

# ลักษณะของชั้นดานไถพรวนในพื้นที่ปลูกมันสำปะหลัง จังหวัดนครราชสีมา

## Characteristics of plough pan under cassava production areas in Nakhon Ratchsima province

เอกราช มีวาสนา<sup>1</sup>, สมชัย อนุสนธ์พรเพิ่ม<sup>\*</sup>, เอิบ เขียวรีนรมณ์<sup>1</sup> และอัญชลี สุทธิประการ<sup>1</sup>

Ekkaraj Meewassana<sup>1</sup>, Somchai Anusontpornperm<sup>\*</sup>, Irb Kheoruenromne<sup>1</sup>

and Anchalee Suddhiprakarn<sup>1</sup>

**บทคัดย่อ:** ทำการศึกษาชั้นดานไถพรวนในพื้นที่ปลูกมันสำปะหลัง จังหวัดนครราชสีมาใน 3 ชุดดิน ได้แก่ ชุดดินวาริน ชุดดินยโสธร และชุดดินสตึก เพื่อศึกษาลักษณะของชั้นดานไถพรวนตามลำดับภูมิประเทศและข้อจำกัดของชั้นดานไถพรวนต่อการปลูกมันสำปะหลัง ผลการศึกษา พบว่า ดินส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่มดินทรายที่มีอนุภาคขนาดทรายละเอียดและทรายละเอียดมากเป็นส่วนใหญ่ พบชั้นดานไถพรวน (Btd) วางตัวอยู่ใต้ชั้นดินบน (Ap) อยู่เหนือชั้นดินวินิจจัยล่างอาร์จิลิก (Bt) พบที่ระดับความลึกตั้งแต่ 15-25 ซม. จากผิวดิน มีความหนาอยู่ในพิสัย 13-32 ซม. แต่ไม่มีความสัมพันธ์กับตำแหน่งตามภูมิประเทศ ส่วนใหญ่มีความหนาแน่นรวมสูงกว่า 1.60 เม.ก./ม.<sup>3</sup> ชั้นดานไถพรวนที่พบในดินยโสธรมีความหนาแน่นรวมสูงสุดเฉลี่ยเท่ากับ 1.83 เม.ก./ม.<sup>3</sup> สำหรับชั้นดินบนและชั้นดินใต้ชั้นดานไถพรวนมีค่าความหนาแน่นรวมต่ำกว่าชั้นดานไถพรวนในทุกบริเวณ ค่าความแข็งของชั้นดานไถพรวนมีค่าอยู่ในพิสัย 0.34-5.23 กก./ซม.<sup>2</sup> สภาพน้ำของชั้นดานไถพรวนมีความสัมพันธ์กับค่าความหนาแน่นรวม โดยมีค่าอยู่ในพิสัย 0.2-3.4 ซม./ซม. สำหรับชั้นดานไถพรวนที่พบในชุดดินสตึกมีค่าโดยเฉลี่ยต่ำกว่าที่พบในอีกสองชุดดิน เนื่องจากมีวัตถุต้นกำเนิดดินเป็นหินทรายเปราะทำให้ช่องว่างในดินมีขนาดเล็กกว่า ความจุน้ำใช้ประโยชน์ได้ในชั้นดานไถพรวนมีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 5.34% โดยปริมาตรในชุดดินวาริน รองลงมาได้แก่ชุดดินสตึกมีค่าเท่ากับ 4.12% โดยปริมาตร และต่ำสุดในชุดดินยโสธร (3.97% โดยปริมาตร) สมบัติของชั้นดานไถพรวนที่ทำการศึกษา มีผลเสียต่อการปลูกมันสำปะหลัง เนื่องจาก มีความหนาแน่นรวมสูง และแข็งเมื่อแห้งซึ่งไปจำกัดการซึมน้ำของรากมันสำปะหลัง น้ำซึมผ่านได้ยากจึงส่งเสริมให้เกิดน้ำไหลป่าที่ผิวดินและการกร่อนดิน และความจุน้ำใช้ประโยชน์ได้ต่ำทำให้มันสำปะหลังขาดแคลนน้ำได้ง่าย

