

การตอบสนองของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์หลังนา ที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสนต่อการจัดการธาตุอาหาร เฉพาะพื้นที่ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์

Response of Maize Planted after Rice Harvesting to Site-Specific Nutrient Management with Organic Fertilizer at Kamphaeng Saen

ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย¹ พิชญา คณะชัย¹ จิรวัดน์ พุ่มเพชร¹ และศิริสุดา บุตรเพชร¹
Tawatchai Inboonchuay¹, Pitchaya Kane¹, Jirawat Phumpetch¹ and Sirisuda Bootpetch¹

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศที่รุนแรงขึ้นโดยเฉพาะภัยแล้ง รวมทั้งการจัดการธาตุอาหารไม่เหมาะสมทำให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้น นอกจากนี้ยังทำให้ประสิทธิภาพการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ลดลง งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการจัดการธาตุอาหารเฉพาะพื้นที่ร่วมกับการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ต่อการตอบสนองของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ปลูกหลังนาในชุดดินกำแพงแสน โดยวางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) จำนวน 4 ซ้ำ 9 ตำรับการทดลอง พบว่า การใส่ปุ๋ยเคมีเทียบเท่าปริมาณธาตุอาหารหลักของข้าวโพดที่ติดไปกับผลผลิต ส่งผลให้น้ำหนักฝักทั้งเปลือก (2,134.55 กก./ไร่) น้ำหนักฝักเปลือก (1,736.28 กก./ไร่) น้ำหนักเปลือก (398.26 กก./ไร่) และน้ำหนักเมล็ด (1,491.22 กก./ไร่) สูงที่สุด รองลงมาคือการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ (น้ำหนักฝักทั้งเปลือก 2,070.20 กก./ไร่ น้ำหนักฝักเปลือก 1,723.94 กก./ไร่ และน้ำหนักเมล็ด 1,464.72 กก./ไร่) นอกจากนี้การจัดการธาตุอาหารเฉพาะพื้นที่ทั้งที่ใช้เดี่ยวหรือใช้ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ มีผลให้ความเข้มข้นของไนโตรเจนในเมล็ดสูงที่สุด ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในใบและเมล็ดอยู่ในระดับใกล้เคียงกัน ความเข้มข้นของโพแทสเซียมในลำต้นสูงที่สุด อย่างไรก็ตามการใส่ปุ๋ยเคมีทั้งที่ใช้เดี่ยวหรือใช้ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ส่งผลให้ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินหลังปลูก มีปริมาณสูงขึ้นเมื่อเทียบกับดินก่อนปลูก ที่ระดับความลึก 0-20 เซนติเมตร การใส่ปุ๋ยเคมีเทียบเท่าปริมาณธาตุอาหารหลักของข้าวโพดที่ติดไปกับผลผลิต สามารถช่วยเพิ่มผลผลิตและผลตอบแทนของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์สูงที่สุด (10,461.24 บาท/ไร่)

คำสำคัญ: ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยอินทรีย์ ชุดดินกำแพงแสน ผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์

Abstract

At present, maize production is being affected by various aspects of worsening climate change, especially drought. Drought in combination with improper nutrient management during maize production not only results in increased product costs but also leads to reduced productivity. Therefore, the objective of this study was to investigate the effects of nutrient management and organic fertilizer on the response of maize that was grown in fields in Kamphaeng Saen from which rice had just been harvested. Randomized complete block design (RCBD) with 4 replications and 9 treatments were used. It was found that the application of chemical fertilizer based on crop removal tended to give the highest values for ear weight (2,134.55 kg/rai), ear without husk weight (1,736.28 kg/rai), husk weight (398.26 kg/rai) and grain weight (1,491.22 kg/rai). Next best was the application of chemical fertilizers based on soil analysis combined with organic fertilizer, and this system produced values of ear weight (2,070.20 kg/rai), ear without husk weight (1,723.94 kg/rai), and grain weight (1,464.72 kg/rai). In addition, site-specific nutrient management alone, or in combination with organic fertilizer, resulted in the highest N concentration in the grains and P concentration in the leaves. The highest K concentration was found in the stems. However, the use of chemical fertilizers alone or in combination with organic fertilizers also increased the concentrations of OM, Available P, Exchangeable K, Ca and Mg in soil after planting compared with levels in the soil before planting to a 20 cm depth. Finally, the application of chemical fertilizer based on crop removal increased yield and gave the highest economic return for maize production (10,461.24 Baht/rai).

Keywords: maize, chemical fertilizer, organic fertilizer, Kamphaeng Saen soil series, economic return

¹ ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน อ. กำแพงแสน จ. นครปฐม 73140

¹ Department of Soil Science, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University Kamphaeng Saen Campus, Kamphaeng Saen, Nakhon Pathom 73140

*Corresponding author, Email: fagrtci@ku.ac.th

คำนำ

ในปัจจุบันความต้องการใช้ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เพื่อเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จึงทำให้มีความต้องการที่จะนำเข้าในปริมาณที่มากขึ้น โดยในปี 2561 ประเทศไทยมีปริมาณการนำเข้าข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มากถึง 153,662 ตัน (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2561) ดังนั้นแนวทางที่จะเพิ่มปริมาณการผลิตข้าวโพดที่มีคุณภาพให้เพียงพอต่อความต้องการคือการขยายพื้นที่ปลูกข้าวโพดในพื้นที่ที่มีศักยภาพในการผลิต โดยเฉพาะพื้นที่นาหลังเก็บเกี่ยวข้าว (สมชาย บุญประดับ, 2541) ซึ่งสอดคล้องกับนโยบายของรัฐบาลที่ส่งเสริมให้เกษตรกรลดพื้นที่การทำนาปรัง โดยเฉพาะพื้นที่นาในเขตชลประทานเนื่องจากปัญหาการขาดแคลนน้ำสำหรับการเกษตรกรรมในฤดูแล้ง ในขณะที่คุณภาพข้าวที่ได้ค่อนข้างต่ำ ราคาไม่ดี ประกอบกับมีการระบาดของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลและหอยเชอร์รี่ในนาข้าว ทำให้ความเสียหายให้แก่พื้นที่ปลูกข้าวเป็นจำนวนมาก (Boonpradub et al., 1998) ดังนั้นข้าวโพดเลี้ยงสัตว์นับว่ามีศักยภาพที่จะใช้ปลูกในฤดูแล้งหลังเก็บเกี่ยวข้าว เนื่องจากใช้น้ำน้อยกว่าการทำนา และให้ผลตอบแทนสูง (สมชาย บุญประดับ, 2538; Granados et al., 1994)

ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ปลูกในพื้นที่นาที่ผ่านมายังคงให้ผลผลิตอยู่ในเกณฑ์ต่ำ (Eskasingh et al., 2003) เมื่อเปรียบเทียบกับศักยภาพในการให้ผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในช่วงฤดูแล้ง ทำให้เกษตรกรมีผลตอบแทนค่อนข้างต่ำ สาเหตุหนึ่งอาจเกิดจากการนำผลผลิตออกไปจากพื้นที่ (crop removal) ส่งผลให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์ลดลง กอปรกับโรคพืช ศัตรูพืช และวัชพืช (2551) พบว่า ธาตุอาหารที่สูญเสียออกไปกับผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์นครสวรรค์ 2 ที่ปลูกในชุดดินวังสะพุง ประกอบด้วยไนโตรเจน 13.1 กก./ไร่ ฟอสฟอรัส 7.7 กก./ไร่ และ โพแทสเซียม 5.4 กก./ไร่ ในขณะที่ Matsumoto et al. (2002) พบว่าการปลูกข้าวโพดในดินร่วนปนทราย จังหวัดขอนแก่น ทำให้ไนโตรเจนสูญเสียไปจากพื้นที่ 6.24 กก./ไร่/ปี นอกจากนี้ หลังจากเก็บเกี่ยวข้าวโพดแล้วมีการปลูกพืชตามโดยไม่มีการจัดการปุ๋ยอย่างเหมาะสมก็เร่งให้ดินเสื่อมโทรมเร็วขึ้น ในขณะเดียวกัน เกษตรกรบางพื้นที่ยังยึดติดกับการใช้ปุ๋ยเคมีแบบเดิม ๆ และใช้ปุ๋ยตามคำแนะนำจากหน่วยงานภาครัฐซึ่งเป็นคำแนะนำแบบกว้าง ๆ ไม่จำเพาะในแต่ละชุดดิน ทำให้บางครั้งมีการใช้ปุ๋ยเคมีมากเกินไปจนเกิดความจำเป็น (ทัศนีย์ อัดตะนันท์ และ ประทีป วีระพัฒนนิรันดร์, 2559) ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตของข้าวโพดเพิ่มสูงขึ้น ในปัจจุบันการใช้ปุ๋ยตามเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินถือเป็นแนวทางหนึ่งที่จะช่วยให้เกษตรกรลดปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมีลงได้ สุภาภรณ์ ล้วนมณี และคณะ (2558) ชี้ให้เห็นว่าการใช้ปุ๋ยเคมีในการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์นครสวรรค์ 3 ที่ปลูกบนชุดดินตาคลี ให้ผลตอบแทนคุ้มค่าแก่การลงทุนมากที่สุด เมื่อใช้ปุ๋ยที่ให้ปริมาณธาตุอาหาร 10-5-2.5 กก./ไร่ เนื่องจากดินในแต่ละพื้นที่มีความอุดมสมบูรณ์และมีปริมาณธาตุอาหารแตกต่างกัน จึงจำเป็นต้องประเมินสมบัติเบื้องต้นของดิน ขณะที่ วีระพงษ์ พรหมสวัสดิ์ (2553) ศึกษาผลของการใช้ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับยิปซัมต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์แปซิฟิก 999 ที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน ในด้านผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ระยะเก็บเกี่ยว พบว่า การใช้ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน ทั้งที่ใช้เดี่ยวหรือใช้ร่วมกับยิปซัมมีผลให้จำนวนฝักสมบูรณ์ของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มากที่สุด ในขณะที่ค่าควบคุมมีผลให้จำนวนฝักสมบูรณ์ของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ต่ำที่สุด นอกจากนี้ ควรใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ เนื่องจากปุ๋ยอินทรีย์ช่วยปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของดินให้ร่วนซุยระบายน้ำหรือดูดซับน้ำได้ดี อีกทั้งยังช่วยเพิ่มปริมาณธาตุอาหารพืชที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช ส่งผลให้พืชมีผลผลิตและคุณภาพดีขึ้น (ประเสริฐ สองเมือง, 2543; สมปอง หมั่นแจ้ง และคณะ, 2549)

ปัจจุบันมีคำแนะนำการใช้ปุ๋ยรูปแบบต่าง ๆ รวมทั้งคำแนะนำที่เป็นซอฟต์แวร์ประยุกต์ (application software) จากหน่วยงานภาครัฐ ได้แก่ การใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน ปุ๋ยสั่งตัด ปุ๋ยรายแปลง รวมถึงการใช้ปุ๋ยตามปริมาณธาตุอาหารที่ติดไปกับผลผลิต ดังนั้น การศึกษาในครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการตอบสนองของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์หลังนาต่อการจัดการธาตุอาหารเฉพาะพื้นที่ในรูปแบบต่าง ๆ ในชุดดินกำแพงแสน ซึ่งดินนี้ได้แพร่กระจายเป็นบริเวณกว้างบริเวณด้านตะวันตกของที่ราบลุ่มภาคกลาง มีศักยภาพทางการเกษตรค่อนข้างสูง อีกทั้งยังเป็นแนวทางในการเลือกใช้เทคโนโลยีการจัดการธาตุอาหารสำหรับการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่เหมาะสมแก่เกษตรกร ทดแทนการทำนาปรัง และปรับปรุงประสิทธิภาพการจัดการธาตุอาหารพืชให้ได้ผลตอบแทนสูงสุดเพื่อการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์หลังนาอย่างยั่งยืนต่อไป

วิธีการศึกษา

ศึกษาผลการตอบสนองของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์หลังนา ที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสนภายใต้การจัดการจัดการธาตุอาหารเฉพาะพื้นที่ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ รวมทั้งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติของดินบางประการ ในช่วงเดือนมกราคม-เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2561 ณ แปลงทดลองของภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ อ. กำแพงแสน จ. นครปฐม ซึ่งเป็นชุดดินกำแพงแสน (Kamphaeng Saen soil series, Ks; Typic Haplustalfs; fine-silty, mixed, semiactive, isohyperthermic (Soil Survey Staff, 2003) งานทดลองนี้ประกอบด้วย 36 แปลงย่อย แต่ละแปลงย่อยมีขนาดกว้าง 4.0 เมตร และยาว 4.0 เมตร จำนวน 7 แถว มีระยะห่างระหว่างแถว 0.60 เมตร โดยปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ลูกผสมพันธุ์แปซิฟิก 339 เก็บข้อมูลผลผลิตของข้าวโพดเฉพาะ 3 แถวกลาง เว้นหัวและท้ายแถวประมาณ 0.5 เมตร โดยมีพื้นที่เก็บเกี่ยวในแต่ละแปลงย่อยเท่ากับ 2.0×2.0 ตารางเมตร วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block จำนวน 4 ซ้ำ 9 ดำรับทดลอง โดยรายละเอียดของดำรับทดลอง ได้แสดงไว้ใน Table 1 ดำเนินการเก็บตัวอย่างดินก่อนปลูกและหลังปลูกในแต่ละแปลงย่อยที่ระดับความลึก 0-20 ซม. เพื่อวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน โดยใช้วิธีมาตรฐาน (Nation Soil Survey Center, 1996) ประกอบด้วย การกระจายของอนุภาคดิน โดยวิธีไฮเปตต์ พีเอชดิน โดยใช้อัตราส่วนดินต่อน้ำ เท่ากับ 1:1 สภาพการนำไฟฟ้าที่สกัดจากดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส (electrical conductivity: ECe) อินทรีย์คาร์บอน โดยวิธี Walkley and Black titration อินทรีย์วัตถุ คำนวณจากอินทรีย์คาร์บอนคูณด้วย 1.724 ไนโตรเจนรวม โดยวิธี Kjeldahl method ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โดยวิธี Bray II โพแทสเซียมและเบสที่แลกเปลี่ยนได้โดยสกัดด้วย 1 M NH_4OAc pH 7.0

