

การประเมินการกร่อนดินและการสูญเสียธาตุอาหารภายใต้มาตรการอนุรักษ์ดิน และน้ำในพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ อำเภอเขาสวนกวาง จังหวัดขอนแก่น

Assessing Soil Erosion and Nutrient Losses Under Soil and Water Conservation Measures in Maize Plantation, Khao Suan Kwang District, Khon Kaen Province

ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย^{1*} บุญทริก จิมชาติ² จุฑารัตน์ มนูญโย¹ และ ศิริสุดา บุตรเพชร¹
Tawatchai Inboonchuay^{1*}, Boontarik Chimchart², Jutarat Manoonyo¹ and Sirisuda Bootpetch¹

¹ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน อ. กำแพงแสน จ. นครปฐม 73140

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

²กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร จตุจักร กรุงเทพฯ 10900

²Soil Science Research Group, Agricultural Production Science Research and Development Division, Department of Agriculture, Bangkok 10900, Thailand

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

(Received: 8 November 2018; Accepted: 31 January 2019)

Abstract: A study on assessing erosion and nutrient losses under soil and water conservation measures in maize plantation of Khao Suan Kwang, Khon Kaen. The experiment was randomized complete block design with 4 replications and 7 treatments. The results revealed that among treatments were no significant differences in bulk density and saturated hydraulic conductivity of soils. The application of chemical fertilizer based on soil analysis with soybean, vetiver grass and mycorrhiza treatment was highest available water capacity of soil (14.92%). While the lowest value was obtained from farmer's practice (7.49%). The application of chemical fertilizer based on soil analysis with soybean, vetiver grass and mycorrhiza treatment induced lowest runoff (22.75 m³/rai), sediment (0.15 ton/rai) and nutrient losses (N = 0.011 P = 0.0039 and K = 0.0046 kg/rai). For economic value of soil erosion by water, the farmer's practice treatment had highest costs of erosion based on nutrient losses (21.98 baht/rai/growing season). The application of chemical fertilizer based on soil analysis with soybean, vetiver grass and mycorrhiza treatment gave highest weight of ear (668.42 kg/rai), husks (117.33 kg/rai), cobs (88.89 kg/rai) and grains of maize (579.11 kg/rai). While the farmer practice tended to give the lowest of yield. Additionally, the application of chemical fertilizer based on soil analysis with soybean, vetiver grass and mycorrhiza treatment gave the highest concentration of nitrogen, phosphorus, and potassium in stems (1.83, 0.26 and 0.41%), leaves (1.16, 0.34 and 0.55%), husks (0.55, 0.34 and 0.31%), cobs (0.93, 0.18 and 0.35%) and grains of maize (1.47, 0.84 and 0.33%). Besides, the chemical fertilizer application based on soil analysis with soil and water conservation measures had the effect on increasing of organic matter and plant nutrient availability of the soil with compared to farmer practice. Therefore, maize plantations under soil and water

conservation measures are suitable systems which can reduce erosion and also the losses of nutrients by erosion in the upland maize plantation.

Keywords: Erosion, soil conservation, economic value, maize, upland soil

บทคัดย่อ: ศึกษาการประเมินการกร่อนดินและการสูญเสียธาตุอาหารภายใต้มาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำในพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ใน อ.เขาสวนกวาง จ.ขอนแก่น โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ (RCBD) จำนวน 4 ซ้ำ 7 ต่ำรับการทดลอง พบว่า ความหนาแน่นรวมของดินและค่าสัมประสิทธิ์การนำน้ำที่อิ่มตัวด้วยน้ำทุกต่ำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างทางสถิติ การใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการปลูกถั่วเหลือง หญ้าแฝก และปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา ส่งผลให้ค่าความจุน้ำใช้ประโยชน์ได้มีค่าสูงที่สุด (14.92%) ขณะที่วิธีปฏิบัติของเกษตรกรมีค่าต่ำที่สุด (7.49%) การใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการปลูกถั่วเหลือง หญ้าแฝกและปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา ส่งผลให้มีปริมาณน้ำไหลบ่า (22.75 ลูกบาศก์เมตร/ไร่) ตะกอน (0.15 ตัน/ไร่) และการสูญเสียธาตุอาหารต่ำที่สุด ($N = 0.011$ $P = 0.0039$ และ $K = 0.0046$ กิโลกรัม/ไร่) มูลค่าการสูญเสียทางเศรษฐศาสตร์จากการกร่อนดินพบว่าวิธีปฏิบัติของเกษตรกรมีการสูญเสียสูงที่สุด (21.98 บาท/ไร่/ฤดูปลูก) ด้านผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พบว่า การใส่ปุ๋ยเคมีร่วมกับการปลูกถั่วเหลือง หญ้าแฝก และใส่ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซามีผลให้น้ำหนักฝัก (668.42 กิโลกรัม/ไร่) เปลือก (117.33 กิโลกรัม/ไร่) ชัง (88.89 กิโลกรัม/ไร่) เมล็ด (579.11 กิโลกรัม/ไร่) และความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมที่สะสมอยู่ในลำต้น (1.83 0.26 และ 0.41%) ใบ (1.16 0.34 และ 0.55%) เปลือก (0.55 0.34 และ 0.31%) ชัง (0.93 0.18 และ 0.35%) และเมล็ด (1.47 0.84 และ 0.33%) ของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์สูงที่สุด นอกจากนี้ การใส่ปุ๋ยเคมีร่วมกับการอนุรักษ์ดินแบบต่าง ๆ มีผลให้ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินและธาตุอาหารพืชที่เป็นประโยชน์สูงกว่าวิธีปฏิบัติของเกษตรกร ดังนั้น การปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ภายใต้มาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำบนพื้นที่ดอนสามารถลดการกร่อนดินและการสูญเสียธาตุอาหารได้

คำสำคัญ: การกร่อน การอนุรักษ์ดิน มูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ดินดอน

คำนำ

ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เป็นพืชอาหารที่มีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมการเลี้ยงสัตว์เป็นอย่างมาก ในปี พ.ศ. 2560 ประเทศไทยมีพื้นที่เพาะปลูกข้าวโพดประมาณ 6.71 ล้านไร่ ผลผลิต 5.03 ล้านตัน และผลผลิตเฉลี่ย 676 กิโลกรัม/ไร่ ในขณะที่ความต้องการตลาดเฉลี่ยปีละ 7.95 ล้านตัน ดังนั้น ตลาดต้องการเพิ่มอีกถึง 2.92 ล้านตัน เนื่องจากภาคอุตสาหกรรมการเลี้ยงสัตว์ยังคงขยายตัวเพิ่มขึ้น ทำให้ความต้องการใช้ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เพื่อเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์เพิ่มขึ้น (Office of Agricultural Economics, 2017) พื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์อยู่ในภาคเหนือประมาณร้อยละ 47 รองลงมาเป็นภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ร้อยละ 28 และภาคกลางร้อยละ 25 มีพื้นที่ราบที่เหมาะสมกับการเพาะปลูกไม่เพียงพอต่อ