**คำสำคัญ:** ชั้นดานไถพรวน, การอัดตัวแน่นของดิน, การไถพรวน, ดินเนื้อหยาบ, มันสำปะหลัง

**ABSTRACT:** A study on plough pan in cassava production areas of Nakhon Ratchsima province was carried out in three soil series, namely Warin, Yasothon and Satuk soil series, aiming at investigating characteristics of plough pan along toposequences and its limitation on growing cassava. Result showed that soils were mostly in sandy texture group dominated by fine and very fine sand particles. Plough pan (Btd) occurred underneath topsoil (Ap) and overlaid argillic horizon (Bt), starting at a depth between 15-25 cm with 13-32 cm thick. There was no relationship between starting depth and thickness of plough pan with position in the landscapes. Bulk density of plough pans was mostly greater than 1.6 Mg/m<sup>3</sup> with those found in Yasothon soil having the highest average value of 1.83 Mg/m<sup>3</sup>.

<sup>1</sup> ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ

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

<sup>\*</sup> Corresponding author: somchai.a@ku.ac.th

All plough pans had greater bulk density than did topsoil and subsoil layers directly overlying and underneath. Hardness of plough pans ranged between 0.34-5.23 kg/cm<sup>2</sup>. Saturated hydraulic conductivity of these pans, having close relationship with bulk density, varied between 0.2-3.4 cm/hr with Satuk soil having lower average value than that of the rest due to its parent material which derived from siltstone, causing the soil to have smaller pore size. Available water capacity of plough pan of 5.34% by volume in Warin soil was found the highest compared to 4.12 and 3.97% by volume of Satuk and Yasothon soils, respectively. Properties of studied plough pan such as high bulk density and hard when dry which restrict cassava root penetration, low saturated hydraulic conductivity which impedes vertical water flow and result in the accumulation of water runoff and subsequent erosion, and low available water capacity which limits water use of cassava during drought period, all have negative impact on cassava growth in this production area.

**Keywords:** plough pan, soil compaction, tillage, coarse-textured soil, cassava

## คำนำ

ประเทศไทยมีพื้นที่เพาะปลูกมันสำปะหลังในปี 2551 ประมาณ 7.3 ล้านไร่ ได้ผลผลิตประมาณ 27 ล้านตัน แหล่งที่ปลูกมันสำปะหลังที่ใหญ่ที่สุดคือภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีพื้นที่ปลูกประมาณร้อยละ 60 ของพื้นที่ปลูกทั้งหมด โดยจังหวัดนครราชสีมาที่มีพื้นที่ปลูกมันสำปะหลังประมาณ 1.8 ล้านไร่ การอัดตัวแน่นของดินเป็นปัญหาหนึ่งที่สำคัญต่อการปลูกมันสำปะหลังในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เนื่องจากเกษตรกรได้ทำการไถพรวนอย่างต่อเนื่องปีละหลาย ๆ ครั้ง เช่นการไถเตรียมดินก่อนการปลูกมันสำปะหลัง การไถเพื่อการยกร่อง และการไถเพื่อกำจัดวัชพืช ทำให้เกิดชั้นดานไถพรวนขึ้น

ดินที่มีชั้นดานมีสภาพไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช เนื่องจากชั้นดานมีผลกับการกระจายของรากในหน้าตัดดิน โดยการเจริญทางตั้งของรากจะช้าระบรากจะถูกยับยั้งให้อยู่เฉพาะบริเวณด้านบนของชั้นดาน (Bennie, 1991) การยับยั้งรากพืชจะมีผลรุนแรง ถ้าผิวดินแห้งและปริมาณน้ำมีจำกัด เนื่องจากพืชไม่สามารถใช้น้ำและอาหารตั้งแต่ส่วนที่เป็นชั้นดานลงไปได้ (Voorhees, 1992) ชั้นดานจะจำกัดการไหลซึมผ่านของน้ำและอากาศไปยังรากพืช (Coelho et al., 2000) เมื่อฝนตกหรือมีการให้น้ำ น้ำไม่สามารถซึมผ่านลงไปในระดับลึกได้ ทำให้เกิดการท่วมขังในลักษณะของน้ำใต้ดินชั่วคราว (perched ground water) ในบริเวณโคนรากพืชซึ่งทำให้พืชได้รับความเสียหายและตายในที่สุด (McDanial et al., 2008) และยังทำให้เกิดการไหลบ่าของน้ำไปตามผิวดินบนพื้นที่ที่มีความลาดชันมีผลทำให้เกิดการกร่อนดินและสูญเสียหน้าดินออกไป

