ผลของระบบอนุรักษ์ดินและน้ำต่อผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ และการเปลี่ยนแปลงสมบัติดินในพื้นที่ดอน

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

จุฑารัตน์ มนูญโย[1], ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย[1*], ชัยสิทธิ์ ทองจู[1] และ ศุภชัย อำคา[1]

Jutarat Manoonyo[1], Tawatchai Inboonchuay[1*], Chaisit Thongjoo[1] and Suphachai Amkha[1]

บทคัดย่อ: ศึกษาผลของระบบอนุรักษ์ดินและน้ำต่อผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ และการเปลี่ยนแปลงสมบัติดิน ในพื้นที่แปลงเกษตรกรบ้านซับลังกา ตำบลเกาะรัง อำเภอชัยบาดาล จังหวัดลพบุรี วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block (RCB) จำนวน 4 ซ้ำ 6 กรรมวิธี ดังนี้ 1) ไม่มีการอนุรักษ์ดินและน้ำ (IF) 2) ปลูกถั่วเขียว (IF+MB) 3) ปลูกแถบหญ้าแฝก (IF+VG) 4) ปลูกแถบหญ้าแฝกที่มีการใส่ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา (IF+VG+AMF) 5) ปลูกถั่วเขียวร่วมกับแถบหญ้าแฝก (IF+MB+VG) และ 6) ปลูกถั่วเขียวร่วมกับแถบหญ้าแฝกที่มีการใส่ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา (IF+MB+VG+AMF) ทุกตำรับการทดลองปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์โดยใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน ผลการทดลองพบว่า การปลูกถั่วเขียวและแถบหญ้าแฝกที่มีการใส่ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซามีผลให้พืชดูดใช้ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ในเมล็ด ลำต้น ใบ เปลือก และซัง ได้มากที่สุด การปลูกถั่วเขียวร่วมและแถบหญ้าแฝกที่มีการใส่ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซามีแนวโน้มให้ผลผลิตและองค์ประกอบของผลผลิตสูงสุด (น้ำหนักฝักปอกเปลือก 667.20 กก./ไร่น้ำหนักฝักทั้งเปลือก 750.90 กก./ไร่ น้ำหนักเปลือก 83.70 กก./ไร่ น้ำหนักซัง 89.90 กก./ไร่ และน้ำหนักเมล็ด 577.30 กก./ไร่) นอกจากนี้ การปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ภายใต้มาตรการอนุรักษ์ดินมีผลให้ความจุความชื้นที่เป็นประโยชน์ของดิน ปริมาณอินทรียวัตถุและความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืชของดินหลังปลูกสูงขึ้น อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาต้นทุน พบว่า การปลูกถั่วเขียวและแถบหญ้าแฝกให้ผลตอบแทนสูงที่สุด (3,333.58 บาท/ไร่) ขณะที่กรรมวิธีที่ไม่มีการอนุรักษ์ดินให้ผลตอบแทนต่ำที่สุด (2,199.28 บาท/ไร่)

คำสำคัญ: การอนุรักษ์, พื้นที่ดอน, ข้าวโพด, หญ้าแฝก

ABSTRACT: A study on the effect of soil and water conservation system on yield of maize and changes of soil properties in upland area was conducted in a farmer field at Ban Sap Langka, Ko Rang subdistrict, Chai Badan district, Lopburi province. Experimental design was a randomized complete block (RCB) 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. Planting

Received June 24, 2019

Accepted September 13, 2019

[1]ภาควิชาปฐพีวิทยา 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

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, 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 area, maize, vetiver grass

