

การลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการปลูกข้าวโดยใช้การจัดการธาตุอาหารพืชเฉพาะพื้นที่และการใช้มูลไก่ร่วมกับปุ๋ยเคมี

Reducing the Environmental Impact of Rice Cultivation by Site-Specific Nutrients Management and using Chicken Manure in Combination with Chemical Fertilizers

อภิษฐา ศรีแสงอ่อน (Apichaya Srisang-on)* คณิดา ตั้งคณานุรักษ์ (Kanita Tungkananuruk)**

ดร.ดาวจรัส เกตุโรจน์ (Dr.Daojarus Ketrot)*** ดร.สุธี จรรยาสุทธีวงศ์ (Dr.Suthee Janyasuthiwong)****

(Received: July 30, 2020; Revised: September 7, 2020; Accepted: October 1, 2020)

บทคัดย่อ

การปลูกข้าวทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้ำและดินเนื่องจากการใช้ปุ๋ยเคมีในปริมาณมาก งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้การจัดการธาตุอาหารพืชเฉพาะพื้นที่ และคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของดินสำหรับการปลูกข้าวในพื้นที่ตำบลบ้านข่อย อำเภอเมือง จังหวัดลพบุรี ด้วยแอปพลิเคชันคำนวณการใช้ปุ๋ยสั่งตัดและปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน (Fertilizer Usage Calculator by soil Analysis, FCS) ผลการวิเคราะห์ดินพบว่าปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด และฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับต่ำ และโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับปานกลาง จากนั้นคำนวณด้วยแอปพลิเคชัน FCS พบว่าได้ปุ๋ยสูตร คือ 6 - 5 - 3 (ปุ๋ยยูเรีย (46 - 0 - 0), ปุ๋ย DAP (18 - 46 - 0) และ ปุ๋ย MOP (0 - 0 - 60)) และในการเติมปุ๋ยครั้งที่ 1 ใส่ปุ๋ยอัตรา 3 11 และ 5 กิโลกรัมต่อไร่ และครั้งที่ 2 เติมปุ๋ยยูเรีย 7 กิโลกรัมต่อไร่ นอกจากนี้ยังใช้มูลไก่เป็นทางเลือกแทนปุ๋ยเคมีในแต่ละชุดการทดลอง ผลการวิจัยพบว่าปุ๋ยสั่งตัดร้อยละ 75 ร่วมกับมูลไก่อ้อยู่ที่ 25 ให้ผลผลิตสูงสุดเท่ากับ 520.30 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งการศึกษานี้สามารถลดการใช้ปุ๋ยเคมีลงได้ 20.50 กิโลกรัมต่อไร่ เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการปลูกข้าวตามปกติและสามารถช่วยลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมได้

ABSTRACT

The cultivation of rice caused the water and soil environmental impact due to using large amount of chemical fertilizers. This research aimed to use site-specific nutrients management, soil physical and chemical properties for the rice cultivation in Ban Khoi Subdistrict, Muang District, Lopburi Province by Fertilizer Usage Calculator by Soil Analysis (FCS). The soil analysis results revealed that the value of Total Nitrogen and Available Phosphorus (P) were low and Available Potassium (K) was moderate. After that, calculating with application FCS revealed that the fertilizer formula was 6 - 5 - 3 (Urea (46 - 0 - 0), DAP (18 - 46 - 0) and MOP (0 - 0 - 60)) and the fertilizer ratio was 3, 11 and 5 kg/rai at the 1st fertilizer addition and the 2nd fertilizer addition was urea 7 kg/rai. Addition, the variable chicken manure was used as alternative chemical fertilizer in treatments. The results showed that 75% tailor-made fertilizer with 25% chicken manure gave the highest productivity at 520.30 kg/rai. This study shown that it was able to reduce fertilizer usage at 20.50 kg/rai when compared to the rice conventional irrigation and also reduce environmental impact.

คำสำคัญ: ข้าว การจัดการธาตุอาหารพืชเฉพาะพื้นที่ มูลไก่

Keywords: Rice, Site - specific nutrients management, Chicken manure

¹Corresponding author: suthee.ja@ku.th

*นักศึกษา หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

**รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

***ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

****อาจารย์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

บทนำ

ข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย แต่พื้นที่การปลูกข้าวกลับลดลงเหลือ 10 ล้านไร่ [1] ซึ่งมาจากการที่ประเทศไทยปลูกข้าวติดต่อกันเป็นเวลานานส่งผลให้ดินเสื่อมโทรม ไม่มีการปรับปรุงบำรุงดิน สูญเสียหน้าดิน การใช้ปุ๋ยเคมี และสารกำจัดศัตรูพืช ทำให้สมบัติทางกายภาพและเคมีของดินเสื่อมโทรมส่งผลต่อการเจริญเติบโตของข้าวทั้งด้านปริมาณและคุณภาพ การผลิตข้าวเปลือก 1 ตัน ข้าวต้องการธาตุอาหารไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมเท่ากับ 15 - 24, 3 - 6 และ 15 - 50 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ [2] เพื่อให้ข้าวเจริญเติบโตและได้ผลผลิตสูง ธาตุอาหารเป็นส่วนที่ได้จากดินแสดงว่าดินต้องมีปริมาณธาตุอาหารหลักไม่น้อยกว่าที่กล่าวมาข้างต้นเพื่อให้เพียงพอต่อการผลิตข้าว แต่ปัจจุบันดินนาที่มีความเสื่อมโทรมส่งผลให้เกษตรกรจึงมีการใช้ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์ประเภทปุ๋ยคอกเพื่อเป็นแหล่งธาตุอาหารให้พืชโดยพืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการเจริญเติบโตได้ ได้แก่ ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) และโพแทสเซียม (K) ซึ่งปุ๋ยเคมีที่เกษตรกรเลือกใช้คือ สูตร 16 - 20 - 0 และสูตร 46 - 0 - 0 แต่จะเห็นว่าเกษตรกรไม่มีการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารหลักในดินก่อนปลูกข้าว ทำให้เกษตรกรใส่ปุ๋ยในอัตราที่มากเกินไปเกินความต้องการของพืชและยังเป็นการเสียค่าใช้จ่ายในการซื้อปุ๋ยเคมีที่เกินความจำเป็น ซึ่งสอดคล้องกับการนำเข้าปุ๋ยเคมีที่เพิ่มขึ้นในปี 2558 - 2562 มีการนำเข้าปุ๋ยเคมีสูตร 16 - 20 - 0 มากกว่า 3 แสนตัน และปุ๋ยสูตร 46 - 0 - 0 มากกว่า 2 ล้านตัน ส่วนปุ๋ยสูตร 18 - 46 - 0 และ 0 - 0 - 60 มีการนำเข้ามากกว่า 4 แสนตัน และ 7 แสนตัน ตามลำดับ [3] การใส่ปุ๋ยเคมีปริมาณมากนั้นส่งผลต่อคุณภาพดินและสิ่งแวดล้อม ได้แก่ ดินแน่น ระบายน้ำไม่ดี ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินนั้นลดลง ทำให้พืชไม่สามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตได้อย่างเต็มที่ ธาตุอาหารส่วนเกินจึงถูกชะละลายออกสู่สิ่งแวดล้อม [4]

