

ผลของระบบอนุรักษ์ดินและน้ำต่อผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ และการเปลี่ยนแปลงสมบัติดินในพื้นที่ดอน

Effect of soil and water conservation system on yield of maize and changes of soil properties in upland area

จตุรรัตน์ มนูญโย¹, ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย^{*}, ชัยสิทธิ์ ทองจูง¹ และ ศุภชัย อัมคา¹

Jutarat Manoonyo¹, Tawatchai Inboonchuay^{*}, Chaisit Thongjoo¹ and Suphachai Amkha¹

บทคัดย่อ: ศึกษาการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ภายใต้มาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำ และการเปลี่ยนแปลงสมบัติดิน โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ (RCBD) จำนวน 4 ซ้ำ 6 กรรมวิธี ดังนี้ 1) ไม่มีการอนุรักษ์ดินและน้ำ (IF) 2) ปลูกถั่วเขียว (IF+MB) 3) ปลูกหญ้าแฝก (IF+VG) 4) ปลูกหญ้าแฝกที่มีการใส่ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา (IF+VG+AMF) 5) ปลูกถั่วเขียวร่วมกับหญ้าแฝก (IF+MB+VG) และ 6) ปลูกถั่วเขียวร่วมกับหญ้าแฝกที่มีการใส่ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา (IF+MB+VG+AMF) ทุกตำรับการทดลอง ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์โดยใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน ผลการทดลองพบว่า การปลูกถั่วเขียวและหญ้าแฝกที่มีการใส่ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซามีผลให้พืชดูดใช้ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ในเมล็ด ลำต้น ใบ เปลือก และชัง ได้มากที่สุด การปลูกถั่วเขียวร่วมกับหญ้าแฝกที่มีการใส่ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซามีแนวโน้มให้ผลผลิตและองค์ประกอบของผลผลิตสูงสุด (น้ำหนักฝักเปลือก 667.20 กก./ไร่ น้ำหนักฝักทั้งเปลือก 750.90 กก./ไร่ น้ำหนักเปลือก 83.70 กก./ไร่ น้ำหนักชัง 89.90 กก./ไร่ และน้ำหนักเมล็ด 577.30 กก./ไร่) นอกจากนี้ การปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ภายใต้มาตรการอนุรักษ์ดินมีผลให้ความจุความชื้นที่เป็นประโยชน์ของดิน ปริมาณอินทรีย์วัตถุและความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืชของดินหลังปลูกสูงขึ้น อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาต้นทุนพบว่า การผลิตการปลูกถั่วเขียวและหญ้าแฝกให้ผลตอบแทนสูงสุด (3,333.58 บาท/ไร่) ขณะที่ไม่มีการอนุรักษ์ดินให้ผลตอบแทนต่ำที่สุด (2,199.28 บาท/ไร่)

คำสำคัญ: การอนุรักษ์, พื้นที่ดอน, ข้าวโพด, หญ้าแฝก

ABSTRACT: A study on growth and yield of maize under soil and water conservation system and changes in soil properties. Experimental design was arranged in Randomized Complete Block Design (RCBD) with 4 replications and 6 treatments; 1) planting maize without soil and water conservation (IF) 2) planting mung bean (IF+MB) 3) planting vetiver grass (IF+VG) 4) planting vetiver grass with mycorrhizal biofertilizer (IF+VG+AMF) 5) planting mung bean and vetiver grass (IF+MB+VG) and 6) planting mung bean and vetiver grass with mycorrhizal biofertilizer (IF+MB+VG+AMF). All treatments were applied with chemical fertilizer based on soil analysis. The results indicated that planting mung bean and vetiver grass with mycorrhizal biofertilizer induced the plant to take up the highest amount of nitrogen, phosphorus and potassium in grain, stem, leaf, husk and cob of maize.

Received June 24, 2019

Accepted September 13, 2019

¹ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม 73140

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

*Corresponding author: fagrtci@ku.ac.th

Moreover, planting mung bean and vetiver grass with mycorrhizal biofertilizer tended to generate the highest yield and yield components (ear without husk wt. 667.20 kg/rai, ear wt. 750.90 kg/rai, husk wt. 83.70 kg/rai, cob wt. 89.90 kg/rai and grain wt. 577.30 kg/rai). Besides, maize plantations under soil conservation system could lead to increased available water capacity of soil, soil organic matter and plant nutrient availability. However, when considering economic return, planting mung bean and vetiver grass with mycorrhizal bio fertilizer had the highest economic return (3,333.58 baht/rai) while without soil conservation had the lowest economic return (2,199.28 baht/rai).

Keyword: conservation, upland, maize, vetiver grass

บทนำ

ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ เป็นหนึ่งในห้าพืชเศรษฐกิจหลักของประเทศไทย นอกเหนือจากข้าว มันสำปะหลัง อ้อย และยางพารา (Benchaphun et al., 2004) ที่มีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมอาหารสัตว์ (สุจิตตรา, 2560) ขณะที่ความต้องการข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เพื่ออุตสาหกรรมอาหารมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น จึงเกิดแรงจูงใจให้เกษตรกรขยายพื้นที่ในการเพาะปลูกเพิ่มมากขึ้น (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2561) พื้นที่ส่วนใหญ่จะเป็นพื้นที่ป่า และอยู่ในเขตที่ไม่เหมาะสมหรือเหมาะสมน้อย (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2559) เป็นการบุกรุกและตัดไม้ทำลายป่าเพื่อทำการเกษตรเชิงเดี่ยว และทำไร่เลื่อนลอย หรือการปลูกพืชบนพื้นที่ที่มีความลาดเท (อรพวรรณ และคณะ, 2551) โดย ภัทรา และคณะ (2554) รายงานว่า การปลูกข้าวโพดที่พบในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยมักพบว่าปลูกในดินเนื้อหยาบวมไปถึงดินลูกรัง จึงทำให้พืชที่ปลูกประสบปัญหาเรื่องการขาดน้ำได้ง่าย และการสูญเสียธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชออกไปจากเขตรากพืชอย่างรวดเร็ว ในพื้นที่ที่มีความลาดชันมากหรือพื้นที่สูง โดยส่วนมากจะเกิดการเสื่อมโทรมของทรัพยากรดิน นับวันจะมีความรุนแรงเพิ่มมากขึ้น อันเกิดจากการใช้ประโยชน์ที่ดินบนพื้นที่อย่างไม่ถูกวิธี และมีการใช้พื้นที่อย่างต่อเนื่องเป็นเวลานาน ขาดการปรับปรุงบำรุงดินและปลูกพืชที่เหมาะสม ผลที่ตามมาคือ ปัญหาการชะล้างพังทลายของดิน และการเสื่อมโทรมของดินอย่างรวดเร็ว (สำนักสำรวจดินและวางแผนการใช้ที่ดิน, 2548) นำไปสู่ประสิทธิภาพในการผลิตพืชลดลง ผลผลิตทางการเกษตรที่ได้มีคุณภาพและปริมาณต่ำ และไม่เพียงพอต่อความต้องการของตลาด (ศุภมาศ และคณะ, 2559) ดังนั้น การอนุรักษ์ดินและน้ำที่เหมาะสมกับพื้นที่จึงมีความสำคัญเพื่อให้การใช้ประโยชน์ที่ดินเกิด