บทนำ

ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ เป็นหนึ่งในห้าพืชเศรษฐกิจหลักของประเทศไทย นอกเหนือจากข้าว มันสำปะหลัง อ้อย และยางพารา (Ekasingh et al., 2004) ความต้องการข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เพื่ออุตสาหกรรมอาหารมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น จึงเกิดแรงจูงใจให้เกษตรกรขยายพื้นที่ในการเพาะปลูกเพิ่มมากขึ้น (สุจิตตรา, 2560; สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2561) ทำให้เกิดการบุกรุกและตัดไม้ทำลายป่าเพื่อทำการเกษตร ซึ่งพื้นที่ส่วนใหญ่อยู่ในเขตที่ไม่เหมาะสมหรือเหมาะสมน้อยเนื่องจากเป็นพื้นที่ที่มีความลาดเท (อรพรรณ และอิทธิพล, 2551) โดย ภัทรา และคณะ (2554) รายงานว่า การปลูกข้าวโพดที่พบในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย มักปลูกในดินเนื้อหยาบรวมไปถึงดินลูกรัง จึงทำให้ประสบปัญหาเรื่องการขาดน้ำได้ง่าย และการสูญเสียธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชออกไปจากเขตรากพืชอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่ที่มีความลาดชันมากหรือพื้นที่สูงจะเกิดการเสื่อมโทรมของทรัพยากรดินรุนแรงเพิ่มมากขึ้นเนื่องมาจากการกร่อนดิน เป็นผลมาจากการใช้ประโยชน์ที่ดินไม่ถูกวิธี ขาดการปรับปรุงบำรุงดิน และการจัดการดินที่เหมาะสม (สำนักสำรวจดินและวางแผนการใช้ที่ดิน, 2548) ส่งผลให้ผลิตภาพของดินลดลง ผลผลิตทางการเกษตรที่ได้มีคุณภาพต่ำและไม่เพียงพอต่อความต้องการของตลาด (ศุภมาศ และคณะ, 2559) ดังนั้นระบบการอนุรักษ์ดินและน้ำที่เหมาะสมกับพื้นที่ จึงมีความสำคัญเพื่อให้การใช้ประโยชน์ที่ดินมีประสิทธิภาพ รวมถึงให้ผลิตผลทางการเกษตรได้อย่างมีคุณภาพตรงตามความต้องการของตลาด ชื่นจิตร และคณะ (2561) ศึกษาการใช้พืชตระกูลถั่วในระบบการปลูกที่มีธัญพืชเป็นพืชหลัก ซึ่งเป็นทางเลือกหนึ่งที่นำไปสู่ความยั่งยืนทั้งทางด้านเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม โดยที่การเพาะปลูกพืชแซมระหว่างชนิด มีศักยภาพในการควบคุมการกร่อนดิน มากกว่าการปลูกพืชแบบเดียวและการปล่อยพื้นที่เป็นดินเปล่า เนื่องจากการเพาะปลูกพืชแซมระหว่างชนิดจะทำให้ดินสูญเสียน้อยกว่าการเพาะปลูกพืชเชิงเดี่ยว (Lima et al., 2014) การปลูกพืชแซมในแถวพืชหลักยังช่วยลดอุณหภูมิดิน สามารถเพิ่มความชื้นในดิน ซึ่งเป็นการส่งเสริมกิจกรรมของสิ่งมีชีวิตได้อีกด้วยนอกจากนี้ยังเป็นการลดปัญหาวัชพืชได้อีกทางหนึ่ง (Takim, 2012) ดังนั้นการศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของระบบการอนุรักษ์ดินและน้ำต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ และการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพและเคมีของดินหลังปลูก โดยปลูกหญ้าแถบแฝกช่วยป้องกันการกร่อนดิน ลดความแรงของน้ำที่ไหลบ่า เพิ่มความชื้นและปริมาณอินทรียวัตถุในดิน และลดการสูญเสียธาตุอาหารพืชจากพื้นที่ เพื่อเป็นประโยชน์ในการทำการเกษตรและเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตพืชได้อย่างยั่งยืน (สำนักวิจัยและพัฒนาการจัดการที่ดิน, 2541)

วิธีการศึกษา

ทำการศึกษาตั้งแต่เดือน พฤษภาคม ถึง พฤศจิกายน พ.ศ.2561 ณ แปลงของเกษตรกร บ้านซับลังกา ตำบลเกาะรัง อำเภอชัยบาดาล จังหวัดลพบุรี ตั้งอยู่พิกัดที่ 15°21'41.0"N 101°16'41.6"E มีความสูงจากระดับน้ำทะเล 92 ม. มีสภาพภูมิประเทศโดยรวมเป็นพื้นที่ลูกคลื่นลอนชัน มีความลาดชันเฉลี่ย 15% ตามแนวตะวันออก-ตะวันตก 5% ตามแนวเหนือ-ใต้ ลักษณะเป็นดินตื้นพบหินกรวดปนในชั้นหน้าตัดดิน เนื้อดินเป็นดินร่วนปนทรายแป้ง มีอุณหภูมิเฉลี่ยในพื้นที่ 27.6 ^{O}C ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 71 ปริมาณฝนเฉลี่ย 1,125.1 มม./ปี (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2560) แปลงทดลองมีขนาด ความกว้าง×ยาว เท่ากับ 6×6 ม. จำนวน 24

แปลงย่อย แต่ละแปลงขุดดินเป็นขอบแปลงแล้วใช้แผ่นสังกะสีกั้นเป็นแปลงย่อย ในแต่ละแปลงย่อยห่างกัน 2 ม. วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block (RCB) โดยทุกกรรมวิธีมีการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน ประกอบด้วย 6 กรรมวิธี จำนวน 4 ซ้ำ ดังนี้ 1) ไม่มีการอนุรักษ์ดินและน้ำ (IF) 2) ปลูกถั่วเขียว (IF+MB) 3) ปลูกแถบหญ้าแฝก (IF+VG) 4) ปลูกแถบหญ้าแฝกที่มีการใส่ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา (IF+VG+AMF) 5) ปลูกถั่วเขียวร่วมกับแถบหญ้าแฝก (IF+MB+VG) และ 6) ปลูกถั่วเขียวร่วมกับแถบหญ้าแฝกที่มีการใส่ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา (IF+MB+VG+AMF) โดยมีการจัดการดังนี้