ความต้องการเกษตรกรส่วนใหญ่จึงต้องใช้พื้นที่ภูเขาในการเพาะปลูก ซึ่งปัญหาที่เกษตรกรส่วนใหญ่พบเหมือนกันคือ ผลผลิตต่อไร่ต่ำ โดยเฉพาะในพื้นที่ดอนและพื้นที่ลาดชัน เนื่องจากประสบปัญหาหน้าดินถูกชะล้าง ส่งผลให้ผลผลิตภาพดิน (soil productivity) ลดลงอย่างรวดเร็ว (Lal, 2001; Lobo *et al.*, 2005) และยังไม่มีแผนในการแก้ไขปัญหา (Ekasing *et al.*, 2001) การสูญเสียดินจากการกร่อนเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นแพร่หลายทั่วโลกและมีผลกระทบต่อผลผลิตภาพของระบบนิเวศธรรมชาติและการเกษตร (Pimentel, 2006) การสูญเสียธาตุอาหารเนื่องจากการไหลบ่าและการกร่อนดินเป็นสาเหตุหลักของการเสื่อมโทรมของพื้นที่เกษตร (Bertol *et al.*, 2003) ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส คาร์บอนอินทรีย์ โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และโซเดียมเป็นธาตุอาหารหลักที่ถูกพัดพาโดยการไหลบ่าและการกร่อนของดิน (Hidayat

et al., 2012) นอกจากนี้ ยังทำให้โครงสร้างของดินถูกทำลาย ส่งผลให้ความสามารถในการกักเก็บน้ำและความอุดมสมบูรณ์ของดินลดลงตามไปด้วย (Cerdá, 2007) โดยทั่วไปการเพาะปลูกพืชเชิงเดี่ยวบนพื้นที่ลาดชันโดยไม่มีมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำและการจัดการดินที่เหมาะสม จะมีปริมาณการสูญเสียดินต่อปีสูงถึง 20 ตัน/ไร่/ปี (Land Development Department, 2011) ทั้งนี้มีงานวิจัยที่ได้ชี้ให้เห็นผลกระทบจากการปลูกข้าวโพดเชิงเดี่ยวในพื้นที่ลาดชัน เป็นเวลานานจะส่งผลให้ระบบนิเวศเสื่อมโทรม เกิดภัยแล้ง หน้าดินขาดความอุดมสมบูรณ์ โรคแมลงระบาดมากขึ้น เส้นทางการน้ำตื้นเขิน รวมถึงส่งผลต่อสภาพสังคมของชุมชนในพื้นที่คือ ต้นทุนการผลิตเพิ่มขึ้น จึงทำให้หลายประเทศมีการศึกษาระบบการปลูกพืชเพื่อการอนุรักษ์ดินโดยเฉพาะกลุ่มประเทศในทวีปแอฟริกา เช่น บอตสวานา และไนจีเรีย มีการปลูกข้าวโพด ข้าวไร่ และข้าวฟ่าง แล้วปลูกพืชวงศ์ถั่วแซมระหว่างแถวพืชหลัก นอกจากนี้ยังมีการศึกษาในประเทศบราซิล และประเทศจีน เป็นที่ยอมรับกันว่า การใช้พืชวงศ์ถั่วในระบบการปลูกพืชทั้งในรูปของการปลูกพืชหมุนเวียน การปลูกเป็นพืชแซม และการปลูกเป็นปุ๋ยพืชสด จะช่วยให้พืชหลักมีการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตสูงขึ้น (Kaewkunya et al., 2018) โดย Lima et al. (2018) พบว่าการปลูกข้าวโพดในบราซิล แซมด้วยถั่วพรีมีการสูญเสียตะกอนดินน้อยกว่าการปลูกพืชเชิงเดี่ยว นอกจากนี้ Takim (2012) รายงานถึงข้อได้เปรียบของการปลูกพืชแซมข้าวโพด-ถั่วพุ่ม เมื่อเปรียบเทียบกับปลูกพืชเดี่ยวคือสามารถลดจำนวนวัชพืช และเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ที่ดิน ในขณะที่ Kasivivat et al. (2004) พบว่า การปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์คลุมด้วยปุ๋ยอินทรีย์ซากพืช ให้ผลผลิตข้าวโพดเฉลี่ยสูงสุด และพบว่าเมื่อมีการปลูกหญ้าแฝกกันเป็นแนวระดับช่วยลดการพังทลายของดิน และสามารถเก็บกักความชื้นในดินได้ดี นอกจากนี้พืชวงศ์ถั่วแล้ว การใช้หญ้าแฝกในระบบอนุรักษ์ดินและน้ำในปัจจุบันมีการใช้ประโยชน์แพร่ขยายไปกว่า 120 ประเทศ เนื่องจากเป็นพืชที่ทนทานต่อสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันได้ดี ช่วยลดการสูญเสียดิน และช่วยรักษาความชื้นในดิน (Greenfield, 1990) ในไนจีเรีย พบว่าข้าวโพดที่ปลูกเป็นพืชเดี่ยวต่อเนื่อง 5 ปี โดยมีการปลูก

หญ้าแฝกป้องกันการร่อนดินร่วมในระบบ ทำให้ผลผลิตข้าวโพดเฉลี่ยเพิ่มขึ้นร้อยละ 49.1 เปรียบเทียบกับการไม่มีหญ้าแฝก (Babalola et al., 2005) และยังมีรายงานอื่นที่แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพเชิงบวกของหญ้าแฝกในระบบการปลูกพืช (Grimshaw, 1993; Levan and Truong, 2003; Oshunsanya, 2013; Sukhkasem et al., 2017; Xia et al., 1996) การใช้มาตรการอนุรักษ์ดินที่มีความเหมาะสมต่อพื้นที่จะช่วยลดปัญหาการร่อนได้ ซึ่งนอกจากมาตรการดังกล่าว ยังพบว่าอาราบัสคูลาร์ ไมคอร์ไรซามีบทบาทต่อการรักษาโครงสร้างของดินให้มีความคงทนต่อการร่อนดินได้เช่นเดียวกัน เนื่องจาก เส้นใยนอกรากพืชของรามีการแพร่กระจายอย่างหนาแน่นในดิน จึงสามารถรักษาโครงสร้างดินให้มี ความคงทนแข็งแรงได้ดี (Bedini et al., 2009; Poomipan, 2013)

ดังนั้น การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณการร่อนดิน การไหลบ่า ปริมาณธาตุอาหารในตะกอนดิน ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ รวมทั้งประเมินมูลค่าการสูญเสียทางเศรษฐศาสตร์ จากผลกระทบของการร่อนดินภายใต้มาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำในพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการกำหนดมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำที่เหมาะสมกับสภาพพื้นที่และพืชที่ปลูกเพื่อลดความเสื่อมโทรมของทรัพยากรดินลดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมและนำไปสู่การใช้ที่ดินเพื่อการเกษตรกรรมได้อย่างยั่งยืนต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

แปลงทดลองตั้งอยู่ที่ศูนย์วิจัยและพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตรขอนแก่น บ้านคำม่วง ต.คำม่วง อ.เขาสวนกวาง จ.ขอนแก่น พิกัดที่ตั้ง 16° 51' N 102° 51' E ความสูง 210 เมตรจากระดับน้ำทะเล มีสภาพภูมิประเทศเป็นพื้นที่ลูกคลื่นลอนลาด (undulating) มีความลาดเทเฉลี่ย 4.02 เปอร์เซ็นต์ เป็นชุดดินวาริน (Typic Kandiusults) ลักษณะเนื้อดินเป็นดินทรายปนดินร่วน เริ่มทำการวิจัยตั้งแต่เดือนพฤษภาคมถึงกันยายน 2560 ขนาดแปลงกว้าง × ยาว เท่ากับ 4×5 เมตร จำนวน 28 แปลงย่อย และเพื่อป้องกันน้ำไหลบ่าจากแปลงข้างเคียง

