

ผลของการไถพรวนต่อสมบัติดินและผลผลิตข้าวโพดที่ปลูกบนดิน ชุดดินวาริน

Effect of Tillage Practices on Soil Properties and Yield of Maize Grown on Warin Soil

ภัทรา ประเสริฐสมบัติ¹, ศุภนิภา ธนะจิตต์^{1*}, สมชัย อนุสนธิ์พรเพิ่ม¹, และอิบ เขียวรีนรมณ์¹

Pattra Prasertsombut¹, Suphicha Thanachit^{1*}, Somchai Anusontpornperm¹,
and Irb Kheoruenromne¹

บทคัดย่อ: ทำการศึกษาผลของการไถพรวนต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติดิน การสูญเสียไนโตรเจนจากเขตรากพืช ผลผลิตและการดูดใช้ธาตุอาหารหลักของข้าวโพดที่ปลูกบนดินชุดดินวาริน (Arenic Haplustult) บ.โนนสมบรูณ์ ต.ภุขะนา อ.สีคิ้ว จ.นครราชสีมา วางแผนการทดลองแบบ RCBD ประกอบด้วย 4 วิธีการ ได้แก่ การไถพรวนดินแบบปกติ (ไถพรวนดินด้วยพรวนสามแล้วพรวนดินด้วยพรวนเจ็ด) การลดการไถพรวนดิน (ไถพรวนดินด้วยพรวนเจ็ด) การไถพรวนดินแบบทิ้งเศษเหลือ (ไถพรวนดินด้วยพรวนเจ็ดและทิ้งเศษซากพืชไว้ที่ผิวดิน) และการไม่ไถพรวนดิน ผลการศึกษา พบว่าการไถพรวนดินแบบปกติมีแนวโน้มให้น้ำหนักเมล็ดข้าวโพดสูงสุดเท่ากับ 566 กก./ไร่ ส่วนการไม่ไถพรวนมีแนวโน้มให้ผลผลิตต่ำที่สุด (479 กก./ไร่) ซึ่งสอดคล้องกับการดูดใช้ธาตุอาหารหลักของข้าวโพดที่มีค่าต่ำที่สุด แต่การไถพรวนดินแบบอนุรักษ์ (การลดการไถพรวน การไถพรวนดินแบบทิ้งเศษเหลือ และการไม่ไถพรวนดิน) มีแนวโน้มให้เมล็ดดินเสถียรน้ำ ความจุน้ำใช้ประโยชน์ได้ ปริมาณอินทรีย์วัตถุและธาตุอาหารพืชที่เป็นประโยชน์สูงกว่าการไถพรวนดินแบบปกติ การไถพรวนดินแบบทิ้งเศษเหลือช่วยชะลอการสูญเสียไนโตรเจนจากเขตรากพืชได้ดีที่สุด การไม่ไถพรวนส่งผลให้ดินที่ระดับความลึก 10-20 เซนติเมตรมีความหนาแน่นรวมสูงสุด (1.55 เม.ก./ม.³) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

คำสำคัญ: ดินทราย, สมบัติดิน, ไถพรวนดินปกติ, ไถพรวนดินอนุรักษ์

ABSTRACT: A study on the effect of tillage on the change of soil properties, nitrogen leaching away from root zone, yield and plant nutrient uptake of maize grown on Warin soil series (Arenic Haplustult) was carried out in Ban Nonsomboon, Krissana sub-district, Sikhiu Nakhon district, Nakhon Ratchasima province. The experimental design employing randomized complete block design consisted of four various tillage methods as follow; conventional tillage (using 3-disc followed by 7-disc plough), reduced tillage (using only 7-disc plough), mulch tillage (using 7-disc plough with plant residues left to cover soil surface) and no-tillage. Results showed that conventional tillage tended to give a maximum grain yield of 566 kg/rai. The lowest amount of grain yield (479 kg/rai) coincided with the lowest major plant nutrients uptakes was obtained from no tillage plot. Conservation tillage (reduced-, mulch- and no-tillage) tended to improve water aggregate stability, and increase available water capacity, organic matter, and plant nutrient availability of the soil compared to conventional tillage. Ploughing the soil by only 7-disc ploughing equipment with plant residues left on soil surface was the best method in the context of preventing nitrogen leaching from the root zone. No tillage practice significantly induced the highest bulk density value (1.55 Mg/m³) of soil at the depth of 10-20 cm.

Keywords: sandy soil, soil property, conventional tillage, conservation tillage

¹ ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok 10900

* Corresponding author: agrspc@ku.ac.th

บทนำ

การผลิตพืชไร่ในระบบเกษตรที่ด่อน เช่น ข้าวโพด มันสำปะหลัง และอ้อย การไถพรวนเพื่อปรับสภาพพื้นที่ให้สม่ำเสมอและกำจัดวัชพืชเป็นขั้นตอนที่สำคัญเพื่อให้ได้ผลผลิตสูง (เสมอขวัญ, 2550; Bradford and Peterson, 2000; Brady and Weil, 2008) อย่างไรก็ตาม การไถพรวนมากเกินไปจนเกิดความจำเป็น เป็นการเร่งให้อินทรีย์วัตถุในดินสลายตัวอย่างรวดเร็ว ก่อให้เกิดแผ่นแข็งที่ผิวหน้าดิน (soil crust) และชั้นดานไถพรวน (plow pan) (Van Doren and Triplett, 1979; Anusontpornperm et al., 2005; Elder and Lal, 2007) ทำให้อัตราการซึมน้ำของดินลดลง เกิดน้ำไหลบ่าหน้าผิวดินเพิ่มขึ้น จึงทำให้เกิดการสูญเสียธาตุอาหารไปกับตะกอนดินโดยเฉพาะฟอสฟอรัส ทำให้ดินเสื่อมโทรมลงทั้งทางด้านกายภาพและความอุดมสมบูรณ์ ผลผลิตพืชในครั้งต่อไปจะลดลง (Pagliai et al., 2004; Haene et al., 2008) ปัจจุบันมีการส่งเสริมให้ทำการเกษตรแบบไม่มีการไถพรวน (no tillage) หรือการไถพรวนเพียงเล็กน้อย (minimum tillage) หรือการทิ้งเศษซากพืชบนผิวดินซึ่งจะช่วยลดระยะเวลาในการเตรียมดินและประหยัดค่าใช้จ่าย โดยการที่มีเศษซากพืชคลุมดินจะช่วยลดการระเหยของน้ำที่ผิวดิน และช่วยลดแรงปะทะของน้ำฝน (รังสิต, 2538; Unger, 1994) เพิ่มความคงทนของเม็ดดินและความสามารถในการอุ้มน้ำ ส่งผลให้สมบัติทางกายภาพของดินดีขึ้น (Dam et al., 2004) และลดการเกิดน้ำไหลบ่าหน้าผิวดิน นอกจากนี้ยังเพิ่มจำนวนช่องว่างขนาดใหญ่และเพิ่มความต่อเนื่องของช่องว่างจึงทำให้น้ำซึมผ่านหน้าตัดดินเร็วขึ้น (ธวัชชัย และคณะ, 2537; Thomas et al., 1973; Tyler and Thomas, 1977) แต่ส่งเสริมให้ในโตรเจนและโพแทสเซียมเกิดการสูญเสียโดยกระบวนการชะละลายได้ง่าย โดยเฉพาะในดินที่มีเนื้อหยาบ (Angle et al., 1993) ในขณะที่ความเป็นประโยชน์ของไนโตรเจนอาจถูกจำกัดภายใต้ระบบที่มีเศษซากพืชเหลือที่ผิวดินเนื่องจากเศษซากพืชที่ปกคลุมผิวดินหากมีค่า