ไปจากพื้นที่ ส่งผลให้ดินเสื่อมโทรมลงอย่างรวดเร็ว ในที่สุดทำให้ผลผลิตมันสำปะหลังลดต่ำลง

การศึกษาลักษณะของชั้นดานที่เกิดจากการไถพรวนในพื้นที่ปลูกมันสำปะหลังจึงน่าจะเกิดประโยชน์ต่อการวางแผนการอนุรักษ์และการจัดการดินเพื่อลดปัญหาการเสื่อมโทรมของดินที่เป็นผลมาจากชั้นดานที่ช่วยเร่งให้เกิดการกร่อนดิน และช่วยทำให้เกษตรกรสามารถปลูกมันสำปะหลังได้อย่างยั่งยืน

## วิธีการศึกษา

พื้นที่ทำการศึกษานี้เลือกจากแปลงปลูกมันสำปะหลังของเกษตรกรในจังหวัดนครราชสีมา การคัดเลือกพื้นที่ศึกษาเริ่มโดยการใช้เครื่องมือวัดความแน่นของดิน (penetrometer) สุ่มวัดในพื้นที่ เพื่อเปรียบเทียบความแน่นของดินบนและดินชั้นที่อยู่ถัดลงไป เมื่อพบชั้นดานซึ่งมีความแน่นมากกว่าชั้นที่อยู่ข้างบนและข้างล่าง จึงคัดเลือกเป็นพื้นที่ศึกษา โดยทำการศึกษาทั้งหมด 3 บริเวณ ได้แก่

- 1) ชุดดินวาริน (Arenic Haplustult, sandy, siliceous, isohyperthermic) อยู่ใน ต.กฤษณา อ.ด่านขุนทด
- 2) ชุดดินยโสธร (Typic Paleustult, loamy, siliceous, isohyperthermic) อยู่ใน ต.ตะเคียน อ.ด่านขุนทด
- 3) ชุดดินสติ๊ก (Typic Paleustult, loamy, siliceous, isohyperthermic) อยู่ใน ต.โนนสมบุญ อ.เสิงสาง

การเก็บตัวอย่าง ขุดหน้าตัดดินตามตำแหน่งที่กำหนดไว้โดยมีขนาด กว้าง 1 ม. ยาว 1 ม. ลึก 60 ซม. แบ่งชั้นดินตามชั้นการกำเนิดดิน (genetic horizon) และตรวจสอบสมบัติดินในแต่ละชั้น โดยทำการเก็บดินตามลำดับภูมิประเทศ บริเวณละ 4-5 จุด ขึ้นอยู่กับ

ความยาวของความลาดเทของพื้นที่ โดยมีระยะห่างระหว่างจุดประมาณ 200 ม.

เก็บตัวอย่างดินมาวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ ได้แก่ การแจกกระจายขนาดของอนุภาคดิน โดยวิธีไปเปต (pipette method) การแจกกระจายของอนุภาคขนาดทรายโดยวิธีแยกด้วยตะแกรง (sieving method) ความหนาแน่นรวมของดินโดยวิธีใช้กระบอกเก็บตัวอย่างดินที่ไม่ทำลายโครงสร้าง (core method) สภาพพ่น้ำของดินขณะอิ่มตัว (saturated hydraulic conductivity) โดยใช้พลังงานขับน้ำผันแปร (variable head method) การดูดยึดน้ำของดิน (soil moisture retention) โดยการแช่ดินให้อิ่มตัวด้วยน้ำ แล้วไล่น้ำออกจากดินด้วยแรงดันอากาศ ที่ระดับต่างๆ ได้แก่ระดับแรงดันที่ -0.1, -10, -33, -100 และ -1500 กิโลปาสคาล (Klute, 1986) และความจุน้ำใช้ประโยชน์ได้ (available water capacity) ซึ่งคำนวณจากปริมาณความชื้นระหว่างความจุความชื้นสนาม (field capacity) และความจุความชื้นที่จุดเหี่ยวถาวร (permanent wilting point)