การปลูกแถบหญ้าแฝก ใช้พันธุ์สุราษฎร์ธานีปลูกขนานกันจำนวน 2 แถวท้ายแปลง ระยะระหว่างต้น 5 ซม. ประมาณ 200 – 240 ต้น/แปลง ตัดใบหญ้าแฝกให้อยู่ระดับ 30-50 ซม. เพื่อทำการรักษาแนวหญ้าแฝก ใส่ผงเชื้อราอาร์บัสคูลาไมคอร์ไรซา (soil inoculums) ของกรมวิชาการเกษตรที่มี Glomus spp. จำนวน 25 สปอร์ต่อน้ำหนักปุ๋ยชีวภาพ 1 ก. อัตราที่ใช้ประมาณ 10 ก. ต่อหญ้าแฝก1ต้น ในแถวของหญ้าแฝกที่ปลูกก่อนที่จะปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ แล้วปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์นครสวรรค์ 3 จำนวน 8 แถว/แปลง โดยมีระยะปลูก 75×25 ซม. ทำการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินตามคำแนะนำที่ได้จากผลวิเคราะห์ธาตุอาหารหลัก (20-5-10, N-P_2O_5-K_2O) (กรมวิชาการเกษตร, 2553) โดยใช้ปุ๋ยเคมี คือ ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต (AS สูตร 21-0-0) ปุ๋ยไดแอมโมเนียมฟอสเฟต (DAP สูตร 18-46-0) และปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ (MOP สูตร 0-0-60) ส่วนในแปลงที่มีการปลูกถั่วเขียว ทำการปลูกปลูกในแนวเดียวกับข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ โดยแทรกถั่วเขียวระหว่างต้น ระยะห่างระหว่างต้น 20 ซม. (โดยคลุกเมล็ดถั่วเขียวกับผงหัวเชื้อไรโซเบียมสำหรับถั่วเขียว จากกรมวิชาการเกษตร)

เก็บข้อมูลการเจริญเติบโตของพืช ได้แก่ ความสูงต้นของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ที่ 30 60 และ 90 วัน หลังปลูก จดบันทึกข้อมูลเพื่อเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของพืชในแต่ละกรรมวิธีการทดลอง เก็บเกี่ยวข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่อายุประมาณ 120 วัน นับจำนวนฝักทั้งหมดในแปลงสุ่มเก็บตัวอย่าง ชั่งน้ำหนักสด และน้ำหนักแห้ง สุ่มเก็บตัวอย่างส่วนเหนือดิน แยกเป็น 5 ส่วน คือ เมล็ด ซังเปลือก ลำต้น และใบของข้าวโพด ในแต่ละกรรมวิธี วิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม เพื่อประเมินปริมาณธาตุอาหารที่สูญเสียออกไปจากพื้นที่โดยติดไปกับผลผลิต โดยนำใบพืชมาอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 ^{O}C เป็นเวลาประมาณ 3 วัน จนตัวอย่างแห้งสนิท บดใบพืชที่ได้ให้ละเอียด จากนั้นนำไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ โดยการย่อยตัวอย่างพืชด้วย H_2SO_4-Na_2SO_4-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) สัมประสิทธิ์การนำน้ำที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (K_{sat}) โดยวิธีแรงขับน้ำถดถอย อ้างอิงจากกฎของดาร์ซี (Dary's law) (Klute, 1965) ความจุความชื้นสนาม (Field capacity, FC) โดยทำให้ดินอิ่มตัวด้วยน้ำแล้วใช้ความดันอากาศเท่ากับ 0.3 bar ผลักดันน้ำออกจากดิน (Klute, 1965), ความชื้นที่จุดเหี่ยวถาวร (Permanent wilting point, PWP) โดยทำให้ดินอิ่มตัวด้วยน้ำแล้วใช้ความดันอากาศเท่ากับ 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 ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน (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 และวิเคราะห์ปริมาณโดยวิธี colorimetric (Bray and Kurtz, 1945) โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Extractable K) แคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Extractable Ca) แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Extractable Mg) และโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Extractable Na) โดยสกัดด้วย 1N NH_4OAc pH 7.0 และวิเคราะห์ปริมาณด้วยเครื่อง Atomic absorption