อัตราส่วนคาร์บอน-ไนโตรเจนสูง จะทำให้ไนโตรเจนไม่เพียงพอต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ดิน จึงทำให้จุลินทรีย์เหล่านี้ใช้ในโตรเจนที่มีอยู่ในดิน จึงส่งผลให้พืชแสดงอาการขาดไนโตรเจนในช่วงแรกของการเจริญเติบโต (Kitur et al., 1984) นอกจากนี้เศษซากพืชที่ปกคลุมผิวดินจะช่วยลดอุณหภูมิที่ผิวดินลง ส่งผลให้อัตราการงอกของเมล็ดต่ำ (Swan et al., 1994)

อย่างไรก็ตามการปลูกข้าวโพดในดินเนื้อหยาบที่พบในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย มักประสบปัญหาเรื่องการขาดน้ำได้ง่ายของพืช และการสูญเสียธาตุปุ๋ยออกไปจากเขตรากพืชอย่างรวดเร็ว ดังนั้นการศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการตอบสนองของผลผลิตข้าวโพดภายใต้การไถพรวนดินแบบปกติและแบบอนุรักษ์ 3 วิธีการ และผลของวิธีการไถพรวนที่มีต่อสมบัติดิน ซึ่งน่าจะเกิดประโยชน์ต่อการเลือกใช้วิธีการไถพรวนที่เหมาะสมสำหรับการปลูกข้าวโพดในดินเนื้อหยาบ โดยพิจารณาจากผลผลิตที่ได้รับและสมบัติดินที่เปลี่ยนแปลงไปในทางที่ดีขึ้น

วิธีการศึกษา

คัดเลือกแปลงของเกษตรกร บ.โนนสมบูรณ์ ต.กฤษณา อ.สีคิ้ว จ.นครราชสีมา ซึ่งเป็นดินชุดดินวาริน (Warin soil series: Wn) (กิติ และคณะ, 2546) เริ่มทำการวิจัยตั้งแต่เดือนกรกฎาคมถึงตุลาคม 2552 วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block (RCBD) ประกอบด้วย 4 วิธีการไถพรวน จำนวน 4 ซ้ำ แปลงทดลองประกอบด้วย 16 แปลงย่อยที่มีขนาด 5×15 ม. ระยะห่างระหว่างแปลงย่อยเท่ากับ 4 ม. การจัดเตรียมแปลงทดลองโดยทำการฉีดพ่นสารกำจัดวัชพืช ทั้งวัชประมาณ 7 วัน จึงทำการไถพรวนดินโดยการพลิกหน้าดินด้วยรถไถที่ติดด้วยชุดไถจานที่เป็นผาล 3 ตามผาล 7 ขวางความลาดเท สำหรับวิธีการที่ 1 (CT: การไถพรวนดินแบบปกติ) การไถพรวนดินโดยใช้รถไถที่ติดด้วยชุดไถจานที่เป็นผาล 7 ขวางความลาดเท

จำนวน 1 ครั้ง สำหรับวิธีการที่ 2 (RT: การลดการไถพรวน) และ 3 (MT: การไถพรวนแบบทั้งเศษเหลือ) และไม่มีการไถพรวนสำหรับวิธีการที่ 4 (NT) จากนั้นทำการปลูกข้าวโพดพันธุ์แปซิฟิก 313 โดยใช้ระยะปลูกเท่ากับ 75×25 ซม. หลังจากปลูกข้าวโพดแล้วทำการคลุมผิวดินด้วยเศษซากพืชในวิธีการที่ 3 (MT) และสำหรับวิธีการที่ 4 (NT) ได้ใช้จอบทำเป็นแนวสำหรับปลูกเท่านั้น สำหรับการใส่ปุ๋ยใช้ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 โดยแบ่งใส่ 2 ครั้ง ได้แก่ ปุ๋ยรองพื้นในอัตรา 30 กก./ไร่ และครั้งที่ 2 เมื่อข้าวโพดอายุประมาณ 2 เดือน ในอัตรา 20 กก./ไร่ โดยวิธีโรยข้างแถวของข้าวโพด ส่วนวิธีการดูแลรักษาอื่นๆ ปฏิบัติตามคำแนะนำทั่วไป การเก็บข้อมูลประกอบด้วย 1) การเก็บตัวอย่างดินก่อนปลูกเพื่อการวิเคราะห์สมบัติต่างๆ ของดิน 2) จัดทำข้อมูลลักษณะดินตัวแทนในพื้นที่ (site characterization) (เอิบ, 2547) 3) การเก็บตัวอย่างดินที่ระดับความลึก 10, 30 และ 50 ซม. เพื่อศึกษาการเคลื่อนที่ของไนโตรเจนจากเขตรากพืช โดยทำการเก็บตัวอย่างดินหลังจากการใส่ปุ๋ย 1 วัน ทุกๆ 2 วัน จำนวน 10 ครั้ง 4) เก็บตัวอย่างดินก่อนการเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวโพด 1 วันโดยทำการเก็บในทุกแปลงย่อย ประกอบด้วย ตัวอย่างดินที่ถูกรบกวน (disturbed soil sample) และตัวอย่างดินที่ไม่ถูกรบกวน (undisturbed soil sample) โดยใช้กระบอเก็บตัวอย่างดิน (soil core) เก็บที่ 3 ระดับความลึก ได้แก่ 0-10, 10-20 และ 20-30 ซม. เพื่อนำมาวิเคราะห์สมบัติดิน ได้แก่ ความหนาแน่นรวมของดิน สภาพน้ำในขณะดินอิ่มตัวด้วยน้ำ เม็ดดินเสถียรน้ำ ความจุน้ำใช้ประโยชน์ได้ ปริมาณอินทรีย์วัตถุและธาตุอาหารหลักในดิน 4) เก็บข้อมูลผลผลิตพืช ทำการเก็บผลผลิตเมื่อข้าวโพดอายุครบ 120 วัน และ 5) การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (analysis of variance) โดยใช้โปรแกรม SPSS Version 10 แล้วนำข้อมูลมาเปรียบเทียบหาความแตกต่างทางสถิติโดยใช้ Duncan's multiple range tests (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ขึ้นไป

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ลักษณะและสมบัติดินตัวแทนพื้นที่ทดลอง

