldahl method ปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ (extractable P) โดยวิธีการ Bray II method และ ปริมาณโปแตสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable K) โดยวิธี ammonium acetate pH 7 (Simard, 1993)
- ปริมาณความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (cation exchange capacity: CEC) โดยใช้วิธี ammonium acetate pH 7
- pH และ EC ของดิน โดยใช้สัดส่วนระหว่าง ดิน:น้ำ เท่ากับ 1:2.5 (สำหรับ pH) และ 1:5 (สำหรับ EC)

5.3) ข้อมูลถ่าน

ถ่านที่ใช้ศึกษาคือ ถ่านแกลบ นำมาวิเคราะห์คุณสมบัติพื้นฐานทางเคมี ดังต่อไปนี้

- ปริมาณคาร์บอนทั้งหมด (total carbon) โดยใช้วิธี Walkey and Black method ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (total nitrogen) โดยวิธี micro-Kjeldahl method ปริมาณฟอสฟอรัส และโปตัสเซียมทั้งหมด (total phosphorus and potassium)

- สัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C:N ratio)

- ปริมาณความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) โดยใช้วิธี ammonium acetate pH 7 ค่า pH และ EC

5.4) ข้อมูลพืช

- การเจริญเติบโตของข้าวที่ระยะ 30และ60 วันหลังปักดำ (ความสูง, อัตราการแตกกอ, น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน)

- ผลผลิตข้าวที่ระยะเก็บเกี่ยว (น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน, จำนวนรวง, น้ำหนักรวง, น้ำหนักเมล็ดทั้งหมด, น้ำหนักเมล็ดดี และสัดส่วนเมล็ดดีต่อเมล็ดลีบ)

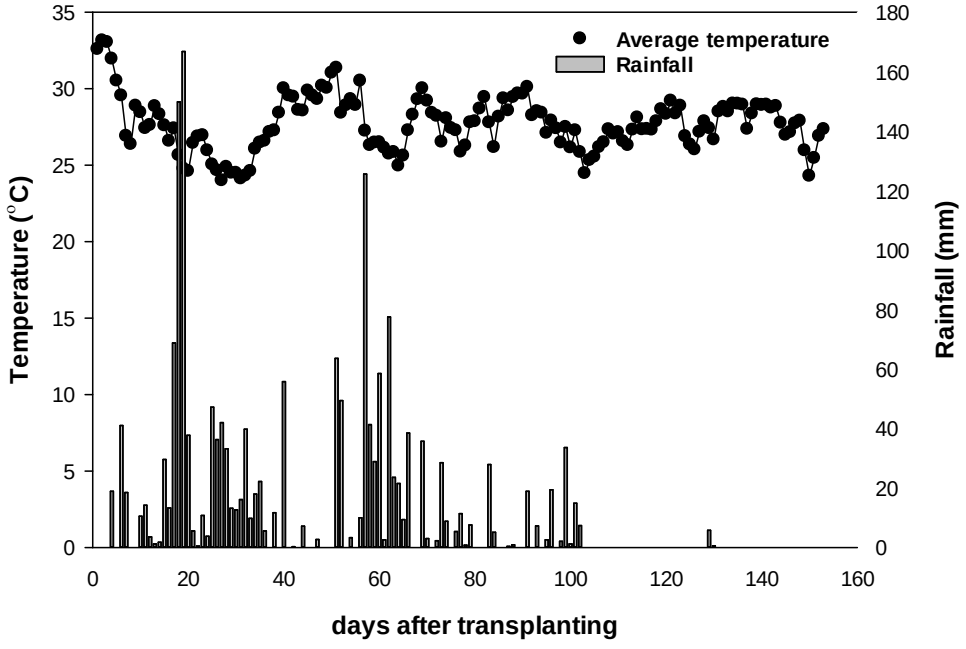
- ดัชนีการเก็บเกี่ยว (HI)

- ประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนของข้าว (Nitrogen Use Efficiency: NUE)

$$NUE = \frac{\text{น้ำหนักแห้งทั้งหมดของข้าว}}{\text{ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของข้าว}}$$

6) สภาพภูมิอากาศระหว่างการศึกษา

ทำการขอข้อมูลจากสถานทีอุตุนิยมจังหวัดนครพนมระหว่างการทำการศึกษา ได้แก่ อุณหภูมิเฉลี่ยรายวัน และปริมาณน้ำฝนรายวัน ดังแสดงในรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 อุณหภูมิเฉลี่ย และปริมาณน้ำฝนในระหว่างการศึกษา

6) การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) โดยใช้แผนการทดลองแบบ RCBD และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้ least significant difference (LSD) โดยใช้โปรแกรม Statistix 9 (Analytical Software, 2003)

บทที่ 4 ผลการวิจัย
(Chapter IV Research results)

4.1 ข้อมูลการเพาะปลูกข้าว และทัศนคติเกี่ยวกับการใช้ถ่านในการปรับปรุงดิน และเพิ่มผลผลิตข้าว

จากการเก็บข้อมูลการเพาะปลูก พบว่า เกษตรกรทั้งสองพื้นที่มีอายุอยู่ระหว่าง 36-62 ปี ประกอบอาชีพเกษตรกรเป็นอาชีพหลัก มีรายได้เฉลี่ยต่อเดือน ระหว่าง 6,750 – 6,833 บาท (ตารางที่ 4.1) พื้นที่เพาะปลูกข้าวในพื้นที่ตำบลบ้านผึ้ง อำเภอเมือง ส่วนใหญ่เกษตรกรมีพื้นที่ทำนามากกว่าตำบลเวินพระบาท อำเภอท่าอุเทน เกษตรกรนิยมปลูกข้าวเหนียวมากกว่าข้าวเจ้า โดยข้าวเหนียวส่วนใหญ่จะใช้พันธุ์ กข 4 มากกว่าข้าวพันธุ์ กข 6 ส่วนข้าวเจ้านิยมปลูกข้าวหอมมะลิ 105 คิดเป็นร้อยละ 100 ทุกพื้นที่ทำใน 1 รอบต่อปี เกษตรกรทำนาดำทั้งสองพื้นที่ โดยพบว่า ผลผลิตข้าวเจ้าส่วนใหญ่เกษตรกรจะจำหน่าย และเก็บไว้บริโภคเล็กน้อย ในขณะที่ข้าวเหนียวจะใช้บริโภคเป็นส่วนใหญ่ในทั้งสองพื้นที่ การใส่ปุ๋ยในนาข้าว พบว่า ตำบลบ้านผึ้งจะทำการปลูกข้าวโดยใช้ปุ๋ยเคมี ร้อยละ 100 ในขณะที่ตำบลเวินพระบ้านจะใช้ทั้งปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ การเก็บเกี่ยวผลผลิตใช้แรงงานคน ปลูกข้าวโดยอาศัยน้ำฝนทั้งหมด

นอกจากนี้ การเพาะปลูกข้าวของเกษตรกรทั้งสองพื้นที่สามารถสรุปปัญหา และความคิดเห็นเกี่ยวกับการใช้ถ่านในการปรับปรุงดิน ไว้ดังนี้

ปัญหาที่พบในการปลูกข้าว

1) การขาดน้ำในช่วงระยะต้นข้าวตั้งท้อง
2) แมลง และศัตรูข้าวเข้าทำลาย
3) วัชพืชจำนวนมาก
4) โรคใบเหลือง โรคใบไหม้
5) เมล็ดลีบ

ความคิดเห็นเกี่ยวกับการใช้ถ่านในการปรับปรุงดิน

1) ดินสามารถอุ้มน้ำได้ดี
2) ช่วยในการปรับปรุงดิน
3) ผลผลิตสูงขึ้น
4) ข้าวคุณภาพดี เมล็ดโต เมล็ดเต็ม

ดังนั้น พื้นที่ตำบลบ้านผึ้งจึงถูกเลือกเป็นพื้นที่ทดสอบผลของถ่านต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และการปลดปล่อยก๊าซมีเทนในระบบการปลูกข้าวแบบเคมีอย่างเดียว ส่วนพื้นที่ตำบลเวินพระบาทเป็นระบบการปลูกข้าวแบบอินทรีย์เคมี

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลการเพาะปลูกข้าวของกลุ่มเกษตรกรในพื้นที่ศึกษาในจังหวัดนครพนม