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะศึกษาสูตรปุ๋ยและอัตราปุ๋ยเคมีโดยใช้เทคโนโลยีการจัดการธาตุอาหารพืชเฉพาะพื้นที่ (Site-Specific Nutrient Management) หรือปุ๋ยสั่งตัด ซึ่งเป็นเทคโนโลยีสำหรับคำนวณสูตรปุ๋ย ปริมาณการใช้ปุ๋ยต่อพื้นที่หรืออัตราปุ๋ยเคมีที่เหมาะสม ช่วยลดต้นทุนโดยเฉพาะด้านค่าใช้จ่ายปุ๋ยเคมี รวมถึงเป็นการนำเสนอแอปพลิเคชันในการเพาะปลูกให้กับเกษตรกรเนื่องจากเกษตรกรมีการเพาะปลูกแบบดั้งเดิมและยังขาดความเข้าใจในการจัดการการเพาะปลูก อีกทั้งเพิ่มทางเลือกในการนำปุ๋ยอินทรีย์ประเภทปุ๋ยคอกมาใช้ในการปลูกข้าวแบบเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมของดินและน้ำ เพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโตทั้งด้านปริมาณและคุณภาพของข้าว ซึ่งการใช้ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยคอกในอัตราที่เหมาะสมนั้นช่วยป้องกันการเสื่อมโทรมของดิน ทำให้การปนเปื้อนของธาตุอาหารในดินและชะละลายสู่แหล่งน้ำน้อยที่สุด และเป็นแนวทางในการปลูกข้าวที่ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ต่อไป

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาปริมาณปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์ที่เหมาะสมต่อการปลูกข้าวของพื้นที่ศึกษาโดยใช้สมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน และเทคโนโลยีการจัดการธาตุอาหารพืชเฉพาะพื้นที่หรือปุ๋ยสั่งตัด
2. เพื่อศึกษาการเจริญเติบโตของข้าวและผลผลิตที่ได้จากการปลูกข้าวโดยใช้เทคโนโลยีการจัดการธาตุอาหารพืชเฉพาะพื้นที่

วิธีการวิจัย

1. สมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน

เก็บตัวอย่างดินในพื้นที่ตำบลบ้านข่อย อำเภอเมือง จังหวัดลพบุรี ที่ระดับความลึก 0 - 20 เซนติเมตร หรือชั้นไทรพรวน ทั้งหมด 5 จุด นำไปคลุกเคล้าให้ทั่วแล้วแบ่งให้แห้ง บดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร นำมาวิเคราะห์

สมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน ได้แก่ เนื้อดิน (soil texture) ด้วยวิธีปิเปต (pipette method) [5] ค่าความเป็นกรด - ด่าง (pH) โดยใช้อัตราส่วน ดิน:น้ำ เท่ากับ 1:5 w/v วัดด้วย pH meter อินทรีย์วัตถุ (organic matter) โดยวิธีวิเคราะห์ Walkley and Black [6] ไนโตรเจนทั้งหมด (Total N) ด้วยวิธี Kjeldahl method [7] ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (Available P) โดยวิธีการสกัดดินด้วยน้ำยาสกัด Bray II วัดด้วยเครื่อง UV - Spectrophotometer [8] โปแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable K) โดยการสกัดด้วย 1.0 M NH_4OAc pH 7 วัดด้วย Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) [9]

2. การวิเคราะห์ธาตุอาหารในปุ๋ยอินทรีย์ประเภทปุ๋ยคอก

นำปุ๋ยคอกทั้งหมด 3 ประเภท ได้แก่ มูลไก่ มูลสุกร และมูลโค มาวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ไนโตรเจนทั้งหมด ด้วยวิธี Kjeldahl method และเตรียมปุ๋ยคอกในรูปสารละลายโดยย่อยด้วยกรดไนตริกเข้มข้น (conc. HNO_3) เพื่อนำไปวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total P) ด้วยวิธีทำให้เกิดสีด้วยน้ำยา Barton's reagent และตรวจวัดด้วยเครื่อง UV - Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร และโปแทสเซียมทั้งหมด (Total K) ด้วยเทคนิคการแปลงแสงโดยเปลวไฟ [10]

3. การจัดการธาตุอาหารพืชเฉพาะพื้นที่หรือปุ๋ยสั่งตัด

วิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช และโปแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ โดยประเมินระดับธาตุอาหารในดิน นำเข้าสู่การจัดการธาตุอาหารพืชเฉพาะพื้นที่หรือปุ๋ยสั่งตัดด้วยแอปพลิเคชันคำนวณการใช้ปุ๋ยสั่งตัดและปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน (Fertilizer Usage Calculator by Soil Analysis, FCS) จากศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (National Electronics and Computer Technology Center, NECTEC) [11] แล้วนำไปใช้คำนวณปริมาณปุ๋ยเคมีและปุ๋ยคอกตามอัตราส่วนที่แตกต่างกัน เพื่อเป็นแนวทางให้เกษตรกรนำไปประยุกต์ใช้

4. วางแผนการทดลอง

วางแผนทดลองโดยใช้การจัดกลุ่มทดลองแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ (Randomized complete block design, RCBD) ซึ่งประกอบด้วย 7 ชุดทดลอง แต่ละชุดทดลองทำ 3 ซ้ำ แบ่งใส่ปุ๋ย 2 ครั้ง คือ ครั้งที่ 1 ปุ๋ยที่เกษตรกรใช้คือสูตร 16 - 20 - 0 และครั้งที่ 2 ปุ๋ยยูเรีย (46 - 0 - 0) ส่วนการจัดการธาตุอาหารพืชเฉพาะพื้นที่หรือปุ๋ยสั่งตัดครั้งที่ 1 จะใส่ปุ๋ยยูเรีย (46 - 0 - 0) ปุ๋ย DAP (18 - 46 - 0) และปุ๋ย MOP (0 - 0 - 60) และครั้งที่ 2 ใช้ปุ๋ยยูเรีย (46 - 0 - 0) ร่วมกับมูลไก่ ดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 ดินนา (ชุดควบคุม)