จึงทำการฝังแผ่นสังกะสีล้อมรอบขอบแปลงในแต่ละแปลงย่อย โดยมีความสูงเหนือผิวดิน 30 เซนติเมตร ด้านท้ายแปลงทำการก่ออิฐสูง 30 เซนติเมตร และต่อท่อรองรับน้ำไหลบ่าไปยังบ่อตกตะกอน วางแผนการทดลองแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ (RCBD) ประกอบด้วย 7 ดำรับการทดลองจำนวน 4 ซ้ำ ได้แก่ 1) วิธีปฏิบัติของเกษตรกร (FP) 2) ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน (IF) (30-5-10: N-P₂O₅-K₂O กก./ไร่ (Department of Agriculture, 2005) 3) ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการปลูกถั่วเหลือง (IF+SB) 4) ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการปลูกหญ้าแฝก (IF+VG) 5) ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการปลูกหญ้าแฝก และใส่ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา (IF+VG+AMF) 6) ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการปลูกถั่วเหลือง และหญ้าแฝก (IF+SB+VG) 7) ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการปลูกถั่วเหลืองหญ้าแฝกและใส่ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา (IF+SB+VG+AMF)

ปลูกหญ้าแฝกในช่วงฤดูฝนเพื่อการอนุรักษ์ดินและน้ำ โดยปลูกเป็นแถวตามแนวอิฐบล็อกด้านท้ายแปลงปลูกห่างจากอิฐบล็อกระยะ 15 เซนติเมตร ปลูกหญ้าแฝกให้แต่ละต้นห่างกัน 5 เซนติเมตร ปลูก 2 แถวให้ขนานกับแนวแรกโดยมีระยะระหว่างแถว 30 เซนติเมตร เตรียมเมล็ดถั่วเหลืองก่อนปลูก โดยคลุกเมล็ดด้วยเชื้อไรโซเบียม จากนั้นปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ลูกผสมพันธุ์นครสวรรค์ 3 ลักษณะแถวเดียว ระยะปลูกต้น x แถว เท่ากับ 75 x 25 เซนติเมตร ดำรับการทดลองที่มีการปลูกถั่วเหลือง ให้ปลูกถั่วเหลืองในแถวเดียวกันกับข้าวโพดเลี้ยงสัตว์โดยแทรกถั่วเหลืองระหว่างต้นข้าวโพด ปลูก 3 ต้นต่อหลุม สำหรับการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (30-5-10: N-P₂O₅-K₂O กิโลกรัม/ไร่) โดยแบ่งใส่ 2 ครั้ง ได้แก่ ปุ๋ยรองพื้น และครั้งที่ 2 เมื่อข้าวโพดอายุประมาณ 2 เดือน โดยวิธีโรยข้างแถวของข้าวโพด ขณะที่ดำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา โดยใส่รองพื้นพร้อมปลูกแฝกอัตรา 2 กรัมต่อต้น เก็บข้อมูลตัวอย่างตะกอนดินและวัดปริมาณน้ำไหลบ่าผิวดินในบ่อตกตะกอนดินในช่วงที่มีฝนตก สัปดาห์ละ 1 ครั้ง ตลอดฤดูปลูก และนำตัวอย่างตะกอนดินไปวิเคราะห์เพื่อคำนวณหาปริมาณธาตุอาหารพืชหลักที่สูญเสีย จากนั้นเก็บเกี่ยวผลผลิต ข้าวโพดที่อายุประมาณ 120 วัน พื้นที่เก็บเกี่ยวกว้าง x ยาว เท่ากับ 3x3 เมตร

สุ่มเก็บตัวอย่าง 8 ต้นต่อแปลงย่อย โดยตัวอย่างส่วนเหนือดิน แยกเป็น 5 ส่วน คือ เมล็ด ชัก เปลือก ลำต้นและใบของข้าวโพด ในแต่ละดำรับการทดลองมาวิเคราะห์หาปริมาณ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม เพื่อประเมินความเข้มข้นของธาตุอาหารในองค์ประกอบผลผลิต เก็บตัวอย่างดินหลังปลูกทุกแปลงย่อย ประกอบด้วย ตัวอย่างดินที่ถูกรบกวน (disturbed soil sample) เพื่อวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมี โดยใช้วิธีมาตรฐาน (Nation Soil Survey Center, 1996) ประกอบด้วย การกระจายของอนุภาคดิน โดยวิธีไปเปตต์ ความหนาแน่นรวม โดยวิธี core method พีเอชดิน โดยใช้อัตราส่วนดินต่อน้ำ เท่ากับ 1:1 สภาพการนำไฟฟ้า (electrical conductivity: EC_e) วัดในสารละลายดินที่สกัดจากดินซึ่งอิ่มตัวด้วยน้ำ (saturation extract) คาร์บอนอินทรีย์ โดยวิธี Walkley and Black titration อินทรีย์วัตถุ คำนวณจากคาร์บอนอินทรีย์คูณด้วย 1.724 ไนโตรเจนรวม โดยวิธี Kjeldahl method ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โดยวิธี Bray II โพแทสเซียมและเบสที่แลกเปลี่ยนได้โดยสกัดด้วย 1 M NH₄OAc pH 7.0 ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน โดยการชะแคตไอออน ด้วยสารละลาย 1 M NH₄OAc pH 7.0 และตัวอย่างดินที่ไม่ถูกรบกวน (undisturbed soil sample) โดยใช้กระบอกเก็บตัวอย่างดิน (soil core) เก็บที่ระดับความลึก 0-20 เซนติเมตร เพื่อนำมาวิเคราะห์สมบัติดิน ได้แก่ ความหนาแน่นรวมของดิน สภาพน้ำในดิน อิ่มตัวด้วยน้ำ และความจุน้ำใช้ประโยชน์

วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ โดยวิธี ANOVA (analysis of variance) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย โดยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ขึ้นไป

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. การสูญเสียดินและน้ำไหลบ่า

การสูญเสียดินและปริมาณน้ำไหลบ่าผิวดินแต่ละดำรับการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 1) โดยการสูญเสียดินในแต่ละดำรับการทดลองพบว่าวิธีปฏิบัติของเกษตรกร มีการสูญเสียดินมากที่สุด (0.68 ต้น/ไร่) ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยตามค่า

Table 1. Effects of soil conservation measures combined with IF on runoff and soil loss

Treatments	Runoff (m ³ /rai)	Soil loss (ton/rai)
Farmer practices	50.45 ^a	0.68 ^a
Fertilizer based on soil analysis	48.37 ^a	0.61 ^b
Fertilizer based on soil analysis +Soybean	39.21 ^b	0.38 ^c
Fertilizer based on soil analysis +Vetiver grass	29.23 ^c	0.21 ^d
Fertilizer based on soil analysis +Vetiver grass + Mycorrhizal biofertilizer	28.00 ^{cd}	0.22 ^d
Fertilizer based on soil analysis +Soybean + Vetiver grass	25.65 ^d	0.16 ^e
Fertilizer based on soil analysis +Soybean + Vetiver grass+ Mycorrhizal biofertilizer	22.75 ^e	0.15 ^e
F-test	**	**
CV (%)	24.9	19.1

^a Means within the same column followed by the same letter indicated no statistical difference using by DMRT