รายการ	ค่าเฉลี่ย	
	ตำบลบ้านผึ้ง อำเภอเมือง	ตำบลเวินพระบาท อำเภอท่าอุเทน
ข้อมูลทั่วไป		
1) ช่วงอายุ (ปี)	36-47	47-62
2) อาชีพหลัก	เกษตรกร	เกษตรกร
3) ระดับการศึกษา	ป.6	ป.4 - ม.3
4) รายได้เฉลี่ยต่อเดือน (บาทต่อเดือน)	6,833	6,750
ข้อมูลการเพาะปลูกข้าว		
1) พื้นที่เพาะปลูก (ไร่)	15	5.25
1.1) ข้าวเจ้า (ไร่)	6.67	1
- ข้าวหอมมะลิ 105 (ไร่)	6.67	1
- อื่นๆ (ไร่)	0	0
1.2) ข้าวเหนียว (ไร่)	8.67	5
- กข 6 (ไร่)	3.17	0
- อื่นๆ (ไร่)	5.5	5
2) จำนวนครั้งปลูกข้าวในรอบปี	1 (100%)	1 (100%)
3) รูปแบบการปลูกข้าว		
3.1) ข้าวนาดำ (ไร่)	15.33	5.25
ข้าวหอมมะลิ (กิโลกรัม)	1,583	156
- จำหน่าย (กิโลกรัม)	3,375	0
- เก็บไว้บริโภค (กิโลกรัม)	708	156
- เก็บทำพันธุ์ (กิโลกรัม)	39	38
ข้าวเหนียว(กิโลกรัม)	1,917	1,656
- จำหน่าย (กิโลกรัม)	3	0
- เก็บไว้บริโภค (กิโลกรัม)	1,667	1,619
- เก็บทำพันธุ์ (กิโลกรัม)	51	30
3.2) ข้าวนาปรัง (ไร่)	0	0
4) วิธีการเตรียมเมล็ดพันธุ์		
- แช่น้ำก่อนหว่าน (ร้อยละ)	100	100
- ไม่แช่ก่อนหว่าน (ร้อยละ)	0	0

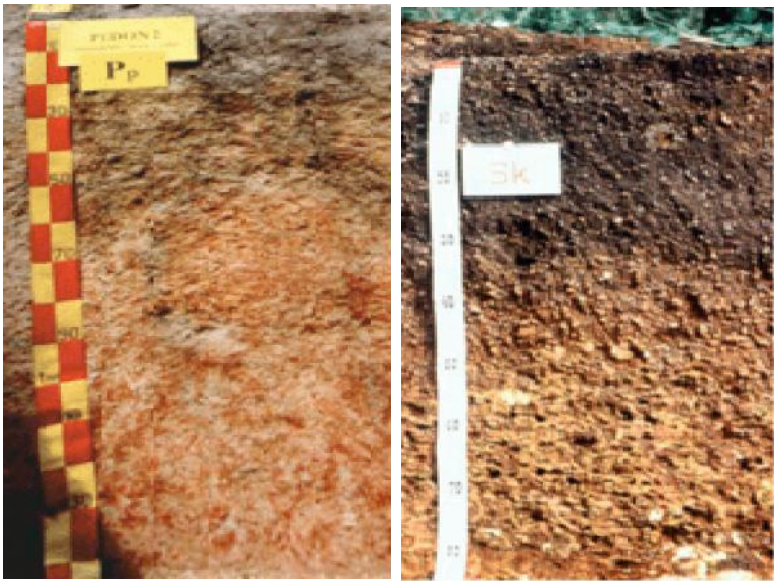
ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

รายการ	ค่าเฉลี่ย	
	ตำบลบ้านผึ้ง อำเภอเมือง	ตำบลเวินพระบาท อำเภอท่าอุเทน
ข้อมูลทั่วไป		
5) อัตราเมล็ดพันธุ์ที่ใช้ (กิโลกรัมต่อไร่)	5.8	4.75
6) ต้นกล้าที่ใช้		
- ตกกล้าเอง (ไร่)	1.5	0.38
- ซื้อกล้า (ไร่)	0	0
7) ปุ๋ยที่ใช้		
- ปุ๋ยมูลโค-กระบือ (กิโลกรัมต่อไร่)	0	37.5 (100%)
- ปุ๋ยเคมี (กิโลกรัมต่อไร่ / จำนวนครั้งที่ใส่)	45 / 2 (100%)	21 / 1 (75%)
- สูตร 15-15-15	40/2 (83%)	29 / 1
- สูตร 46-0-0	30 / 1 (17%)	25 / 2
- น้ำหมักชีวภาพ (ลิตรต่อไร่ / จำนวนครั้งที่ใส่)	2.3 / 2	0
8) การใช้ปุ๋ยพืชสด	ไม่มี (100%)	ไม่มี (100%)
9) กำจัดวัชพืช	ไม่มี (100%)	ไม่มี (100%)
10) วิธีเก็บเกี่ยวข้าว		
- แรงงานคน	100%	100%
- เครื่องเกี่ยว	0%	0%
- เครื่องเกี่ยวนวด	0%	0%
11) การจัดการฟางข้าวหลังเก็บเกี่ยว		
- ทำปุ๋ย	0%	0%
- เลี้ยงโค-กระบือ	100%	100%
- จำหน่าย	0%	0%
- แลกเปลี่ยน	0%	0%
- เผาทิ้ง	0%	0%
12) แหล่งน้ำ		
- สระ-บ่อ	0%	0%
- น้ำชลประทาน	0%	0%
- น้ำฝน	100%	100%
- แม่น้ำ-ลำคลอง	0%	0%

4.2 คุณสมบัติทางเคมีของดินก่อนและหลังปลูก

งานวิจัยดำเนินการใน 2 พื้นที่ ได้แก่ แปลงนาข้าวเคมี และแปลงนาข้าวอินทรีย์เคมี โดยมีคุณสมบัติทางเคมีของดินในแต่ละแปลง ดังต่อไปนี้

แปลงนาข้าวเคมีเป็นดินกลุ่มชุดดินที่ 49 คือ ชุดดินโพนพิสัย (Pp) และชุดดินสกล (Sk) เป็นดินตื้นถึงลูกรังหรือชั้นเชื่อมแข็งของเหล็กทับอยู่บนชั้นดินเหนียว เนื้อดินที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร เป็นดินร่วนเหนียวปนลูกรัง (รูปที่ 4.1) pH เป็นกรดถึงเป็นกลาง การระบายน้ำดีถึงดีปานกลาง ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ขาดแคลนน้ำ และเกิดการชะล้างพังทลายสูญเสียหน้าดินในพื้นที่ที่มีความลาดชัน (สำนักสำรวจดินและวางแผนการใช้ที่ดิน, 2548)



รูปที่ 4.1 ชุดดินโพนพิสัย (Pp) และชุดดินสกล (Sk)
ที่มา: กรมพัฒนาที่ดิน (2548)

คุณสมบัติทางเคมีของดินนาแปลงเคมีก่อนการศึกษา พบว่า มีค่า pH เท่ากับ 5.15 ค่า EC เท่ากับ 0.039 µS ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน (soil organic matter) และไนโตรเจนทั้งหมด (soil total N) เท่ากับ 1.24 และ 0.058 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ค่าสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) เป็น 21.38 และค่า CEC เท่ากับ 4.7 cmol/kg

แปลงนาข้าวอินทรีย์เคมีเป็นดินกลุ่มชุดดินที่ 6 คือ ชุดดินนครพนม (Nn) เป็นดินลึกมาก ดินบนเป็นดินร่วนเหนียวปนทรายแป้งหรือร่วนปนดินทราย สีน้ำตาลปนเหลืองหรือสีน้ำตาล (รูปที่ 4.2) pH เป็นกรดถึงเป็นกรดจัดถึงเป็นกรดเล็กน้อย การระบายน้ำค่อนข้างเลว ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ขาดแคลนน้ำ และเกิดการชะล้างพังทลายสูญเสียหน้าดินในพื้นที่ที่มีความลาดชัน (สำนักสำรวจดินและวางแผนการใช้ที่ดิน, 2548)

รูปที่ 4.2 ชุดดินนครพนม (Nn)
ที่มา: กรมพัฒนาที่ดิน (2548)

คุณสมบัติทางเคมีของดินนาแปลงอินทรีย์เคมีก่อนการศึกษา พบว่า มีค่า pH เท่ากับ 5.51 ค่า EC เท่ากับ 0.037 µS ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน (soil organic matter) และไนโตรเจนทั้งหมด (soil total N) เท่ากับ 1.22 และ 0.15 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ค่าสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) เป็น 8.13 และค่า CEC เท่ากับ 8.3 cmol/kg

4.3 คุณสมบัติทางเคมีของถ่าน

ถ่านแกลบที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้มีคุณสมบัติทางเคมี ดังนี้ ปริมาณคาร์บอน และไนโตรเจนทั้งหมด 33.68 และ 1.14 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ค่า C/N ratio เท่ากับ 29.54 ค่า CEC เท่ากับ 17 cmol/kg ค่า pH เท่ากับ 7.81 และค่า EC เท่ากับ 0.360 µS (ตารางที่ 4.2)