ดินวารินที่ใช้ทำการศึกษาค้นคว้าอยู่ในกลุ่มดินย่อย Arenic Haplustult (Soil Survey Staff, 2010) พื้นที่ศึกษามีความลาดเทร้อยละ 2 ลักษณะผิวหน้าเป็นลูกคลื่นลอนลาด วัตถุต้นกำเนิดดินเป็นตะกอนน้ำพาท้องถิ่น ที่วางตัวอยู่บนวัสดุตกค้างของหินทรายดินเป็นดินลึก มีการระบายน้ำดี และมีการสะสมดินเหนียวเพิ่มขึ้นตามความลึก ดินบนหนา ประมาณ 30 ซม. ในช่วงต้นฤดูฝนพบน้ำใต้ดินที่ระดับความลึก 160 ซม. ดินมีสีน้ำตาล สีเหลืองปนแดง สีเหลืองปนน้ำตาล และสีขาว เนื้อดินเป็นดินทรายปนดินร่วนถึงดินร่วนปนทราย โดยมีการแจกกระจายของอนุภาคขนาดทรายเป็นส่วนใหญ่ อยู่ในพิสัย 756-854 ก./กก. อนุภาคขนาดทรายแบ่งอยู่ในพิสัย 69-109 ก./กก. และอนุภาคขนาดดินเหนียวอยู่ในพิสัย 76-176 ก./กก. โครงสร้างเป็นแบบก้อนเหลี่ยมมุมมนขนาดละเอียดมากถึงละเอียด มีความคงทนของโครงสร้างไม่แข็งแรงในดินบน และแข็งแรงปานกลางถึงแข็งแรงในดินล่าง ดินมีความหนาแน่นรวมอยู่ในระดับปานกลางถึงค่อนข้างสูง มีค่าอยู่ในพิสัย 1.53-1.64 เม.ก./ม.³ และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความลึก ซึ่งส่งผลให้ค่าสภาพน้ำในขณะดินอิ่มตัวลดลงตามความลึก โดยดินบนอยู่ในระดับเร็วปานกลาง (8 ซม./ซม.) และระดับปานกลางถึงช้าปานกลางในชั้นดินล่าง (2-6 ซม./ซม.) ดินเป็นกรดจัดถึงกรดจัดมาก (pH 5.7-4.7) และมีค่าลดลงตามความลึก (Table 1) ผลการวิเคราะห์สมบัติดินก่อนทำการทดลอง พบว่า ดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำทั้งดินบนและดินล่าง โดยมีปริมาณอินทรีย์วัตถุไนโตรเจนรวม ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน และอัตราย่อยละความอิ่มตัวเบสอยู่ในระดับต่ำ (Table 2)

Table 1 Physico-chemical properties of Warin soil.

Depth (cm)	Horizon	pH 1:1 H ₂ O	OM (g/kg)	Total N (g/kg)	Avail. P (mg/kg)	Avail. K (mg/kg)	CEC (cmolc/kg)	BD (Mg/m ³)	Ksat (cm/h)	Sand (g/kg)	Silt (g/kg)	Clay (g/kg)	Texture ^{1/}
0-32	Ap	5.5	4.4	0.14	2.5	10.31	3.4	1.54	8	854	76	70	LS
32-51	Bt1	5.7	1.5	0.14	0.75	11.89	1.4	1.53	3	801	103	96	LS
51-72	Bt2	5.5	1.3	0.35	0.5	11.40	1.6	1.53	6	781	110	109	SL
72-101	Bt3	4.8	1	0.21	0.5	10.44	3.6	1.57	2	768	143	89	SL
101-132	Bt4	4.7	1	0.49	0.5	7.85	1.6	1.61	2	760	162	78	SL
132-150+	Bt5	4.7	0.7	0.56	0.5	5.77	2.6	1.57	2	756	176	68	SL

^{1/} LS = Loamy sand, SL = Sandy loam

Table 2 Fertility level of topsoil (0-30 cm) and subsoil (30-60 cm) horizons prior to commencing the experiment.

Depth (cm)	OM (g/kg)	Avail. P (mg/kg)	Avail. K (mg/kg)	CEC (cmol/kg)	BS (%)	Total score	Fertility level
0-30	6.3 (1)	2.50 (1)	10.31 (1)	3.40 (1)	13.63 (1)	5	low
30-60	4.2 (1)	0.63 (1)	9.47 (1)	2.20 (1)	18.37 (1)	5	low

: Scoring is used for the assessment of fertility level (the score is presented in blanket within the table)

OM = 15 or less, level's low (1); between 15-35, level's medium (2); 35 or more, level's high (3)

Avail. P = 10 or less, level's low (1); between 10-20, level's medium (2); 20 or more, level's high (3)

Avail. K = 60 or less, level's low (1); between 60-90, level's medium (2); 90 or more, level's high (3)

CEC = 10 or less, level's low (1); between 10-20, level's medium (2); 20 or more, level's high (3)

BS = 35 or less, level's low (1); between 35-75, level's medium (2); 75 or more, level's high (3)

If total score = 7 or less, fertility level's low; is between 8-12, fertility level's moderate; 13 or more, fertility level's high

ผลของการไถพรวนต่อข้าวโพด

ผลผลิตเมล็ดข้าวโพด

ผลผลิตเมล็ดข้าวโพดที่มีความชื้นร้อยละ 15 ภายใต้วิธีการไถพรวนทุกแบบไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (Figure 1) อย่างไรก็ตาม อิทธิพลของการไถพรวนเห็นผลไม่ชัดเจนในระยะแรก ทั้งนี้อาจเป็นผลที่ตกค้างมาจากการปฏิบัติงานในอดีต การไถพรวนแบบปกติ (CT) โดยการไถพลิกดินด้วยผาล 3 ตามด้วยผาล 7 มีแนวโน้มให้ผลผลิตเมล็ดข้าวโพดสูงสุด เท่ากับ 566 กก./ไร่ รองลงมาได้แก่ การไถพรวนแบบทิ้งเศษซากพืช (557 กก./ไร่) การลดการไถพรวน (542 กก./ไร่) และการไม่ไถพรวนดินจะให้ผลผลิตเมล็ดข้าวโพดต่ำที่สุดเท่ากับ 479 กก./ไร่ ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับการศึกษาของ สาริต (2531) ที่รายงานว่าระบบการไถพรวนดินแบบปกติจะส่งผลให้ผลผลิตข้าวโพด

สูงสุดมีปริมาณเท่ากับ 608 กก./ไร่ สำหรับข้าวโพดที่ปลูกในดินชุดดินลพบุรี เช่นเดียวกับการศึกษาของ Randall and Iragavarapu (1995) ที่รายงานว่าข้าวโพดที่ปลูกในระบบที่มีการไถพรวน จะมีการเจริญเติบโตดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีไม่ไถพรวน โดยเฉพาะในช่วงแรกของการเจริญเติบโต เนื่องจากในระบบที่ไม่ไถพรวนดินนั้นมีเศษพืชคลุมดินจึงส่งผลให้อุณหภูมิที่ผิวดินต่ำกว่า ในโตรเจนมีแนวโน้มไม่เพียงพอต่อความต้องการของข้าวโพดเนื่องจากถูกไปใช้ในกิจกรรมของจุลินทรีย์ ดินบนมีความแข็งมากกว่า และมีความชื้นดินมากกว่าทำให้ปริมาณออกซิเจนมีจำกัดจากเหตุผลดังกล่าวจึงส่งผลให้การแจกกระจายของราก และการเจริญเติบโตของข้าวโพดในช่วงแรกช้ากว่าปกติเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีไถพรวนดิน ผลผลิตที่ได้จึงต่ำกว่า