spectrophotometer (Pratt, 1965) ค่าความเป็นกรดด่างของดิน (Soil pH) วัดโดยใช้ pH meter อัตราส่วนระหว่างดินต่อน้ำเท่ากับ 1 : 1 (NRCS, 1996) ค่าการนำไฟฟ้า (electric conductivity, EC) วัดโดยอัตราส่วนดินต่อน้ำเท่ากับ 1 : 5 (Rhoades, 1996) ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (Cation exchange capacity, CEC) โดยวิธี Leaching โดยใช้ 1N NH_4OAc pH 7.0 (Chapman, 1965) และ อัตราร้อยละความอิ่มตัวเบส (base saturation percentage: %BS) คำนวณจากค่าของปริมาณเบสรวมที่สกัดได้ทั้งหมด (NRCS, 1996)

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

ผลการศึกษาและวิจารณ์ผล

สมบัติดินในพื้นที่ทำการทดลอง

จากการวิเคราะห์สมบัติทางเคมี และกายภาพของดินในพื้นที่ศึกษา (Table 1) ที่ระดับความลึก 0-20 และ 20-40 ซม. พบว่า ปฏิกิริยาดิน เป็นกรดปานกลางในดินบน (pH 5.87) และเป็นกรดจัดในดินล่าง (pH 5.49) ปริมาณอินทรียวัตถุในดินบนอยู่ในระดับปานกลาง (2.34%) และมีปริมาณลดลงในดินล่าง (1.52%) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินบน (0.016%) และดินล่าง (0.019%) อยู่ในระดับต่ำมาก ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินบนอยู่ในระดับสูง (32.16 มก./กก.) และลดลงในดินล่าง (18.47 มก./กก.) ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินบน (32.77 มก./กก.) และดินล่าง (23.83 มก./กก.) อยู่ในระดับต่ำ ความหนาแน่นรวมของดินบนเท่ากับ 1.40 ก./ลบ.ซม. และเพิ่มขึ้นในดินล่าง (1.52 ก./ลบ.ซม.) สภาพการนำน้ำของดินบนเมื่อดินอิ่มตัว เท่ากับ 0.28 ม./วัน และช้าลงในดินล่าง (0.10 ม./วัน) เนื้อดินจากการประเมินโดยวิธีการตกตะกอน (Pipette method) ดินบนเป็นดินร่วน (Loam) และดินล่างเป็นดินร่วนปนทรายแป้ง (Silt Loam)

การเจริญเติบโตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

ความสูงของต้นข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ที่อายุ 30 60 และ 90 วัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 2) โดยกรรมวิธีการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการปลูกถั่วเขียว และแถบหญ้าแฝกที่มีการใส่ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา มีแนวโน้มให้ความสูงของต้นข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ทุกระยะการเจริญเติบโตสูงที่สุด (17.40, 137.90 และ 158.32 ซม. ตามลำดับ) เมื่อเทียบกับกรรมวิธีอื่น และกรรมวิธีที่ไม่มีการอนุรักษ์ดินและน้ำมีแนวโน้มของความสูงน้อยที่สุด (14.73, 126.50 และ 142.43 ซม. ตามลำดับ)

ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์การใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการปลูกถั่วเขียว และแถบหญ้าแฝกที่มีการใส่ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา มีแนวโน้มของน้ำหนักองค์ประกอบของพืช ได้แก่ น้ำหนักฝักทั้งเปลือก (750.90 กก./ไร่) น้ำหนักฝักปอกเปลือก (667.20 กก./ไร่) น้ำหนักเปลือก (83.70 กก./ไร่) น้ำหนักซัง (89.90 กก./ไร่) น้ำหนักเมล็ด (577.30 กก./ไร่) และน้ำหนัก 1000 เมล็ด (241.38 ก.) ของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มากที่สุด รองลงมาคือ การปลูกถั่วเขียวและแถบหญ้าแฝก ขณะที่กรรมวิธีที่ไม่มีการอนุรักษ์ดินและน้ำ มีแนวโน้มให้น้ำหนักองค์ประกอบผลผลิตต่ำที่สุด เนื่องจากมีการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินที่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ และการใส่ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซาช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวรากพืชในการดูดน้ำและธาตุอาหารในดิน (พักตร์เพ็ญ, 2556) และงานวิจัยของ ชื่นจิตร และคณะ (2561) ที่ทำการศึกษา อิทธิพลของการปลูกพืชแซมต่อประสิทธิภาพของข้าวโพดและถั่วพุ่มที่ปลูกบนดินลูกรัง พบว่า น้ำหนัก 1000 เมล็ด ไม่พบความแตกต่างระหว่างสิ่งทดลอง เนื่องจากทั้งสองปัจจัยถูกควบคุมด้วยลักษณะทางพันธุกรรม นอกจากนี้ หญ้าแฝกยังช่วยลดการสูญเสียธาตุอาหารในดิน และกักเก็บน้ำในดินได้ดี (กลุ่มอนุรักษ์ดินและน้ำ, 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 และซัง ในทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ยกเว้นไนโตรเจนในใบ ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในเปลือกของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (**Figure 3**) การปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์โดยใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการปลูกถั่วเขียว 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 ซัง (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 ซัง (0.36% 0.09% และ 0.97%) ของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ น้อยที่สุด เนื่องจาก การปลูกพืชที่มีการอนุรักษ์ดินและน้ำ อาจสามารถช่วยลดปัจจัยเสี่ยงต่างๆ ที่จะเป็นตัวเร่งในการเกิดปัญหาการกร่อนดินได้ (จักรดุลและวิรัชชัย, 2557) จึงทำให้ดินสามารถรักษาความอุดมสมบูรณ์ และความชื้นได้ดี รวมถึงเชื้อไรโซเบียมที่อาศัยอยู่ในปมรากถั่วจะทำหน้าที่ใน