ประสิทธิภาพ รวมถึงให้ผลผลิตทางการเกษตรได้อย่างมีคุณภาพและผลผลิตที่ตรงต่อความต้องการของท้องตลาด ชื่นจิตร์ และคณะ (2561) ศึกษาการใช้พืชตระกูลถั่วในระบบการปลูกที่มีถั่วพืชเป็นพืชหลัก ซึ่งเป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าไปสู่วิธีที่ยั่งยืนทั้งทางด้านเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม โดยที่การเพาะปลูกพืชแซมระหว่างชนิด มีศักยภาพในการควบคุมการพังทลายของดิน มากกว่าการปลูกพืชแบบเดี่ยวและการปล่อยพื้นที่เป็นดินเปล่า เนื่องจากการเพาะปลูกพืชแซมระหว่างชนิดจะทำให้ดินสูญเสียน้อยกว่าการเพาะปลูกพืชเชิงเดี่ยว (Lima et al., 2014) การปลูกพืชแซมในแถวพืชหลักยังช่วยลดอุณหภูมิดิน สามารถเพิ่มความชื้นในดิน ซึ่งเป็นการส่งเสริมกิจกรรมของสิ่งมีชีวิตได้อีกด้วย นอกจากนี้ยังเป็นการลดปัญหาวัชพืชได้อีกทางหนึ่ง (Takim, 2012) ดังนั้น การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเจริญเติบโต และผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ภายใต้มาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำ และการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพและเคมีของดินหลังปลูก โดยปลูกหญ้าแฝกช่วยป้องกันการชะล้างพังทลายของดิน ลดความแรงของน้ำที่ไหลบ่า เพิ่มปริมาณความชื้นในดิน เพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุ และลดการสูญเสียธาตุอาหารพืชจากพื้นที่ เพื่อเป็นประโยชน์ในการทำการเกษตร และเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตพืชได้อย่างยั่งยืน (สำนักวิจัยและพัฒนาการจัดการที่ดิน, 2541)

วิธีการศึกษา

ทำการศึกษาดังแต่เดือน พฤษภาคม ถึง พฤศจิกายน พ.ศ.2561 ณ แปลงของเกษตรกร บ้านชัยลังกา ตำบลเกาะรัง อำเภอชัยบาดาล จังหวัดลพบุรี ตั้งอยู่พิกัดที่ 15°21'41.0"N 101°16'41.6"E มีความสูงจากระดับน้ำทะเล 92 ม. มีสภาพภูมิประเทศโดยรวมเป็นพื้นที่ลูกคลื่นลอนชัน มีความลาดชันเฉลี่ย 15% ตาม

แนวตะวันออก-ตะวันตก 5% ตามแนวเหนือ-ใต้ ลักษณะเป็นดินต้นพบหินกรวดปนในชั้นหน้าตัดดิน เนื้อดินเป็นดินร่วนปนทรายแป้ง มีอุณหภูมิเฉลี่ยในพื้นที่ 27.6 °C ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 71 ปริมาณฝนเฉลี่ย 1,125.1 มม./ปี (กรมอุตุนิยมหาวิทยาลัย, 2560) แปลงทดลองมีขนาดความกว้าง×ยาว เท่ากับ 6×6 ม. จำนวน 24 แปลงย่อยแต่ละแปลงขุดดินเป็นขอบแปลงแล้วใช้แผ่นสังกะสีกันเป็นแปลงย่อย ในแต่ละแปลงย่อยห่างกัน 2 ม. วางแผนการทดลองแบบ Randomized complete block design (RCBD) โดยทุกกรรมวิธีมีการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน ประกอบด้วย 6 กรรมวิธี จำนวน 4 ซ้ำ ดังนี้ 1) ไม่มีการอนุรักษ์ดินและน้ำ (IF) 2) ปุ๋ยคอก+ปุ๋ยเคมี (IF+MB) 3) ปุ๋ยคอก+ปุ๋ยเคมี+ปุ๋ยอินทรีย์ (IF+VG) 4) ปุ๋ยคอก+ปุ๋ยเคมี+ปุ๋ยอินทรีย์+ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา (IF+VG+AMF) 5) ปุ๋ยคอก+ปุ๋ยเคมี+ปุ๋ยอินทรีย์+ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา (IF+MB+VG) และ 6) ปุ๋ยคอก+ปุ๋ยเคมี+ปุ๋ยอินทรีย์+ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา (IF+MB+VG+AMF) โดยมีการจัดการดังนี้

การปลูกแถบหญ้าแฝก ใช้พันธุ์สุราษฎร์ธานีปลูกขนานกันจำนวน 2 แถวทำแปลง ระยะระหว่างต้น 5 ซม. ประมาณ 200 – 240 ต้น/แปลง ตัดใบหญ้าแฝกให้อยู่ระดับ 30-50 ซม. เพื่อทำการรักษาแนวหญ้าแฝก ใส่ผงเชื้อราอาร์บัสคูลาไมคอร์ไรซา (soil inoculums) ของกรมวิชาการเกษตรที่มี *Glomus* spp. จำนวน 25 สปอร์ต่อหน้าหนักปุ๋ยชีวภาพ 1 ก. อัตราที่ใช้ประมาณ 10 ก. ต่อหญ้าแฝก 1 ต้น ในแถวของหญ้าแฝกที่ปลูกก่อนที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ แล้วปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์นครสวรรค์ 3 จำนวน 8 แถว/แปลง โดยมีระยะปลูก 75×25 ซม. ทำการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินตามคำแนะนำที่ได้จากผลวิเคราะห์ธาตุอาหารหลัก (20-5-10, N-P₂O₅-K₂O) (กรมวิชาการเกษตร, 2553) โดยใช้ปุ๋ยเคมีคือ ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต (AS สูตร 21-0-0) ปุ๋ยไดแอมโมเนียมฟอสเฟต (DAP สูตร 18-46-0) และปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ (MOP สูตร 0-0-60) ส่วนในแปลงที่มีการปลูกถั่วเขียว ทำการปลูกในแนวเดียวกันกับข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ โดยแทรกถั่วเขียวระหว่างต้น ระยะระหว่างต้น 20 ซม. โดยคลุมงวงห่อเชื้อโรโซเบียมสำหรับถั่วเขียว จากกรมวิชาการเกษตร คลุมให้ผงเชื้อเกาะติดทั่วทั้งเมล็ดแล้วจึงนำเมล็ดถั่วเขียวไปปลูกในแปลง เก็บข้อมูลการเจริญเติบโตของพืช ได้แก่ ความสูงต้นของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ที่ 30 60 และ 90 วัน หลัง