ชุดการทดลองที่ 2 ดินนา + ปุ๋ยเคมีสูตร (16 - 20 - 0)

ชุดการทดลองที่ 3 ดินนา + ปุ๋ยสั่งตัดร้อยละ 100

ชุดการทดลองที่ 4 ดินนา + ปุ๋ยสั่งตัดร้อยละ 75 + มูลไก่ร้อยละ 25

ชุดการทดลองที่ 5 ดินนา + ปุ๋ยสั่งตัดร้อยละ 50 + มูลไก่ร้อยละ 50

ชุดการทดลองที่ 6 ดินนา + ปุ๋ยสั่งตัดร้อยละ 25 + มูลไก่ร้อยละ 75

ชุดการทดลองที่ 7 ดินนา + มูลไก่ร้อยละ 100

5. การเพาะปลูกข้าว

เตรียมชุดทดลองโดยใช้กระถางขนาด 12 นิ้ว จำนวน 21 ใบ นำดินพื้นที่ตำบลบ้านข่อย อำเภอเมือง จังหวัดลพบุรี มาบดและผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน ทำการซังดินใส่กระถางเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 นิ้ว ตามชุดทดลองที่เตรียมไว้ และเติมน้ำให้ดินอิ่มตัวด้วยน้ำจนเป็นโคลนเพื่อเตรียมสภาพให้เหมาะสมสำหรับการปลูกข้าว โดยการนำเมล็ดข้าวพันธุ์ กข 43 แช่น้ำ 24 ชั่วโมง และหุ้มเมล็ดพันธุ์ด้วยกระสอบให้มีความชุ่มชื้น รดน้ำให้ชุ่มบ่มเมล็ดพันธุ์ 30 - 48 ชั่วโมง จนเมล็ดข้าวมีรากงอกออกมาจากนั้นนำเมล็ดข้าวไปเพาะในกระบะเพาะกล้า เมื่อครบ 20 วัน นำกล้ามาปักดำในกระถางละ

3 ต้นต่อกระถาง (1 กอต่อกระถาง) จากนั้นเตรียมปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยมูลไก่ตามอัตราส่วนที่กำหนดไว้ ทำการใส่ปุ๋ยครั้งที่ 1 หลังปลูกข้าว 33 วัน (ระยะข้าวแตกกอ) และครั้งที่ 2 หลังปลูกข้าว 60 วัน (ระยะเริ่มสร้างช่อดอกหรือเริ่มตั้งท้อง) และตลอดระยะเวลาการปลูกต้องรักษาระดับน้ำ 5 - 10 เซนติเมตร และกำจัดวัชพืชออกจากกระถางทดลอง

6. การวัดการเจริญเติบโตและผลผลิตข้าว

สังเกตการเปลี่ยนแปลงและวัดการเจริญเติบโตของข้าวด้านความสูง (เซนติเมตร) การแตกกอ (จำนวนหน่อต่อกอ) ในระยะแตกกอ ด้านผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิต ได้แก่ จำนวนรวงต่อกอ น้ำหนักเมล็ดดี 100 เมล็ด และผลผลิตข้าว (กิโลกรัมต่อไร่) ในระยะเก็บเกี่ยว

7. การวิเคราะห์คุณภาพน้ำใช้ในการปลูกข้าว

วิเคราะห์คุณภาพน้ำที่เก็บในการปลูกข้าวก่อนระยะเก็บเกี่ยว ได้แก่ ไนเตรท และฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โดยเก็บน้ำในจานรองกระถางทดลองทั้ง 21 กระถาง นำมาวิเคราะห์ไนเตรทด้วยวิธี Brucine Method และฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ด้วยวิธี Ascorbic method โดยเครื่อง UV - Spectrophotometer [12, 13]

8. การวิเคราะห์ทางสถิติข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยเพื่อจัดกลุ่มข้อมูลด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ผลและอภิปรายผลการวิจัย

1. ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน

ตัวอย่างดินจากพื้นที่ตำบลบ้านข่อย อำเภอเมือง จังหวัดลพบุรี เป็นชุดดินสิงห์บุรี (Sing Buri: Sin) มีเนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง (silty clay loam) ประกอบด้วยอนุภาคทราย (sand) อนุภาคทรายแป้ง (silt) และอนุภาคดินเหนียว (clay) ร้อยละ 14.78 48.09 และ 37.13 ตามลำดับ และสมบัติทางเคมีดังตารางที่ 1 เป็นกรดเล็กน้อย ปริมาณอินทรีย์วัตถุค่อนข้างสูง ซึ่งบ่งบอกถึงความอุดมสมบูรณ์ของดินว่ามีความสามารถในการกักเก็บธาตุอาหารพืช (nutrient reserve) และความสามารถในการปลดปล่อยธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (nutrient release) โดยปริมาณธาตุอาหารหลักที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์สำหรับการเจริญเติบโต ได้แก่ ไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียม ($\text{NH}_4^+ - \text{N}$) และไนเตรท ($\text{NO}_3^- - \text{N}$) หรือไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ในดิน (available nitrogen) แต่ปริมาณไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ในดินนั้นมีในปริมาณน้อยและสามารถเปลี่ยนรูปได้ง่าย จึงต้องแสดงในรูปไนโตรเจนทั้งหมด (total nitrogen) พบว่าไนโตรเจนทั้งหมดอยู่ในระดับต่ำ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในรูปไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (H_2PO_4^-) และไฮโดรเจนฟอสเฟต (HPO_4^{2-}) ค่า และโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (K^+) อยู่ในระดับปานกลาง ซึ่งได้มีรายงานความเข้มข้นของธาตุอาหารในระยะต่าง ๆ ของข้าว ซึ่งระยะแตกกอความเข้มข้นของธาตุอาหารที่เพียงพอไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมเท่ากับ ร้อยละ 2.80 - 3.60 0.14 - 0.27 1.50 - 2.70 ตามลำดับ และระยะสร้างช่อดอกความเข้มข้นของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม คือ ร้อยละ 3.00 - 3.40 0.18 - 0.29 และ 1.50 - 2.70 ตามลำดับ [14] แต่จากการวิเคราะห์คุณสมบัติดินเบื้องต้นก่อนการปลูกข้าวมียังมีปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในดินนั้นไม่เพียงพอต่อความต้องการของข้าวทั้งในระยะแตกกอและการสร้างช่อดอก