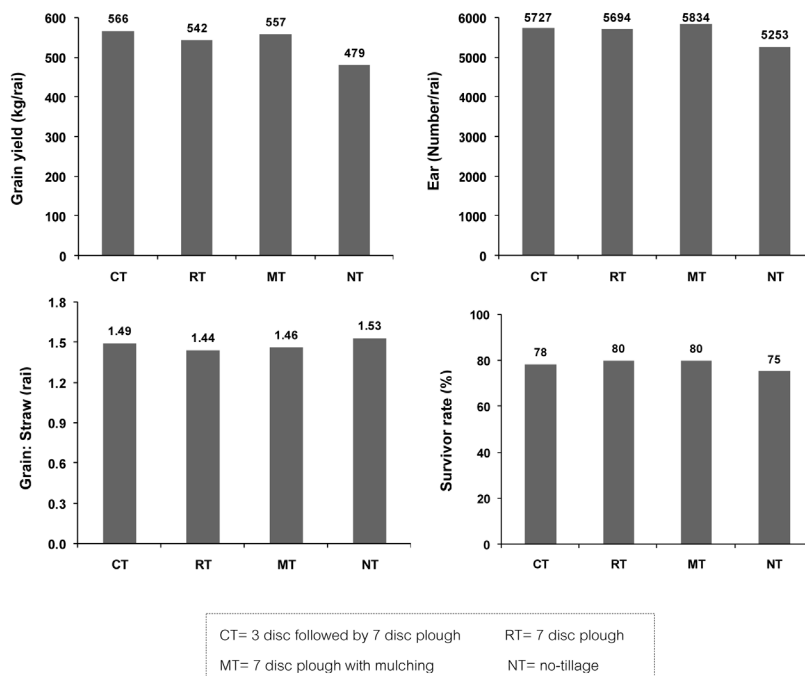


Figure 1 Effect of tillage practices on maize characters.

จำนวนฝักต่อไร่

จำนวนฝักต่อไร่ภายใต้วิธีการไถพรวนทุกแบบไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีจำนวนใกล้เคียงกันอยู่ในพิสัย 5,253 – 5,834 ฝัก/ไร่ (Figure 1) การไถพรวนดินด้วยพาด 7 และมีการคลุมดินด้วยเศษซากพืช (MT) มีแนวโน้มให้จำนวนฝักต่อไร่สูงสุดเท่ากับ 5834 ฝัก/ไร่ รองลงมาได้แก่การไถพรวนแบบปกติ (5727 ฝัก/ไร่) อย่างไรก็ตาม การไถพรวนดินแบบปกติมีแนวโน้มให้น้ำหนักเมล็ดที่สูงที่สุด แต่ให้จำนวนฝักต่อไร่ น้อยกว่าการไถพรวนดินแบบทิ้งเศษเหลือ แสดงให้เห็นว่าข้าวโพดภายใต้การไถพรวนปกติจะมีขนาดของฝักใหญ่กว่า และการไม่ไถพรวนดินมีแนวโน้มให้จำนวนฝักต่อไร่ต่ำที่สุด เท่ากับ 5253 ฝัก/ไร่

อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักเมล็ดกับน้ำหนักแห้งของต้นข้าวโพด

อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักเมล็ดกับน้ำหนักแห้งของต้นข้าวโพดภายใต้วิธีการไถพรวนแบบต่างๆ มีค่าใกล้เคียงกันและไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (Figure 1) การไม่ไถพรวนดิน (NT) มีแนวโน้มให้อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักเมล็ดกับน้ำหนักแห้งของต้น

ข้าวโพดสูงที่สุดเท่ากับ 1.53 รองลงมาได้แก่การไถพรวนแบบปกติ (1.49) การไถพรวนแบบทิ้งเศษเหลือ (1.46) และการลดการไถพรวนดิน (1.44) ตามลำดับ

อัตราการรอดตายของข้าวโพด

วิธีการไถพรวนไม่มีผลต่ออัตราการรอดตายของข้าวโพด (Figure 1) โดยการไถพรวนดินด้วยพาด 7 จำนวน 1 ครั้ง (RT) และการไถพรวนดินด้วยพาด 7 และเศษซากพืชคลุมดิน (MT) ให้อัตราการรอดตายของข้าวโพดเท่ากันเท่ากับร้อยละ 80 ในขณะที่การไม่ไถพรวนดินมีแนวโน้มให้อัตราการรอดตายของข้าวโพดต่ำที่สุด (ร้อยละ 75.5) จึงส่งผลให้ผลผลิตเมล็ดข้าวโพดจำนวนฝักต่อไร่ และน้ำหนักแห้งของต้นข้าวโพดมีแนวโน้มต่ำที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการไถพรวนอื่นๆ

ผลการไถพรวนต่อการดูดใช้ธาตุอาหารหลักของข้าวโพด

การดูดใช้ในโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมของข้าวโพดภายใต้รูปแบบการไถพรวนแบบต่างๆ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (Table 3) ในทุกวิธีการไถพรวน ข้าวโพดมีการดูดใช้โพแทสเซียมมากกว่า

ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส โดยมีค่าอยู่ในพิสัย 2.43-3.18, 0.25-0.36 และ 4.58-6.20 กก./ไร่ ตามลำดับ การไถพรวนดินด้วยผาล 7 และมีการคลุมดินด้วยเศษซากพืช (MT) มีแนวโน้มให้ข้าวโพดดูดใช้ธาตุอาหารหลักที่สูงที่สุดแต่กลับมีผลผลิตเมล็ดต่ำกว่าการไถพรวนดินแบบปกติ โดยมีปริมาณการดูดใช้ในไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม เท่ากับ 3.18, 0.36 และ 6.2 กก./ไร่ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากการไถพรวนแบบทิ้งเศษเหลือนำจะช่วยรักษาความชื้นไว้ในดินได้นานขึ้น และเศษซากพืชบางส่วนที่ผสมคลุกเคล้าอยู่ในดินเกิดการสลายตัวไปเป็นอินทรีย์วัตถุในดินซึ่งเป็นแหล่งของธาตุอาหารของพืชที่สำคัญ โดยเฉพาะไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม (Acharya and Sharma, 1994) แต่อย่างไรก็ตาม ผลผลิตของข้าวโพดที่ได้มีแนวโน้มต่ำกว่าการไถพรวนแบบปกติ นอกจากนี้ผลผลิตของข้าวโพดภายใต้การไม่ไถพรวนดินมีแนวโน้มในการดูดใช้ธาตุอาหารหลักต่ำที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณผลผลิตที่ได้มีแนวโน้มต่ำที่สุด แสดงให้เห็นว่าการไถพรวนแบบอนุรักษ์ ในกรณีของการไถพรวนแบบทิ้งเศษเหลือ และการไม่ไถพรวนดิน จะทำให้มีเศษพืชบางส่วนปกคลุมอยู่ที่ผิวดิน ส่งผลให้ไนโตรเจนมีแนวโน้มไม่เพียงพอต่อความต้องการของข้าวโพดในช่วงแรก เนื่องจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ดิน (Rice and Smith, 1982; Aulakh et al., 1984) จึงส่งผลต่อผลผลิตของข้าวโพด (Randall and Irigavarapu, 1995)