ปลูก จัดบันทึกข้อมูลเพื่อเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของพืชในแต่ละกรรมวิธีการทดลอง เก็บเกี่ยวข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่อายุประมาณ 120 วัน นับจำนวนฝักทั้งหมดในแปลง สุ่มเก็บตัวอย่าง ชั่งน้ำหนักสด และน้ำหนักแห้ง สุ่มเก็บตัวอย่างส่วนเหนือดิน แยกเป็น 5 ส่วน คือ เมล็ด ซึ่งเปลือก ลำต้น และใบของข้าวโพด ในแต่ละกรรมวิธี วิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม เพื่อประเมินปริมาณธาตุอาหารที่สูญเสียออกไปจากพื้นที่โดยติดไปกับผลผลิต โดยนำไปพืชมอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลาประมาณ 3 วัน จนตัวอย่างแห้งสนิท บดใบพืชที่ได้ให้ละเอียด จากนั้นนำไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ โดยการย่อยตัวอย่างพืชด้วย H₂SO₄-Na₂SO₄-Se (digestion mixture) แล้ววัดปริมาณของไนโตรเจนด้วยเครื่อง Nitrogen distillate (Jackson, 1965), ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดด้วยเครื่อง spectrophotometer (Jackson, 1965) และปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (Johnson and Ulrich, 1959)

วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของดิน ได้แก่ การกระจายขนาดของอนุภาคดิน (Soil particle size distribution) ด้วยวิธีการตกตะกอน (Day, 1965) สมบัติการนำน้ำที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (K_{sat}) โดยวิธีแรงขับน้ำถดถอยอ้างอิงจากกฎของดาร์ซี (Darcy's law) (Klute, 1965) ความจุความชื้นสนาม (Field capacity, FC) โดยทำให้ดินอิ่มตัวด้วยน้ำ แล้วใช้ความดันอากาศเท่ากับ 0.3 bar ผลักดันน้ำออกจากดิน (Klute, 1965), ความชื้นที่จุดเหี่ยวถาวร (Permanent wilting point, PWP) โดยทำให้ดินอิ่มตัวด้วยน้ำ แล้วใช้ความดันอากาศเท่ากับ 1.5 MPa (15 bar) ผลักดันน้ำออกจากดิน (Klute, 1965), ความจุน้ำใช้ประโยชน์ได้ (Available water capacity, AWC) คำนวณได้จาก ความจุความชื้นสนาม (Field capacity, FC) - ความชื้นที่จุดเหี่ยวถาวร (Permanent wilting point, PWP) (Cassel and Nielsen, 1986) และค่าความหนาแน่นรวม (bulk density) ประเมินโดยวิธี Core method (Blake and Hartge, 1986) และวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดิน ได้แก่ ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน (organic matter) โดยวิธี wet oxidation ตามวิธี Walkley and Black Titration (Walkley and Black, 1934) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดิน (Total N) โดยวิธีของ Kjeldahl method ซึ่งเป็นวิธี wet oxidation (Jackson, 1965) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available

phosphorus) สกัดโดยวิธี Blay II และวิเคราะห์ ปริมาณโดยวิธี colorimetric (Bray and Kurtz, 1945) โฟแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Extractable K) แคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Extractable Ca) แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Extractable Mg) และ โซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Extractable Na) โดยสกัด ด้วย 1N NH₄OAc pH 7.0 และวิเคราะห์ปริมาณด้วย เครื่อง Atomic absorption spectrophotometer (Pratt, 1965) ค่าความเป็นกรดต่างของดิน (Soil pH) วัดโดยใช้ pH meter อัตราส่วนระหว่างดินต่อน้ำ เท่ากับ 1 : 1 (NRCS, 1996) ค่าการนำไฟฟ้า (electric conductivity, EC) วัดโดยอัตราส่วนดินต่อน้ำเท่ากับ 1 : 5 (Rhoades, 1996) ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (Cation exchange capacity, CEC) โดยวิธี Leaching โดยใช้ 1N NH₄OAc pH 7.0 (Chapman, 1965) และ อัตราร้อยละความอิ่มตัวเบส (base saturation percentage: %BS) คำนวณจากค่าของ ปริมาณเบสรวมที่สกัดได้ทั้งหมด (NRCS, 1996)

นำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการและการทดลองปลูกในสภาพแปลง นำมา หาค่าความแปรปรวนทางสถิติ (analysis of variance) เพื่อหาค่า F-value และค่าทางสถิติอื่นๆ สำหรับการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย โดยวิธี Duncan's New Multiple's Range Test (DMRT) ที่ระดับความ เชื่อมั่น 95% ขึ้นไป โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ

ผลการศึกษาและวิจารณ์ผล

สมบัติดินในพื้นที่ทำการทดลอง

จากการวิเคราะห์สมบัติทางเคมี และ กายภาพของดินในพื้นที่ศึกษา (Table 1) ที่ระดับ ความลึก 0-20 และ 20-40 ซม. พบว่า ปฏิกริยาดิน เป็นกรดปานกลางในดินบน (pH 5.87) และเป็นกรด จัดในดินล่าง (pH 5.49) ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินบน อยู่ในระดับปานกลาง (2.34%) และมีปริมาณลดลงใน ดินล่าง (1.52%) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินบน (0.016%) และดินล่าง (0.019%) อยู่ในระดับต่ำมาก ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินบนอยู่ใน ระดับสูง (32.16 มก./กก.) และลดลงในดินล่าง (18.47 มก./กก.) ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน บน (32.77 มก./กก.) และดินล่าง (23.83 มก./กก.) อยู่ใน ระดับต่ำ ความหนาแน่นรวมของดินบนเท่ากับ