ตารางที่ 4.2 คุณสมบัติทางเคมีบางประการของถ่านแกลบที่ใช้ในการศึกษา

คุณสมบัติทางเคมี	
ปริมาณคาร์บอน (%)	33.68
ปริมาณไนโตรเจน (%)	1.14
ค่า C/N ratio	29.54
CEC (cmol/kg)	17
pH (1:2.5 H_2O)	7.81
EC (µS)	0.360

4.4 การเจริญเติบโตของข้าว

การเจริญเติบโตของข้าวเมื่ออายุ 30 วันหลังปักดำ พบว่า **แปลงนาข้าวเคมี** ข้าวมีจำนวนต้นต่อกอ และน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (P>0.05) ในขณะที่ ความสูงของข้าวในกรรมวิธีที่ใส่ถ่านแกลบอย่างเดียว (68.00 cm) มีค่าสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) และดินอย่างเดียว (48.75 cm) มีความสูงต่ำสุด (ตารางที่ 4.3) ใน**แปลงนาข้าวอินทรีย์เคมี**พบว่า กรรมวิธีของเกษตรกร (ปุ๋ยเคมี 2 ครั้ง) ให้น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินสูงสุด (16.27 กรัมต่อกอ) แต่ไม่แตกต่างจากกรรมวิธีใส่ถ่านแกลบอย่างเดียว และวิธีของเกษตรกร+ถ่านแกลบ ระยะ PI (13.99 และ14.20 กรัมต่อกอ ตามลำดับ) ซึ่งกรรมวิธีดินอย่างเดียวมีค่าน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินต่ำสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) อย่างไรก็ตาม ไม่พบความแตกต่างทางสถิติ (P>0.05) ของจำนวนต้นต่อกอ และความสูงในแต่ละกรรมวิธี (ตารางที่ 4.3)

การเจริญเติบโตของข้าวเมื่ออายุ 60 วันหลังปักดำ พบว่า **แปลงนาข้าวเคมี**มีจำนวนต้นต่อกอ ความสูง และน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินแตกต่างกันระหว่างกรรมวิธีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) โดยจำนวนต้นต่อก่อ และน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินในกรรมวิธีของเกษตร+ถ่านแกลบ ระยะ PI มีค่าสูงสุด คือ 5 ต้นต่อกอ และ 58.80 กรัมต่อก่อ ตามลำดับ (ตารางที่ 4.4) **แปลงนาข้าวอินทรีย์เคมี** พบว่า ไม่มีความแตกต่างทางสถิติระหว่างกรรมวิธีของจำนวนต้นต่อกอ และความสูงของข้าว ในขณะที่ น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่

P<0.01 โดยกรรมวิธีใส่ถ่านแกลบอย่างเดียวมีน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินสูงสุด คือ 107.60 กรัมต่อกอ รองลงมา คือ กรรมวิธีของเกษตรกร+ถ่านแกลบ ระยะ PI (97.65 กรัมต่อกอ) (ตารางที่ 4.4)

ตารางที่ 4.3 การเจริญเติบโตของข้าว เมื่ออายุ 30 วันหลังปักดำ ในแปลงข้าวเคมี และข้าวอินทรีย์เคมี

กรรมวิธี	แปลงข้าวเคมี			แปลงข้าวอินทรีย์เคมี		
	จำนวนต้นต่อกอ	ความสูง (cm)	น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน (กรัมต่อกอ)	จำนวนหน่อต่อกอ	ความสูง (cm)	น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน (กรัมต่อกอ)
ดินอย่างเดียว	3	48.75	4.96	3	64.50	9.90
ถ่านแกลบอย่างเดียว	3	68.00	7.75	3	72.00	13.99
วิธีเกษตรกร (ปุ๋ยเคมี 2 ครั้ง)	3	63.50	6.53	3	70.75	16.27
วิธีเกษตรกร+ถ่านแกลบ ระยะ PI	3	66.25	6.25	2	64.00	14.20
$LSD_{.05}$	0.40^{ns}	17.18^{*}	3.04^{ns}	0.40^{ns}	14.24^{ns}	4.22^{*}
C.V. (%)	8.16	17.42	29.82	8.51	13.13	19.39

* = แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น *P*<0.05 และ ^{ns} = ไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น *P*>0.05

ตารางที่ 4.4 การเจริญเติบโตของข้าว เมื่ออายุ 60 วันหลังปลูก ในแปลงข้าวเคมี และข้าวอินทรีย์

กรรมวิธี	แปลงข้าวเคมี			แปลงข้าวอินทรีย์เคมี		
	จำนวนต้นต่อกอ	ความสูง (cm)	น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน (กรัมต่อกอ)	จำนวนหน่อต่อกอ	ความสูง (cm)	น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน (กรัมต่อกอ)
ดินอย่างเดียว	3	84.50	9.55	7	100.75	58.33
ถ่านแกลบอย่างเดียว	4	101.75	30.89	7	111.75	107.60
วิธีเกษตรกร (ปุ๋ยเคมี 2 ครั้ง)	3	103.00	29.73	7	113.25	72.00
วิธีเกษตรกร+ถ่านแกลบ ระยะ PI	5	77.00	58.80	7	98.25	97.65
$LSD_{.05}$	1.03^{**}	17.23^{*}	6.59^{**}	1.77^{ns}	22.08^{ns}	23.28^{**}
C.V. (%)	17.81	11.76	12.77	16.27	13.29	17.35

** = แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น *P*<0.01, * = แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น *P*<0.05 และ ^{ns} = ไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น *P*>0.05

4.5 ผลผลิตของข้าว

แปลงนาข้าวเคมี พบว่า จำนวนต้นต่อกอ จำนวนรวงต่อกอ น้ำหนักแห้งฟางข้าว น้ำหนักเมล็ด น้ำหนักแห้งทั้งหมด และค่าดัชนีการเก็บเกี่ยว (HI) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิต โดยกรรมวิธีเกษตรกร (ปุ๋ยเคมี 2 ครั้ง) มีจำนวนต้อต่อกอ และจำนวนรวงต่อกอ (8 ต้นต่อกอ และ 4 รวงต่อกอ ตามลำดับ) ไม่แตกต่างกันทางสถิติ เมื่อ

เปรียบเทียบกับกรรมวิธีเกษตรกร+ถ่านแกลบ ระยะ PI (7 ต้นต่อกอ และ 4 รวงต่อต้น ตามลำดับ) กรรมวิธีเกษตรกร+ถ่านแกลบ ระยะ PI ให้น้ำหนักแห้งฟางข้าวสูงสุด (149 กิโลกรัมต่อไร่) ในขณะที่กรรมวิธีใส่ถ่านแกลบอย่างเดียวให้ค่าน้ำหนักแห้งเมล็ดข้าวสูงสุด คือ 150 กิโลกรัมต่อไร่ อย่างไรก็ตาม ไม่มีความแตกต่างระหว่างกรรมวิธีของน้ำหนัก 1000 เมล็ด และ %เมล็ดเต็ม แต่พบว่า ค่าดัชนีเก็บเกี่ยวของกรรมวิธีดินอย่างเดียวมีค่าสูงสุด (0.60) ต่ำสุด คือ กรรมวิธีเกษตรกร (ปุ๋ยเคมี 2 ครั้ง) (0.26) ดังแสดงในตารางที่ 4.5

ผลผลิตของข้าว**แปลงนาข้าวอินทรีย์เคมี** พบว่า ไม่มีความแตกต่างระหว่างกรรมวิธีของจำนวนต้นต่อกอ จำนวนรวงต่อกอ น้ำหนักแห้งเมล็ด น้ำหนักแห้งทั้งหมด น้ำหนัก 1000 เมล็ด และ %เมล็ดเต็มอย่างไรก็ตาม น้ำหนักแห้งเมล็ดข้าวในกรรมวิธีใส่ถ่านแกลบอย่างเดียว กับกรรมวิธีเกษตรกร (ปุ๋ยเคมี 2 ครั้ง) มีค่าเท่าไม่แตกต่างกัน (424 และ 425 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ) นอกจากนี้ กรรมวิธีที่ใส่ถ่านแกลบอย่างเดียว พบว่า มีค่า HI ต่ำสุด (0.46) ในขณะที่กรรมวิธีดินอย่างเดียวมีค่า HI สูงสุด (0.56) (ตารางที่ 4.6)

ตารางที่ 4.5 น้ำหนักแห้งฟางข้าว ตอซัง เมล็ดและน้ำหนักแห้งทั้งหมด น้ำหนัก 1000 เมล็ด %เมล็ดเต็ม และค่า HI ของข้าวในแปลงนาข้าวเคมี