อิทธิพลของรูปแบบการไถพรวนต่อสมบัติของดิน

ความหนาแน่นรวมของดิน

ความหนาแน่นรวมของดินที่ระดับความลึกต่างๆ ภายใต้รูปแบบการไถพรวนทุกแบบไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติยกเว้นที่ระดับความลึก 10-20 ซม. (Table 4) โดยการไม่ไถพรวนดินส่งผลให้ความหนาแน่นรวมของดินสูงที่สุดเท่ากับ 1.55 เม.ก./ม.³ รองลงมาได้แก่ การลดการไถพรวน การไถพรวนปกติ และการไถพรวนแบบทิ้งเศษเหลือ โดยมีค่าเท่ากับ 1.48, 1.46 และ 1.44 เม.ก./ม.³ ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Chang and Lindwall (1989, 1990, 1992) ที่รายงานว่าความหนาแน่นรวมของดินที่ได้จากแปลงที่ไม่มีการไถพรวนดินมีค่าสูงกว่าแปลงที่มีการไถพรวนดินแบบปกติในประเทศแคนาดา และต้องดำเนินการไถพรวนติดต่อกันอย่างน้อย 10 ปี จึงจะส่งผลต่อความหนาแน่นรวมของดิน

ความหนาแน่นรวมของดินมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความลึกในทุกระบบการไถพรวนดินซึ่งอาจเป็นผลมาจากน้ำหนักที่กดทับเนื่องมาจากการเตรียมดิน การใช้รถไถพรวนจะทำให้เกิดการอัดแน่นของดินตั้งแต่ผิวดินจนถึงชั้นดินล่าง โดยอนุภาคขนาดเล็กจะเคลื่อนย้ายลงไปอัดแน่นในชั้นดินล่าง ความพรุนรวมของดินจึงลดลง (Hassan et al., 2007) แต่ชั้นดินบนมักถูกรบกวนจากการปฏิบัติงานต่างๆ ในไร่ นา จึงทำให้ร่วนซุย แต่ดินที่อยู่ด้านล่างที่ลึกเกินกว่าที่ผาลไถจะปฏิบัติงานถึง จะเกิดการอัดตัวแน่นส่งผลให้ดินที่ระดับความลึกประมาณ 30 ซม. มีความหนาแน่นรวมสูงกว่าดินชั้นบนได้

Table 3 Effect of tillage methods on plant nutrient uptake by maize.

Tillage system	Uptake by maize (kg/rai)		
	Nitrogen	Phosphorus	Potassium
Conventional tillage	2.94	0.27	5.34
Reduced tillage	3.07	0.28	4.58
Mulch tillage	3.18	0.36	6.20
No tillage	2.43	0.25	4.99
F-test ^{1/}	ns	ns	ns

^{1/} ns = no statistical difference.

สภาพน้ำของดินขณะอิมตัว

การไถพรวนไม่มีผลต่อสภาพน้ำของดินขณะอิมตัว (Table 4) ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับการศึกษาของ Horne et al. (1992) ที่พบว่าสภาพน้ำของดินขณะอิมตัวไม่มีความแตกต่างกันภายใต้วิธีการไถพรวนแบบปกติ การไถพรวนดินด้วยผาลหัวหมู และการไม่ไถพรวนดินติดต่อกันเป็นระยะเวลา 10 ปี อย่างไรก็ตามในทุกวิธีการไถพรวน สภาพน้ำของดินขณะอิมตัวมีค่าพิสัย 2.4-14.6 ซม./ซม. และมีแนวโน้มลดลงตามความลึกซึ่งสอดคล้องกับความหนาแน่นรวมของดินที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

ความจุของน้ำในดินที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้

การไถพรวนไม่มีผลต่อความจุของน้ำในดินที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้ (Table 4) โดยการไถพรวนดินด้วยผาล 7 จำนวน 1 ครั้ง (RT) มีแนวโน้มให้ความจุน้ำใช้ประโยชน์ได้สูงที่สุด (ร้อยละ 4.5-4.9 โดยปริมาตร) โดยการลดการไถพรวนมีแนวโน้มให้มีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงที่สุดจึงน่าจะช่วยเก็บความชื้นให้กับดินได้มากกว่ารูปแบบการไถพรวนอีก 3 วิธีการ

Table 4 Physical properties of soil as affected by different tillage methods at three different depths between 0-30 cm.

Tillage method	Depth (cm)		
	0-10	10-20	20-30
Bulk density (Mg/m³)			
Conventional tillage	1.49	1.46a	1.59
Reduced tillage	1.48	1.48ab	1.58
Mulch tillage	1.49	1.44a	1.55
No tillage	1.52	1.54b	1.61
F-test ^{1/}	ns	*	ns
Saturated hydraulic conductivity (cm/h)			
Conventional tillage	14.6	13.0	6.1
Reduced tillage	13.4	9.1	2.4
Mulch tillage	11.2	8.8	6.4
No tillage	13.9	8.3	4.2
F-test	ns	ns	ns
Available water capacity (%)			
Conventional tillage	4.6	4.0	4.2
Reduced tillage	4.5	4.7	4.9
Mulch tillage	2.6	3.0	4.3
No tillage	3.5	2.6	3.8
F-test	ns	ns	ns
Water aggregate stability (%)			
Conventional tillage	39.6	47.4	37.2
Reduced tillage	48.5	47.8	50.5
Mulch tillage	52.9	45.6	45.3
No tillage	40.8	58.9	53.1
F-test	ns	ns	ns

^{1/} * = significant difference at 95% level of confidence, mean within the same column followed by the same letter indicated no statistical difference using DMRT; ns = no statistical difference.

เมื่อดินเสถียรน้ำ

ร้อยละเมื่อดินเสถียรน้ำภายใต้การไถพรวนทุกแบบ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (Table 4) โดยมีค่าอยู่ในพิสัยร้อยละ 37-59 และมีแนวโน้มลดลงตามความลึก โดยอินทรีย์วัตถุเป็นตัวที่ส่งเสริมให้เมื่อดินมีความคงทนมากขึ้น (Brady and Weil, 2008; Alvaro-Fuentes et al., 2008) ซึ่งโดยทั่วไปดินชั้นบนจะมีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงกว่าดินชั้นล่าง จึงส่งผลให้ความคงทนของเมื่อดินลดลงในชั้นดินล่าง อย่างไรก็ตาม การไถพรวนดินแบบอนุรักษ์ โดยเฉพาะการลดการไถพรวนและการไถพรวนแบบทิ้งเศษเหลือ ส่งผลให้ร้อยละเมื่อดินสูงกว่าการไถพรวนปกติ เนื่องจากการไถพรวนแบบอนุรักษ์เป็นการลดจำนวนการไถพรวน จะส่งผลให้การสลายตัวของอินทรีย์วัตถุจะเกิดช้ากว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการไถเตรียมดินแบบปกติซึ่งเป็นการรบกวนดินมากกว่า (Balesdent et al., 1990; Havlin et al., 1990; Franzluebbers et al., 1995)