1.40 ก./ลบ.ซม. และเพิ่มขึ้นในดินล่าง (1.52 ก./ ลบ.ซม.) สภาพการนำน้ำของดินบนเมื่อดินอิ่มตัว เท่ากับ 0.28 ม./วัน และข้างลงในดินล่าง (0.10 ม./วัน) เนื้อดินจากการประเมินโดยวิธีการตักตะกอน (Pipette method) ดินบนเป็นดินร่วน (Loam) และดินล่างเป็น ดินร่วนปนทรายแป้ง (Silt Loam)

การเจริญเติบโตและองค์ประกอบผลผลิตของ ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

ความสูงของต้นข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ที่อายุ 30 และ 90 วัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทาง สถิติ (Table 2) โดยกรรมวิธีการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่า วิเคราะห์ดินร่วมกับการปลูกถั่วเขียว และแถบหญ้าแฝก ที่มีการใส่ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา มีแนวโน้มให้ความสูง ของต้นข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ทุกระยะการเจริญเติบโตสูง ที่สุด (17.40, 137.90 และ 158.32 ซม. ตามลำดับ) เมื่อ เทียบกับกรรมวิธีอื่น และกรรมวิธีที่ไม่มีการอนุรักษดิน และไม่มีแนวโน้มของความสูงน้อยที่สุด (14.73, 126.50 และ 142.43 ซม. ตามลำดับ)

ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของ ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์การใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน ร่วมกับการปลูกถั่วเขียว และแถบหญ้าแฝกที่มีการใส่ ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา มีแนวโน้มของน้ำหนักองค์ ประกอบของพืช ได้แก่ น้ำหนักฝักทั้งเปลือก (750.90 กก./ไร่) น้ำหนักฝักเปลือก (667.20 กก./ไร่) น้ำหนักเปลือก (83.70 กก./ไร่) น้ำหนักชัง (89.90 กก./ไร่) น้ำหนักเมล็ด (577.30 กก./ไร่) และน้ำหนัก 1000 เมล็ด (241.38 ก.) ของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มากที่สุด รอง ลงมาคือ การปลูกถั่วเขียวและแถบหญ้าแฝก ขณะที่ กรรมวิธีที่ไม่มีการอนุรักษดินและน้ำ มีแนวโน้มให้น้ำหนักองค์ประกอบผลผลิตต่ำที่สุด เนื่องจากมีการใส่ ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินที่เพียงพอต่อการเจริญ เติบโตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ และการใส่ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซาช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวรากพืชในการดูดน้ำและธาตุ อาหารในดิน (พัคตร์เพ็ญ, 2556) และงานวิจัยของ ชื่น จิตร และคณะ (2561) ที่ทำการศึกษ อิทธิพลของการ ปลูกพืชแซมต่อประสิทธิภาพของข้าวโพดและถั่วพุ่มที่ ปลูกบนดินลูกรัง พบว่า น้ำหนัก 1000 เมล็ด ไม่พบความ แตกต่างระหว่างสิ่งทดลอง เนื่องจากทั้งสองปัจจัยถูก ควบคุมด้วยลักษณะทางพันธุกรรม นอกจากนี้ หญ้า แฝกยังช่วยลดการสูญเสียธาตุอาหารในดิน และกักเก็บ น้ำในดินได้ดี (กลุ่มอนุรักษดินและน้ำ, 2544) จึงทำให้น้ำหนักผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์สูงขึ้น

Table 1 Chemical and physical properties of the soil used in the experiment before planting

Properties	Topsoil 0-20 cm		Subsoil 20-40 cm	
	Analytical value	meaning	Analytical value	meaning
pH (1:1)	5.88	Moderately acid	5.49	Strongly acid
OM (%)	2.34	Moderate	1.50	Relatively low
Total N (%)	0.016	Very low	0.019	Very low
Avai.P (mg kg ⁻¹)	32.17	High	18.47	Moderate
Exch.K (mg kg ⁻¹)	32.78	Low	23.84	Low
BD (g cm ⁻³)	1.41	-	1.52	-
K _{sat} (m day ⁻¹)	0.28	-	0.10	-
FC (%)	29.00	-	0.28	-
PWP (%)	15.22	-	0.14	-
AWCA (%)	13.78	-	0.13	-
Sand (%)	30.88	-	22.42	-
Silt (%)	47.30	-	52.68	-
Clay (%)	21.82	-	24.90	-
Texture	Loam	-	Silt Loam	-
Slope		9%		Rolling

Remark: OM = Organic matter, Total N = Total Nitrogen, Avai.P = Available Phosphorus, Exch.K = Exchangeable Potassium, BD = Bulk density, K_{sat} = Saturated Hydraulic Conductivity, FC = Field capacity, PWP = Permanent Wilting Point, AWCA = Available Water Capacity

ความเข้มข้นของธาตุอาหารหลักที่สะสมในองค์ประกอบผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

ความเข้มข้นของธาตุอาหารหลัก (N P K) ที่สะสมในองค์ประกอบผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ได้แก่ เมล็ด ลำต้น ใบ เปลือก และชัง ในทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ยกเว้นไนโตรเจนในใบ ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในเปลือกของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (Figure 3) การปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์โดยใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน ร่วมกับการปลูกถั่วเขียว และแถบหญ้าแฝกที่มีการใส่ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา มีแนวโน้มส่งผลให้การสะสมของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ในเมล็ด (1.48% 0.16% และ 0.43%) ลำต้น (0.39% 0.11% และ 0.77%) ใบ (1.01% 0.09% และ 0.40%) เปลือก

(0.23% 0.09% และ 0.40%) และ ชัง (0.52% 0.09% และ 1.08%) ของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ มากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับ กรรมวิธีที่ไม่มีการอนุรักษ์ดินและน้ำ มีแนวโน้มส่งผลให้การสะสมของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ในเมล็ด (1.37% 0.13% และ 0.34%) ลำต้น (0.37% 0.08% และ 0.64%) ใบ (0.79% 0.08% และ 0.31%) เปลือก (0.20% 0.08% และ 0.31%) และ ชัง (0.36% 0.09% และ 0.97%) ของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ น้อยที่สุด เนื่องจาก การปลูกพืชที่มีการอนุรักษ์ดินและน้ำ อาจสามารถช่วยลดปัจจัยเสี่ยงต่างๆ ที่จะเป็นตัวเร่งในการเกิดปัญหาการกร่อนดินได้ (จักรดลและวิรัชชัย, 2557) จึงทำให้ดินสามารถรักษาความอุดมสมบูรณ์ และความชื้นได้ดี รวมถึงเชื้อโรโซเบียมที่อาศัยอยู่ในปมรากถั่วจะทำ