การผลิตปุ๋ยอินทรีย์เพื่อการค้าไดมอนต์ทรี เครื่องหมายการค้าตราฟุ่มเพชรเขียว วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตได้แก่ มูลเป็ด มูลไก่ และโดโลไมต์ อัตราส่วนเท่ากับ 40:40:20 มีกระบวนการผลิตโดยเริ่มจากนำมูลเป็ดและมูลไก่ผสมคลุกเคล้าให้เข้ากัน ทำการหมักไว้กลางแจ้งเป็นระยะเวลา 3-6 เดือน และทำการกลับกองปุ๋ยหมัก ทุก ๆ 15 วัน จากนั้นนำปุ๋ยหมักที่ได้ผสมคลุกเคล้ากับโดโลไมต์ พร้อมทำการฉีดพ่นน้ำเป็นฝอยเพื่อให้ปุ๋ยมีความชื้น หลังจากนั้นลำเลียงปุ๋ยหมักเข้าเครื่องอัดเม็ด เม็ดปุ๋ยที่ได้จะถูกลำเลียงไปยังท่ออบร้อนและท่ออบเย็น แล้วถูกลำเลียงไปยังตะแกรงคัดเม็ด เม็ดที่ได้ขนาดจะถูกบรรจุลงในกระสอบ ส่วนเม็ดที่ไม่ได้ขนาดจะถูกนำกลับไปผสมใหม่ จากนั้นทำการวิเคราะห์ปุ๋ยอินทรีย์ตามมาตรฐาน ได้แก่ pH (ปุ๋ย:น้ำ เท่ากับ 1:2) AOAC (2000) สภาพการนำไฟฟ้า (electrical conductivity: EC) (ดิน:น้ำ เท่ากับ 1:10) (Jackson, 1958) อินทรีย์วัตถุ (organic matter, OM) โดยวิธี Walkley-Black (Walkley and Black, 1934) ไนโตรเจน (total N) โดยวิธี Kjeldahl Method ฟอสฟอรัส (total P_2O_5) โดยการย่อยด้วยกรด $\text{HClO}_4:\text{HNO}_3$ (1:1) จากนั้นทำให้เกิดสีด้วยสารละลาย ammonium metavanadate วัดความเข้มข้นด้วยเครื่อง spectrophotometer และโพแทสเซียม (total K_2O) โดยการย่อยด้วยกรด $\text{HClO}_4:\text{HNO}_3$ (1:1) (AOAC, 2000) แคลเซียม (total Ca) และแมกนีเซียม (total Mg) (AOAC, 1990) (Table 2) ซึ่งปุ๋ยอินทรีย์มีสมบัติทางเคมีและปริมาณธาตุอาหารตรงตามข้อกำหนดมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร (กรมวิชาการเกษตร, 2557) จากผลการวิเคราะห์สภาพความอุดมสมบูรณ์ของดินชั้นพื้นฐานของพื้นที่ทดลองซึ่งจำแนกตามข้อกำหนดที่ใช้ในการประเมินระดับสมบัติทางเคมีและการประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน (เอิบ เขียวรัตน์ธม, 2548; Soil Survey Division Staff, 1993) พบว่า ดินมีความเป็นด่างปานกลาง (pH 7.9) ปริมาณอินทรีย์วัตถุปานกลาง (2.1%) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงมาก (78.5 มก./กก.) โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้สูงมาก (161.8 มก./กก.) (Table 1) จากคำดังกล่าวนำมากำหนดอัตราปุ๋ยตามความต้องการของพืช ได้แก่ ดำรับการทดลองที่ 1 ไม่ใส่ปุ๋ย ดำรับการทดลองที่ 2 ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินอัตรา 10-5-5 กก. $\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}$ /ไร่ (กรมวิชาการเกษตร, 2553) ดำรับการทดลองที่ 3 ปุ๋ยสังเคราะห์อัตรา 8-1.5-2 กก. $\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}$ /ไร่ โดยใช้โปรแกรม Simcorn (ทัศนีย์, 2555) ดำรับการทดลองที่ 4 ปุ๋ยรายแปลงอัตรา 5-0.1-0.06 กก. $\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}$ /ไร่ โดยใช้โปรแกรม Onfarm Thai LDD (กองสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน, 2553) ดำรับการทดลองที่ 5 ปุ๋ยเคมีเทียบเท่าปริมาณธาตุอาหารหลักของข้าวโพดที่ติดไปกับผลผลิตคือ 15.6-2.9-3.8 กก. $\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}$ /ไร่ (ยงยุทธ โสสถสภา และคณะ, 2554) และคาดการณ์ปริมาณผลผลิตที่ 1,000 กก./ไร่ ขณะที่ดำรับการทดลองที่ 6 ถึง 9 เป็นการใส่ปุ๋ยเคมีรูปแบบต่าง ๆ ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ อัตรา 50 กก./ไร่ ซึ่งผลวิเคราะห์สมบัติทางเคมีตามเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ (กรมวิชาการเกษตร, 2557) (Table 2)

Table 1 Initial properties of soil and organic fertilizer used in this experiment.

Properties	Values	Interpretation	Properties	Organic fertilizer	Standard*
pH (1:1)	7.95	Moderately alkaline	pH (1:2)	6.93	5.5-8.5
ECe (dS/m)	0.61	Non-saline	EC (1:10 dS/m)	4.23	<10
Organic matter (%) ^{1/}	2.10	Moderate	Organic matter (%)	25.51	≥20
Total N (%) ^{2/}	0.05	Very low	Total N (%)	0.74	≥1.0
Avai. P (mg/kg) ^{3/}	78.52	Very high	Total P ₂ O ₅ (%)	1.34	≥0.5
Exch. K (mg/kg) ^{4/}	161.88	Very high	Total K ₂ O (%)	1.00	≥0.5
Exch. Ca (mg/kg) ^{4/}	1274.11	High	Total Mg (%)	1.01	
Exch. Mg (mg/kg) ^{4/}	197.81	High	Total Ca (%)	0.85	
Texture (%) ^{5/}	-	Loamy sand			

Remark: ^{1/} = Walkley and Black method (Walkley and Black, 1934),

^{2/} = Kjeldahl method (Jackson, 1965),

^{3/} = Bray II method (Bray and Kurtz, 1945),

^{4/} = Extracted with NH₄OAc pH 7.0 (Pratt, 1965),

^{5/} = Pipette method (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548).

* กรมวิชาการเกษตร (2557).

เตรียมดินโดยใช้รถแทรกเตอร์และปรับพื้นที่ปลูกให้เป็นร่อง ซึ่งมีสันร่องสูงประมาณ 20 ซม. จากนั้น ปลูกข้าวโพด โดยหยอดเมล็ดหลุมละ 2-3 เมล็ด ซึ่งแต่ละหลุมห่างกัน 0.35 เมตร เมื่อข้าวโพดอายุได้ 15 วัน ถอนแยกให้เหลือ 1 ต้นต่อหลุม ใส่ปุ๋ยเคมี ได้แก่ ยูเรีย (46-0-0; 46%N) ไดแอมโมเนียมฟอสเฟต (18-46-0; 46%P₂O₅) และโพแทสเซียมคลอไรด์ (0-0-60; 60%K₂O) โดยแบ่งใส่ปุ๋ยยูเรีย 2 ครั้ง ครั้งละครึ่งอัตราในแต่ละครั้งรับทดลอง เมื่อข้าวโพดมีอายุได้ 20 และ 40 วันหลังปลูก ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 1 ครั้งต่ออายุ 20 วันหลังปลูก จากนั้นใช้จอบสับและคลุกเคล้าวัสดุผสมดังกล่าวให้เข้ากับดิน