ตารางที่ 1 สมบัติทางกายภาพและเคมีของดินก่อนปลูกข้าว

พารามิเตอร์	หน่วย	ปริมาณที่ตรวจวัดได้
1. การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ		
1.1 เนื้อดิน		
อนุภาคทราย (sand)	ร้อยละ (%)	14.78
อนุภาคทรายแป้ง (silt)	ร้อยละ (%)	48.09
อนุภาคดินเหนียว (clay)	ร้อยละ (%)	37.13
2. การวิเคราะห์สมบัติทางเคมี		
2.1 ค่าความเป็นกรด - ด่าง (pH)	-	6.56
2.2 ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (Organic matter)	ร้อยละ (%)	2.76
2.3 ไนโตรเจนทั้งหมด (Total nitrogen)	ร้อยละ (%)	0.15
2.4 ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available Phosphorus)	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (mg/kg)	9.65
2.5 โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (Exchangeable potassium)	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (mg/kg)	105.02

2. ผลการศึกษาการจัดการธาตุอาหารพืชเฉพาะพื้นที่หรือปุ๋ยสั่งตัด

คำแนะนำการใช้ปุ๋ยจากแอปพลิเคชันคำนวณการใช้ปุ๋ยสั่งตัดและปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน (Fertilizer Usage Calculator by soil Analysis, FCS) ในการคำนวณปริมาณปุ๋ยเคมีที่เหมาะสมและเพียงพอต่อการใช้สำหรับเกษตรกรต่อการปลูกข้าว 1 รอบ ซึ่งการทำงานจะแบ่งใส่ปุ๋ย 2 ครั้ง โดยการใส่ปุ๋ยครั้งที่ 1 ใส่หลังปักดำ 15 - 20 วัน ระยะกล้าหรือระยะแตกกอจะใส่แม่ปุ๋ย ได้แก่ ปุ๋ยยูเรีย (46 - 0 - 0) ปุ๋ย DAP (18 - 46 - 0) และปุ๋ย MOP (0 - 0 - 60) เพื่อเร่งการเจริญเติบโตของรากและลำต้นให้แข็งแรงสำหรับการแตกหน่อใหม่ในระยะแตกกอ และการใส่ปุ๋ยครั้งที่ 2 ในระยะสร้างรวงอ่อนหรือระยะตั้งท้องนั้นใส่ปุ๋ยยูเรียเพื่อสร้างรวงให้แข็งแรงสมบูรณ์ เมล็ดเต็มและเมล็ดต่อรวงมาก ซึ่งการจัดการธาตุอาหารพืชเฉพาะพื้นที่ของตัวอย่างดินชุดดินสิงห์บุรีนั้นใช้สูตรปุ๋ย 6 - 5 - 3 โดยครั้งที่ 1 ใช้ปุ๋ยยูเรีย (46 - 0 - 0) ปุ๋ย DAP (18 - 46 - 0) และปุ๋ย MOP (0 - 0 - 60) อัตรา 3 11 และ 5 กิโลกรัมต่อไร่ และครั้งที่ 2 ใช้ปุ๋ยยูเรีย (46 - 0 - 0) อัตรา 7 กิโลกรัมต่อไร่ (ตารางที่ 2) จะเห็นได้ว่าปุ๋ยสำหรับนาข้าวจากการจัดการธาตุอาหารพืชเฉพาะพื้นที่นั้นใช้ปุ๋ยปริมาณน้อยกว่าปุ๋ยเคมีที่เกษตรกรใช้ คือ ครั้งที่ 1 คือ ปุ๋ยสูตร 16 - 20 - 0 อัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ และครั้งที่ 2 ปุ๋ยยูเรีย (46 - 0 - 0) อัตรา 10 กิโลกรัมต่อไร่

ตารางที่ 2 การจัดการธาตุอาหารพืชเฉพาะพื้นที่ของดินนา

ชุดดิน	สูตรปุ๋ย	อัตราการใส่ปุ๋ย (กิโลกรัม/ไร่)			
		ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2	
		46 - 0 - 0	18 - 46 - 0	0 - 0 - 60	46 - 0 - 0
ชุดดินสิงห์บุรี	6-5-3	3	11	5	7

3. ผลการศึกษาปริมาณธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์ประเภทปุ๋ยคอก

ปุ๋ยอินทรีย์ประเภทปุ๋ยคอกที่นำมาวิเคราะห์ธาตุอาหาร ได้แก่ มูลไก่ มูลสุกร และมูลโค พบว่าปุ๋ยคอกทั้ง 3 ชนิดมีปริมาณธาตุอาหารที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการเจริญเติบโตของพืชดังตารางที่ 3 โดยมูลไก่มีปริมาณธาตุอาหารมากที่สุด รองลงมาเป็นมูลโค และมูลสุกร ตามลำดับ ซึ่งปุ๋ยคอกมีธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง อินทรีย์วัตถุ ที่ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช ปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน ช่วยให้ดินมีการระบายน้ำที่ดี ลดการชะล้างพังทลายของดินหรือรักษาหน้าดินด้วยการเพิ่มความคงทนแก่เม็ดดิน ส่งเสริมกิจกรรมของจุลินทรีย์ ให้มีประสิทธิภาพเพราะเป็นแหล่งธาตุอาหารของจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ในดิน [15] สอดคล้องกับการศึกษาปุ๋ยอินทรีย์กับการปรับปรุงดินเสื่อมคุณภาพพบว่ามูลสัตว์แต่ละชนิดจะมีปริมาณธาตุอาหารหลักที่แตกต่างกัน ซึ่งปริมาณธาตุอาหารหลักในมูลสัตว์ที่มีมากที่สุด คือ มูลค่างควา รองลงมาเป็น มูลไก่ และมูลสุกร ตามลำดับ ปุ๋ยคอกแต่ละชนิดมีปริมาณธาตุอาหารที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ ชนิดของอาหารหรือคุณภาพอาหารที่ใช้เลี้ยงสัตว์แต่ละชนิดที่แตกต่างกัน อายุและขนาดของสัตว์ สภาพการเลี้ยง สภาพของการสะสมปุ๋ยคอก และสภาพการเก็บรักษา [16, 17]