** indicated significant difference at $P < 0.01$

วิเคราะห์ดิน (0.61 ตัน/ไร่) รองลงมาคือการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการปลูกถั่วเหลืองเท่ากับ 0.38 ตัน/ไร่ ขณะที่การใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการปลูกถั่วเหลือง หญ้าแฝก และปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา (T7) มีน้ำหนักระกอนดินน้อยที่สุด คือ 0.15 ตัน/ไร่ มีการสูญเสียดินน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับกรรมวิธีอื่น ๆ อย่างไรก็ตามการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินทุกตัวรับการทดลองอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ (< 2.5 ตัน/ไร่/ปี) เมื่อเทียบกับเกณฑ์ของกรมพัฒนาที่ดิน (Land Development Department, 2000) ปริมาณน้ำไหลบ่าผิวดินจากแปลงทดลอง พบว่าวิธีปฏิบัติของเกษตรกร มีปริมาณน้ำไหลบ่ามากที่สุด เท่ากับ 50.45 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ รองลงมาคือการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน เท่ากับ 48.37 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ การใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการปลูกถั่วเหลือง หญ้าแฝก และปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซามีปริมาณน้ำไหลบ่าน้อยที่สุด คือ 22.75 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ สังเกตได้ว่าตัวรับการทดลองที่มีการปลูกหญ้าแฝก มีแนวโน้มให้ปริมาณการสูญเสียดินและปริมาณน้ำไหลบ่าผิวดินลดลงอย่างเห็นได้ชัดเจน (Aneksamphat *et al.*, 1994; Kittiwiroe and Kongkaew, 2007) ซึ่งคล้ายคลึงกับการศึกษาของ Babalola *et al.* (2005) ที่พบว่า ดินที่ถูกกร่อนในแปลงที่ไม่มีการปลูกหญ้าแฝกจะมีการสูญเสียปริมาณธาตุอาหารมากกว่าในแปลงที่มีการปลูกหญ้าแฝกโดยเฉพาะไนโตรเจนซึ่งมีมากกว่า ถึงร้อยละ 40 (Sukkasem *et al.*, 2017) นอกจากนี้

การใส่ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซามีบทบาทต่อการรักษาโครงสร้างของดินให้มีความคงทนต่อการกร่อน จากรายงานการวิจัยของ Wright and Upadhyaya (1998) พบว่าเส้นใยรากของพืชของอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามีอิทธิพลต่อความแข็งแรงคงทนของเม็ดดิน จึงทำให้รากอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามีบทบาทสำคัญต่อการป้องกันการกร่อนของดินได้เป็นอย่างดี

2. มูลค่าการสูญเสียทางเศรษฐศาสตร์จากการกร่อนดิน

วิธีปฏิบัติของเกษตรกรมีผลให้ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมทั้งหมดที่สูญเสียไปกับตะกอนดินมากที่สุด คือ 0.75, 0.035 และ 0.030 กิโลกรัม/ไร่ ตามลำดับ (Table 2) รองลงมา การใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินมีการสูญเสียปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมทั้งหมด เท่ากับ 0.62, 0.028 และ 0.024 กิโลกรัม/ไร่ ตามลำดับ ขณะที่การใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการปลูกถั่วเหลือง หญ้าแฝก และปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา มีการสูญเสียปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมทั้งหมดน้อยที่สุด คือ 0.11, 0.0039 และ 0.0046 กิโลกรัม/ไร่ ตามลำดับ ทั้งนี้ ไนโตรเจนเป็นธาตุที่เปลี่ยนแปลงรูป หรือแปรสภาพได้ตลอดเวลา ซึ่งการสูญเสียไนโตรเจนโดยการชะละลาย (leaching) ไปกับฝนซึ่งดินในพื้นที่ในพื้นที่ศึกษาเป็นดินเนื้อหยาบ

Table 2. The economic value of soil erosion by water

Treatments	Soil loss (.....kg/rai/crop.....)	N loss	P loss	K loss	Economic value (baht) ¹			
					N	P	K	Total
FP	681.01	0.75	0.035	0.030	19.56	1.57	0.85	21.98
IF _{DOA}	566.50	0.62	0.028	0.024	16.16	1.26	0.68	18.10
IF _{DOA} + SB	278.46	0.28	0.012	0.011	7.30	0.54	0.32	8.16
IF _{DOA} + VG	205.49	0.21	0.0061	0.0064	5.47	0.27	0.18	5.92
IF _{DOA} + VG + AMF	220.46	0.22	0.0064	0.0076	5.73	0.28	0.22	6.23
IF _{DOA} + SB + VG	163.18	0.15	0.0048	0.0058	3.91	0.22	0.17	4.30
IF _{DOA} + SB + VG + AMF	150.46	0.11	0.0039	0.0046	2.86	0.18	0.13	3.17

Remarks: FP = Farmer practices; IF = Fertilizer based on soil analysis; SB = Soybean; VG = Vertiver grass; MF = Mycorrhizal biofertilizer

¹Urea (46-0-0) 600 baht per 50 kg bags, DAP (18-46-0) 1,035 baht per 50 kg bags, KCl (0-0-60) 860 baht per 50 kg bags (Office of Agricultural Economics, 2016)

ส่วนฟอสฟอรัสเป็นสารประกอบฟอสเฟตที่ละลายน้ำได้น้อย แต่ก็ยังมีโอกาสติดไปกับดินที่เกิดจากการกร่อน ซึ่งในปีหนึ่งอาจสูญเสียฟอสฟอรัสประมาณ 1-3 กิโลกรัม ฟอสฟอรัส/ไร่/ปี (หรือประมาณ 0.4-1.2% ของฟอสฟอรัสทั้งหมดในชั้นไทรพอร์น) อีกทั้งจากการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของดินพบว่าดินมีค่า พีเอช 4.9 ซึ่งเป็นกรดจัด ทำให้ฟอสเฟตถูกตรึง โดยไอออนบวกที่ละลายได้พวก Fe^{+2} Al^{+3} และ hydrous oxide ของเหล็ก อะลูมิเนียม และแมงกานีส (Soil Science Faculty Staff, 2005) ในส่วนของโพแทสเซียมพบว่าดินที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ อยู่ในอันดับอัลทิซอลส์ ซึ่งดินในอันดับนี้มีการพัฒนาการสูง และเกิดกระบวนการชะละลายได้ดี จึงส่งผลให้โพแทสเซียมถูกชะละลายออกจากพื้นที่ได้ง่าย และชนิดแร่ดินเหนียวของดินในที่ดอนในอันดับนี้ส่วนใหญ่เป็นแร่ดินเหนียวที่มีกิจกรรมต่ำ ได้แก่ แร่เคลโอไลน์ต์ ซึ่งมีปริมาณ total-K ต่ำ และดินเหนียวหยาบจะมีปริมาณ total-K ต่ำกว่าดินเนื้อละเอียด (Havlin *et al.*, 2005) มูลค่าการสูญเสียทางเศรษฐศาสตร์ของธาตุอาหารหลักทั้งไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้จากตะกอนดินเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณธาตุอาหารที่สูญเสียเป็นจำนวนเงินจากราคาของแม่ปุ๋ยได้แก่ ปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) ปุ๋ยไดแอมโมเนียมฟอสเฟต (DAP สูตร