ทำการเก็บข้อมูลผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ โดยสุ่มเก็บตัวอย่างพืช 8 ต้นต่อแปลงย่อย ได้แก่ น้ำหนักฝักทั้งเปลือก น้ำหนักฝักเปลือก น้ำหนักเมล็ด น้ำหนักชัง และน้ำหนัก 1,000 เมล็ด จากนั้นแยกชีวมวล ส่วนเหนือดินเป็น 5 ส่วน คือ เมล็ด ชัง เปลือก ลำต้น และใบของข้าวโพด นำไปวิเคราะห์ความเข้มข้นของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมทั้งหมด นำข้อมูลผลผลิต องค์ประกอบผลผลิต และความเข้มข้นของธาตุอาหารวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (Analysis of Variance) พร้อมทั้งเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% การคำนวณผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์โดยใช้อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (Benefit-Cost Ratio: BCR) สามารถนำมาใช้เพื่อพิจารณามูลค่าผลตอบแทนที่มีมากกว่าหรือน้อยกว่ามูลค่าต้นทุน โดยการจัดการธาตุอาหาร เฉพาะพื้นที่ที่เหมาะสมต้องมีค่า BCR มากกว่า 1 หมายความว่า ผลตอบแทนที่ได้จากการลงทุนจะมีมากกว่าต้นทุนที่ต้องเสียไป หรืออย่างน้อยที่สุดเท่ากับ 1 หมายความว่า ผลตอบแทนที่ได้จากการลงทุนมีค่าเท่ากับค่าใช้จ่ายที่เสียไปพอดี (จรัญธรร บุญญานุภาพ และคณะ, 2561) โดยที่

$$BCR = \frac{\sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+i)^t}}{\sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+i)^t}}$$

Table 2 Detail of treatments.

Treatments	Describes	Symbols	(Kg N-P ₂ O ₅ -K ₂ O/rai)
T1	Control	Control	0-0-0
T2	Chemical fertilizer based on soil analysis (DOA) ^{1/}	IF _{DOA}	10-5-5
T3	Tailor made fertilizer ^{2/}	TMF	8-1.5-2
T4	Onfarm Thai LDD ^{3/}	IF _{LDD}	5-0.1-0.06
T5	Chemical fertilizer based on crop removal ^{4/}	IF _{CR}	15.6-2.9-3.8
T6	Chemical fertilizer based on soil analysis (DOA) + organic fertilizer of 50 kg/rai	IF _{DOA} + OF	10.4-5.8-5.5
T7	Tailor made fertilizer + organic fertilizer of 50 kg/rai	TMF + OF	8.4-2.3-2.5
T8	Onfarm Thai LDD + organic fertilizer of 50 kg/rai	IF _{LDD} + OF	5.4-0.9-0.56
T9	Chemical fertilizer based on crop removal + organic fertilizer of 50 kg/rai	IF _{CR} + OF	16.0-3.7-4.3

Remark: ^{1/} กรมวิชาการเกษตร (2553), ^{2/} ทศนิยม อัตราต้นทุน (2555), ^{3/} กองสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน (2553), ^{4/} Estimating fertilizer rates based on crop nutrient removal (N, P and K) in maize grain after harvest (15.6-2.9-3.8 kg N-P₂O₅-K₂O/rai) (ยงยุทธ โสสถสภา และคณะ, 2554).

ผลการศึกษาและวิจารณ์

องค์ประกอบผลผลิตและผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

การจัดการธาตุอาหารเฉพาะพื้นที่รูปแบบต่าง ๆ ส่งผลให้องค์ประกอบผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์แตกต่างกันทางสถิติ พบว่า การใส่ปุ๋ยเคมีเทียบเท่าปริมาณธาตุอาหารหลักของข้าวโพดที่ติดไปกับผลผลิต (IF_{CR}) ส่งผลให้น้ำหนักฝักทั้งเปลือก (2,134.55 กก./ไร่) น้ำหนักฝักเปลือก (1,736.28 กก./ไร่) น้ำหนักเปลือก (398.26 กก./ไร่) และน้ำหนักเมล็ดสูงที่สุด (1,491.22 กก./ไร่) รองลงมาคือ การใช้ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ (IF_{DOA} + OF) และการใส่ปุ๋ยเคมีตามปริมาณธาตุอาหารที่ติดไปกับผลผลิตร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ (IF_{CR} + OF) อย่างไรก็ตาม มีข้อสังเกตว่าการใส่ปุ๋ยเคมีรูปแบบต่าง ๆ ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์มีผลให้น้ำหนักเมล็ดของข้าวโพดสูงกว่าการใส่ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกับงานวิจัยของ Ripusudan et al. (2000) ชัยสิทธิ์ ทองจุ และปจรรย์ แนนนา (2552) และชัยวัฒน์ วงษ์ไร และคณะ (2558) ทั้งนี้เป็นไปได้ว่าปุ๋ยเคมีสามารถปลดปล่อยธาตุอาหารให้กับข้าวโพดได้อย่างรวดเร็ว (อุไรวรรณ ทองแกมแก้ว และคณะ, 2561) ในระยะแรกของการเจริญเติบโต ขณะที่ปุ๋ยอินทรีย์จะปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาอย่างช้า ๆ ซึ่งสอดคล้องกับกิจกรรมการย่อยสลายของจุลินทรีย์ดิน โดยกิจกรรมการย่อยสลายของจุลินทรีย์ดินจะสูงที่สุดเมื่อมีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ และเมื่อเวลาผ่านไปกิจกรรมการย่อยสลายจะค่อย ๆ ลดลง ในขณะที่ปริมาณธาตุอาหารที่ปลดปล่อยออกมาจากปุ๋ยจะมีค่าต่ำที่สุดเมื่อเริ่มใส่ปุ๋ย เมื่อเวลาผ่านไประยะหนึ่งจึงจะเริ่มมีการปลดปล่อยธาตุอาหารออกมา และการปลดปล่อยธาตุอาหารนี้จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ ให้พืชดูดใช้ได้ (พัชร์เพ็ญ ภูมิพันธ์ และคณะ, 2560) และยังส่งผลให้สมบัติทางกายภาพของดินดีขึ้นอีกด้วย (ธนสมณท์ กุลการณย์เลิศ และคณะ, 2561; อุไรวรรณ ทองแกมแก้ว และคณะ, 2561) นอกจากนี้ดินที่ใช้ในการทดลองเป็นดินเนื้อหยาบ การใส่ปุ๋ยอินทรีย์อาจช่วยลดการสูญเสียธาตุอาหารโดยการชะล้างไปจากดินและเพิ่มความสามารถในการดูดซับธาตุอาหารได้สูงขึ้น (บัญญัติ รัตน์, 2552)

Table 3 Effects of fertilizer application on grain yield and yield components of maize.

Treatments	Ear weight (kg/rai)	Ear without husk weight (kg/rai)	Husk weight (kg/rai)	Cob weight (kg/rai)	Grain weight (kg/rai)	1,000 Grain weight (kg/rai)
Control	1,749.64 ^b	1,376.74 ^b	372.90 ^a	128.82 ^b	1,247.91 ^{abc}	321.73 ^a
IF _{DOA}	1,898.02 ^{ab}	1,524.96 ^{ab}	373.05 ^a	166.95 ^{ab}	1,358.01 ^{abc}	295.65 ^{ab}
TMF	1,708.91 ^b	1,366.15 ^b	342.76 ^{ab}	245.35 ^a	1,120.79 ^c	278.60 ^b
IF _{LDD}	1,744.76 ^b	1,390.95 ^b	353.80 ^{ab}	174.69 ^{ab}	1,216.26 ^{abc}	280.56 ^b
IF _{CR}	2,134.55 ^a	1,736.28 ^a	398.26 ^a	245.06 ^a	1,491.22 ^a	321.20 ^a
IF _{DOA} + OF	2,070.20 ^{ab}	1,723.94 ^a	356.25 ^{ab}	259.21 ^a	1,464.72 ^{ab}	307.50 ^{ab}
TMF + OF	1,730.78 ^b	1,347.03 ^b	383.74 ^a	165.22 ^{ab}	1,181.80 ^{bc}	297.50 ^{ab}
IF _{LDD} + OF	1,777.68 ^{ab}	1,583.26 ^{ab}	191.42 ^b	268.52 ^a	1,314.73 ^{abc}	280.70 ^b
IF _{CR} + OF	1,946.59 ^{ab}	1,640.32 ^{ab}	306.26 ^{ab}	192.92 ^{ab}	1,447.39 ^{ab}	309.03 ^{ab}
F-test ^{1/}	**	**	**	**	**	**
CV (%)	11.49	13.33	26.90	15.65	13.30	7.04

^{1/}Mean within the same column followed by some letter indicated no statistical difference using DMRT.