ตารางที่ 3 ปริมาณธาตุอาหารในปุ๋ยอินทรีย์ประเภทปุ๋ยคอก

ธาตุอาหาร	หน่วย	มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์*	ประเภทปุ๋ยคอก		
			มูลไก่	มูลโค	มูลสุกร
Total N	ร้อยละ	ไม่น้อยกว่า 1.0	1.73	1.66	0.97
Total P ₂ O ₅	ร้อยละ	ไม่น้อยกว่า 0.5	2.46	0.47	1.27
Total K ₂ O	ร้อยละ	ไม่น้อยกว่า 0.5	3.09	2.05	1.03

ที่มา: *ประกาศกรมวิชาการเกษตร เรื่องมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2548 [18]

จากการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในปุ๋ยคอกที่กล่าวมาข้างต้นนั้น พบว่ามูลไก่มีปริมาณธาตุอาหารอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ เนื่องจากปุ๋ยมูลไก่ที่ได้นั้นมาจากอาหารที่ใช้เลี้ยงไก่ เช่น กากถั่วเหลือง ปลาป่น รำข้าวเปลือก เป็นต้น ซึ่งจะประกอบด้วยโปรตีน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมมากกว่าอาหารของสัตว์อื่น ๆ ทำให้มูลไก่มีธาตุอาหารหลักมากกว่าชนิดอื่น อีกทั้งพื้นที่ศึกษาอยู่ในภาคกลางที่มีการเลี้ยงไก่มากกว่า 250 ล้านตัว และมีการเลี้ยงไก่มากเป็นอันดับ 1 ของประเทศ ทำให้สามารถหาปุ๋ยมูลไก่ได้ง่าย ประหยัดค่าใช้จ่าย และเป็นการนำเอาวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาใช้ประโยชน์ได้ ดังนั้นมูลไก่จึงมีความเหมาะสมสำหรับการนำมาใช้เป็นปุ๋ยในการปลูกข้าวของพื้นที่ศึกษา [19-20]

4. ผลการศึกษาการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวพันธุ์กข 43

จากการศึกษาการเจริญเติบโตและผลผลิตข้าวพันธุ์กข 43 ดังตารางที่ 4 พบว่าการเจริญเติบโตด้านความสูงที่วัดและบันทึกความสูงตั้งแต่ระดับส่วนเหนือดินจนถึงปลายรวงที่ระยะ 102 วัน (ระยะเก็บเกี่ยว) ของข้าวแต่ละชุดการทดลองนั้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) มีความสูงในช่วง 95.00 - 111.00 เซนติเมตร โดยชุดการทดลองที่ 4 ดินนา + ปุ๋ยสังเคราะห์ร้อยละ 75 + มูลไก่ร้อยละ 25 มีความสูงมากที่สุดเท่ากับ 110.27 เซนติเมตร และได้ผลผลิตมากกว่าชุดการทดลองอื่น ด้านการแตกหน่อหรือจำนวนหน่อต่อกระถางโดยเก็บข้อมูลที่อายุ 60 วันหลังออก (ระยะแตกกอ) จำนวนรวงข้าว และน้ำหนักเมล็ดดี 100 เมล็ด พบว่าแต่ละชุดการทดลองนั้นไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยทุกชุดการทดลองมีค่าเฉลี่ยของข้าวมีการแตกหน่ออยู่ในช่วง 7 - 10 ต้น/กระถาง ออก

รวง 7 - 9 รวง/กระถาง และน้ำหนักเมล็ดดี 2.34 - 2.47 กรัม/100 เมล็ด ซึ่งชุดการทดลองที่ 4 ดินนา + ปุ๋ยสังคัร้อยละ 75 + มูลไก่ร้อยละ 25 ข้าวมีการแตกหน่อ 10 ต้น/กระถาง และมี 9 รวง/กระถาง มากกว่าชุดการทดลองอื่น แต่ในทางกลับกันชุดการทดลองที่ 5 ดินนา + ปุ๋ยสังคัร้อยละ 50 + มูลไก่ร้อยละ 50 มีน้ำหนักเมล็ดดี 100 เมล็ดมากที่สุดเท่ากับ 2.47 กรัม และด้านผลผลิตข้าวพันธุ์กข 43 พบว่าทั้ง 7 ชุดการทดลองนั้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยชุดการทดลองที่ 4 ดินนา + ปุ๋ยสังคัร้อยละ 75 + มูลไก่ร้อยละ 25 ได้ผลผลิตมากที่สุด เท่ากับ 520.30 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งมากกว่าชุดการทดลองที่ 2 ดินนา + ปุ๋ยเคมีสูตร 16 - 20 - 0 และชุดการทดลองที่ 3 ดินนา + ปุ๋ยสังคัร้อยละ 100 เนื่องจากได้รับปุ๋ยเคมีซึ่งมีปริมาณธาตุอาหารที่เพียงพอและสามารถนำไปใช้ได้อย่างรวดเร็วโดยเฉพาะไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตหรือการแตกของยอด เพิ่มความสูง การออกดอก การพัฒนาของเมล็ดให้เต็มเมล็ด ผล และการสุกแก่ของข้าว และยังได้มูลไก่ร่วมด้วยซึ่งมูลไก่ช่วยปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของดิน ทำให้ดินร่วนซุย การอุ้มน้ำและถ่ายเทอากาศของดินและมูลไก่มีธาตุอาหารแต่ละปลดปล่อยออกมาช้า ๆ อย่างสม่ำเสมอ ดังนั้นชุดการทดลองที่ 4 ดินนา + ปุ๋ยสังคัร้อยละ 75 + มูลไก่ร้อยละ 25 ได้ผลผลิตต่อไร่มากที่สุด เช่นเดียวกับการใช้ปุ๋ยเคมีกับปุ๋ยคอกในการปลูกข้าวพบว่าการใช้ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียวให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตามได้มีการศึกษาการใช้ปุ๋ยคอกร่วมกับปุ๋ยเคมีในอัตรา 50 ต่อ 50 ซึ่งสามารถเพิ่มปริมาณผลผลิตจากร้อยละ 8.69 เป็นร้อยละ 9.70 และน้ำหนักแห้งของเมล็ดข้าวจากร้อยละ 4.76 เป็น 5.27 เนื่องจากการใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยคอกนั้นจะมีปริมาณธาตุอาหารสะสมในใบ กาบใบ รวงข้าว และเมล็ดได้มากกว่าการใช้ปุ๋ยเคมีเพียงชนิดเดียว [21] สอดคล้องกับการศึกษาการเจริญเติบโตของข้าวมีการดูดซึมธาตุอาหารไปสะสมในส่วนต่าง ๆ โดยช่วงข้าวอายุ 60 วัน จะมีปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม เท่ากับ 8.00 1.60 และ 19.20 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ ช่วงอายุข้าวอายุ 120 วัน จะมีปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม เท่ากับ 25.60 5.60 และ 43.20 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ [22] ซึ่งจะส่งผลต่อปริมาณธาตุอาหารในดินและน้ำที่จะถูกชะออกมาหลังจากการปลูกข้าวนั้นอธิบายในหัวข้อถัดไป