กรรมวิธี	จำนวนต้นต่อกอ	จำนวนรวงต่อกอ	น้ำหนักแห้ง (กิโลกรัมต่อไร่)				น้ำหนัก 1000 เมล็ด	% เมล็ดเต็ม	HI
			ฟาง	ตอซัง	เมล็ด	ทั้งหมด			
ดินอย่างเดียว	4	5	28	62	136	225	27	91	0.60
ถ่านแกลบอย่างเดียว	6	3	92	242	150	483	28	95	0.31
วิธีเกษตรกร (ปุ๋ยเคมี 2 ครั้ง)	8	4	111	291	137	539	28	94	0.26
วิธีเกษตรกร+ถ่านแกลบ ระยะ PI	7	4	149	200	127	476	27	94	0.28
$LSD_{.05}$	1.89*	1.47*	46**	53^{ns}	13*	101**	3.31^{ns}	7^{ns}	0.06**
C.V. (%)	19.49	24	30.10	16.53	5.71	14.70	7.58	4.89	9.85

** = แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น $P<0.01$, * = แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น $P<0.05$ และ ^{ns} = ไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น $P>0.05$

ตารางที่ 4.6 น้ำหนักแห้งฟางข้าว ตอซัง เมล็ดและน้ำหนักแห้งทั้งหมด น้ำหนัก 1000 เมล็ด %เมล็ดเต็ม และค่า HI ของข้าวในแปลงนาข้าวอินทรีย์เคมี

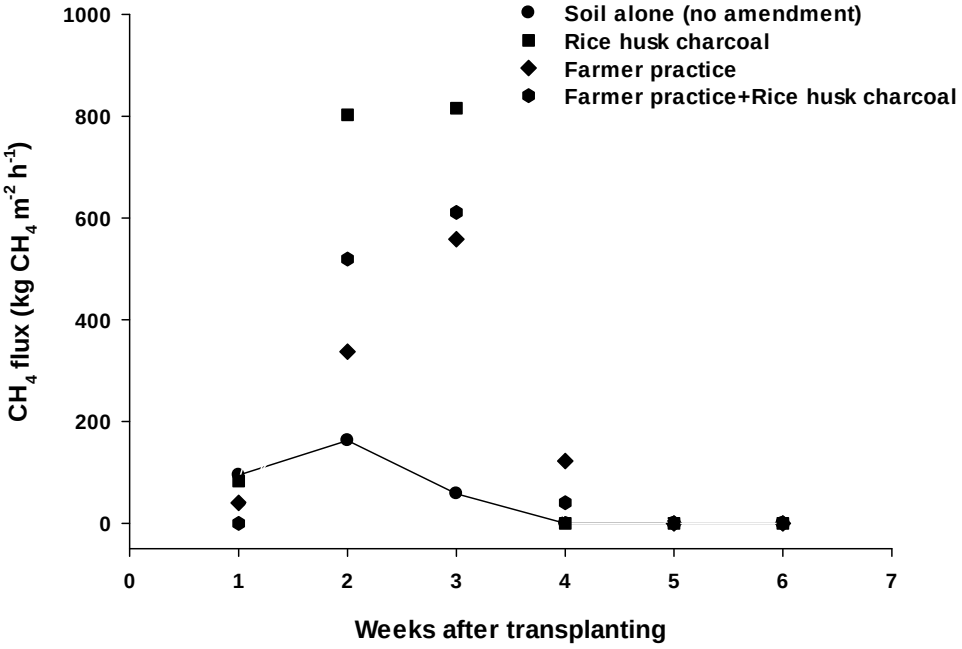
กรรมวิธี	จำนวนต้นต่อกอ	จำนวนรวงต่อกอ	น้ำหนักแห้ง (กิโลกรัมต่อไร่)				น้ำหนัก 1000 เมล็ด	% เมล็ดเต็ม	HI
			ฟาง	ตอซัง	เมล็ด	ทั้งหมด			
ดินอย่างเดียว	8	9	102	197	388	688	24	96	0.56
ถ่านแกลบอย่างเดียว	8	10	213	279	424	916	26	92	0.46
วิธีเกษตรกร(ปุ๋ยเคมี 2 ครั้ง)	8	8	141	266	425	831	25	96	0.51
วิธีเกษตรกร+ถ่านแกลบ ระยะ PI	9	8	128	204	393	725	25	95	0.54
$LSD_{.05}$	2.27^{ns}	3^{ns}	48^{**}	51^{**}	116^{ns}	183^{ns}	1.73^{ns}	6^{ns}	0.04^{*}
C.V. (%)	17.04	24.17	20.60	13.47	17.75	14.45	4.32	4.12	5.39

** = แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น $P<0.01$, * = แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น $P<0.05$ และ ns = ไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น $P>0.05$

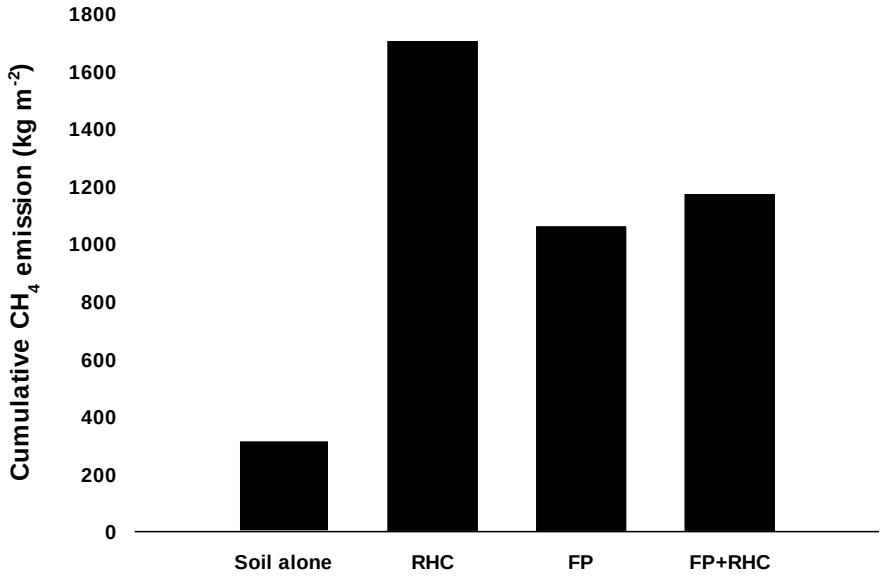
4.6 การปลดปล่อยก๊าซมีเทนในนาข้าว

ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซมีเทน (CH_4) ใน**นาข้าวเคมี** พบว่า มีการปลดปล่อยก๊าซ CH_4 เป็นปริมาณมากในช่วงสัปดาห์ที่ 2 และ 3 หลังการปักดำ โดยกรรมวิธีที่มีการปลดปล่อยมากที่สุด คือ การใส่ถ่านแกลบอย่างเดียว (802.75 และ 816.00 kg CH_4 m^{-2} h^{-1}ตามลำดับ) รองลงมาเป็นกรรมวิธีเกษตรกร+ถ่านแกลบ ระยะ PI (519.50 และ 611.00 kg CH_4 m^{-2} h^{-1} ตามลำดับ) ซึ่งมีปริมาณไม่แตกต่างกับกรรมวิธีเกษตรกร (ปุ๋ยเคมี 2 ครั้ง) อย่างไรก็ตาม ปริมาณ CH_4 ลดลงตั้งแต่สัปดาห์ที่ 4 เป็นต้นไป จนมีค่าเป็น 0 ในทุกกรรมวิธี ดังแสดงในรูปที่ 4.3 ปริมาณ CH_4 ตลอดช่วง 6 สัปดาห์หลังปักดำ พบว่า กรรมวิธีที่ใส่ถ่านแกลบอย่างเดียวมีปริมาณการปลดปล่อย CH_4 สะสมทั้งหมดสูงสุด เท่ากับ 1701.75 kg m^{-2} และกรรมวิธีดินอย่างเดียว (ไม่ใส่ถ่านแกลบ) มีปริมาณการปลดปล่อย CH_4 สะสมทั้งหมดต่ำสุด เท่ากับ 315.75 kg m^{-2} (รูปที่ 4.4)