** = Significant difference at 99% level of confidence.

ความเข้มข้นของธาตุอาหารในองค์ประกอบผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

การใส่ปุ๋ยเคมีเทียบเท่าปริมาณธาตุอาหารหลักของข้าวโพดที่ติดไปกับผลผลิต (IF_{CR}) ส่งผลให้ความเข้มข้นของไนโตรเจนที่สะสมในเมล็ด (0.86%) สูงที่สุด (Table 4) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากปุ๋ยไนโตรเจนที่ใส่มีอัตราสูงกว่าค่ารับการทดลองอื่น ๆ ซึ่งพืชส่วนใหญ่เมื่อมีการเจริญเติบโตจนกระทั่งให้เมล็ดแล้ว ไนโตรเจนในส่วนต่าง ๆ ของพืชจะเคลื่อนย้ายมาอยู่ในส่วนของเมล็ดเป็นส่วนใหญ่ เนื่องจากเป็นองค์ประกอบของกรดอะมิโน คลอโรฟิลล์ กรดนิวคลีอิก และเอนไซม์ในพืช ช่วยในการเพิ่มปริมาณโปรตีนและผลผลิตพืชที่ให้เมล็ดและผล (ยงยุทธ โอสดสภา, 2543) รองลงมาคือ การใช้ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ (IF_{DOA} + OF) ในขณะที่ค่าควบคุม (control) มีผลให้ความเข้มข้นของไนโตรเจนที่สะสมในเมล็ดต่ำที่สุด อย่างไรก็ตามการใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์มีแนวโน้มให้ความเข้มข้นของไนโตรเจนในใบสูงกว่าการใช้ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว อาจเนื่องจากการย่อยสลายปลดปล่อยธาตุอาหารจากปุ๋ยอินทรีย์จึงทำให้มีการสะสมของไนโตรเจนในข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มากขึ้น การใช้ปุ๋ยสังเคราะห์ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ (TMF + OF) ส่งผลให้ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสที่สะสมในลำต้น (0.21%) และเมล็ด (0.18%) สูงที่สุด ฟอสฟอรัสช่วยในการออกดอกและสร้างเมล็ดของพืชจึงเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงที่เมล็ดสะสมแป้ง (ยงยุทธ โอสดสภา, 2543) ซึ่ง Ghosh et al. (2010) รายงานว่า การใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยคอกมีผลให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เพิ่มขึ้น เนื่องจากปุ๋ยคอกเมื่อสลายตัวแล้วจะให้ organic ligand จึงช่วยเพิ่มความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสต่อพืช ในขณะที่การใช้ปุ๋ยสังเคราะห์ (TMF) ส่งผลให้ความเข้มข้นของโพแทสเซียมที่สะสมในลำต้นสูงที่สุด (2.17%) ทั้งนี้เนื่องจากส่วนใหญ่โพแทสเซียมจะสะสมในลำต้นและใบข้าวโพด (หริ่ง มีสวัสดิ์, 2540; กอบเกียรติ ไพศาลเจริญ และคณะ, 2551) รองลงมาคือการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ (2.02%) และปุ๋ยรายแปลงร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ (2.02%) อย่างไรก็ตามความเข้มข้นของธาตุอาหารหลักในใบข้าวโพดที่ระยะเก็บเกี่ยวอยู่ในระดับวิกฤติขาดแคลน (Reuter and Robinson, 1997) อาจเนื่องจากพื้นที่ทดลองเป็นดินเนื้อหยาบทำให้ง่ายต่อการสูญเสียธาตุอาหารจากการชะล้าง

Table 4 Concentration of N, P and K in stem, leaf, husk, cob and grain of maize at maturity stage.

Treatments	Total N (%)					Total P (%)					Total K (%)				
	Stem	Leaf	Husk	Cob	Grain	Stem	Leaf	Husk	Cob	Grain	Stem	Leaf	Husk	Cob	Grain
Control	0.11 ^b	0.37 ^a	0.12	0.21 ^a	0.71 ^b	0.18 ^{ab}	0.157	0.023	0.018 ^{ab}	0.165	1.99 ^{ab}	0.28	0.43	0.018 ^{ab}	0.42 ^{ab}
IF _{DOA}	0.16 ^a	0.39 ^a	0.14	0.18 ^{ab}	0.79 ^{ab}	0.14 ^{ab}	0.162	0.025	0.014 ^{ab}	0.167	1.76 ^b	0.34	0.51	0.014 ^{ab}	0.42 ^{ab}
TMF	0.13 ^{ab}	0.37 ^a	0.14	0.17 ^{ab}	0.79 ^{ab}	0.16 ^{ab}	0.167	0.028	0.009 ^b	0.179	2.17 ^a	0.32	0.42	0.009 ^b	0.42 ^{ab}
IF _{LDD}	0.12 ^{ab}	0.12 ^b	0.13	0.17 ^{ab}	0.72 ^{ab}	0.20 ^{ab}	0.184	0.026	0.014 ^{ab}	0.165	1.84 ^{ab}	0.23	0.43	0.014 ^{ab}	0.42 ^{ab}
IF _{CR}	0.13 ^{ab}	0.43 ^a	0.14	0.18 ^{ab}	0.86 ^a	0.10 ^b	0.180	0.011	0.012 ^{ab}	0.166	1.83 ^{ab}	0.39	0.45	0.012 ^{ab}	0.39 ^b
IF _{DOA} + OF	0.11 ^b	0.40 ^a	0.14	0.18 ^{ab}	0.82 ^{ab}	0.13 ^{ab}	0.173	0.014	0.017 ^{ab}	0.167	2.02 ^{ab}	0.37	0.46	0.017 ^{ab}	0.40 ^{ab}
TMF + OF	0.12 ^{ab}	0.41 ^a	0.15	0.15 ^b	0.76 ^{ab}	0.21 ^a	0.171	0.014	0.016 ^{ab}	0.187	1.86 ^{ab}	0.31	0.41	0.016 ^{ab}	0.44 ^a
IF _{LDD} + OF	0.11 ^b	0.41 ^a	0.13	0.16 ^{ab}	0.77 ^{ab}	0.14 ^{ab}	0.163	0.012	0.014 ^{ab}	0.169	2.02 ^{ab}	0.36	0.49	0.014 ^{ab}	0.40 ^b
IF _{CR} + OF	0.13 ^{ab}	0.45 ^a	0.14	0.20 ^{ab}	0.76 ^{ab}	0.12 ^{ab}	0.167	0.010	0.020 ^a	0.168	1.87 ^{ab}	0.33	0.49	0.020 ^a	0.39 ^b
F-test	*	**	ns	*	*	**	ns	ns	*	ns	*	ns	ns	*	*
CV (%)	22.11	28.26	18.90	17.35	12.36	37.76	13.72	60.38	38.58	8.04	13.21	35.43	13.46	35.58	6.66

^{1/} Mean within the same column followed by the same letter indicated no statistical difference using DMRT.