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 without 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	15.49bcd	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+MB+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

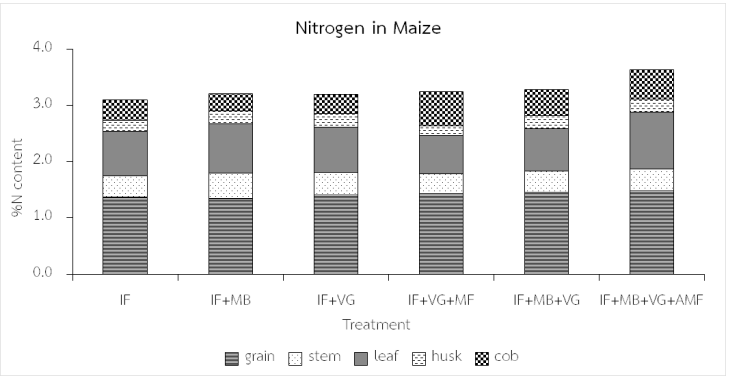
ns = not significant, *= significant difference at 95% level of confidence

การช่วยการตรึงไนโตรเจนจากอากาศให้อยู่ในรูปที่รากพืชนำไปใช้ได้ อีกทั้งการใส่ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซาจะช่วยในการเพิ่มพื้นที่ของรากพืชเพื่อใช้ในการดูดซับธาตุอาหารจากดิน แล้วลำเลียงไปยังโครงสร้างแลกเปลี่ยนธาตุอาหารของราที่อยู่ในเซลล์ในชั้นคอร์เท็กซ์ของพืช เพื่อส่งให้กับพืช (Smith and Read, 1997; พักตร์เพ็ญ, 2556) พืชจึงสามารถนำธาตุอาหารไปสะสมในส่วนต่างๆ ของพืชได้ดี

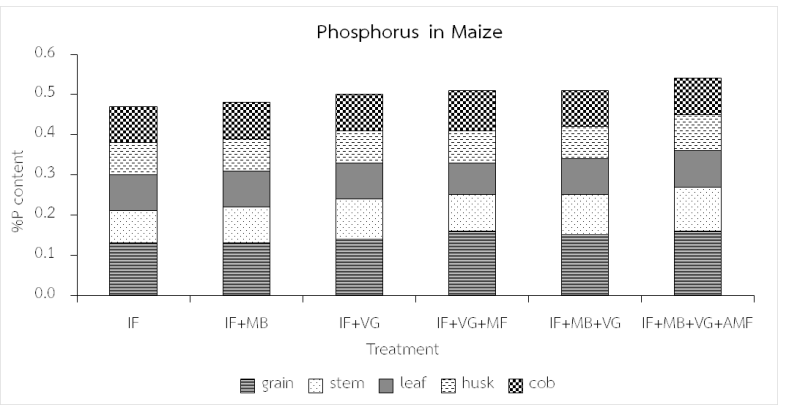
สมบัติทางกายภาพและเคมีของดินหลังเก็บเกี่ยว