18-16-0) และปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ (MOP สูตร0-0-60) พบว่าวิธีปฏิบัติของเกษตรกร (T1) มีมูลค่าการสูญเสียสูงที่สุดคือ 21.98 บาทต่อไร่ รองลงมาคือการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน เท่ากับ 18.10 บาทต่อไร่ การใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการปลูกถั่วเหลือง หญ้าแฝกและปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา มีมูลค่าการสูญเสียเท่ากับ 3.17 บาทต่อไร่ ซึ่งการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เพียงอย่างเดียวมีมูลค่าการสูญเสียสูงที่สุด ขณะที่การปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ภายใต้ระบบอนุรักษ์ดินและน้ำ มีมูลค่าการสูญเสียน้อย Khamkajorn (2015) ชี้ให้เห็นว่าการปลูกยางพาราร่วมกับการปลูกข้าวโพดตามด้วยถั่วเหลือง สามารถลดปริมาณน้ำไหลบ่า การสูญเสียธาตุอาหาร และมูลค่าการสูญเสียทางเศรษฐศาสตร์น้อยที่สุด

อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้ ไม่ได้มีการคำนวณผลตอบแทนจากการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ซึ่งต้องคำนึงถึง ต้นทุนเมล็ดพันธุ์ ปุ๋ย การเตรียมแปลง แรงงาน วัสดุในการอนุรักษ์ดิน โดยนารายได้หักลบต้นทุนการผลิตทั้งหมด จะทำให้ทราบกำไรสุทธิในการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์บนพื้นที่ดอน ซึ่งเป็นแนวทางให้เกษตรกรสามารถเลือกใช้มาตรการการอนุรักษ์ดินที่เหมาะสมและให้ผลตอบแทนสูงสุด

3. ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

การใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการปลูกถั่วเหลือง หนุ่ยแฝง และใส่ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา ส่งผลให้น้ำหนักฝักเปลือกเปลือก (668.42 กิโลกรัม/ไร่) น้ำหนักเมล็ด (579.11 กิโลกรัม/ไร่) น้ำหนักเปลือก (117.33 กิโลกรัม/ไร่) และน้ำหนักขัง (88.89 กิโลกรัม/ไร่) ของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่สูงที่สุด รองลงมาคือ ตำรับการทดลองที่มีการใส่ปุ๋ยเคมีร่วมกับการปลูกถั่วเหลือง และหนุ่ยแฝง ขณะที่วิธีปฏิบัติของเกษตรกรมีแนวโน้มให้น้ำหนักฝัก เปลือก ขัง และเมล็ดของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์น้อยที่สุด (Table 3) อย่างไรก็ตาม ผลผลิตข้าวโพดในทุกตำรับการทดลอง มีผลผลิตต่ำกว่าเฉลี่ยของแปลงทดลอง ศูนย์วิจัยพืชไร่นครสวรรค์ (1,106 กิโลกรัม/ไร่) (Nakhon Sawan Field Crops Research Center, 2017) ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจาก พื้นที่ทดลองเป็นดินเนื้อหยาบ ทำให้ง่ายต่อการสูญเสียธาตุอาหารจากการชะล้าง อิทธิพลของระบบปลูกพืชแซมทำให้เกิดการแก่งแย่งกันเมื่อปลูกร่วมกัน ได้แก่ แสง ความชื้น และธาตุอาหาร รวมไปถึงชนิดและลักษณะของการเจริญเติบโตของพืชที่ปลูกร่วมกัน (Kang *et al.*, 1981; Sampet, 1999)

4. ความเข้มข้นของธาตุอาหารในองค์ประกอบผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

การใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการปลูกถั่วเหลือง หนุ่ยแฝงและใส่ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา ส่งผลให้ความเข้มข้นของไนโตรเจนที่สะสมอยู่ในลำต้น (1.83%) ใบ (1.16%) เปลือก (0.55%) ขัง (0.93%) และเมล็ด (1.47%) ของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่สูงที่สุด ซึ่งไม่แตกต่างกับตำรับการทดลองที่มีการปลูกถั่วเหลืองเป็นพืชแซมในตำรับอื่น (IF+SB และ IF+SB+VG) อาจเนื่องจากถั่วเหลืองมีไรโซเบียมที่อาศัยอยู่ในปมรากถั่วสามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศให้อยู่ในรูปที่รากพืชดูดไปใช้ได้ (Mala, 2003) จึงทำให้มีการสะสมของไนโตรเจนในข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มากขึ้น โดยตำรับการทดลองอื่นมีความเข้มข้นของไนโตรเจนใกล้เคียงกัน (Table 4) การใส่ปุ๋ยเคมีร่วมกับการปลูกถั่วเหลือง หนุ่ยแฝง และใส่ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซาส่งผลให้ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสที่สะสมอยู่ในลำต้น ใบ เปลือก ขัง และเมล็ดของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่สูงที่สุด โดยมีความเข้มข้นสูงกว่าระดับวิกฤติขาดแคลน (0.29 %) ในส่วนของเมล็ดของทุกตำรับการทดลอง (0.73-0.84 %) เนื่องจากฟอสฟอรัสช่วยในการออกดอก และสร้างเมล็ดของพืช จึงมีการสะสมเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว

Table 3. Effects of soil conservation measures combined with IF on ear number, weight of ear without husk, husk, cob and grain

Treatments	Ear without husk weight (kg/rai)	Husk weight (kg/rai)	Cob weight (kg/rai)	Grain weight (kg/rai)
FP	309.32 ^e	53.33 ^d	48.00 ^c	261.32 ^e
IF _{DOA}	440.87 ^d	67.55 ^{cd}	64.00 ^{bc}	376.87 ^d
IF _{DOA} +SB	522.65 ^c	88.89 ^{abc}	71.11 ^b	451.54 ^{cd}
IF _{DOA} +VG	501.31 ^c	85.33 ^{bc}	67.55 ^b	433.76 ^{cd}
IF _{DOA} +VG+AMF	600.87 ^b	92.44 ^{abc}	74.66 ^{ab}	526.21 ^{bc}
IF _{DOA} +SB+VG	632.86 ^{ab}	103.11 ^{ab}	74.06 ^{ab}	558.80 ^{ab}
IF _{DOA} +SB+VG+AMF	668.42 ^a	117.33 ^a	88.89 ^a	579.11 ^a
F-test	*	*	*	*
CV (%)	21.38	26.83	18.02	24.37

Remarks: FP = Farmer practices; IF = Fertilizer based on soil analysis; SB = Soybean; VG = Vetiver grass; AMF = Mycorrhizal biofertilizer

¹ Means within the same column followed by the same letter indicated no statistical difference using by DMRT