Table 2 Effects of soil and water conservation measure on growth and yield components of maize

Treatment	Plant height (cm) ^{1/}			Yield component (kg rai ⁻¹) ^{1/}					
	30days	60days	90days	Ear wt.	Ear with- out Husk wt.	Husk wt.	Cob wt.	Grain wt.	1000 Grains (g)
IF	14.73d	126.50b	142.43b	540.25b	475.02b	65.23	67.63b	407.39b	216.26
IF+MB	15.08cd	128.58ab	145.84b	548.08b	490.13b	57.95	73.24ab	416.99b	217.31
IF+VG	15.49bccd	133.90ab	146.68b	637.99ab	569.16ab	68.83	79.44ab	489.72ab	229.13
IF+VG+AMF	16.50abc	136.68a	147.34b	649.39ab	570.31ab	79.08	78.23ab	492.08ab	231.91
IF+MB+VG	16.90ab	136.64a	154.13a	684.73ab	607.69ab	77.04	82.93ab	524.76ab	237.66
IF+M- B+VG+AMF	17.40a	137.90a	158.32a	750.90a	667.20a	83.70	89.90b	577.30a	241.38
F-test	*	*	*	*	*	ns	*	*	ns
C.V.	8.42	5.24	4.34	29.67	19.28	30.32	17.44	19.73	20.40

Remark: IF = Fertilizer based on soil analysis; MB = Mung Bean; VG = Vetiver Grass; AMF = Mycorrhizal Biofertilizer

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

ns = not significant, *= significant difference at 95% level of confidence

หน้าที่ในการช่วยการตรึงไนโตรเจนจากอากาศให้อยู่ในรูปที่รากพืชนำไปใช้ได้ อีกทั้งการใส่ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา จะช่วยในการเพิ่มพื้นที่ของรากพืชเพื่อใช้ในการดูดซับธาตุอาหารจากดิน แล้วลำเลียงไปยังโครงสร้างแลกเปลี่ยนธาตุอาหารของรากที่อยู่ในเซลล์ในชั้นคอร์เท็กซ์ของพืช เพื่อส่งให้กับพืช (Smith and Read, 1997; พักตร์เพ็ญ, 2556) พืชจึงสามารถนำธาตุอาหารไปสะสมในส่วนต่างๆ ของพืชได้ดี

สมบัติทางกายภาพและเคมีของดินหลังเก็บเกี่ยว

จากค่าความหนาแน่นรวม (bulk density) สัมประสิทธิ์การนำน้ำที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (K_{sat}) และความจุความชื้นที่เป็นประโยชน์ (AWCA) ในดินหลังทำการทดลอง (Table 3) พบว่า ความหนาแน่นรวม (bulk density) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ค่าสัมประสิทธิ์การนำน้ำที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (K_{sat}) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ และความจุความชื้นที่เป็นประโยชน์ (AWCA) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

กรรมวิธีการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ภายใต้มาตรการ การอนุรักษ์ดินและน้ำ สามารถทำให้ค่าความจุความชื้นที่เป็นประโยชน์ (AWCA) เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับก่อนการปลูกพืช (13.78%) โดยกรรมวิธีการปลูกถั่วเขียวและแถบหญ้าแฝกมีความจุความชื้นที่เป็นประโยชน์มากที่สุด (19.49%) ซึ่งใกล้เคียงกับกรรมวิธีการปลูกแถบหญ้าแฝก (19.36%) และกรรมวิธีการปลูกถั่วเขียวมีความจุความชื้นที่เป็นประโยชน์น้อยที่สุด (14.04%) ตามลำดับ เห็นได้ว่า สมบัติทางกายภาพของดินมีแนวโน้มที่ดีขึ้น สอดคล้องกับ การศึกษาของ สยมภู และคณะ (2557) ซึ่งศึกษาผลของการปลูกพืชเชิงเดี่ยวต่อการเปลี่ยนแปลงผลผลิตภาพดินในพื้นที่ลาดชันในแปลงทดลองโดยใช้ดัชนีผลผลิตภาพ

ดินดัดแปลง (MPI) พบว่า การอนุรักษ์ดินและน้ำจะช่วยเพิ่มการยึดเกาะกันของเม็ดดิน ทำให้สามารถกักเก็บน้ำที่เป็นประโยชน์ต่อพืชเพิ่มขึ้น และการปลูกพืชภายใต้มาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำสามารถช่วยลดการเกิดการพังทลายของดิน รักษาความอุดมสมบูรณ์ของดิน และความชื้นในดินได้ (จักรกุล และวิรัชชัย, 2557)