ตารางที่ 4 การเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวพันธุ์กข 43

ชุดการทดลอง	ความสูง (เซนติเมตร)	จำนวนหน่อ (ต้น/กระถาง)	จำนวนรวง (รวง/กระถาง)	น้ำหนักเมล็ดดี (กรัม/100 เมล็ด)	ผลผลิต (กิโลกรัม/ไร่)
1	104.00 ^c	8.00	7.00	2.43	380.08 ^c
2	102.00 ^c	7.00	9.00	2.42	461.16 ^{ab}
3	105.33 ^{bc}	8.00	8.00	2.34	486.94 ^{ab}
4	110.27 ^a	10.00	9.00	2.32	520.30 ^a
5	108.67 ^{ab}	8.00	8.00	2.47	456.52 ^{ab}
6	95.67 ^d	8.00	7.00	2.37	438.09 ^c
7	103.83 ^c	8.00	8.00	2.34	504.13 ^{ab}
F-test	*	ns	ns	ns	*
% CV	4.63	20.73	13.80	3.39	12.07

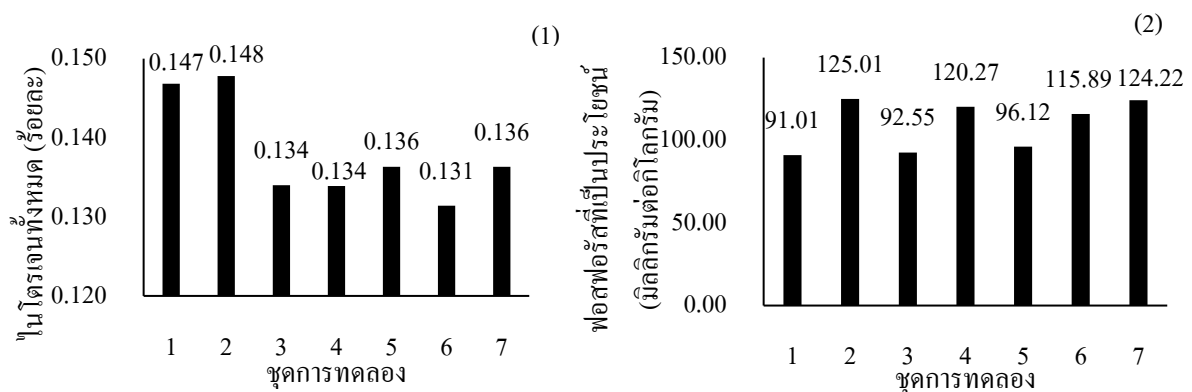
หมายเหตุ: * คือ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)
ns คือ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

จะเห็นได้ว่าการใช้ปุ๋ยเคมีสูตร 16 - 20 - 0 เป็นปุ๋ยที่เกษตรกรใช้ทั่วไปในการปลูกข้าว ครั้งที่ 1 อัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ และปุ๋ยยูเรีย (46 - 0 - 0) ครั้งที่ 2 อัตรา 10 กิโลกรัมต่อไร่ เปรียบเทียบกับการจัดการธาตุอาหารพืชเฉพาะพื้นที่ด้วยปุ๋ยเคมี และมูลไก่ โดยอัตราส่วนตามชุดการทดลองในการปลูกข้าวพบว่าการใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับมูลไก่ในอัตราร้อยละ 75 และร้อยละ 25 ที่ได้ผลผลิตต่อไร่สูงที่สุด และเป็นการช่วยลดปริมาณปุ๋ยเคมีที่เกษตรกรใช้ร้อยละ 25 ช่วยลดต้นทุนค่าปุ๋ยเคมีไปร้อยละ 25 เมื่อเทียบกับต้นทุนปกติ และนอกจากนี้เกษตรกรยังสามารถใช้สัดส่วนตามชุดการทดลองที่ 5 ดินนา + ปุ๋ยสังคักร้อยละ 50 + มูลไก่ร้อยละ 50 หรือชุดการทดลองที่ 7 ดินนา + มูลไก่ร้อยละ 100 ได้เนื่องจากเป็นการลดปริมาณปุ๋ยเคมี ช่วยลดต้นทุนการทำนา และในพื้นที่ที่มีการเลี้ยงไก่มากทำให้สามารถนำมูลไก่ซึ่งเป็นของเสียจากด้านการเกษตรมาใช้ประโยชน์จะนำไปสู่การลดปริมาณของเสียลง และเป็นการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้ำและดินได้

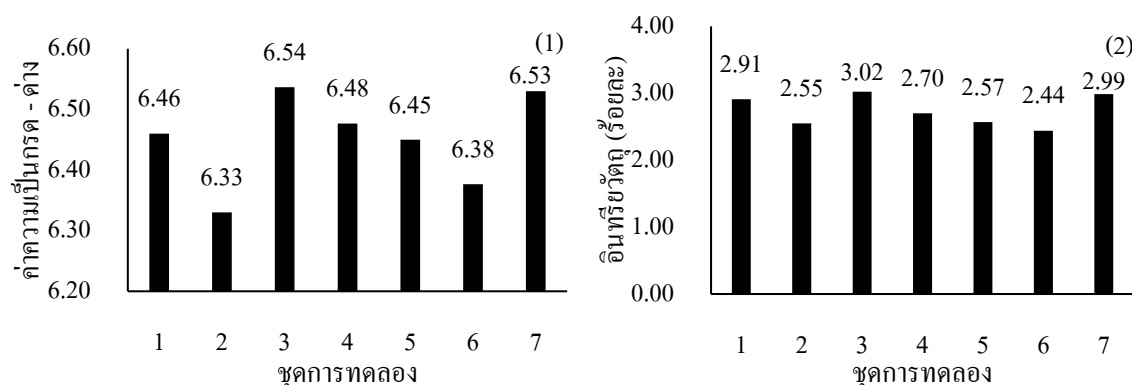
5. ผลการศึกษามัถดินและคุณภาพน้ำหลังการปลูกข้าว