อินทรีย์วัตถุ

ปริมาณอินทรีย์วัตถุไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติภายใต้รูปแบบการไถพรวนแบบต่างๆ (Table 5) โดยมีค่าอยู่ในพิสัย 3.5-6.2 ก./กก. และมีแนวโน้มลดลงตามความลึก การลดการไถพรวนมีแนวโน้มให้มีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงที่สุด รองลงมาได้แก่ การไม่ไถพรวน การไถพรวนตามปกติ และการไถพรวนแบบทิ้งเศษเหลือ อย่างไรก็ตาม การไถพรวนแบบอนุรักษ์ ได้แก่ การลดการไถพรวน การไถพรวนแบบทิ้งเศษเหลือ และการไม่ไถพรวนดิน จะส่งผลให้มีเศษซากพืชเหลืออยู่มากกว่าการไถพรวนแบบปกติ ซึ่งจะเป็นแหล่งของอินทรีย์วัตถุในดิน (Balesdent et al., 1990) โดยภายใต้การไถพรวนแบบทิ้งเศษเหลือ หรือการไม่ไถพรวนดิน จะมีเศษซากพืชปกคลุมอยู่เฉพาะที่ผิวดิน ซากพืชส่วนใหญ่ไม่ได้มีการคลุกเคล้าลงไปในดิน จึงทำให้อัตราการสลายตัวของซากพืชไปเป็นอินทรีย์วัตถุเกิดขึ้นได้ช้ากว่าการลดการไถพรวนที่มีการคลุกเคล้าของเศษซากพืชลงไปในดิน เนื่องจากสภาพความชื้นในดินและอุณหภูมิที่เหมาะสม จึงส่งเสริมกิจกรรมของจุลินทรีย์ในการย่อยสลายเศษซากพืชไปเป็นอินทรีย์วัตถุได้เร็วกว่า (Rachid, 2002)

ไนโตรเจนรวม

ปริมาณไนโตรเจนรวมของดินภายใต้ทุกรูปแบบการไถพรวนไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในทุกระดับความลึก (Table 5) การไถพรวนดินด้วยผล 7 และ มีการคลุมดินด้วยเศษซากพืช (MT) มีแนวโน้มให้ปริมาณไนโตรเจนรวมสูงสุดโดยมีค่าพิสัย 0.15-0.24 ก./กก. รองลงมาได้แก่ การไม่ไถพรวน การไถพรวนแบบปกติ และการลดการไถพรวน โดยมีค่าอยู่ในพิสัย 0.11-0.19, 0.14-0.16 และ 0.15-0.16 ตามลำดับ ทั้งนี้จะเป็นผลมาจากการไถพรวนแบบทิ้งเศษเหลือ จะมีเศษซากพืชปกคลุมที่ผิวดินและบางส่วนของคลุกเคล้าลงไปในดิน จึงส่งเสริมให้เกิดกระบวนการ mineralization ได้อย่างต่อเนื่อง จึงมีการปลดปล่อยไนโตรเจนได้มากกว่า ในกรณีของการไม่ไถพรวนดิน ถึงแม้ว่าจะมีเศษซากพืชปกคลุมที่ผิวดินมากกว่า การไถพรวนแบบทิ้งเศษเหลือ ในขณะที่เศษซากพืชส่วนใหญ่ยังคงมีสัดส่วนของคาร์บอน-ไนโตรเจนในช่วงที่กว้าง ดังนั้นในช่วงแรกส่งผลให้ไนโตรเจนไม่เพียงพอต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์จึงเกิดกระบวนการ immobilization ขึ้น พืชจึงอาจแสดงอาการขาดไนโตรเจนได้ (Rice and Smith, 1982; Aulakh et al., 1984)

ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์

ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ที่ระดับความลึก 0-10, 10-20 และ 20-30 ซม. ภายใต้รูปแบบการไถพรวนทุกรูปแบบ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (Table 5) โดยมีค่าอยู่ในระดับต่ำมาก (1.5-5.8 มก./กก.) และมีแนวโน้มลดลงตามความลึก ซึ่งสัมพันธ์กับปริมาณอินทรีย์วัตถุที่ต่ำและลดลงตามความลึก อย่างไรก็ตาม การไม่ไถพรวนดินมีแนวโน้มให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงสุด รองลงมาได้แก่ การไถพรวนแบบทิ้งเศษเหลือ การลดการไถพรวน และการไถพรวนปกติ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษา Bertol et al. (2006) ที่รายงานว่า การไถพรวนแบบอนุรักษ์ (ไม่ไถพรวน, เหลือเศษซากพืชปกคลุมดิน) จะช่วยเพิ่มปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ เนื่องจากการไถพรวนดินแบบอนุรักษ์จะมีเศษซากพืชหลงเหลือมากกว่า

การไถพรวนดินแบบปกติ ซึ่งเป็นแหล่งของอินทรีย์วัตถุ และสามารถปลดปล่อยฟอสฟอรัสออกมาได้ในภายหลัง (Duiker and Beegle, 2006)

โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์

ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในทุกระดับความลึกภายใต้ทุกระบบการไถพรวนอยู่ในระดับต่ำ และไม่มี ความแตกต่างกันทางสถิติ (Table 5) โดยมีปริมาณอยู่ในพิสัย 11.2-22.5 มก./กก. และมีแนวโน้มลดลงตามความลึก ทั้งนี้เนื่องจากดินที่ทำการศึกษาเป็นดินเนื้อหยาบ มีปริมาณดินเหนียน้อย ประกอบกับมีปริมาณอินทรีย์วัตถุที่ต่ำ ทำให้ความจุแลกเปลี่ยน

แคตไอออนต่ำ ส่งผลให้โพแทสเซียมเกิดการสูญหายไปอย่างรวดเร็วโดยเฉพาะโดยกระบวนการชะละลาย (Angle *et al.*, 1993) การลดการไถพรวนโดยการไถพรวนดินด้วยผาล 7 จำนวน 1 ครั้ง มีแนวโน้มให้ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์สูงสุดโดยมีค่าอยู่ในพิสัย 14.6-22.5 มก./กก. ซึ่งมีแนวโน้มให้ปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงที่สุดด้วย แสดงให้เห็นว่าอินทรีย์วัตถุเป็นแหล่งของโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในดิน (Duiker and Beegle, 2006) และ/หรือช่วยจับยึดธาตุนี้บางส่วนไว้ในดินได้

Table 5 Chemical properties of soil as affected by different tillage methods at three different depths between 0-30 cm.