** = Significant difference at 99% level of confidence.

* = Significant difference at 95% level of confidence.

ns = no statistical difference.

การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางฟิสิกส์และเคมีของดินหลังปลูกที่ระดับความลึก 20 เซนติเมตร

การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของดินหลังปลูกที่ระดับความลึก 0-20 เซนติเมตร ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (Table 5) อย่างไรก็ตาม การใส่ปุ๋ยเคมีอัตราต่าง ๆ ทั้งที่ใช้เดี่ยวหรือใช้ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์มีแนวโน้มให้ค่า pH ของดินต่ำกว่าค่าควบคุม ทั้งนี้เป็นไปได้เนื่องจากปุ๋ยเคมีที่ใช้เป็นปุ๋ยยูเรียซึ่งเมื่อใส่ลงไปในดิน อาจให้ผลตกค้างของความเป็นกรดเกิดขึ้นกับดินได้ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) อย่างไรก็ตาม ค่า pH ที่เปลี่ยนแปลงจะอยู่ในระดับเป็นกลางถึงเป็นด่างเล็กน้อย (Soil Survey Division Staff, 1993) นอกจากนี้การจัดการธาตุอาหารเฉพาะพื้นที่รูปแบบต่าง ๆ ยังส่งผลให้ทุกตำรับการทดลองมีปริมาณธาตุอาหารสูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับดินก่อนการทดลอง ขณะที่ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินไม่แตกต่างจากดินก่อนการทดลอง อย่างไรก็ตาม การดูดใช้ธาตุอาหารของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เป็นสาเหตุหนึ่งในการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของดิน เนื่องจากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์จำเป็นต้องใช้ธาตุอาหารในระยะที่มีการเจริญเติบโตทางลำต้น โดยเฉพาะไนโตรเจน (N) และฟอสฟอรัส (P) ในขณะที่โพแทสเซียม (K) มีการสูญเสียอย่างมาก สอดคล้องกับรายงานของเกษม สุขสถาน และคณะ (2527) และ พรทิศา คล้ายเดช (2557) ที่พบว่า ปัญหาการขาดธาตุโพแทสเซียมไม่รุนแรงเหมือนธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัส แม้ว่าข้าวโพดต้องการโพแทสเซียมสูงก็ตาม ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์จะใช้โพแทสเซียมในปริมาณมากในช่วงออกใหม่จนถึงระยะแก่เต็มที่เท่านั้น โดยส่วนใหญ่จะสะสมที่ลำต้นและเมล็ด

Table 5 Chemical properties of soil after planting at depth 0-20 cm.

Treatments	pH (1:1)	EC _e (dS/m)	OM (%)	TN (%)	Avai.P Exch.K Exch.Ca Exch.Mg (mg/kg)			
					Avai.P	Exch.K	Exch.Ca	Exch.Mg
Control	7.71	0.068	2.18	0.068	74.00	257.04	2805.55	303.87
IF _{DOA}	7.59	0.084	2.10	0.068	90.16	269.15	2752.82	330.89
TMF	7.59	0.084	2.21	0.064	85.00	264.84	3383.80	294.09
IF _{LDD}	7.30	0.078	2.13	0.065	83.55	241.15	2644.66	321.61
IF _{CR}	7.61	0.082	2.12	0.064	72.46	277.89	3077.70	312.92
IF _{DOA} + OF	7.50	0.098	2.22	0.064	88.75	268.11	3118.82	296.12
TMF + OF	7.68	0.081	2.08	0.063	89.76	251.51	2545.08	299.15
IF _{LDD} + OF	7.60	0.076	2.19	0.061	79.43	277.06	2588.75	303.04
IF _{CR} + OF	7.55	0.080	2.00	0.066	63.84	250.34	3013.26	299.19
F-test ^{1/}	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	2.94	18.20	7.76	11.03	22.28	14.46	15.32	7.06

^{1/} Mean within the same column followed by some letter indicated no statistical difference using DMRT.

ns = no statistical difference.

ผลตอบแทนหลังหักต้นทุนในการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

การทดลองนี้มีค่าใช้จ่ายหลักที่เท่ากันทุกตัวรับการทดลอง (ประมาณ 4,100 บาท/ไร่) โดยแยกเป็นค่าแรงในการเตรียมแปลงรวมทั้งการปลูกและการดูแลรักษาประมาณ 1,500 บาท/ไร่ ค่าเมล็ดพันธุ์ประมาณ 950 บาท/ไร่ และค่าอุปกรณ์ในระบบน้ำหยดประมาณ 750 บาท/ไร่ ค่าเก็บเกี่ยวประมาณ 900 บาท/ไร่ ในส่วนของปุ๋ยที่ใช้ ได้แก่ ปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) ประมาณกระสอบละ 579 บาท ปุ๋ยไดแอมโมเนียมฟอสเฟต (18-46-0) ประมาณกระสอบละ 917 บาท ปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ (0-0-60) ประมาณกระสอบละ 787 บาท ปุ๋ยอินทรีย์กระสอบละ 300 บาท และราคาข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ความชื้นไม่เกิน 14.5% เฉลี่ยกิโลกรัมละ 8.72 บาท ของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรปี 2561 ดังนั้น สามารถสรุปกำไรสุทธิโดยภาพรวมของการทดลองได้ คือ การใส่ปุ๋ยเคมีเทียบเท่าปริมาณธาตุอาหารหลักของข้าวโพดที่ติดไปกับผลผลิตสามารถช่วยเพิ่มผลผลิตและผลตอบแทนของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์สูงสุด (10,461.24 บาท/ไร่) ขณะที่ค่ารับควบคุมให้ผลผลิตและผลตอบแทนข้าวโพดเลี้ยงสัตว์น้อยที่สุด (7,905.17 บาท/ไร่) (Table 6) Xu et al. (2014) ศึกษาการจัดการปุ๋ยในข้าวโพดในมณฑลเหอหนาน ประเทศจีน พบว่า การใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินให้ผลตอบแทนเท่ากับ 18,288 บาท/ไร่ ซึ่งสูงกว่าการใส่ปุ๋ยตามที่อยู่อาศัยแนะนำในการผลิตข้าวโพด (16,881 บาท/ไร่) และใส่ปุ๋ยตามวิธีการของเกษตรกร (16,037 บาท/ไร่) นอกจากนี้อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (BCR) ของทุกตัวรับการทดลองมีค่ามากกว่า 1 แสดงให้เห็นว่าทุกตัวรับการทดลองคุ้มค่าแก่การดำเนินการ แต่อย่างไรก็ตาม การใส่ปุ๋ยเคมีเทียบเท่าปริมาณธาตุอาหารหลักของข้าวโพดที่ติดไปกับผลผลิตมีอัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (BCR) สูงที่สุด (3.23) เนื่องจากได้ผลผลิตสูงสุดและมีต้นทุนการผลิตไม่สูงมากนัก

Table 6 Effects of fertilizer application on production cost and economic returns of maize.