* indicated significant difference at $P < 0.05$

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

Treatments	N					P					K				
	Stem	Leaf	Husk	Cob	Grain	Stem	Leaf	Husk	Cob	Grain	Stem	Leaf	Husk	Cob	Grain
FP	0.89 ^c	0.67 ^{cd}	0.25 ^d	0.76	1.07 ^c	0.18 ^o	0.28	0.12 ^d	0.15 ^b	0.73 ^c	0.18 ^o	0.28	0.12 ^d	0.15 ^b	0.73 ^c
IF _{DOA}	1.67 ^{ab}	0.76 ^c	0.38 ^c	0.83	1.24 ^b	0.22 ^{cd}	0.33	0.16 ^c	0.15 ^b	0.75 ^c	0.22 ^{cd}	0.33	0.16 ^c	0.15 ^b	0.75 ^c
IF _{DOA} +SB	1.70 ^{ab}	0.82 ^c	0.42 ^{bc}	0.95	1.22 ^{bc}	0.21 ^d	0.29	0.17 ^{bc}	0.15 ^b	0.75 ^c	0.21 ^d	0.29	0.17 ^{bc}	0.15 ^b	0.75 ^c
IF _{DOA} +VG	1.62 ^b	1.02 ^b	0.38 ^c	0.79	1.42 ^a	0.25 ^{ab}	0.33	0.17 ^c	0.17 ^{ab}	0.77 ^{bc}	0.25 ^{ab}	0.33	0.17 ^c	0.17 ^{ab}	0.77 ^{bc}
IF _{DOA} +VG+AMF	1.64 ^b	1.07 ^{ab}	0.48 ^b	0.86	1.37 ^{ab}	0.23 ^{bcd}	0.31	0.16 ^c	0.17 ^{ab}	0.74 ^c	0.23 ^{bcd}	0.31	0.16 ^c	0.17 ^{ab}	0.74 ^c
IF _{DOA} +SB+VG	1.72 ^{ab}	1.07 ^b	0.47 ^b	0.9	1.41 ^a	0.24 ^{abc}	0.34	0.19 ^{ab}	0.18 ^a	0.83 ^{ab}	0.24 ^{abc}	0.34	0.19 ^{ab}	0.18 ^a	0.83 ^{ab}
IF _{DOA} +SB+VG+AMF	1.83 ^a	1.16 ^a	0.55 ^a	0.93	1.47 ^a	0.26 ^a	0.34	0.20 ^a	0.18 ^a	0.84 ^a	0.26 ^a	0.34	0.20 ^a	0.18 ^a	0.84 ^a
F-test	*	*	*	ns	*	*	ns	*	*	*	*	ns	*	*	*
CV (%)	19.41	19.43	23.07	10.14	10.53	12.88	9.69	14.56	9.84	6.37	12.88	9.69	14.56	9.84	6.37

Remarks: FP = Farmer practices; IF = Fertilizer based on soil analysis; SB = Soybean; VG = Vetiver grass; AMF = Mycorrhizal biofertilizer

¹Means within the same column followed by the same letter indicated no statistical difference using by DMRT

* indicated significant difference at $P<0.05$

ในช่วงที่เมล็ดสะสมแป้ง (Osotsapar, 2000) ในขณะที่ความเข้มข้นของโพแทสเซียมที่สะสมอยู่ในลำต้น ใบเปลือก ชัง และเมล็ดของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์สูงที่สุดในตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยร่วมกับการปลูกถั่วเหลือง หญ้าแฝก และใส่ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา ส่งผลให้โดยส่วนของใบ (0.33-0.55%) มีความเข้มข้นสูงที่สุดเนื่องจากส่วนใหญ่โพแทสเซียมจะสะสมอยู่ในลำต้นและใบข้าวโพด (Paisanchaen et al., 2008) ขณะที่วิธีปฏิบัติของเกษตรกรมีความเข้มข้นของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียมในลำต้น ใบเปลือก ชัง และเมล็ดต่ำที่สุด (Table 4) อย่างไรก็ตาม ความเข้มข้นของธาตุอาหารหลักในใบข้าวโพดที่ระยะเก็บเกี่ยวอยู่ในระดับวิกฤติขาดแคลน (Reuter and Robinson, 1997) อาจเนื่องจากพื้นที่ทดลองเป็นดินเนื้อหยาบ ทำให้ง่ายต่อการสูญเสียธาตุอาหารจากการชะล้าง

5. การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางฟิสิกส์และเคมีของดินหลังปลูกที่ระดับความลึก 20 เซนติเมตร

การใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินเพียงอย่างเดียวหรือใช้ร่วมกับวิธีการอนุรักษ์ดินในแต่ละตำรับการทดลองไม่มีผลให้ค่าความหนาแน่นรวม และสัมประสิทธิ์การนำน้ำที่อิ่มตัวด้วยน้ำแตกต่างกันทางสถิติ อย่างไรก็ตามความหนาแน่นรวมและสัมประสิทธิ์การนำน้ำที่อิ่มตัวของ

ดินหลังปลูกที่ระดับความลึก 20 เซนติเมตร มีค่าต่ำกว่าดินก่อนปลูก ค่าความจุน้ำใช้ประโยชน์ได้ของดินมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) การใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการปลูกถั่วเหลืองและหญ้าแฝก มีค่าความจุน้ำใช้ประโยชน์ได้สูงที่สุด 19.20 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาเป็นการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการปลูกถั่วเหลือง หญ้าแฝก และปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา เท่ากับ 14.92 เปอร์เซ็นต์ (Table 5) ปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมในดินของตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยเคมีร่วมกับการปลูกถั่วเหลือง หญ้าแฝกและใส่ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา มีปริมาณธาตุอาหารดังกล่าวสูงที่สุด เนื่องจากมีการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าที่วิเคราะห์ได้โดยมีอัตราสูงกว่าวิธีปฏิบัติของเกษตรกร ซึ่งปริมาณไนโตรเจนอาจเกิดจากการตรึงไนโตรเจนของไรโซเบียมที่อาศัยอยู่ในปมรากถั่วเหลืองมาเปลี่ยนให้อยู่ในรูปที่พืชสามารถใช้ประโยชน์ได้ (Yomyart, 2014) นอกจากนี้หญ้าแฝกยังช่วยลดการสูญเสียธาตุอาหารในดิน และกักเก็บน้ำในดินได้ดี (Greenfield, 1990) และการใส่ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซาจะช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวรากพืชในการดูดน้ำ และธาตุอาหารจากดินมากขึ้น (Poomipan, 2013; Soil Science Faculty Staff, 2005) นอกจากนี้การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดินด้านอื่นพบว่า ปฏิกริยาดินทุกตำรับการทดลองอยู่ในระดับกรดจัด

**การประเมินการร่อนดินและการสูญเสียธาตุอาหารภายใต้มาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำ
ในพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ อำเภอเขาสวนกวาง จังหวัดขอนแก่น**

Table 5. 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} (cm/h)	AWC (%)	pH	EC _e (dS/m)	OM (.....%.....)	Total N	Avail.P (.....mg/kg.....)	Exch.K	Exch.Ca	Exch.Mg	CEC (cmol/kg)
Before planting	1.74	8.82	8.19	5.53	0.16	0.24	0.0084	41.32	30.34	54.44	5.32	8.70
FP	1.62	2.17	7.49 ^{cd}	4.88	0.015 ^a	0.40 ^b	0.009 ^b	16.99 ^d	17.61 ^d	18.22 ^b	8.62 ^c	8.74 ^d
IF	1.61	2.21	8.28 ^{cd}	4.97	0.013 ^b	0.50 ^a	0.019 ^a	25.25 ^c	20.74 ^{bc}	22.08 ^a	16.40 ^{ab}	9.41 ^{bc}
IF +SB	1.52	2.32	8.72 ^c	4.92	0.013 ^b	0.52 ^a	0.019 ^a	25.01 ^c	19.72 ^c	21.56 ^a	16.65 ^{ab}	9.19 ^c
IF +VG	1.65	2.69	6.87 ^d	4.82	0.012 ^b	0.51 ^a	0.019 ^a	29.31 ^b	20.33 ^c	21.26 ^a	16.82 ^{ab}	9.61 ^b
IF +VG+AMF	1.63	2.84	9.46 ^c	4.81	0.012 ^b	0.51 ^a	0.021 ^a	33.89 ^a	22.40 ^a	20.76 ^a	16.17 ^b	9.60 ^b
IF +SB+VG	1.66	2.34	19.20 ^a	4.99	0.013 ^b	0.53 ^a	0.021 ^a	34.35 ^a	21.91 ^{ab}	21.07 ^a	16.98 ^{ab}	10.61 ^a
IF+SB+VG+AMF	1.67	2.43	14.92 ^b	5.07	0.012 ^b	0.57 ^a	0.024 ^a	36.01 ^a	22.91 ^a	22.13 ^a	17.09 ^a	10.88 ^a
F- test	ns	ns	*	ns	*	*	*	*	*	*	*	*
CV (%)	4.77	36.55	31.78	2.58	10.08	12.14	26.98	22.80	8.93	7.12	18.86	7.61