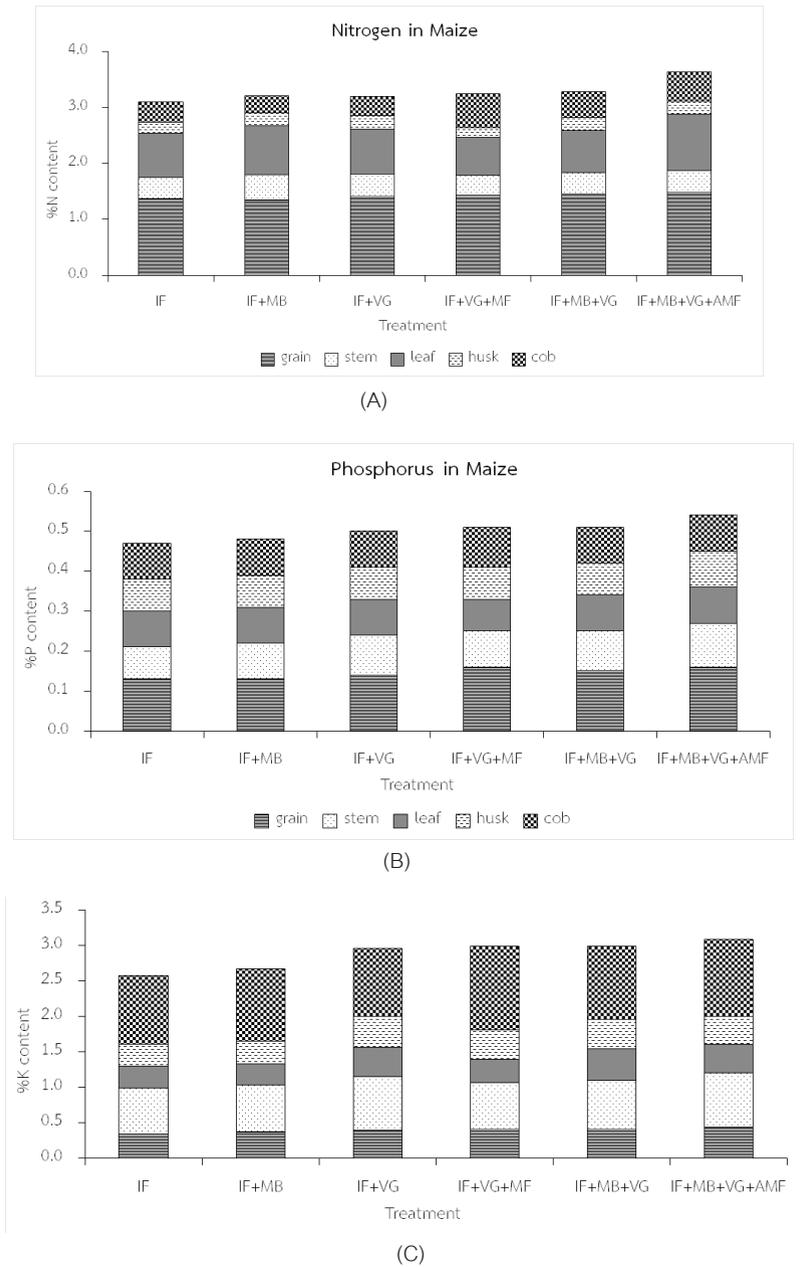


Figure 3 Concentrations of N P and K in grain, stem, leaf, husk and cob of maize at maturity stage

นอกจากนี้ สมบัติทางเคมีของดินหลังปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ทุกกรรมวิธี ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยปฏิกริยาดิน อยู่ในช่วง กรดจัดถึงกรดเล็กน้อย (pH 5.54-6.13) ความเค็มของดิน อยู่ในระดับที่ไม่มีผลกระทบต่ออาการเจริญเติบโตของพืช (0.03-0.06 เดซิซีเมน/ม.) ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ อยู่ใน

ระดับต่ำถึงต่ำมาก (20.31-33.27 มก./กก.) ระดับอินทรีย์วัตถุ (2.40 -2.75%) ปริมาณไนโตรเจน (0.13-0.17%) ปริมาณความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดิน (14.80-18.13 เซนติโมล/กก.) อยู่ในช่วงปานกลางถึงค่อนข้างสูง (14.80-18.13 เซนติโมล/กก.) อัตราร้อยละความอิ่มตัวเบส (64.61-77.81%) ปริมาณแคลเซียม (7.21-9.71

Table 3 Physical and Chemical properties of soil after planting at depth 0-20 cm

Treatment	Physical Properties ¹				Chemical Properties ¹								
	BD (g cm ⁻³)	K _{sat} (m day ⁻¹)	AWCA (%)	pH	EC _e (dS m ⁻¹)	OM (.....%.....)	N (.....%.....)	Avai.P (.....mg kg ⁻¹)	Exch.K (.....mg kg ⁻¹)	Exch. Ca	Exch. Mg	CEC (cmol kg ⁻¹)	BS (%)
Before	1.41	0.28	13.78	5.88	0.02	2.34	0.10	32.17	32.78	4.48	2.52	19.99	35.16
IF	1.23	0.22a	18.12ab	6.01	0.03	2.69	0.17	40.38	25.61ab	7.92	3.24	14.80	77.81
IF+MB	1.31	0.16ab	14.04b	5.54	0.05	2.40	0.13	43.92	30.49ab	8.44	3.58	17.72	67.78
IF+VG	1.31	0.06c	19.36a	5.91	0.03	2.75	0.13	37.16	25.09ab	8.05	3.06	15.77	71.24
IF+VG+AMF	1.37	0.20ab	18.62ab	6.13	0.04	2.75	0.13	35.03	20.31b	8.40	3.28	16.34	71.89
IF+MB+VG	1.27	0.17ab	19.49a	5.83	0.06	2.63	0.13	44.94	31.40ab	9.71	2.37	18.13	64.61
IF+M- B+VG+AMF	1.39	0.13bc	18.90ab	5.62	0.04	2.71	0.13	39.22	32.27a	7.21	3.11	14.98	72.25
F-test	ns	**	*	Ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns
C.V.	7.85	20.31	18.23	9.08	51.80	12.31	21.11	19.51	27.42	30.02	21.23	17.08	17.64

Remark: IF = Fertilizer based on soil analysis; MB = Mung Bean; VG = Vetiver Grass; AMF = Mycorrhizal Biofertilizer
¹ Means within the same column followed by the same letter indicated no statistical difference using by DMRT;
 * = significant difference at 95% level of confidence; ** = significant difference at 99% level of confidence

มก./กก.) และแมกนีเซียม (2.37 -3.58 มก./กก.) ที่ แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับปานกลางถึงสูง ปริมาณ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (35.03-44.94 มก./กก.) อยู่ในระดับสูง จะเห็นได้ว่าสมบัติทางเคมีของดินหลัง ปลูกส่งผลให้ปริมาณอินทรีย์วัตถุ และความเป็น ประโยชน์ของธาตุอาหารสูงขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อ เปรียบเทียบกับดินก่อนปลูก ซึ่งสอดคล้องกับ ชีโนจิตร และคณะ (2561) ศึกษาอิทธิพลของการปลูกพืชแซม ต่อประสิทธิภาพของข้าวโพดและถั่วพุ่มที่ปลูกบนดิน ลูกดิ่ง โดยพบว่า หลังทำการทดลองแนวโน้มของค่า เฉลี่ยของสมบัติทางเคมีของดินดีขึ้น เนื่องจากการปลูก พืชตระกูลถั่วจะสามารถปรับปรุงสมบัติทางเคมี (Tarawali and Pamo, 1992) และเพิ่มอินทรีย์วัตถุรวม ถึงธาตุอาหารให้แก่ดิน และรักษาคุณสมบัติของดินได้ ในระยะยาว (ธวัชชัย และประทีป, 2536)

การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

การทดลองนี้มีค่าใช้จ่าย ประมาณ 1,862.16 - 2,462.16 บาท/ไร่ ซึ่งแบ่งเป็นค่าปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ ดิน 1,262.16 บาท/ไร่ ค่าปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา 600 บาท/ไร่ ค่าดูแลรักษาประมาณ 600 บาท/ไร่ และราคา ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ความชื้นไม่เกิน 14.5% ในเดือน กันยายน พ.ศ.2561 เฉลี่ยกิโลกรัมละ 8.55 บาท จาก สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรปี 2561 โดยค่าเมล็ดพันธุ์ ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ เมล็ดถั่วเขียว หญ้าแฝก และปุ๋ย ชีวภาพไรโซเบียม ได้รับความอนุเคราะห์จากกรมวิชาการ เกษตร ดังนั้น สามารถสรุปกำไรสุทธิโดยรวมของการ ทดลองได้ดังนี้ กรรมวิธีการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์โดย การใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการปลูกถั่วเขียว และแถบหญ้าแฝก ให้ผลตอบแทนสูงที่สุด (3,333.58 บาท/ไร่) ในขณะที่กรรมวิธีการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