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

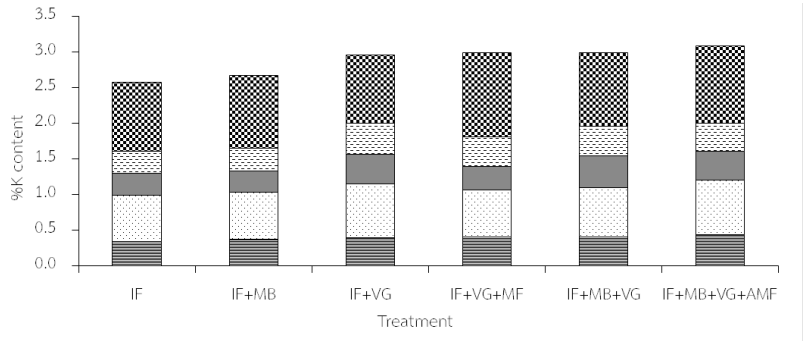
กรรมวิธีการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ภายใต้มาตรการ การอนุรักษ์ดินและน้ำ สามารถทำให้ค่าความจุความชื้นที่เป็นประโยชน์ (AWCA) เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับก่อนการปลูกพืช (13.78%) โดยกรรมวิธีการปลูกถั่วเขียวและแถบหญ้าแฝกมีความจุความชื้นที่เป็นประโยชน์มากที่สุด (19.49%) ซึ่งใกล้เคียงกับกรรมวิธีการปลูกแถบหญ้าแฝก (19.36%) และกรรมวิธีปลูกถั่วเขียวมีความจุความชื้นที่เป็นประโยชน์น้อยที่สุด (14.04%) ตามลำดับ เห็นได้ว่า สมบัติทางกายภาพของดินมีแนวโน้มที่ดีขึ้น สอดคล้องกับ การศึกษาของสยุมภู และคณะ (2557) ซึ่งศึกษาผลของการปลูกพืชเชิงเดี่ยวต่อการเปลี่ยนแปลงผลิตภาพดินในพื้นที่ลาดชันในแปลงทดลองโดยใช้ดัชนีผลิตภาพดินดัดแปลง (MPI) พบว่า การอนุรักษ์ดินและน้ำจะช่วยเพิ่มการยึดเกาะกันของเม็ดดิน ทำให้สามารถกักเก็บน้ำที่เป็นประโยชน์ต่อพืชเพิ่มขึ้น และการปลูกพืชภายใต้มาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำสามารถช่วยลดการเกิดการพังทลายของดิน รักษาความอุดมสมบูรณ์ของดิน และความชื้นในดินได้ (จักรดุล และวิรัชชัย, 2557)



(A)



(B)



(C)

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

นอกจากนี้ สมบัติทางเคมีของดินหลังปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ทุกกรรมวิธี ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยปฏิกิริยาดิน อยู่ในช่วง กรดจัดถึงกรดเล็กน้อย (pH 5.54-6.13) ความเค็มของดิน อยู่ในระดับที่ไม่มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืช (0.03-0.06 เดซิซีเมน/ม.) ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ อยู่ในระดับต่ำถึงต่ำมาก (20.31-33.27 มก./กก.) ระดับอินทรียวัตถุ (2.40 -2.75%) ปริมาณไนโตรเจน (0.13-0.17%) ปริมาณความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดิน (14.80-18.13 เซนติโมล/กก.) อยู่ในช่วงปานกลางถึงค่อนข้างสูง อัตราร้อยละความอิ่มตัวเบส (64.61-77.81%) ปริมาณแคลเซียม (7.21-9.71 มก./กก.) และแมกนีเซียม (2.37 -3.58 มก./กก.)

แก่นเกษตร 48 ฉบับที่ 2: 237-248 (2563)./doi:10.14456/kaj.2020.21.

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

Treatment	Physical Properties[1]				Chemical Properties[1]								
	BD	K_{sat}	AWCA	pH	EC_e	OM	N	Avai.P	Exch.K	Exch. Ca	Exch. Mg	CEC	BS
	($g\ cm^{-3}$)	($m\ day^{-1}$)	(%)		($dS\ m^{-1}$)	(……%……)		(……mg kg^{-1}……)				($cmol\ kg^{-1}$)	(%)
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

ที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับปานกลางถึงสูง ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (35.03-44.94 มก./กก.) อยู่ในระดับสูง จะเห็นได้ว่าสมบัติทางเคมีของดินหลังปลูกส่งผลให้ปริมาณอินทรียวัตถุ และความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารสูงขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อเปรียบเทียบกับดินก่อนปลูก ซึ่งสอดคล้องกับ ชื่นจิตร และคณะ (2561) ศึกษาอิทธิพลของการปลูกพืชแซมต่อประสิทธิภาพของข้าวโพดและถั่วพุ่มที่ปลูกบนดินลูกลัง โดยพบว่าหลังทำการทดลองแนวโน้มของค่าเฉลี่ยของสมบัติทางเคมีของดินดีขึ้น เนื่องจากการปลูกพืชตระกูลถั่วจะสามารถปรับปรุงสมบัติทางเคมี (Tarawali and Pamo, 1992) และเพิ่มอินทรียวัตถุรวมถึงธาตุอาหารให้แก่ดิน และรักษาคุณสมบัติของดินได้ในระยะยาว (ธวัชชัย และประทีป, 2536)

การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

การทดลองนี้มีค่าใช้จ่าย ประมาณ 1,862.16 - 2,462.16 บาท/ไร่ ซึ่งแบ่งเป็นค่าปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน 1,262.16 บาท/ไร่ ค่าปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา 600 บาท/ไร่ ค่าดูแลรักษาประมาณ 600 บาท/ไร่ และราคาข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ความชื้นไม่เกิน 14.5% ในเดือนกันยายน พ.ศ. 2561 เฉลี่ยกิโลกรัมละ 8.55 บาท จากสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรปี 2561 โดยค่าเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ เมล็ดถั่วเขียว หญ้าแฝก และปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียม ได้รับความอนุเคราะห์จากกรมวิชาการเกษตร ดังนั้น สามารถสรุปกำไรสุทธิโดยรวมของการทดลองดังแสดงไว้ใน **Table 4** กรรมวิธีการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์โดยการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการปลูกถั่วเขียวและแถบหญ้าแฝกให้ผลตอบแทนสูงที่สุด (3,333.58 บาท/ไร่)

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

Treatment	Chemical fertilizer	Bio-fertil-izer	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)

ในขณะที่กรรมวิธีการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์โดยไม่มีการอนุรักษ์ดินและน้ำให้ผลตอบแทนต่ำที่สุด (2,199.28 บาท/ไร่) นอกจากนี้ อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (BCR) ของทุกตำรับการทดลองมีค่ามากกว่า 1 แสดงให้เห็นว่าทุกกรรมวิธีการทดลองคุ้มค่าแก่การดำเนินการ แต่อย่างไรก็ตาม การปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์โดยการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการปลูกถั่วเขียวและแถบหญ้าแฝกมีอัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (BCR) สูงที่สุด (2.79) และ กรรมวิธีการปลูกแถบหญ้าแฝกที่มีการใส่ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซ่ามีอัตราส่วนต้นทุนต่อผลประโยชน์ของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ต่ำที่สุด (1.98)

สรุป

จากการศึกษาผลของระบบอนุรักษ์ดินและน้ำต่อผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ และการเปลี่ยนแปลงสมบัติดินในพื้นที่ดอนพบว่า การปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ร่วมกับถั่วเขียวและแถบหญ้าแฝกที่มีการใส่ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซามีแนวโน้มให้ความสูงของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ น้ำหนักผลผลิตต่อไร่ ได้แก่ น้ำหนักซัง น้ำหนักเมล็ด และน้ำหนัก 1000 เมล็ดของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ รวมถึงความเข้มข้นของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมที่สะสมอยู่ใน ลำต้น ใบ เปลือก ซัง และเมล็ดสูงกว่ากรรมวิธีอื่นๆ การปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ร่วมกับระบบการอนุรักษ์ดินมีแนวโน้มให้ธาตุอาหารในดิน และความจุความชื้นที่เป็นประโยชน์ของดินหลังปลูกสูงขึ้น อีกทั้งการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ร่วมกับถั่วเขียวและแถบหญ้าแฝกให้ผลตอบแทนอัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (BCR) สูงที่สุด ดังนั้น การปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ภายใต้ระบบการอนุรักษ์ดินและน้ำที่เหมาะสม จะสามารถลดการกร่อนและการสูญเสียธาตุอาหารจากการกร่อนในพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์บนพื้นที่ดอนได้ อย่างไรก็ตาม การศึกษานี้เป็นการศึกษาระยะสั้น เพียง 1 ฤดูปลูก จึงทำให้ไม่สามารถเปรียบเทียบถึงความแตกต่างของผลการศึกษาได้อย่างชัดเจน ควรมีการศึกษาถึงประสิทธิภาพของระบบอนุรักษ์ดินและน้ำรูปแบบต่างๆ ในระยะยาว เพื่อให้ได้ระบบอนุรักษ์ดินและน้ำที่เหมาะสมกับการปลูกข้าวโพดบนพื้นที่ดอนได้อย่างยั่งยืน

เอกสารอ้างอิง

กรมวิชาการเกษตร. 2553. คำแนะนำการใช้ปุ๋ยกับพืชเศรษฐกิจ. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

กลุ่มอนุรักษ์ดินและน้ำ. 2544. นิยามและทางเลือกมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำ. กองอนุรักษ์ดินและน้ำ. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

กรมอุตุนิยมวิทยา. 2560. ภูมิอากาศจังหวัดลพบุรี. สถานีอุตุนิยมวิทยาลพบุรี(บัวชุม). ลพบุรี.

จักรดุลย์ ศรีนนท์ และ วิรัชชัย น้อยเอี่ยม. 2557. การประเมินการสูญเสียดินบนพื้นที่ปลูกข้าวไร่ ด้วยสมการการสูญเสียดินสากล อำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก.