Treatments	Fertilizer value (Baht/rai)		Labor and other costs	Unhusked ear yield (kg/rai)	Yield value (Baht/rai)	Economic return over fertilizer cost (Baht/rai)	Benefit-Cost Ratio (BCR)
	Chemical fertilizer	Organic fertilizer					
Control	-	-	4,100.00	1,376.74	12,005.17	7,905.17	2.92
IF _{DOA}	532.93	-	4,632.93	1,524.96	13,297.65	8,664.72	2.87
TMF	298.97	-	4,398.97	1,366.15	11,912.82	7,513.85	2.70
IF _{LDD}	130.37	-	4,230.37	1,390.95	12,129.08	7,898.71	2.86
IF _{CR}	579.12	-	4,679.12	1,736.28	15,140.36	10,461.24	3.23
IF _{DOA} + OF	532.93	300	4,932.93	1,723.94	15,032.75	10,099.82	3.04
TMF + OF	298.97	300	4,698.97	1,347.03	11,746.10	7,047.13	2.49
IF _{LDD} + OF	130.37	300	4,530.37	1,583.26	13,806.02	9,275.65	3.04
IF _{CR} + OF	579.12	300	4,979.12	1,640.32	14,303.59	9,324.47	2.87

Remarks: Urea (46-0-0) 579 Baht per 50 kg bags, DAP (18-46-0) 917 Baht per 50 kg bags, KCl (0-0-60) 787 Baht per 50 kg bags, maize grain price of 8.72 Baht/kg (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2561).

สรุปผลการศึกษา

การใส่ปุ๋ยเคมีเทียบเท่าปริมาณธาตุอาหารหลักของข้าวโพดที่ติดไปกับผลผลิตส่งผลให้น้ำหนักฝักทั้งเปลือก น้ำหนักฝักปอกเปลือก น้ำหนักเปลือก น้ำหนักชัง และน้ำหนักเมล็ดสูงสุด รองลงมาคือการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ นอกจากนี้ การจัดการธาตุอาหารเฉพาะพื้นที่ทั้งที่ใช้เดี่ยวหรือใช้ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ มีผลให้ความเข้มข้นของไนโตรเจนในเมล็ดสูงสุด ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในใบและเมล็ดอยู่ในระดับใกล้เคียงกัน ความเข้มข้นของโพแทสเซียมในลำต้นสูงสุด อย่างไรก็ตามการใส่ปุ๋ยเคมีทั้งที่ใช้เดี่ยวหรือใช้ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ส่งผลให้ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมในดินหลังปลูกมีปริมาณสูงขึ้นเมื่อเทียบกับดินก่อนปลูก ที่ระดับความลึก 0-20 เซนติเมตร การใส่ปุ๋ยเคมีเทียบเท่าปริมาณธาตุอาหารหลักของข้าวโพดที่ติดไปกับผลผลิตสามารถช่วยเพิ่มผลผลิตและผลตอบแทนของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์สูงสุด (10,461.24 บาท/ไร่) ในขณะที่การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมด้วยไม่ส่งผลทำให้ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มีผลผลิตและผลตอบแทนเพิ่มขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนวิจัยจากภาควิชาปฐพีวิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ปีงบประมาณ 2561

เอกสารอ้างอิง

- กรมวิชาการเกษตร. 2553. คำแนะนำการใช้ปุ๋ยกับพืชเศรษฐกิจ. เอกสารวิชาการลำดับที่ 001/2553. กรุงเทพฯ: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- กรมวิชาการเกษตร. 2557. กำหนดเกณฑ์ปุ๋ยอินทรีย์ตามพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. 2518 แก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติปุ๋ย (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550. ใน *ราชกิจจานุเบกษา เล่ม 129 ตอนที่พิเศษ 59 ง. น. 12-14*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์คณะรัฐมนตรีและราชกิจจานุเบกษา.
- กองสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน. 2553. *โปรแกรมคำแนะนำการจัดการดินและปุ๋ยรายแปลง (Version 3)*. กรุงเทพฯ: กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- กอบเกียรติ ไพศาลเจริญ, อัจฉรา นันทกิจ, สมปอง หมั่นแจ้ง และไพโรจน์ พันธุ์พุทธรักษา. 2551. การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ ปุ๋ยเคมี และปุ๋ยชีวภาพกับการผลิตข้าวโพดสายพันธุ์นครสวรรค์ 2 ในชุดดินวังสะพุง. *ว. วิชาการเกษตร* 1 (1): 82-90.
- เกษม สุขสถาน, นพพร สายัมพล, รังสฤษฎ์ กาวิตะ, วันชัย จันทน์ประเสริฐ, สว่าง พุกษาชีวะ, อุดม พูลเกษ, งามชื่น รัตนศิลป์ และคณะ. 2527. *พืชเศรษฐกิจ เล่ม 2*. กรุงเทพฯ: ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2548. *ปฐพีวิทยาเบื้องต้น*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- จรัญธร บุญญาภาพ, วันวิสาข์ ปันศักดิ์ และกัญจน์นา น้าลือ. 2561. การวิเคราะห์ดินทุนและผลตอบแทนเชิงสิ่งแวดล้อมของมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำในสวนยางพาราบริเวณพื้นที่ลาดชันของจังหวัดน่าน. *ว. มหาวิทยาลัยนเรศวร: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี* 26 (3): 80-97.
- ชัยวัฒน์ วงษ์ไกร, ชัยสิทธิ์ ทองจุ, สุรวุธ รุ่งเมฆารัตน์, ชาลินี คงสุด, ธีรยุทธ คล้าชื่น, ปิยพงศ์ เขตปิยรัตน์, ธนศมณท์ กุลการณย์เลิศ และคณะ. 2558. ผลของภาคตะกอนยี่สิบจากโรงงานเอทานอลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์แปซิฟิก 999. ใน *การประชุมวิชาการดินและปุ๋ยแห่งชาติครั้งที่ 4 "ธรรมชาติของดินและความจริงของปุ๋ยเพื่อการเกษตรอย่างยั่งยืน"*. สงขลา.
- ชัยสิทธิ์ ทองจุ และปาริชาติ แนนหนา. 2552. ผลของวัสดุเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบผลผลิตของอ้อยพันธุ์สุพรรณบุรี 80 ที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน (ปีที่ 1). *วารสารดินและปุ๋ย* 31 (1): 6-26.
- ทัศนีย์ อัดตะนันท์ และประทีป วีระพัฒนนิรันดร์. 2559. ปุ๋ยสั่งตัด. <http://www.ssnm.info>. (12 มิถุนายน 2561).
- ทัศนีย์ อัดตะนันท์. 2555. การจัดการธาตุอาหารเฉพาะที่สำหรับข้าวโพด. <http://www.ssnm.info>. (24 พฤษภาคม 2561).
- ธนศมณท์ กุลการณย์เลิศ, ชัยสิทธิ์ ทองจุ, จุฑามาศ ร่มแก้ว และธวัชชัย อินทร์บุญช่วย. 2561. การใช้ประโยชน์ผลพลอยได้โรงงานผงชูรส (อามิ-อามิ) และซีเฝ้าลอยต่อผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์. *วารสารเกษตรพระจอมเกล้า* 36 (1): 40-49.
- ธีระพงษ์ พรมสวัสดิ์, ชัยสิทธิ์ ทองจุ และจุฑามาศ ร่มแก้ว. 2553. ผลของการใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับยิปซัมต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน. ใน *การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 7 สาขาพืชและเทคโนโลยีชีวภาพ*. น. 43-53. นครปฐม.
- บัญชา รัตนทิ. 2552. ปุ๋ยอินทรีย์พื้นฟูสภาพดิน. *วารสารมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์* 1 (2): 1-16.
- ประเสริฐ สองเมือง. 2543. การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในนาข้าว. *กลุ่มงานวิจัยความอุดมสมบูรณ์ของดิน และปุ๋ยข้าวและธัญพืชเมืองหนาว* กรุงเทพฯ: กองปฐพีวิทยา กรมวิชาการเกษตร.
- พรทิวา คล้ายเดช. 2557. การเปรียบเทียบผลของการใช้ปุ๋ยสูตรต่าง ๆ เพื่อเพิ่มผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์. *วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช*.
- พัศตร์เพ็ญ ภูมิพันธ์, วรภัทร ลัดคนิพนวงศ์, ชวินทร์ ปลื้มเจริญ และภริยา ชมพูผิว. 2560. ผลของปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูงต่อการผลิตข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี* 25 (2): 248-259.
- ยงยุทธ ไธสงสภา, อรรถศิษฐ์ วงศ์ภักดิ์ และชวลิต ชงประยูร. 2554. *ปุ๋ยเพื่อการเกษตรยั่งยืน*. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ยงยุทธ ไธสงสภา. 2543. *ธาตุอาหารพืช*. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ศุภกาญจน์ ล้วนมณี, สมควร คล้อยข้าง, สมฤทัย ต้นเจริญ, ชัยชนพร เกื้อหนู, ณัฐพงศ์ ศรีสมบัติ, นงลักษณ์ บันลาย, รัชดา ปรัชเจริญชัย และคณะ. 2558. การตอบสนองต่อการใช้ปุ๋ยของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์ดีเด่นในพื้นที่ต่าง ๆ. ใน *รายงานโครงการวิจัยเทคโนโลยีการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่เหมาะสมในสภาพแห้งแล้ง*. น. 11-48. กรุงเทพฯ: กรมวิชาการเกษตร.
- สมชาย บุญประดับ. 2538. การผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในฤดูแล้งเพื่อทดแทนนาปรัง. *กสิกร* 68 (4): 172-176.
- สมชาย บุญประดับ. 2541. ข้าวโพดไร่นาทางเลือกใหม่ของเกษตรกรไทย. *กสิกร* 71 (6): 574-578.
- สมชาย บุญประดับ. 2544. การปลูกข้าวโพดในนา. ใน *เอกสารประกอบการฝึกอบรมเรื่อง การปลูกข้าวโพดฝักอ่อนนานาชาติ ครั้งที่ 1 แก่เจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตรและผู้นำเกษตรกรจากประเทศสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว จำนวน 15 คน*. น.1-8. ศูนย์วิจัยพืชไร่ชัยนาท, ชัยนาท.
- สมปอง หมั่นแจ้ง, สุพันธ์ รัตนรัตน์, สมบูรณ์ ประภาพรรณพงศ์, กาวนา ลิกขนานนท์ และไพฑูรย์ พูลสวัสดิ์. 2549. *คู่มือปุ๋ยอินทรีย์ (ฉบับนักวิชาการ)*. กรุงเทพฯ: กรมวิชาการเกษตร.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2561. *สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปี 2559-2561*. กรุงเทพฯ: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