Table 4 Effect of maize plantation on production cost and economic return

Treatment	Chemical fertilizer	Bio-fertilizer	Labor and other costs	Ear with-out husk	Yield value	Economic return	Benefit cost ratio
	(.....Baht rai ⁻¹)			(kg rai ⁻¹)	(Baht rai ⁻¹)		
IF	1,262.16	0	1,862.16	475.02	4061.44	2,199.28	2.18
IF+MB	1,262.16	0	1,862.16	490.13	4190.64	2,328.48	2.25
IF+VG	1,262.16	0	1,862.16	569.16	4866.28	3,004.12	2.61
IF+VG+AMF	1,262.16	600	2,462.16	570.31	4876.16	2,414.00	1.98
IF+MB+VG	1,262.16	0	1,862.16	607.69	5195.74	3,333.58	2.79
IF+MB+VG+AMF	1,262.16	600	2,462.16	667.20	5704.56	3,242.40	2.32

Remark: IF = Fertilizer based on soil analysis; MB = Mung Bean; VG = Vetiver Grass; AMF = Mycorrhizal Biofertilizer
Price of maize in September 2018 was 8.55 Baht kg⁻¹, Labor 600 Baht

Vetiver grass, mung bean seed and maize seed were supported by Department of Agriculture (DOA)

โดยไม่มีการอนุรักษ์ดินและน้ำให้ผลตอบแทนต่ำที่สุด (2,199.28 บาท/ไร่) นอกจากนี้ อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (BCR) ของทุกตำรับการทดลองมีค่ามากกว่า 1 แสดงให้เห็นว่าทุกกรรมวิธีการทดลองคุ้มค่าแก่การดำเนินการ แต่อย่างไรก็ตาม การปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์โดยการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการปลูกถั่วเขียวและถั่วเหลืองมีอัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (BCR) สูงที่สุด (2.79) และ กรรมวิธีการปลูกถั่วเหลืองที่มีการใส่ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซามีอัตราส่วนต้นทุนต่อผลประโยชน์ของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ต่ำที่สุด (1.98)

สรุป

จากการศึกษาผลของระบบอนุรักษ์ดินและน้ำต่อผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ และการเปลี่ยนแปลงสมบัติดินในพื้นที่ดอน ในแต่ละกรรมวิธีการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการอนุรักษ์ดินแบบต่างๆ พบว่า กรรมวิธีการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ร่วมกับการปลูกถั่วเขียว และถั่วเหลืองที่มีการใส่ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา มีแนวโน้มของความสูงของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ น้ำหนักผลผลิตต่อไร่ ได้แก่ น้ำหนักชั่ง น้ำหนักเมล็ด และน้ำหนัก 1000 เมล็ดของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ รวมถึงค่าความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมที่สะสมอยู่ในลำต้น ใบ เปลือก ชั่ง และเมล็ด สูงกว่ากรรมวิธีอื่นๆ และในด้านการเปลี่ยนแปลงสมบัติดินในพื้นที่ในแต่ละกรรมวิธี โดยการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการอนุรักษ์ดินแบบต่างๆ มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของดิน โดยในกรรมวิธีที่ไม่มีการอนุรักษ์ดินและน้ำ มีแนวโน้มของธาตุอาหารในดินมากกว่ากรรมวิธีอื่น เนื่องจากพืชสามารถดูดใช้ได้น้อยกว่ากรรมวิธีที่มีการอนุรักษ์ดินและน้ำ การปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ด้วยมาตรการอนุรักษ์ดินสามารถปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพของดิน ซึ่งจะเพิ่มความจุความชื้นที่เป็นประโยชน์ขึ้น อีกทั้งการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์โดยการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการปลูกถั่วเขียวและถั่วเหลือง มีผลตอบแทนอัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (BCR) สูงที่สุด ดังนั้น การปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ภายใต้มาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำที่เหมาะสมจะสามารถลดการพัง

ทลาย และการสูญเสียธาตุอาหารโดยการชะล้างพังทลายในพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์บนพื้นที่สูงได้ อย่างไรก็ตาม การศึกษานี้เป็นการศึกษาระยะสั้น เพียง 1 ฤดูปลูก จึงทำให้ไม่สามารถเปรียบเทียบถึงความแตกต่างของผลการศึกษได้อย่างชัดเจน ควรมีการศึกษาถึงประสิทธิภาพของระบบอนุรักษ์ดินและน้ำในรูปแบบต่างๆ ในระยะยาว เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบข้อมูลผลผลิต องค์ประกอบผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ และผลตอบแทนที่ได้ รวมถึงเพื่อให้ได้รูปแบบของระบบอนุรักษ์ดินและน้ำที่เหมาะสมกับการปลูกข้าวโพดบนพื้นที่ดอนได้อย่างยั่งยืน

เอกสารอ้างอิง

- กรมวิชาการเกษตร. 2553. คำแนะนำการใช้ปุ๋ยกับพืชเศรษฐกิจ. กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา สำนักวิจัยและพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร. กรุงเทพฯ. 122 หน้า.
- กลุ่มอนุรักษ์ดินและน้ำ. 2544. นิยามและทางเลือกมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำ. กองอนุรักษ์ดินและน้ำ. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- กรมอุตุนิยมวิทยา. 2560. ภูมิภาคจังหวัดลพบุรี. สถานีอุตุนิยมวิทยาลพบุรี(บัวชุม). ลพบุรี.
- จักรคุณย์ ศรีนนท์ และ วิรัชชัย น้อยเอี่ยม. 2557. การประเมินการสูญเสียดินบนพื้นที่ปลูกข้าวไร่ ด้วยสมการการสูญเสียดินสากล อำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก.
- ชินจิตร แก้วกัญญา, อติสร ยูลวัฒน์, เอกราช มุกข์วัตร, สุณิสา ผลผลฤทธิ และ อรทัย ยนต์พิมพ์. 2561. อิทธิพลของการปลูกพืชแซมต่อประสิทธิภาพของข้าวโพดและถั่วพุ่มที่ปลูกบนดินลูกรัง. แก่นเกษตร. 46: 405-411.
- วิรัชชัย ณ นคร และประทีป วีระพัฒนนิรันดร์. 2536. การจัดการและอนุรักษ์ดินและน้ำในระดับไร่นา. น. 102-116. รายงานวิจัยประจำปี. กรมวิชาการเกษตร, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์,