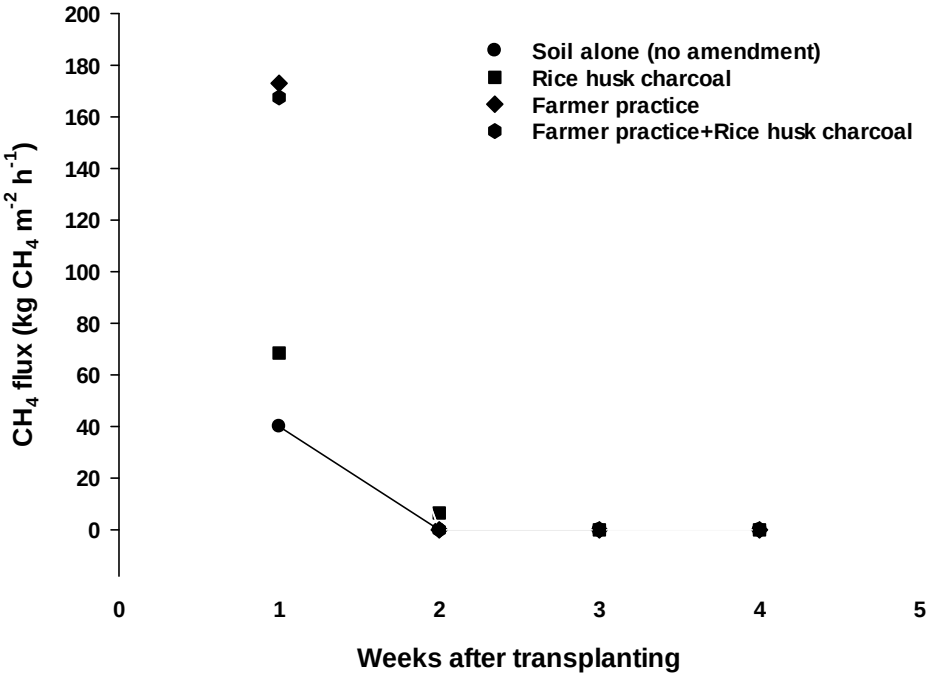
ในขณะที่**นาข้าวอินทรีย์เคมี** พบว่า ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซ CH_4พบว่าในช่วง 1 สัปดาห์หลังปักดำ โดยกรรมวิธีของเกษตรกร (ปุ๋ยเคมี 2 ครั้ง) และกรรมวิธีของเกษตรกร+ถ่านแกลบ ระยะ PI มีปริมาณการปลดปล่อย CH_4สูงสุด (173.00 และ 167.50 kg CH_4 m^{-2} h^{-1} ตามลำดับ) ดังแสดงในรูปที่ 4.5 หลังจากนั้นปริมาณการปลดปล่อยก๊าซ CH_4 ลดลงอย่างรวดเร็วจนกระทั่งเป็น 0 ในทุกกรรมวิธี ในสัปดาห์ที่ 4 หลังปักดำ อย่างไรก็ตาม ปริมาณก๊าซ CH_4 ที่ปลดปล่อยออกมาทั้งหมดในกรรมวิธีของเกษตรกร (ปุ๋ยเคมี 2 ครั้ง) และกรรมวิธีของเกษตรกร+ถ่านแกลบ ระยะ PIมีค่า 173.00 และ 167.50 kg m^{-2} ตามลำดับ (รูปที่ 4.6)



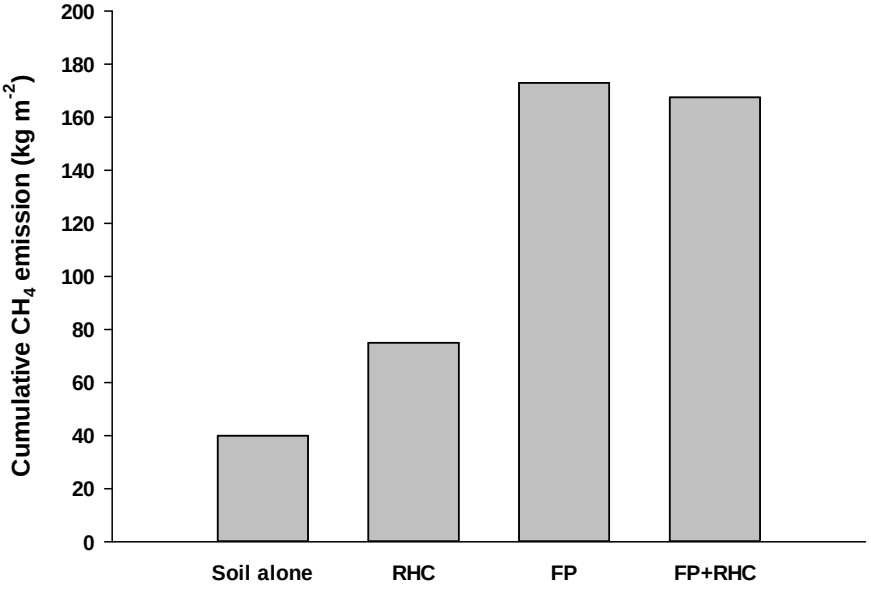
รูปที่ 4.3 การปลดปล่อยก๊าซ CH_4 ในแปลงนาข้าวเคมีช่วง 1-6 สัปดาห์หลังปักดำ



รูปที่ 4.4 ปริมาณการก๊าซ CH_4 ทั้งหมดที่ปลดปล่อยในแปลงนาข้าวเคมีช่วง 1-6 สัปดาห์หลังปักดำ



รูปที่ 4.5 การปลดปล่อยก๊าซ CH_4 ในแปลงนาข้าวอินทรีย์เคมีช่วง 1-6 สัปดาห์หลังปักดำ



รูปที่ 4.6 ปริมาณการก๊าซ CH_4 ทั้งหมดที่ปลดปล่อยในแปลงนาข้าวอินทรีย์เคมีช่วง 1-6 สัปดาห์หลังปักดำ

บทที่ 5 อภิปรายและวิจารณ์ผล
(Chapter V Results discussion)

5.1 ผลของถ่านแกลบต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตข้าว

การเจริญเติบโตของข้าวในช่วงแรก (30 วันหลังปักดำ) ในแปลงข้าวเคมี จากผลการศึกษา พบว่า การใส่ถ่านแกลบมีแนวโน้มทำให้การเจริญเติบโตของข้าวดีกว่าการไม่ใส่ถ่านโดยเฉพาะเปรียบเทียบกับการดินปกติในแปลงข้าวเคมี ในขณะที่ในแปลงข้าวอินทรีย์เคมี การเจริญเติบโตของวิธีการเกษตรกร (ปุ๋ยเคมี 2 ครั้ง) มีแนวโน้มดีกว่าการใส่ถ่านแกลบทั้ง 2 วิธีการ (ใส่ถ่านแกลบอย่างเดียว และวิธีเกษตรกร+ถ่านแกลบ ระยะ PI) (ตารางที่ 4.3) อย่างไรก็ตาม การเจริญเติบโตในช่วงแรกทั้งการใส่ถ่านแกลบอย่างเดียว วิธีเกษตรกร (ปุ๋ยเคมี 2 ครั้ง) และวิธีเกษตรกร+ใส่ถ่านแกลบ ระยะ PI ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ชี้ให้เห็นว่า ในช่วงแรกของการเจริญเติบโตของข้าวไม่จำเป็นต้องใส่ปุ๋ยเคมีในการปลูกข้าวทั้งในแปลงนาข้าวเคมี และข้าวอินทรีย์เคมี สอดคล้องกับ เสาวคนธ์ (2557) รายงานว่า การใส่ถ่านชีวภาพในดินนาเพื่อปลูกข้าวควรใส่ปุ๋ยไนโตรเจนหรือปุ๋ยเคมี 1 ครั้ง คือ ระยะข้าวเริ่มสร้างช่อดอกอ่อน (PI) จะช่วยทำให้ประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยเพิ่มขึ้น แลผลผลิตข้าวเทียบเท่ากับการใส่ปุ๋ยเคมี 2 ครั้ง (ระยะปักดำ และระยะสร้างช่อดอกอ่อน) นอกจากนี้ การใส่ถ่านแกลบยังส่งเสริมการเจริญเติบโตของข้าวในช่วง 60 วันหลังปักดำโดยเพิ่มน้ำหนักแห้งของต้นข้าวส่วนเหนือดินมากกว่าวิธีการของเกษตรกร (ปุ๋ยเคมี 2 ครั้ง) ทั้งในนาข้าวเคมี และอินทรีย์เคมี (ตารางที่ 4.4) โดยเฉพาะนาข้าวอินทรีย์เคมีซึ่งมีการตอบสนองต่อการใส่ถ่านแกลบมากน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินเพิ่มสูงขึ้นถึง 666 - 896 กิโลกรัมต่อไร่ เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการของเกษตรกร (ปุ๋ยเคมี 2 ครั้ง) ในขณะที่แปลงนาข้าวเคมีน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินเพิ่มขึ้น 30 – 744 กิโลกรัมต่อไร่ เมื่อระยะเก็บเกี่ยวข้าว (120 วันหลังปักดำ) พบว่า ผลผลิตเมล็ดข้าวในแปลงข้าวเคมีที่ใส่ถ่านแกลบทั้งสองวิธี (ถ่านแกลบอย่างเดียว และใส่ถ่านแกลบที่ระยะ PI) สูงกว่าการใส่ปุ๋ย 2 ครั้ง (วิธีของเกษตรกร) ในขณะที่แปลงข้าวอินทรีย์เคมีผลผลิตเมล็ดข้าวไม่มีความแตกต่างกันในแต่ละวิธี (ตารางที่ 4.5 และ 4.6) แสดงให้เห็นว่า การใส่ถ่านแกลบมีผลต่อการเจริญเติบโตของข้าวในช่วงระยะแรกของการเจริญเติบโต (ช่วงการแตกกอ 0-60 วันหลังปักดำ) ในกรณีของนาข้าวอินทรีย์เคมี ในขณะที่นาข้าวเคมีการใส่ถ่านแกลบในวิธีของเกษตรกรที่ระยะ PI ช่วยเพิ่มศักยภาพการให้ผลผลิตได้สูงกว่าการใส่ปุ๋ยเคมี 2 ครั้ง ซึ่งสอดคล้องกับ Haefele et al. (2011) ได้ทำการศึกษาผลของถ่านแกลบในแต่ละระบบการปลูกข้าว ชนิดดิน และฤดูกาล พบว่า ถ่านแกลบเพิ่มผลผลิต และประสิทธิภาพการใช้ธาตุอาหารได้ดีในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารต่ำและดินเกิดสภาวะขาดน้ำ ถ่านแกลบไม่สามารถเพิ่มความสามารถในการผลิตข้าวในพื้นที่ที่มี pH เป็นกลาง เนื้อดินเหนียว (clay) และมีค่า CEC สูง มีงานวิจัยในเรือนทดลองเกี่ยวกับการใช้ถ่านแกลบในดินที่มี pH ต่ำมาก ในดินกรด พบว่า มีผลในทางบวกโดยเพิ่มผลผลิตของข้าว (Agusalim et al., 2010; Sokchea and Preston, 2011) เช่นเดียวกันกับงานวิจัยพบว่า นาข้าวเคมีมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำเป็นดินลูกรังปนดินเหนียว มีค่า CEC (4.7 cmol/kg) ต่ำกว่านาข้าวอินทรีย์เคมี (8 cmol/kg) ซึ่งอาจเป็นผลทำให้ผลผลิตของข้าวในนาข้าวเคมีมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างการใส่แกลบและไม่ใส่แกลบเมื่อเปรียบเทียบกับนาข้าวอินทรีย์เคมี นอกจากนี้ผลการวิจัยยังชี้ให้เห็นว่า การใส่ถ่านแกลบหลังปักดำ หรือ ระยะ PI ก็ให้ผลผลิตสูงกว่าหรือเท่ากับการใส่ปุ๋ยเคมี 2 ครั้ง ไม่ว่าจะเป็นนาข้าวเคมีหรืออินทรีย์เคมี การใส่ถ่านแกลบนอกจากจะช่วยเพิ่มผลผลิตยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ไนโตรเจนของ