- หรั่ง มีสวัสดิ์. 2540. *การจัดการดินและการใช้ปุ๋ยกับข้าวโพด*. กรุงเทพฯ: กลุ่มงานวิจัยและความอุดมสมบูรณ์ของดินและปุ๋ยพืชไร่ กองปฐพีวิทยา กรมวิชาการเกษตร.
- อุไรวรรณ ทองแกมแก้ว, ไอลา หวังเบญญะ, สิริพัชร ภิมรัมย์พร, วรณดี ชูสวัสดิ์ และพงษ์ศักดิ์ ณ นคร. 2561. ผลของการใส่ปุ๋ยที่ต่างกันต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวโพดข้าวเหนียว 4 สายพันธุ์. *ว.พืชศาสตร์สงขลานครินทร์* 5 (2): 25-31.
- เอิบ เขียวรัตน์. 2548. *การสำรวจดิน*. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- AOAC. 1990. *Official methods of analysis*. 15th edition. Washington DC: The Association of Official Analytical Chemists.
- AOAC. 2000. *Official method of analysis of AOAC international*. 17th edition. Washington DC: The Association of Official Analytical Chemists.
- Boonpradub, S., Chatairi, M., and Senanarong, N. 1998. Maize cultivation in paddy field research in Thailand. pp. 399-406. In S.K. Vasal, eds. *Proc. the 7th Asian Regional Maize Workshop*. PCARRD, Laguna, Philippines.
- Bray, R. H., and Kurtz, N. 1945. Determination of total organic and available forms of phosphorus in soil. *Soil Sci.* 59: 39-45.
- Eskasingh B., Gypmantasiri, P., and Thong-Ngam, K. 2003. *Maize production potentials and research prioritization in Thailand*. Chiang Mai: Chiang Mai University.
- Ghosh, S., Wilson, B., Ghoshal, S. K., Senapati, N., and Mandal, B. 2010. Management of soil quality and carbon sequestration with long-term application of organic amendments. In *Proc. the 19th World Congress of Soil Science*. pp.146-149. Brisbane, Australia.
- Granados, G., Kitbamroong, C., Tavarasook, C., Chatasiri, M., Grudloyma, P., Chotichun, S., and Boonpradab, S. 1994. Winter maize in paddy fields research conducted in Thailand in 1992-1994. pp. 26.
- Jackson, M. L. 1958. *Soluble Salt Analysis for Soils and Water, Soil Chemical Analysis*. New Jersey: Prentice Hall, Inc. Englewood Cliffs.
- Jackson, M. L. 1965. *Soil Chemical Analysis (Advanced Course)*. Wisconsin: Department of Soils, University of Wisconsin.
- Matsumoto, N., Paisancharoen, K., Wongwiwatchai, C., and Chairaj, P. 2002. Nitrogen cycles and nutrient balance in agro-ecosystems in Northeast Thailand. In *Development of sustainable agricultural system in Northeast Thailand through local resource utilization and technology improvement, JIRCAS Working Report No.30*. Ito and N. Matsumoto, eds. pp. 49-53. Ibaraki: JIRCAS.
- National Soil Survey Center. 1996. Soil Survey Laboratory Methods Manual. In *Soil Survey Investigation No. 42, Version 3*. United States: Department of Agriculture, National Soil Survey Center.
- Pratt, P. F. 1965. Potassium. In *Methods of Soil Analysis, Part II*. C. A. Black, ed. pp. 1022-1030. Wisconsin: Amer. Soc. of Agron, Inc.
- Ripusudan, L. P., Gonzalo, G., Honor, R. L., and Alejandro, D. V. 2000. Tropical maize improvement and production. FAO plant production and protection series No. 28.
- Soil Survey Division Staff. 1993. *Soil Survey Manual, United States Department of Agriculture Handbook No. 18*. Washington, DC.: United States Government Printing Office.
- Soil Survey Staff. 2003. *Key to Soil Taxonomy*. Ninth Edition. Washington, DC.: Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service.
- Walkey, A., and Black, I. A. 1934. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chronic acid titration method. *Soil Sci.* 37: 29-38.
- Xu, X., He, P., Qiu, S., Pampolino, M. F., Zhao, S., Johnston, A. M. and Zhou, W. 2014. Fertilizer recommendation for maize in China based on yield response and agronomic efficiency. *Field Crop Res.* 157: 27-34.

วันรับบทความ (Received date) : 13 ก.พ. 62

วันแก้ไขบทความ (Revised date) : 17 มี.ค. 62

วันตอบรับบทความ (Accepted date) : 15 เม.ย. 62