5.1 สมบัติดินหลังการปลูกข้าว

ผลการวิเคราะห์สมบัติดินหลังปลูกข้าว พบว่าไนโตรเจนทั้งหมดของทั้ง 7 ชุดการทดลองอยู่ในระดับต่ำ (ร้อยละ 0.1 - 0.3) และฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับสูงมาก (> 45 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) โดยชุดการทดลองที่ 2 คือ ดินนาที่เติมปุ๋ยเคมีสูตร 16 - 20 - 0 ซึ่งเป็นปุ๋ยเคมีตามปกติที่เกษตรกรใช้นั้นมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดและฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินมากที่สุด ดังภาพที่ 1 แต่ในทางกลับกันการคงเหลือของไนโตรเจนทั้งหมดและฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินของชุดการทดลองที่ 3 4 5 6 และ 7 นั้นน้อยกว่า แสดงให้เห็นว่าการใช้ปุ๋ยเคมีในปริมาณน้อยกว่าอัตราที่เกษตรกรใช้จะส่งผลให้การคงเหลือของธาตุอาหารในดินน้อยกว่าแต่ก็สามารถให้ผลผลิตมากกว่าการใช้ปุ๋ยตามปกติที่เกษตรกรใช้ (ตารางที่ 4) โดยชุดการทดลองที่ 4 เป็นชุดการทดลองที่ได้ผลผลิตข้าวสูงสุดในส่วนของค่าพีเอชของดินอยู่ในช่วง 6.33 - 6.54 มีความเป็นกรดปานกลาง และอินทรียวัตถุอยู่ในช่วงร้อยละ 2.44 - 3.02 อยู่ในระดับปานกลางถึงค่อนข้างสูง แต่ในระยะยาวการใช้ปุ๋ยเคมีมากเกินไปส่งผลให้ค่ากรด-ด่างของดินนั้นลดลงจนดินมีสภาพเป็นกรด และอินทรียวัตถุในดินนั้นลดลง (ภาพที่ 2) มีผลทำให้ดินไม่เกาะตัวและแข็ง



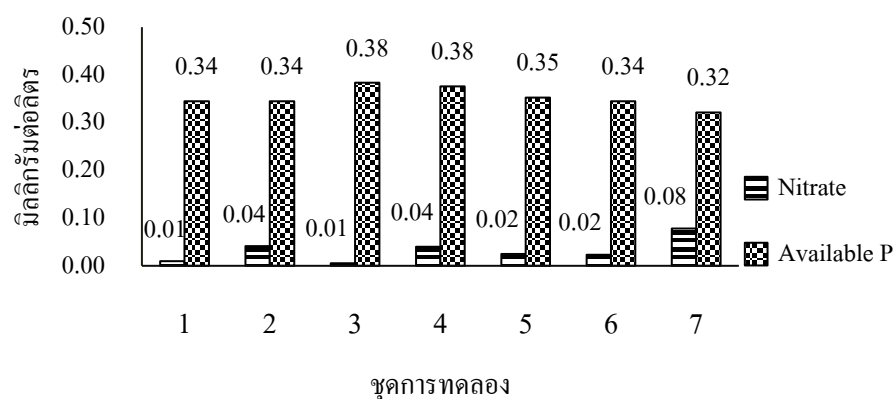
ภาพที่ 1 สมบัติดิน (1) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด และ (2) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดินหลังการปลูกข้าว



ภาพที่ 2 สมบัติดิน (1) ค่าความเป็นกรด – ด่าง และ (2) อินทรีย์วัตถุในดินหลังการปลูกข้าว

5.2 คุณภาพน้ำหลังการปลูกข้าว

น้ำชะที่เกิดจากการปลูกข้าวในระยะเก็บเกี่ยวข้าวโดยใช้ปุ๋ยเคมีกับมูลไก่ พบว่าปริมาณไนเตรทและฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ทั้ง 7 จุดการทดลองถูกชะออกมาอยู่ในช่วง 0.01 - 0.08 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 0.32 - 0.38 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (ภาพที่ 3) ในจุดการทดลองที่ 7 ดินนา + มูลไก่ร้อยละ 100 พบปริมาณไนเตรทสูงที่สุดคือ 0.08 มิลลิกรัมต่อลิตร เนื่องจากมูลไก่เป็นปุ๋ยอินทรีย์ซึ่งพืชสามารถนำธาตุอาหารจากมูลไก่ไปใช้ได้ช้ากว่าปุ๋ยเคมีส่งผลให้ถูกชะออกมากับน้ำในปริมาณที่มากกว่าปุ๋ยเคมี แต่เมื่อเปรียบเทียบจุดการทดลองที่มีการใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับมูลไก่ พบว่าในดินนาที่เติมปุ๋ยสูตร 16 - 20 - 0 และในดินนาที่เติมปุ๋ยสังเคราะห์ร้อยละ 75 ร่วมกับมูลไก่ร้อยละ 25 มีปริมาณไนเตรทรองลงมา คือ 0.04 มิลลิกรัมต่อลิตร เนื่องจากมีการใส่ปุ๋ยเคมีที่มีสารประกอบไนโตรเจนในปริมาณมาก (ปุ๋ยสูตร 16 - 20 - 0 และปุ๋ยยูเรีย) อีกทั้งยังพบปริมาณฟอสฟอรัสทั้ง 7 จุดการทดลองนั้นอยู่ในช่วง 0.32 - 0.38 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีรายงานว่าหากในน้ำมีไนเตรทและฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์มากกว่า 0.30 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 0.10 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ จะส่งผลให้เกิดปรากฏการณ์น้ำเขียว (Eutrophication) ได้ ซึ่งจากการวิจัยพบว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในน้ำชะมีค่าอยู่ในช่วงที่มีโอกาสทำให้เกิดการเน่าเขียวในแหล่งน้ำได้ แต่อย่างไรก็ตามปรากฏการณ์นี้ต้องอาศัยปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ ร่วมด้วย เช่น ปริมาณไนเตรท แสงแดด เป็นต้น [23]