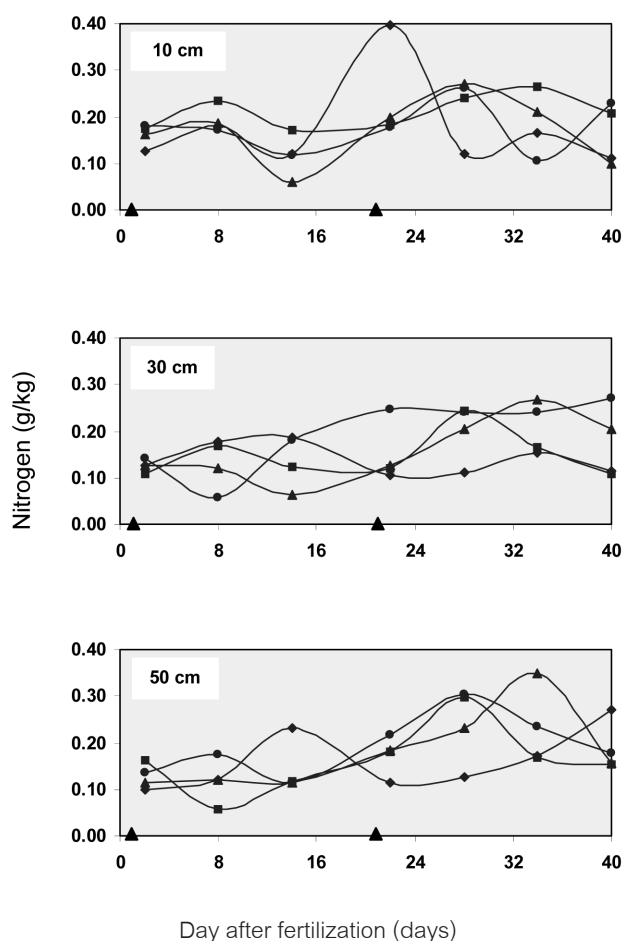
Tillage method	Depth (cm)		
	0-10	10-20	20-30
Organic matter (g/kg)			
Conventional tillage	5.4	5.8	3.5
Reduced tillage	6.2	6.0	5.2
Mulch tillage	5.0	5.1	3.9
No tillage	5.5	3.9	4.0
F-test ^{1/}	ns	ns	ns
Total nitrogen (g/kg)			
Conventional tillage	0.16	0.16	0.14
Reduced tillage	0.15	0.15	0.16
Mulch tillage	0.24	0.17	0.15
No tillage	0.18	0.19	0.11
F-test	ns	ns	ns
Available phosphorus (mg/kg)			
Conventional tillage	4.0	2.2	1.5
Reduced tillage	5.1	3.8	1.5
Mulch tillage	5.7	1.9	1.7
No tillage	5.8	2.3	1.8
F-test	ns	ns	ns
Available potassium (mg/kg)			
Conventional tillage	18.0	15.4	11.2
Reduced tillage	22.5	16.0	14.6
Mulch tillage	22.2	19.0	15.7
No tillage	17.8	16.3	13.0
F-test	ns	ns	ns

^{1/} ns = no statistical difference.

การเคลื่อนที่ของไนโตรเจนพื้นจากเขตรากพืช โดยการชะละลาย

ปริมาณไนโตรเจนจะลดลงอย่างรวดเร็วภายหลังจากการใส่ปุ๋ยครั้งที่สองเพียงไม่กี่วัน ภายใต้การไถพรวนแบบปกติ (CT) โดยการไถพรวนดินด้วยผาล 3 ตามด้วยผาล 7 ซึ่งไนโตรเจนมีแนวโน้มถูกชะละลายลงไปสะสมที่ระดับความลึก 50 ซม. โดยมีปริมาณ

เท่ากับ 0.27 ก./กก. (Figure 2) ขณะที่การไม่ไถพรวนดินจะให้ผลคล้ายคลึงกันกับการไถพรวนดินแบบปกติ แต่ใช้เวลานานกว่า สำหรับการไถพรวนแบบทิ้งเศษเหลือ (MT) มีแนวโน้มทำให้ไนโตรเจนสะสมอยู่บริเวณเขตรากพืช (ที่ระดับความลึกประมาณ 30 ซม.) ได้นานกว่าการไถพรวนดินรูปแบบอื่น โดยมีไนโตรเจนคงเหลืออยู่เท่ากับ 0.21 ก./กก.



Remark: Complete fertilizer (15-15-15) at the rates of 30 and 20 kg rai-1 was respectively applied at 1st and 21st day after planting.

Figure 2 Changes of nitrogen content in soil at three different depths after fertilizer application.

สรุป

ผลผลิตข้าวโพด และปริมาณการดูดใช้ธาตุอาหารหลักของข้าวโพด สมบัติดินทางกายภาพเคมี และการสูญเสียธาตุอาหารหลักไปจากเขตรากพืช ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติภายใต้วิธีการไถพรวนทั้งสี่วิธีการ ยกเว้นความหนาแน่นรวมของดินที่ระดับ 10-20 ซม. โดยการไม่ไถพรวนจะส่งผลให้ดินมีความหนาแน่นรวมของดินสูงสุด การไถพรวนแบบปกติโดยการไถพรวนดินด้วยผาล 3 ตามด้วยผาล 7 มีแนวโน้มให้น้ำหนักเมล็ดข้าวโพดสูงสุด รองลงมาได้แก่ การไถพรวนแบบพิเศษเหลือโดยการไถพรวนดินด้วยผาล 7 และมีการคลุมดินด้วยเศษซากพืช การลดการไถพรวนโดยการไถพรวนดินด้วยผาล 7 จำนวน 1 ครั้ง และการไม่ไถพรวนดินมีแนวโน้มให้น้ำหนักเมล็ดข้าวโพดต่ำที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับจำนวนฝักต่อไร่ อัตราการรอดตายของต้นข้าวโพด และการดูดใช้ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมของข้าวโพดต่ำที่สุด ในขณะที่การไถพรวนดินแบบพิเศษเหลือมีแนวโน้มให้ข้าวโพดดูดใช้ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมสูงสุด การไถพรวนแบบอนุรักษ์ โดยเฉพาะการไถพรวนดินแบบพิเศษเหลือมีแนวโน้มให้สมบัติดินส่วนใหญ่ดีกว่าการไถพรวนแบบปกติ ได้แก่ ร้อยละของเมล็ดดินเสียดีน้า ความจุน้ำใช้ประโยชน์ได้ ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ไนโตรเจนรวม ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ การไถพรวนแบบปกติมีแนวโน้มให้การเคลื่อนที่ของไนโตรเจนไปจากเขตรากพืชได้เร็วกว่าการไถพรวนดินแบบอนุรักษ์ อย่างไรก็ตามการไถพรวนแบบพิเศษเหลือเป็นวิธีการที่ช่วยชะลอการสูญเสียไนโตรเจนได้ดีกว่าวิธีการไถพรวนดินแบบอนุรักษ์อีกสองวิธี

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณ คุณปรีชา เพชรประไพ เจ้าหน้าที่ของศูนย์วิจัยและพัฒนาไม้สำหรับหลัง ที่ช่วยดูแลแปลงทดลอง และอำนวยความสะดวกในการทำงานเป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