ข้าวด้วย Zhang et al. (2010) แสดงให้เห็นว่าการใส่ถ่านแกลบในดินนาช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้ไนโตรเจนของข้าว รวมทั้งลดอัตราการปลดปล่อยก๊าซ N_2O อีกด้วย เสาวคนธ์ (2557) รายงานว่า การใส่ถ่านแกลบและถ่านไม้ไผ่ช่วยประสิทธิภาพการใช้ไนโตรเจนของข้าวได้ดีกว่าการใส่ปุ๋ยเคมี 2 ครั้ง

5.2 ผลของถ่านแกลบต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทนในนาข้าว

การใส่ถ่านช่วยลดการปลดปล่อยก๊าซ CH_4 สุทธิจากดินที่เป็นกรด และธาตุอาหารต่ำได้มีการรายงานไว้โดย Rondon et al. (2005) และ Rondon et al. (2006) ทั้งการศึกษาในสภาพกระถาง และแปลงทดลอง อย่างไรก็ตาม Knoblauch et al. (2008) ได้รายงานว่า การใส่ถ่านลงไปในดินนาเพิ่มการปลดปล่อยก๊าซ CH_4 จากนาข้าว แต่ไม่พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับดินที่ไม่ใส่ถ่าน เช่นเดียวกันกับผลการวิจัย พบว่า การใส่ถ่านแกลบทั้งช่วงปักดำข้าว และระยะ PI ในนาข้าวเคมีทำให้ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซ CH_4 เพิ่มขึ้นสูงโดยเฉพาะช่วงสัปดาห์ที่ 2 – 3 หลังปักดำ (รูปที่ 4.3) ในขณะที่การปลดปล่อยก๊าซ CH_4 ในนาข้าวอินทรีย์เคมีการใส่ปุ๋ยเคมี 2 ครั้ง (วิธีของเกษตรกร) และการใส่ปุ๋ยเคมี 1 ครั้ง ร่วมกับการใส่ถ่านแกลบที่ระยะ PI มีปริมาณมากที่สุด (รูปที่ 4.5) ชี้ให้เห็นว่า ในสภาพดินนาที่มีปริมาณอินทรียวัตถุต่ำเมื่อเพิ่มอินทรียวัตถุ (ถ่านแกลบ) ลงไปจะกระตุ้นให้เกิดการปลดปล่อยก๊าซ CH_4 มากขึ้น ส่วนในดินนาที่มีปริมาณอินทรียวัตถุสูงการใส่ถ่านแกลบช่วยลดการปลดปล่อยก๊าซ CH_4 สอดคล้องกับ Zhang et al. (2010) พบว่า การปลดปล่อยก๊าซ CH_4 เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มถ่าน โดยจะเปลี่ยนแปลงตามอัตราถ่านที่ใส่ลงไปในดิน และปฏิสัมพันธ์กับปุ๋ยไนโตรเจน และส่วนหนึ่งขึ้นอยู่กับระดับของน้ำในนาข้าว การพบว่าปริมาณการปลดปล่อยก๊าซ CH_4 เพิ่มขึ้นโดย Rondon et al. (2005) และ Rondon et al. (2006) ซึ่งได้รายงานการเพิ่มขึ้นของก๊าซ CH_4 ในแหล่งการปลดปล่อยของดินในเขตร้อน (tropical soil) เมื่อมีการใส่ถ่าน Knoblauch et al. (2008) ได้แสดงให้เห็นว่าองค์ประกอบในถ่านที่เป็นส่วนที่เคลื่อนย้ายได้ (labile components) ซึ่งสามารถถูกย่อยสลายได้ และกลายมาเป็นแหล่งของการของสารตั้งต้นของจุลินทรีย์พวก methanogenic ซึ่งกระตุ้นให้เกิดการผลิตก๊าซ CH_4 โดยเฉพาะในช่วงระยะแรกของการเจริญเติบโตของข้าว เช่นเดียวกันกับผลการวิจัยซึ่งทำการวัดการปลดปล่อยก๊าซ CH_4 ในช่วงแรกของการเจริญเติบโต (1-6 สัปดาห์หลังปักดำ) การเจริญเติบโตในช่วงสัปดาห์ที่ 2-3 เป็นช่วงที่ปลดปล่อยมากที่สุดทั้งในนาเคมี และอินทรีย์เคมี รวมทั้งช่วงเวลาดังกล่าวมีปริมาณน้ำที่สูงและขังเป็นเวลานานทำให้กระตุ้นการปลดปล่อยก๊าซ CH_4 มากขึ้น ซึ่งจะสังเกตได้ว่าปริมาณก๊าซ CH_4 ลดลง เมื่อปริมาณน้ำและช่วงเวลาของการขังน้ำลดลง ระบบการให้น้ำ เช่น การให้น้ำแบบไม่สม่ำเสมอ (intermittent irrigation) ซึ่งเป็นพื้นฐานของหลักการที่ให้น้ำปริมาณน้อยเพื่อใช้ในการปลูกข้าว และได้ผลผลิตสูง อย่างไรก็ตาม การให้น้ำแบบทำให้ดินอยู่ในสภาพขาด oxidation ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมไฟฟ้าเคมี (Vahl and Sousa, 2004) ดินในสภาพ oxidation แบคทีเรียพวก methanogenic จะได้รับผลกระทบ และการปลดปล่อยก๊าซ CH_4 ลดลง (Zhang et al., 2011) ด้วยเหตุนี้ การให้น้ำแบบไม่สม่ำเสมอถูกแนะนำในการใช้ลดการปลดปล่อยก๊าซ CH_4 อย่างยั่งยืน (IPCC, 2007; Johnson-Beebout et al., 2009) ดังนั้น สภาพแวดล้อมที่มีผลต่อปริมาณน้ำในดินมีผลต่อการปลดปล่อยก๊าซ CH_4 (Sing, 2001) ถึงแม้ระบบการให้น้ำสามารถควบคุมปริมาณน้ำที่ใช้ได้ แต่ไม่สามารถควบคุมปริมาณน้ำจากน้ำฝนได้เช่นเดียวกันกับงานวิจัยซึ่งเป็นการปลูกในสภาพอาศัยน้ำฝนปริมาณน้ำไม่สามารถควบคุมได้