ภาพที่ 3 ปริมาณไนเตรทและฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในน้ำชะจากการปลูกข้าว

สรุปผลการวิจัย

จากผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีดินพบว่าปริมาณธาตุอาหารหลักในดินมีปริมาณธาตุอาหารไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืช จึงต้องมีการใส่ปุ๋ยเคมีหรือปุ๋ยคอกในการเพิ่มปริมาณธาตุอาหารในดิน โดยการจัดการธาตุอาหารพืชเฉพาะพื้นที่หรือปุ๋ยสั่งตัด และสามารถลดปัญหาการชะละลายจากการใช้ปุ๋ยเคมีที่มากเกินไปเกินความต้องการของพืช นอกจากนี้ปุ๋ยมูลไก่อังเป็นทางเลือกในการปลูกข้าวเนื่องจากปุ๋ยมูลไก่สามารถปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของดิน และเป็นแหล่งธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ของพืช แต่จะมีการปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาช้า ๆ อย่างสม่ำเสมอ จึงต้องมีการใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยมูลไก่เพื่อปรับปรุงสมบัติทางกายภาพและเคมีของดินในการปลูกข้าวให้ได้ผลผลิตมากที่สุด ดังนั้นการใช้ปุ๋ยสั่งตัดของปุ๋ยเคมีและมูลไก่อ่วมกันในการปลูกข้าวจะให้ผลผลิตต่อไร่มากที่สุด และยังเป็นการลดปริมาณปุ๋ยเคมีที่ใช้ ลดการชะละลายธาตุอาหารส่วนเกินที่จะปนเปื้อนและส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนสนับสนุนการวิจัยและห้องปฏิบัติการ คณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และบริษัท อัครจรีนา จำกัด

เอกสารอ้างอิง

1. Office of Agricultural Economics. Agricultural economics database [Internet]. 2019. Available from: <http://www.oae.go.th/>
2. Wannasai C. Management of primary nutrients in rice fields. Bangkok: Department of Agriculture; 2004. Thai.
3. Office of Agricultural Economics. Quantity and value of import chemical fertilizers [Internet]. 2020 [update 2020 Apr 1; cited 2020 Nov 20]. Available from: <http://www.oae.go.th/view/1/>
4. Kaweewong J. Nitrogen management for Hom - nin rice production grown on Mea Tha soil series. Khon Kaen Agr J. 2020; 48(1): 189 - 200. Thai.
5. Jaroenchasri R. Preliminary analytical method of physical properties of soils. Bangkok: Department of soil science, faculty of Agriculture, Kasetsart University; 2017. Thai.
6. Walkley A, Black IA. Chromic acid titration method for determination of soil organic matter. Soil. Sci. Amer. Proc. 1947; 63: 257.
7. Bremner JM, Nitrogen-Total. In: Sparks DL, Pang AL, Helmke PA, Loeppert RH, Soltanpour PN, Tabatabai MA, Johnston CT, Sumner M, editors. Method of soil analysis part 3: Chemical method. Madison, Wisconsin. USA: Soil Sci. Soc. of Am. Inc.; 1996.
8. Bray RH, Kurtz LT. Determination of total, organic, and available forms of phosphorus in soils. Soil Sci. 1945; 59: 9-45.
9. Pratt PF. Potassium. In: Norman AG, editors. Method of soil analysis Part 2: Chemical and Microbiology properties. Madison, Wisconsin. USA: Amer. Soc. of Agron. Inc.; 1965 p. 1022-1030.
10. Land Development Department. Work manual: plant, fertilizer and soil amendment analysis [Internet]. 2010 [update 2010 Sep 30; cited 2019 Jul 2]. Available from: <https://www.ddd.go.th/PMQA/2553/Manual/OSD-07.pdf>



11. Khamkaew W. FCS (Fertilizer Usage Calculator by Soil Analysis) [Internet]. 2015 [update 2015; cited 2020 Apr 19]. Available from: https://www.thailandtechshow.com/upload_technology/attachment/17.pdf
12. APHA, AWWA, WPCA. Standard methods for the examination of water and wastewater. 18th ed. Washington, D.C.: American Public Health Association; 1992.
13. APHA, AWWA, WEF. Standard methods for the examination of water and wastewater. 23rd ed. Washington, D.C.: American Public Health Association; 2017.
14. Campbell CR. Reference sufficiency ranges for plant analysis in the Southern Region of the United states. N.C.: North Carolina Department of Agriculture and Consumer Services Agronomic Division; 2000.
15. Prathuangwong S. Agriculture guide to fertilizers and hormones. Bangkok: Department of Plant Pathology, faculty of Agriculture. Kasetsart University; 2013. Thai.
16. Ratneetoo B. Organic fertilizer improves deteriorate Soil. Princess of Naradhiwas University J. 2012; 4(2): 115-127. Thai.
17. Mala T. Organic fertilizer and Bio-fertilizer: Production techniques and utilization. Bangkok: Kasetsart University; 2003. Thai.
18. Department of Agriculture. Announcements from Department of Agriculture of Standard of Organic Fertilizers A.D. 2005 [Internet]. 2005 [update 2005 Sep 30; cited 2020 May 9]. Available from: <http://www.ratchakitcha.soc.go.th/DATA/PDF/2548/00172707.PDF>
19. Osotsapar Y, Wongmaneeroj A, Hongproyoon C. Fertilizers for sustainable agriculture. 1st ed. Bangkok: Kasetsart University; 2008. Thai.
20. Department of Livestock Development. Summary of livestock species [Internet]. 2018. Available from: <http://ict.dld.go.th/webnew/index.php/th/service-ict/report>
21. Moe K, Htwe AZ, Thu TTP, Kajihara Y, Yamakawa T. Effects on NPK status, growth, dry matter and yield of Rice (*Oryza sativa*) by organic fertilizers applied in field condition. Agriculture. 2019; 9(109): 1-15.
22. Fargeria NK. Mineral nutrition of rice. New York. CRC. Press. 2014.
23. Tirapitayanon W. Environmental impacts of phosphorus [Internet]. 2013 [update 2013 Dec; cited 2020 Dec 15]. Available from: <http://www.dss.go.th/images/st-article/pep-12-2556-impact-envi.pdf>