Remarks: FP = Farmer practices; IF = Fertilizer based on soil analysis; SB = Soybean; VG = Vetiver grass; AMF = Mycorrhizal biofertilizer; BD = Bulk density; K_{sat} = Saturated hydraulic conductivity; AWC= Available water capacity

¹ Means within the same column followed by the same letter indicated no statistical difference using by DMRT

ns: non-significant; * indicated significant difference at $P < 0.05$

ถึงกรดจัดมาก เป็นไปได้ว่าปุ๋ยเคมีที่ใช้เป็นปุ๋ยยูเรีย (46%N) ซึ่งในสภาพดินไร่ที่มีการถ่ายเทอากาศดีจะส่งผลให้แอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) ถูกออกซิไดซ์ก่อให้เกิดไฮโดรเจนไอออน (H^+) จึงมีผลตกค้างทำให้ดินเป็นกรดได้ (Osotsapar *et al.*, 2008) ทำให้ปฏิกิริยาดินหลังปลูกลดต่ำลง และเนื่องจากพื้นที่ทดลองเป็นดินร่วนปนทรายอาจมีผลให้แคตไอออนต่าง ๆ ถูกชะล้างได้ง่ายโดยน้ำฝน ทำให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ (Wongkrachang and Rattaneetu, 2013) ก่อให้เกิดไฮโดรเจนไอออนตกค้างส่งผลให้ความเป็นกรดในดินเพิ่มขึ้น ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินอยู่ในระดับต่ำถึงต่ำมาก ซึ่งมีค่าสูงขึ้นในดินหลังปลูกอาจเนื่องมาจากเศษเหลือของชีวมวลส่วนเหนือดินสามารถเพิ่มเติมอินทรีย์วัตถุในดินได้ ซึ่งการนำเศษซากพืชออกจากพื้นที่เพาะปลูกเป็นที่รู้กันโดยทั่วไปว่าเป็นสาเหตุที่ทำให้คาร์บอนอินทรีย์ในดินลดลง (Mann *et al.*, 2002; Yang and Wander, 1999) ค่าการนำไฟฟ้าของดินอยู่ในระดับที่ไม่มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืช ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ลดลงในดินหลังปลูกเนื่องจากฟอสฟอรัสจะสูญเสียไปในรูปของผลผลิตเมล็ดมากกว่าส่วนอื่น นอกจากนี้ ความเป็นประโยชน์ของ

ฟอสฟอรัสจะขึ้นอยู่กับค่าพีเอช (Brady and Weil, 2008) ปริมาณความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดินอยู่ในระดับค่อนข้างต่ำถึงปานกลาง (Land Classification Division, 1973; Soil Survey Division, 1993)

สรุป

การใช้มาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำรูปแบบต่าง ๆ มีแนวโน้มที่จะเพิ่มค่าความจุน้ำใช้ประโยชน์ได้ โดยการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการปลูกถั่วเหลือง หนุ่ยแฝง และปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา ส่งผลให้ปริมาณน้ำไหลบ่า (22.75 ลูกบาศก์เมตร/ไร่) ตะกอนดิน (0.15 ตัน/ไร่) และการสูญเสียธาตุอาหารต่ำที่สุด ($N = 0.011$ $P = 0.0039$ และ $K = 0.0046$ กิโลกรัม/ไร่) นอกจากนี้ยังพบว่าการปฏิบัติของเกษตรกรมีมูลค่าการสูญเสียทางเศรษฐศาสตร์จากการร่อนดินสูงที่สุดเท่ากับ 21.98 บาท/ไร่ อีกทั้งยังต้องคำนึงถึงผลตอบแทนทางเศรษฐกิจหลังจากหักต้นทุนการผลิต แรงงาน ต้นทุนวัสดุในการอนุรักษ์ดินที่เพิ่มขึ้นในการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์อีกด้วย การใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการปลูกถั่ว

เหลืออง หน้าแฝก และใส่ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซามีผลให้น้ำหนักฝัก (668.42 กิโลกรัม/ไร่) เปลือก (117.33 กิโลกรัม/ไร่) ชั่ง (88.89 กิโลกรัม/ไร่) เมล็ดของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (579.11 กิโลกรัม/ไร่) รวมทั้งเข้มข้นของธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมที่สะสมอยู่ในลำต้น ใบ เปลือก ชั่ง และเมล็ดสูงที่สุด อย่างไรก็ตาม การใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการอนุรักษ์ดินแบบต่าง ๆ มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของดินพบว่า ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน และธาตุอาหารพืชที่เป็นประโยชน์ สูงกว่าวิธีปฏิบัติของเกษตรกร ดังนั้นการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ภายใต้มาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำบนพื้นที่ดอนสามารถลดการกร่อนดินและการสูญเสียธาตุอาหารจากการกร่อนดินได้แต่อย่างไรก็ตาม ควรมีการศึกษาถึงประสิทธิภาพของระบบอนุรักษ์ดินและน้ำ ในรูปแบบต่าง ๆ ทั้งในระยะกลาง และระยะยาว เพื่อให้ได้รูปแบบของระบบอนุรักษ์ดินและน้ำสำหรับการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในพื้นที่ดอนอย่างยั่งยืน

เอกสารอ้างอิง

- Anecksamphant, C., S. Boonchee, P. Inthapan and U. Taejajai. 1994. Management of sloping land for sustainable agriculture in northern Thailand. Progress Report ASIALAND Network Phase II (1992-1994). Land Development Department, Bangkok.
- Babalola, O., S.O. Oshunsanya and K. Are. 2005. Continuous cultivation of maize under vetiver grass strip management; runoff, soil loss, nutrient losses and maize yields. Ibadan Journal of Agricultural Research 2: 16-26.
- Bedini, S., E. Pellegrino, L. Avio, S. Pellegrini, P. Bazzoffi, E. Argese and M. Giovannetti. 2009. Changes in soil aggregation and glomalin-related soil protein content as affected by the arbuscular mycorrhizal fungal species *Glomus mosseae* and *Glomus intraradices*. Soil Biology and Biochemistry 41: 1491-1496.
- Bertol, I.B., E.L. Mello, J.C. Guadagnin, A.L.V. Zapparoli and M.R. Carrafa. 2003. Nutrient losses by water erosion. Scientia Agricola 60: 581-586.
- Brady, N.C. and R.R. Weil. 2008. The Nature and Properties of Soil. 14th ed. Pearson, Upper Saddle River, New Jersey.
- Cerdá, A. 2007. Soil water erosion on road embankments in eastern Spain. Science of the Total Environment 378: 151-155.
- Department of Agriculture. 2005. Recommendation of fertilizer application for economic crops. pp. 21-24. In: Paper No.8/2005. Ministry of Agriculture and Cooperatives, Bangkok. (in Thai)
- Ekasing, B., P. Gypmantasiri and K. Thong-ngam. 2001. Assess potentials, alternatives and needs of maize farmer in major maize growing areas of Thailand 2000. The Multiple Cropping Center, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai. (in Thai)
- Greenfield, J.C. 1990. Vetiver Grass (*Vetiveria* spp.): The Ideal Plant for Vegetative Soil and Moisture Conservation. Asia Technical Department, Agriculture Division, World Bank, Washington, D.C.
- Grimshaw, R.G. 1993. The Role of Vetiver Grass in Sustaining Agricultural Productivity. Asia Technical Department, World Bank, Washington, D.C.
- Havlin, J.L., J.D. Beaton, S.L. Tisdale and W.L. Nelson. 2005. Soil Fertility and Fertilizers: An Introduction to Nutrient Management. 7th ed.

- Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.
- Hidayat, Y. K., Murtlaksono and N. Sinukaban. 2012. Characterization of surface runoff, soil erosion and nutrient loss on forest-agriculture landscape. *Journal of Tropical Soils* 17: 259-266.
- Kaewkunya, C., A. Yubonwat, A. Muktawat, S. Pholpharit and O. Yonpim. 2018. Effects of intercropping on the performance of corn and cowpea grown on lateritic soil. *Khon Kaen Agriculture Journal* 46 (Supplement Issue 1): 405-411. (in Thai)
- Kang, B.T., G.F. Wilson and L. Sipkens. 1981. Alley cropping maize (*Zea mays* L.) and leucaena (*Leuceana leucocephala* Lam) in southern Nigeria. *Plant and Soil* 63: 165-179.
- Kasivivat, A., C. La-ied and S. Boonpradub. 2004. Study on Corn-based cropping system on sloping lands in Phetchabun province. Office of Agricultural Research and Development Region 2, Phetchabun. (in Thai)
- Khamkajorn, T. 2015. Assessing erosion and nutrient losses under soil and water conservation measures in upland rubber plantation: A case study Wang Thong District, Phisanulok Province. M.S. Thesis. Naresuan University, Phisanulok. 93 p. (in Thai)
- Kittiwirote, K. and T. Kongkaew. 2007. Soil erosion, nutrient balance and economic value of various soil and water conservation methods and farmer's perspective after transfer the knowledge of soil and Water conservation systems. *Khon Kaen Agriculture Journal* 35(4): 521-530. (in Thai)
- Lal, R. 2001. Soil degradation by erosion. *Land Degradation* 12: 519-539.
- Land Classification Division. 1973. *Soil Interpretation Handbook for Thailand*. Land Development Department, Bangkok. (in Thai)
- Land Development Department. 2000. *Soil Loss in Thailand*. Land Development Department, Bangkok. (in Thai)
- Land Development Department. 2011. Area and soil loss rates according to the land use in each regions of Thailand. (online), Available: <http://www.idd.go.th/ofswweb/thaisoil/p10.htm> (September 25, 2018). (in Thai)
- Levan, D. and P. Truong. 2003. Vetiver grass system for erosion control on severe acid sulfate soil on southern Vietnam. pp. 284-292. In: P. Truong and H.P. Xia (eds.) *Proceedings of the 3rd International Conference on Vetiver and Exhibition: Vetiver and Water*. Guangzhou, China.
- Lima, P.L.T., M.L.N. Silva, J.N. Quinton, P. V. G. Batista, B.M. Cândido and N. Curi. 2018. Relationship among crop systems, soil cover, and water erosion on a Typic Hapludox. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 42: e0170081.
- Lobo, D., Z. Lozano and F. Delgado. 2005. Water erosion risk assessment and impact on productivity of a Venezuela soil. *Catena* 64(2-3): 297-306.
- Mala, T. 2003. *Organic Fertilizer and Bio-fertilizer: Application and Production Techniques*. Kasetsart University Press, Bangkok. 300 p. (in Thai)
- Mann, L., V. Tolbert and J. Cushman. 2002. Potential environmental effects of corn (*Zea mays* L.) stover removal with emphasis on soil organic matter and erosion. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 89(3): 149-166.

- Nakhon Sawan Field Crops Research Center. 2017. Hybrid maize Nakhon Sawan 3. Office of Agricultural Research and Development Region 5, Nakhon Sawan. (in Thai)
- National Soil Survey Center. 1996. Soil Survey Laboratory Methods Manual. Soil Survey Investigation No. 42, Version 3. United States Department of Agriculture, Lincoln, Nebraska.
- Office of Agricultural Economics. 2017. Agricultural Statistics of Thailand 2016-2017. Office of Agricultural Economics, Bangkok. (in Thai)
- Oshunsanya, S.O. 2013. Spacing effects of vetiver grass (*Vetiveria nigriflora* Stapf) hedgerows on soil accumulation and yields of maize-cassava intercropping system in southwest Nigeria. *Catena* 104: 120-126.
- Osotsapar, Y. 2000. Plant nutrition. Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok. 529 p. (in Thai)
- Osotsapar, Y., A. Wongmaneeroj and C. Hongprayoon. 2008. Fertilizers for Sustainable Agriculture. Kasetsart University Press, Bangkok. 519 p. (in Thai)
- Paisancharoen, K., A. Nunthakit, S. Meunchang and P. Panpruk. 2008. Effect of organic, chemical and bio-fertilizers on maize (var. Nakhon Sawan 2) production in Wang Saphung soil series. *Thai Agricultural Research Journal* 26(1): 82-90. (in Thai)
- Pimentel, D. 2006. Soil erosion: A food and environmental threat. *Environment, Development and Sustainability* 8: 119-137.
- Poomipan, P. 2013. Roles of arbuscular mycorrhizal fungi on plant, soil and environment. *Thai Journal of Science and Technology* 2(2): 91-101. (in Thai)
- Reuter, D.J. and J.B. Robinson. 1997. *Plant Analysis: An Interpretation Manual*, 2nd ed. CSIRO Publishing, Collingwood.
- Sampet, C. 1999. *Physiology of Crop Production*. Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai. 284 p. (in Thai)
- Soil Science Faculty Staff. 2005. *Introduction to Soil Science*. Kasetsart University Press, Bangkok. 547 p. (in Thai)
- Soil Survey Division. 1993. *Soil Survey Manual*. United States Department of Agriculture Handbook No. 18. United States Government Printing Office, Washington, D.C.
- Sukkasem, A., S. Anusontpornperm, I. Kheoruenromne, A. Suddhiprakarn and S. Thanachit. 2017. Effect of long-term soil and water conservation measure on soil erosion and carbon sequestration under field crop practices. *Khon Kaen Agriculture Journal* 45(2): 285-296. (in Thai)
- Takim, F.O. 2012. Advantages of maize-cowpea intercropping over sole cropping through competition indices. *Journal of Agriculture and Biodiversity Research* 1(4): 53-58.
- Wongkrachang, S. and B. Rattaneetu. 2013. Sandy soils management for agriculture. *Princess of Naradhiwas University Journal* 5(4): 184-194. (in Thai)
- Wright, S.F. and A. Upadhyaya. 1998. A survey of soils for aggregate stability and glomalin, a glycoprotein produced by hyphae of AM fungi. *Plant and Soil* 198: 97-107.
- Xia, H.P., H.X. AO, D.Q. He and S.Z. Liu. 1996. A study on vetiver grass in soil amelioration, and soil and moisture conservation. *Tropical Geography* 16: 265-270.

Yang, X.M. and M.M. Wander. 1999. Tillage effects on soil organic carbon distribution and storage in silt loam soil in Illinois. Soil and Tillage Research 52: 1-9.

Yomyart, S. 2014. Rhizobium. The Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology, Bangkok. (in Thai)