- กิติ มัลลย์โรจน์ศิริ อนุกุล สุจินัย และชนิษฐศรี ศูนย์ตระกูล. 2547. การกำหนดลักษณะของชุดดินที่จัดตั้งในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยจำแนกใหม่ตามระบบอนุกรมวิธานดิน 2546. เอกสารวิชาการฉบับที่ 522. สำนักสำรวจดินและวางแผนการใช้ที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์
- กองสำรวจดิน. 2523. คู่มือจำแนกความเหมาะสมของที่ดินสำหรับพืชเศรษฐกิจ. เอกสารวิชาการเล่มที่ 28. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- ธวัชชัย ณ นคร, จักรานพคุณ ทองใหญ่, ดวงใจ เฉยไธย และธรรมบุญ แก้วคงคา. 2537. การปลูกข้าวโพด โดยไม่มีการไถพรวนดิน. รายงานการวิจัยในกลุ่มงานวิจัยปฐพีวิทยาภาพ กองปฐพี กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ
- รังสิต สุวรรณเขตนิคม. 2538. การปลูกพืชโดยไม่ไถพรวนที่มลรัฐเทนเนสซี, น. 38-53. ใน สัมมนาวิชาการการพัฒนากระบวนการปลูกพืชโดยลดการไถพรวน, 18-20 ตุลาคม 2538. โรงแรมแอมบาสเดอร์ ซิตี้ จอมเทียน, ชลบุรี.
- สาธิต อารีรักษ์. 2531. ผลของการจัดการดินโดยใช้การเตรียมดินและการใช้ปุ๋ยที่มีต่อผลผลิตของข้าวโพด ที่ปลูกบนชุดดินลพบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- เสมอขวัญ ดันติกุล. 2550. เครื่องทุนแรงในฟาร์ม. The Knowledge Center, กรุงเทพฯ.
- เอิบ เขียวร่มฉัตร. 2547. การสำรวจดิน. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- Acharya, C.L. and P.D. Sharma. 1994. Tillage and mulch effects on soil physical environment, root growth, nutrient uptake and yield of maize and wheat on an Alfisol in north-west India. Soil Till. Res. 32: 291-302.
- Alvaro-Fuentes, J., J.L. Arrue, C. Cantero-Martinez and M.V. Lopez. 2007. Aggregate breakdown during tillage in a Mediterranean loamy soil. Soil Till. Res. 101: 62-68.
- Angel J.S., C.M. Gross, R.L. Hill and M.S. McIntosh. 1993. Soil nitrate concentrations under corn as affected by tillage, manure, and fertilizer application. J. Environ. Qual. 22: 1441-1447.
- Anusontpornperm, S., S. Nortcliff and I. Kheoruenromne. 2005. Hardpan formation of some coarse-textured upland soils in Thailand. Paper presented at Management of Tropical Sandy Soils from Sustainable Agriculture. November 27-December 2, 2005. Khon Kaen, Thailand.

- Aulakh, M.S., D.A. Rennie and E.A. Paul. 1984. Gaseous nitrogen losses from soils under zero-till as compared with conventional-till management systems. *J. Environ. Qual.* 13: 130-136.
- Balesdent, J., A. Mariotti and D. Boissongontier. 1990. Effect of tillage on soil organic carbon mineralization estimated from ^{13}C abundance in maize fields. *J. Soil Sci.* 41: 584-596.
- Bertol, I., Engel, F.L., Mafrá, A.L., Bertol, O.J., and S.R., Ritter. 2006. Phosphorus, potassium and organic carbon concentrations in runoff water and sediments under different soil tillage systems during soybean growth. *Soil Till. Res.* 94: 142-150
- Bradford, J.M. and G.A. Peterson. 2000. Conservation tillage, pp. G247-G270. *In* M.E. Sumner, ed. *Hand Book of Soil Science*. CRC Press LLC, Boca Raton, Florida.
- Brady, N.C. and R.R. Weil. 2008. *The Nature and Properties of Soils*. 13th ed. Prentice Hall, New Jersey.
- Chang, C. and C.W. Lindwall. 1989. Effect of long-term minimum tillage practices on some physical properties of a chernozemic clay loam. *Can. J. Soil Sci.* 69: 443-449.
- Chang, C. and C.W. Lindwall. 1990. Comparison of the effect of long term tillage and crop rotation on physical properties of a soil. *Can. Agric. Eng.* 32: 53-55.
- Chang, C. and C.W. Lindwall. 1992. Effects of tillage and crop rotation on physical properties of a loam soil. *Soil Till. Res.* 22: 383-389.
- Dam, R.F. B.B. Mehdia, M.S.E. Burgessb, C.A. Madramootooa, G.R. Mehuysa,b and I.R. Calluma. 2004. Soil bulk density and crop yield under eleven consecutive years of corn with different tillage and residue practices in a sandy loam soil in central Canada. *Soil Till. Res.* 84: 41-53.
- Duiker, S.W. and D.B. Beegle. 2006. Soil fertility distributions in long-term no-till, chisel/disk and moldboard plow/disk system. *Soil Till. Res.* 88: 30-41.
- Elder, J.W. and R. Lal. 2007. Tillage effects on physical properties of agricultural organic soils of North Central Ohio. *Soil Till. Res.* 98: 208-210.
- Franzluebber, A.J., F.M. Hons and D.A. Zuberer. 1995. Soil organic carbon, microbial biomass, and mineralizable carbon and nitrogen in sorghum. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59: 460-466.
- Haene, K., J. Vermang, W.M. Cornelis, B.L.M. Leroy, W. Schiettecatte, D. De Neve, S.Gabriels. and G. Hofman. 2008. Reduced tillage effects on physical properties of silt loam soils growing root crops. *Soil Till. Res.* 99: 279-290.
- Hassan, F.U., M. Ahmad, N. Ahmad and M. Kaleem Abbasi. 2007. Effects of subsoil compaction on yield and yield attributes of wheat in the sub-humid region of Pakistan. *Soil Till. Res.* 96: 361-366.
- Havlin, J.L., D.E. Kissel, L.D. Maddux, M.M. Claassen and J.H. Lang. 1990. Crop rotation and tillage effects on soil organic carbon and nitrogen. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54: 448-452.
- Horne, D.J., C.W. Ross and K.A. Hughes. 1992. 10 years of a maize-oats rotation under three tillage systems on a silt loam in New Zealand: A comparison of some soil properties. *Soil Till. Res.* 22: 131-143
- Pagliai, M., N.Vignozzi and S. Pellegrini. 2004. Soil structure and the effect of management practices. *Soil Till. Res.* 79: 131-143.
- Rachid, M. 2002. Stratification of soil aggregation and organic matter under conservation tillage systems in Africa. *Soil Till. Res.* 66: 119-128.
- Randall, G.W. and T.K., Iragavarapu. 1995. Impact of long-term tillage systems for continuous corn on nitrate leaching to tile drainage. *J. Environ. Qual.* 24: 360-366.
- Rice, C.W. and M.S. Smith. 1982. Denitrification in no-till and plowed soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 46: 1168-1173.
- Soil Survey Staff. 2010. *Keys to Soil Taxonomy*. 11th ed. Natural Resources Conservation Service, USDA, Washington, D.C.
- Swan, J.B., Higgs, R.L., Bailey, T.B., Wollenhaupt, N.C., Paulson, W.H., and A.E., Peterson, 1994. Surface residue and in-row treatment on long-term no-tillage continuous corn. *Agron. J.* 86: 711-718.
- Thomas, G.W., R.L. Blevins., R.E. Phillips and M.A. McMahon. 1973. Effect of killed sod mulch on nitrate movement and corn yield. *Agron. J.* 65: 736-739.
- Tyler, D.D. and G.W. Thomas. 1977. Lysimeter measurements of nitrate and chloride losses from soil under conventional and no-tillage corn. *J. Environ. Qual.* 6: 63-66.
- Unger, P.W. 1994. *Managing Agricultural Residues*. Lewis Publishers, Boca Raton, FL.
- Van Doren, D.M. and G.B. Triplett. 1979. Tillage systems for optimizing crop production, P. 2-23. *In*: R. Lal, ed. *Soil Tillage and Crop Production*. Proceedings Series, International Institute of Tropical Agriculture, Ibadan Nigeria.