ชื่นจิตร แก้วกัญญา, อดิสร ยุบลวัฒน์, เอกราช มุกธวัตร, สุนิสา ผลผลฤทธิ์ และ อรทัย ยนต์พิมพ์. 2561. อิทธิพลของการปลูกพืชแซมต่อประสิทธิภาพของข้าวโพดและถั่วพุ่มที่ปลูกบนดินลูกรัง. แก่นเกษตร. 46: 405-411.

ธวัชชัย ณ นคร และประทีป วีระพัฒนนิรันทร์. 2536. การจัดการและอนุรักษ์ดินและน้ำในระดับไร่นา. น. 102-116. รายงานวิจัยประจำปี. กรมวิชาการเกษตร, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

พักตร์เพ็ญ ภูมิพันธ์. 2556. บทบาทของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาต่อพืช ดิน และสิ่งแวดล้อม. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2: 91-101.

ภัทรา ประเสริฐสมบัติ, ศุภิฌา ธนะจิตต์, สมชัย อนุสนธิ์พรเพิ่ม, และเอิบ เขียวรื่นรมณ์. 2554. ผลของการไถพรวนต่อสมบัติดิน และผลผลิตข้าวโพดที่ปลูกบนดินชุดดินวาริน. แก่นเกษตร. 39: 13-24.

ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, ชัยสิทธิ์ ทองจู และ แสงดาว เขาแก้ว. 2559. มลพิษทางดิน. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

สยุมภู เพ็ชรมาก, เสาวนุช ถาวรพฤกษ์ และ ณัฐพล จิตมาตย์. 2557. ผลของการปลูกพืชเชิงเดี่ยวต่อการเปลี่ยนแปลงผลิตภาพดินในพื้นที่ลาดชันในแปลงทดลองโดยใช้ดัชนีผลิตภาพดิน

ดัดแปลง (MPI). วารสารเกษตรพระจอมเกล้า 32: 18 –26.

สุจิตตรา พูนสวัสดิ์. 2560. เอกสารวิชาการ เรื่อง “ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์”. สำนักกรรมาธิการ 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. มหัศจรรย์พันธุ์ดิน. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กรุงเทพฯ.

สำนักวิจัยและพัฒนาการจัดการที่ดิน. 2541. ความรู้เรื่องหญ้าแฝก. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กรุงเทพฯ.

อรพรรณ ณ บางช้างและอิทธิพล ศรีเสาวลักษณ์. 2551. โครงการการศึกษามาตรการทางสังคมในการจัดการปัญหาดินเสื่อมคุณภาพอย่างยั่งยืน 2551. มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.

Ekasingh, B., 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. Agronomy, No. 9. Amer. Soc. of Agro. Inc., Madison, Wisconsin.

Bray, R.A. and L.T. Kurtz. 1945. Determination of total organic and available forms of phosphorus in soil. Soil Sci. Soc. Am. J. 59: 39-45.

Cassel, D.K. and D.R. Nielsen. 1986. Field capacity and available water capacity, pp. 901-926. In: A. Klute, ed. Methods of Soil Analysis, Part 1: Physical and Mineralogical Method. Agronomy, No. 9. Amer. Soc. of Agro. Inc., Madison, Wisconsin.

Chapman, H.D. 1965. Cation Exchange Capacity. pp. 891-901. In: C.A. Black, ed. Methods of Soil Analysis, Part 2: Chemical and Microbiological Properties. Agronomy, No. 9. Amer. Soc. of Agro. Inc., Madison, Wisconsin.

Day, P.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.

Jackson, M.L. 1965. Soil Chemical Analysis - Advanced Course. Department of Soils, University of Wisconsin, Wisconsin.

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. Soc. Am. J. 68: 15-24.

Klute, A. 1965. Laboratory measurement of hydraulic conductivity of saturated soils, pp. 210- 220. 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.

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. Ciênc. Agrotec. 38: 129-139.

National Soil Survey Center. 1996. Soil survey laboratory methods manual. Soil Survey Investigation Report No. 42, Version 3.0, Natural Resource Conservation Service, USDA, Wisconsin.

Pratt, P.E. 1965. Potassium. pp. 1023-1031. In: C.A. Black, ed. Method of Soil Analysis, Part II: Chemical and Microbiological Properties, Agronomy, No. 9. Amer. Soc.

Agro. Inc., Madison, Wisconsin.

Rhoades, J.D. 1996. Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids, pp. 417-435. In: R.L. Sparks, ed. Methods of Soil Analysis, Part 3. Chemical Methods, Amer. Soc. Agro. Inc., Madison, Wisconsin.

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 Biodiversity 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 Degtijreff method for determining soil organic matter and proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Sci. Soc.Am. J. 37: 29-35.