- กรุงเทพฯ.
- พัทตร์เพ็ญ ภูมิพันธ์. 2556. บทบาทของราอาร์บัสคู ลารไมคอร์ไรซาต่อพืช ดิน และสิ่งแวดล้อม. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2: 91-101.
- ภัทรา ประเสริฐสมบัติ, ศุภิมา ธนะจิตต์, สมชัย อนุสนธิพรเพิ่ม, และเอิบ เขียวรัตน์. 2554. ผลของการไถพรวนต่อสมบัติดิน และผลผลิต ข้าวโพดที่ปลูกบนดินชุดดินวาริน. แก่นเกษตร. 39: 13-24.
- ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, ชัยสิทธิ์ ทองจุ และ แสงดาว เขาแก้ว. 2559. มลพิษทางดิน. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.
- สยมภู เพ็ชรมาก, เสาวนุช อารพฤกษ์ และ ณัฐพล จิตมาตย์. 2557. ผลของการปลูกพืชเชิงเดี่ยว ต่อการเปลี่ยนแปลงผลผลิตภาพดินในพื้นที่ลาดชันในแปลงทดลองโดยใช้ดัชนีผลผลิตภาพดิน ดัดแปลง (MPI). วารสารเกษตรพระจอมเกล้า 32: 18 –26.
- สุจิตตรา พูนสวัสดิ์. 2560. เอกสารวิชาการ เรื่อง “ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์”. สำนักกรมวิชาการ 1 สำนักงานเลขาธิการสภาผู้แทนราษฎร. กรุงเทพฯ
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2559. สถานการณ์สินค้าเกษตรที่สำคัญและแนวโน้ม ปี 2560. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2560. สถานการณ์สินค้าเกษตรที่สำคัญและแนวโน้ม ปี 2561. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2561. ข้อมูลเศรษฐกิจการเกษตร ปัจจัยการผลิต. แหล่งข้อมูล: <http://www.oae.go.th/view/1/ปัจจัยการผลิต/TH-TH>. ค้นเมื่อ 12 มีนาคม 2562
- สำนักสำรวจดินและวางแผนการใช้ที่ดิน. 2548. มหัตศวรรษพันธุดิน. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กรุงเทพฯ.
- สำนักวิจัยและพัฒนาการจัดการที่ดิน. 2541. ความรู้เรื่องหญ้าแฝก. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กรุงเทพฯ.
- อรพรรณ ณ บางช้างและอติพล ศรีเสาวลักษณ์. 2551. โครงการการศึกษามาตรการทางสังคมในการจัดการปัญหาดินเสื่อมคุณภาพอย่างยั่งยืน 2551. มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.
- Benchaphun. E., P. Gypmantasiri, K. Thong-ngam and P. Grudloyma. 2004. Maize in Thailand: Production Systems, Constraints, and Research Priorities. Mexico, D.F.: CIMMYT.
- Blake, G.R. and K.H. Hartge. 1986. Bulk density, pp. 363-382. In A. Klute, ed. Methods of Soil Analysis. Part 1: Physical and Mineralogical Properties. 2nd ed., Amer. Soc. of Agron. Inc., Madison, Wisconsin, USA.
- Bray, R.A. and L.T. Kurtz. 1945. Determination of total organic and available forms of phosphorus in soil. Soil Sci. 59: 39-45.
- Cassel, D.K. and D.R. Nielsen. 1986. Field capacity and available water capacity. Methods of Soil Analysis, Part 1: Physical and Mineralogical Method, 901-926.
- Chapman, H.D. 1965. Cation exchange capacity, pp. 891-901. In C.A. Black, ed. Method of Soil Analysis, Part II: Chemical and Microbiological Properties. Agron. No.9. Amer. Soc. of Agron. Inc., Madison, Wisconsin.
- Day, D.R. 1965. Particle fraction and particle size analysis, pp. 546-566. In C.A. Black, ed. Methods of Soil Analysis, Part I. Agronomy No. 9. Amer. Soc. of Agron. Inc., Madison, Wisconsin, USA.
- Jackson, M.L. 1965. Soil Chemical Analysis-Advanced Course. Department of Soils, University of Wisconsin, WI.
- Johnson, C.M. and A. Ulrich. 1959. Analytical methods for use in plant analysis. Calif. Agri.Exp.Stat.Bull.767: 25–78.
- Kilmer, V.J. and L.T. Alexander. 1949. Method of making mechanical analysis of soils. Soil Sci. 68: 15-24.
- Klute, A. 1965. Laboratory measurement of hydraulic conductivity of saturated soils. In C.A. Black, ed. Methods of Soil Analysis, Part I. Physical and Mineralogical Properties. Agronomy, No. 9. Amer. Soc. Agron. Inc., Madison, Wisconsin, USA. pp.

- 210- 220.
- Lima, P.L.T., M.L.N. Silva, N. Curi, and J. Quinton. 2014. Soil loss by water erosion in areas under maize and jack beans intercropped and monocultures. *Ciência e Agrotecnologia*, 38: 129-139.
- National Soil Survey Center. 1996. Soil Survey Laboratory Method Manual. Soil Survey Investigation. Report No. 42, Version 3.0. National Resources Conservation Service, United States Department of Agriculture.
- Pratt, P.F. 1965. Potassium. (C.A.Black Ed.). USA.:Soil Science Society of America and American Society of Agronomy.
- Rhoades, J.D. 1996. Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. *Methods of Soil Analysis Part 3 Chemical Methods*, (methods of soil analysis 3: 417-435.
- Smith, S.E. and D.J. Read. 1997. *Mycorrhizal Symbiosis*. 2nd Ed., Academic Press, London.
- Takim, F.O. 2012. Advantages of Maize-Cowpea Intercropping over Sole Cropping through Competition Indices. *J. of Agriculture and Bio diversity Research*. 1: 53-58.
- Tarawali, G., and E.T. Pamo. 1992. A case for on-farm trials of fodder banks on the Adamawa Plateau in Cameroon. *Exp. Agri*. 28: 229-235.
- Walkley, A. and C.A. Black. 1934. An examination of Degtijeff method for determining soil organic matter and proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci*.37: 29-35.