บทที่ 6 สรุปผลการวิจัย
(Chapter VI Conclusion)

การใส่ถ่านแกลบในดินนาทั้งนาข้าวเคมี และข้าวอินทรีย์เคมีนอกจากจะช่วยปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ของดินโดยเฉพาะ pH ของดินนาแล้ว ยังช่วยปรับปรุงการเจริญเติบโตของข้าวในช่วงแรกของการเจริญเติบโต (0-60 วันหลังปักดำ) ซึ่งทำให้เห็นว่าการใส่ปุ๋ยเคมีในนาข้าวไม่จำเป็นต้องใส่ 2 ครั้ง (หลังปักดำ และระยะ PI) โดยสามารถใส่ถ่านแกลบเพื่อเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดินในช่วงหลังปักดำ และใส่ปุ๋ยเคมีในช่วงระยะ PI ก็สามารถลดต้นทุนการผลิตข้าว รวมทั้ง เพิ่มผลผลิตข้าวได้โดยไม่แตกต่างจากการใส่ปุ๋ย 2 ครั้ง อย่างไรก็ตาม การใส่ถ่านแกลบหากเป็นดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำควรใส่ร่วมกับปุ๋ยเคมีเพื่อลดการปลดปล่อยก๊าซ CH_4 ในขณะที่นาข้าวอินทรีย์เคมีการใส่ถ่านแกลบอย่างเดียวในระยะปักดำจะช่วยลดปริมาณการปลดปล่อยก๊าซ CH_4 ได้ดีกว่าการใส่ในระยะ PI นอกจากปัจจัยด้านความอุดมสมบูรณ์ของดินที่มีผลต่อปริมาณการปลดปล่อยก๊าซ CH_4 แล้ว ปริมาณน้ำในนาข้าวก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญที่มีผลต่อปริมาณการปลดปล่อยซึ่งในนาข้าวน้ำฝนปัจจัยดังกล่าวจะควบคุมได้ยาก หากเป็นนาข้าวชลประทานสามารถควบคุมระดับน้ำให้เหมาะสมเพียงพอต่อความต้องการของข้าว และอยู่ในสภาพ oxidation จะช่วยลดปริมาณการปลดปล่อยก๊าซ CH_4 ได้อย่างดี

ดังนั้น การใช้ถ่านแกลบในนาข้าวช่วยเพิ่มการเจริญเติบโต ผลผลิตของข้าว และลดปริมาณการปลดปล่อยก๊าซ CH_4 ซึ่งเกษตรกรควรจะมีการใส่ทุกๆปีอย่างน้อย 1 ครั้ง คือ หลังปักดำข้าวเพื่อเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน ลดภาวะโลกร้อนอย่างยั่งยืนในการเพาะปลูก

บรรณานุกรม

ทัพไท หน่อสุวรรณ, อรรถชัย จินตะเวช และสิทธิชัย ลอดแก้ว. 2554. ความเป็นไปได้ในการผลิตไบโอชาร์เพื่อเพิ่มผลผลิตในระบบการผลิตข้าวนาสวน. หน้า 397-407 ใน รายงาน การประชุมวิชาการระบบเกษตรแห่งชาติ ครั้งที่ 7 “ระบบเกษตรไทยใต้ร่มพระบารมี เพื่อความมั่นคงทางอาหารและพลังงาน”. คณะเกษตรและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, มหาสารคาม.

เสาวคนธ์ เหมวงษ์. 2557. ผลของถ่านชีวภาพจากไม้ไผ่ และแกลบต่อผลผลิต และประสิทธิภาพการดูดใช้ไนโตรเจนของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี 16(1): 69-75.

เสาวคนธ์ เหมวงษ์ และ ศศิธร เชื้อกุณะ. 2554. การใช้ถ่านชีวภาพปรับปรุงดินเพื่อปลูกข้าวโพดข้าวเหนียวหวาน. วารสารเกษตร 27(3): 259-266.

สำนักสำรวจดินและวางแผนการใช้ที่ดิน. 2548. มหัศจรรย์พันธุ์ดิน. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กรุงเทพมหานคร.

Agusalim, M., H.U. Wani and M.S. Syechfani. 2010. Rice husk biochar for rice based cropping system in acid soil. The characteristics of rice husk biochar and its influence on the properties of acid sulfate soils and rice growth in West Kalimantan, Indonesia. Journal of Agricultural Sciences 2(1): 39-47.

Atkinson, C.J., J.D. Fitzgerald and N.A. Hipps. 2010. Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: A review. Plant and Soil 337(1): 1-18.

Baldock, J.A. and R.J. Smernik. 2002. Chemical composition and bioavailability of thermally altered *Pinus resinosa* (Red pine) wood. Organic Chemistry 33: 1093–1109.

Bagreev, A., T.J. Bandosz and D.C. Locke. 2001. Pore structure and surface chemistry of adsorbents obtained by pyrolysis of sewage sludge-derived fertilizer. Carbon 39: 1971–1979.

Blackwell, P., G. Riethmuller and M. Collins. 2009. Biochar application to soil. pp. 207-226. In J. Lehmann and S. Joseph (eds). Biochar for Environmental Management: Science and Technology, Earthscan, United Kingdom.

Bruun, E.W. 2011. Application of fast pyrolysis biochar to a loamy soil- Effects on carbon and nitrogen and potential for carbon sequestration. Ph.D Thesis at the National Laboratory of Renewable Energy, Technical University of Denmark (RisØ-DTU). 211 pp.

Chan, K.Y. and Z. Xu. 2009. Biochar: nutrient properties and their enhancement. pp. 67-84. In J. Lehmann and S. Joseph (eds). Biochar for Environmental Management: Science and Technology. Earthscan, United Kingdom.

Chan, K.Y., L. Van Zwieten, I. Meszaros, A. Downie and S. Joseph. 2007. Agronomic values of greenwaste biochar as a soil amendment. Australian Journal of Soil Research 45: 629-634.

Day, D., R.J. Evans, J.W. Lee and D. Reicosky. 2005. Economical CO2, SOx and NOx capture from fossil-fuel utilization with combined renewable hydrogen production and large-scale carbon sequestration. Energy 30(14): 2558–2579.

De Luca, T.H., M.D. MacKenzie, and M.J. Gundale. 2009. Biochar effects on soil nutrient transformations. pp. 251-270. In J. Lehmann and S. Joseph (eds). Biochar for environmental management: Science and Technology. Earthscan, United Kingdom.

Ding Y., X.Y. Liu, W.X. Wu, D.Z. Shi, M. Yang and Z.K. Zhong. 2010. Evaluation of biochar effects on nitrogen retention and leaching in multi-layered soil columns. Water Air and Soil Pollution 213:47-55.

Downie, A., A. Crosky and P. Munroe. 2009. Physical properties of biochar. pp. 13-32. In J. Lehmann and S. Joseph (eds). Biochar for Environmental Management: Science and Technology. Earthscan, United Kingdom.

FAO. 1985. Industrial charcoal marking. (online). Available: http://www.fao.org/docrep/x5555e/x5555e00.htm.

Glaser, B., J. Lehmann and W. Zech. 2002. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal - a review. Biology and Fertility of Soils 35: 219-230.

Granatstein, D., C.E. Kruger, H. Collins, S. Galinato, M. Garcia-Perez and J. Yoder. 2009. Use of biochar from the pyrolysis of waste organic material as a soil amendment: final project report. Washington State University, Wenatchee.

Haefele, S.M., Y. Konboon, W. Wongboon, S. Amarante, A.A. Maarifat, E.M. Pfeiffer and C. Knoblauch. 2011. Effects and fate of biochar from rice residues in rice-based systems. Field Crops Research 121(3): 430-440.

Hammes, K. and W.I. Schmidt. 2009. Changes of biochar in soil. pp. 169-182. In J. Lehmann and S. Joseph (eds). Biochar for Environmental Management: Science and Technology. Earthscan, United Kingdom.

Hemwong, S. and G. Cadisch. 2012. Effects of biochar amendment on soil fertility and lowland rice yield in Nakhon Phanom Province, Northeast, Thailand. Nakhon Phanom University Journal: (in press).

Huang, Y., H. Dong, B. Shang, H. Xin and Z. Zhu. 2011. Characterization of animal manure and cornstalk ashes as affected by incineration temperature. Applied Energy 88: 947-952.

Inyang, M., B. Gao, P. Pullammanappallil, W.C. Ding and A.R. Zimmerman. 2010. Biochar from anaerobically digested sugarcane bagasse. Bioresource Technology 101(22): 8868–8872.

IPCC. 2007. The physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment. Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K. B., Tignor, M., and Miller, H. L., Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.

Johnson-Beebout, S.E., J.G. Lauren and J.M. Duxbury. 2009. Immobilization of zinc fertilizer in flooded soils monitored by adapted DTPA soil test. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 40: 1842-1861.

Joseph, S., C. Peacocke, J. Lehmann and P. Munroe. 2009. Developing a biochar classification and test methods. pp. 107-126. In J. Lehmann and S. Joseph (eds). Biochar for Environmental Management: Science and Technology. Earthscan, United Kingdom.

Keiluweit, M., P.S. Nico, M.G. Johnson, and M. Kleber. 2010. Dynamic molecular structure of plant biomass-derived black carbon (biochar). Environmental Science and Technology 44(4): 1247–1253.

Knoblauch, C., A.A. Marifaat and M.S. Haefele. 2008. Biochar in rice-based system: impact on carbon mineralization and trace gas emissions. (online) Available from htt://www.biochar-international.org/2008/conference/posters.

Krull, E., B. Singh and S. Joseph. 2010. Preface to special issue: proceedings from the First Asia-Pacific Biochar Conference 2009, Gold Coast, Australia. Australian Journal of Soil Research 48(6–7): 1-4.

Kwapinski, W., C.M.P. Byrne, E. Kryachko, P. Wolfram, C. Adley, J.J. Leahy, E.H. Novotny and M.H.B Hayes. 2010. Biochar from biomass and waste. Waste Biomass Valor 1: 177–189.

Laird, A.R., J.L. Robinson, K.M. McMillan, D. Tordesillas-Gutiérrez, S.T. Moran and S.M. Gonzales. 2010. Comparison of the disparity between Talairach and MNI coordinates in functional neuroimaging data: Validation of the Lancaster transform. Neuroimage 51, 677–683.

Lang, T. A.D. Jensen and P.A. Jensen. 2005. Retention of organic elements during solid fuel pyrolysis with emphasis on the peculiar behavior of nitrogen. Energy and Fuels 19: 1631-1643.

Lehmann, J. 2007. A handful of carbon. Nature 447: 143–144.

Lehmann, J., J. da Silva, C. Steiner, T. Nehls, W. Zech and B. Glaser. 2003. Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments. Plant and Soil 249: 343-357.

Lehmann, J., J. Gaunt and M. Rondon. 2006. Bio-char sequestration in terrestrial ecosystems: a review. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change 11: 403–427.

Leifeld, J., S. Fenner and M. Müller. 2007. Mobility of black carbon in drained peatland soils. Biogeosciences 4: 425-432.

Liang, B., J. Lehmann, D. Solomon, J. Kinyangi, J. Grossman and B. O'Neill. 2006. Black carbon increases cation exchange capacity in soils. Soil Science Society of America Journal 70(5): 1719-1730.

Major, J., J. Lehmann, M. Rondon and C. Goodale. 2010. Fate of soil-applied black carbon: downward migration, leaching and soil respiration. Global Change Biology 16(4): 1366–1379.

Maraseni, T.N. 2010. Biochar: maximising the benefits. International Journal of Environmental Studies 67(3): 319–327.

Masulili, A., W.H. Utomo and M.S. Syechfani. 2010. Rice husk biochar for rice based cropping system in acid soil 1. The characteristics of rice husk biochar and its influence on the properties of acid sulfate soils and rice growth in West Kalimantan, Indonesia. Journal of Agricultural Science 2(1): 39-47.

Navia, R. and D.E. Crowley. 2010. Closing the loop on organic waste management: biochar for agricultural land application and climate change mitigation. Waste Management and Research 28(6): 479–80.

Novak, J.M., W.J. Busscher, D.L. Laird, M. Ahmedna, D.W. Watts and M.A.S. Niandou. 2009. Impact of biochar amendment on fertility of a southeastern coastal plain soil. Soil Science 174: 105–112.

Rayment, G.E. and F.R. Higginson. 1992. Australian Laboratory Handbook of Soil and Water Chemical Analysis. Reed International Books Australia, Melnourne. 330 pp.

Roberts, K.G., B.A. Gloy, S. Joseph, N.R. Scott and J. Lehmann. 2010. Life cycle assessment of biochar systems: estimating the energetic, economic, and climate change potential. Environmental Science and Technology 44: 827–833.

Rohed, R. A. 2000. Greenhouse gas by sector. (online). Available: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Greenhouse_Gas_by_Sector.png.

Rondon, M., J.A. Ramirez and J. Lehmann. 2005. Greenhouse gas emissions decrease with charcoal additions to tropical soils. (online). Available from: http//soilcarboncenter.k-state.edu/conference/USDA%20Abstracts%20html/Abstract%20Rondon.htm.

Rondon, M.A., D. Molina, M. Ramirez, J., J. Lehmann, J. Major and E. Amezquita. 2006. Enhancing the productivity of crops and grasses while reducing green house gas emissions through biochar amendments to unfertile tropical soils. In: Proceedings of the 18th World Congress of Soil Science, July 9-15, 2006. Philadelphai, PA, USA: 138-168.

Sing, K. 2001. The use of nitrogen adsorption for the characterization of porous materials. Colloids Surf. A. 3-9: 187-188.

Sohi, S.P., E. Krull, E. Lopez-Capel and R. Bol. 2010. Chapter 2–A review of biochar and its use and function in soil. Advances in Agronomy 105: 47–82.

Sohi, S., E. Lopez-Capel, E. Krull and R. Bol. 2009. Biochar, climate change and soil: A review to guide future research. (online). available: http://www.clw.csiro.au/publications/consultancy/.

Sokchea, H. and T.R. Preston. 2011. Growth of maize in acid soil amended with biochar, derived from gasifier reactor and gasifier stove, with or without organic fertilizer (biodigester effluent). Liverstock Research for Rural Development 23(4).

Solaiman, Z.M., P. Blackwell, L.K. Abbott and P. Storer. 2010. Direct and residual effect of biochar application on mycorrhizal root colonization, growth and nutrition of wheat. Australian Journal of Soil Research 48: 546-554.

Sparkes J. and P. Stoutjesdijk. 2011. Biochar: implications for agricultural productivity. Australian Government Department of Agriculture, Fisheries and Forestry, Australia.

Steiner, C. 2007. Slash and char as alternative to slash and burn- Soil charcoal amendment maintain soil fertility and establish a carbon sink. Universitty of Bayreuth, Germany.

Tsai, W.-T., S.-C. Liu, H.-R. Chen, Y.-M. Chang and Y.-L. Tsai. 2012. Textural and chemical properties of swine-manure-derived biochar pertinent to its potential use as a soil amendment. Chemosphere 89: 198-203.

Topoliantz, S., J.F. Ponge and S. Ballof. 2007. Manioc peel and charcoal: a potential organic amendment for

sustainable soil fertility in the tropics. Biology and Fertility of Soils 41: 15–21.

Vahl, L.C. and R.O. Sousa. Aspectos fisico-quimicos de solos alagados. 2004. In: GOMES, A.S. and MAGALHAS Jr., A.M. (eds). Arroz irrigado no Sul do Brasil. Brasilia, Embrapa Infromacao Technologica: 97-118.

Van Zwieten, L., S. Kimber, A. Downie, S. Morris, S. Petty, J. Rust and K.Y. Chan. 2010. A glasshouse study on the interaction of low mineral ash biochar with nitrogen in a sandy soil. Australian Journal of Soil Research 48(6–7): 569–576.

Verheijen, F., S. Jeffery, A.C. Bastos, M. van der Velde and I. Diafas. 2010. Biochar application to soils: A critical scientific review of effects on soil properties, processes and functions. Scientific and Technical Reports. European Commission, Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability, Italy.

Yuan, J.H., R.-K. Xu and H. Zhang. 2011. The form of alkalis in the biochar produced from crop residues at different temperatures. Bioresource Technology 102: 3488-3497.

Zhang, A., L. Cui, G. Pan, L. Li, Q. Hussain, X. Zhang, K. Zheng and D. Crowley. 2010. Effect of biochar amendment on yield and methane and nitrous oxide emissions from a rice paddy from Tai Lake plain, China. Agriculture, Ecosystems and Environment 139(4): 469-475.

Zhang, G.B., Y. Ji, Y. Ma, H. Xu and Z.C. Cai. 2011. Case study on effects of water management and rice straw incorporation in rice fields on production, oxidation, and emission of methane during fallow and flowing rice seasons. Soil Research 49: 238-246.