### ผลการศึกษา

#### ลักษณะทั่วไปและสัณฐานวิทยาสนามของดิน

**บริเวณที่ 1 ชุดดินวาริน** ทำการศึกษา 5 บริเวณตามลำดับภูมิประเทศพื้นที่ที่อยู่สูงจากระดับทะเลปานกลางตั้งแต่ 313-332 ม. สภาพพื้นที่เป็นลูกคลื่นลอนลาด มีความลาดเทประมาณร้อยละ 3-5 ดินมีการระบายน้ำดี ดินมีความสามารถในการให้น้ำซึมผ่านได้เร็ว มีการไหลบ่าของน้ำบนผิวดินปานกลาง ดินมีสีสีแดงปนเหลืองจนถึงสีน้ำตาลเข้มมีเนื้อดินเป็นดินร่วนปนทรายและดินทรายปนดินร่วน ดินมีปฏิกิริยาเป็นกรดจัดถึงเป็นกลาง (pH 5.5-7.0) วัตถุต้นกำเนิดเป็นตะกอนล้างผิวดินทับถมอยู่บนวัสดุตกค้างที่สลายตัวมาจากหินทราย

**บริเวณที่ 2 ชุดดินยโสธร** ทำการศึกษาจำนวน 5 บริเวณตามลำดับภูมิประเทศ พื้นที่ที่อยู่สูงจากระดับทะเลปานกลางตั้งแต่ 245-250 ม. สภาพพื้นที่เป็นลูกคลื่นลอนลาดจนถึงเกือบราบ มีความลาดเทตั้งแต่ร้อยละ 1-5 ดินมีการระบายน้ำดี ดินมีความสามารถในการให้น้ำซึมผ่านได้เร็ว มีการไหลบ่าของน้ำบนผิวดินปานกลางถึงเร็ว ดินมีสีแดงถึงสีน้ำตาลแดงเข้ม เนื้อดิน

เป็นดินร่วนปนทรายและดินทรายปนดินร่วน ปฏิกริยา ดินเป็นกรดรุนแรงมากถึงกรดจัดมาก (pH 4.0-5.0) วัตถุต้นกำเนิดเป็นตะกอนน้ำพาห้องถิ่นทับถมอยู่บนวัสดุตกค้างที่สลายตัวมาจากหินทราย

**บริเวณที่ 3 ชุดดินสติ** ทำการศึกษาจำนวน 4 บริเวณตามลำดับภูมิประเทศ พบอยู่สูงจากระดับทะเลปานกลางตั้งแต่ 264-276 ม. สภาพพื้นที่เป็นลูกคลื่นลอนลาด มีความลาดเทตั้งแต่ประมาณร้อยละ 4-6 ดินมีการระบายน้ำดี ความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้ปานกลาง มีการไหลบ่าของน้ำบนผิวดินเร็ว ดินมีสีแดงปนเหลืองถึงสีน้ำตาลเข้ม เนื้อดินเป็นดินร่วนปนทราย ดินทรายปนดินร่วน และดินร่วนเหนียวปนทราย ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดมากถึงเป็นกลาง (pH 5.0-7.0) วัตถุต้นกำเนิดเป็นวัสดุตกค้างที่สลายตัวมาจากหินทรายแป้ง

#### สมบัติทางกายภาพ

ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของดินทั้ง 3 บริเวณ ประกอบด้วยการกระจายของอนุภาคดิน การกระจายของอนุภาคขนาดทราย ความหนาแน่นรวมของดิน สภาพพ่น้ำของดินขณะอิ่มตัว และการดูดยึดความชื้นของดิน

##### 1) การแจกกระจายของอนุภาคดิน

ผลการวิเคราะห์การแจกกระจายขนาดอนุภาคดินทั้ง 3 บริเวณ (Table 1) โดยภาพรวม พบว่า ชุดดินวาริน และชุดดินยโสธรมีอนุภาคทรายเป็นอนุภาคเด่น โดยพบอยู่ในพิสัย 718.2-862.2 และ 657.0-748.4 ก./กก. ตามลำดับ ขณะที่ชุดดินสติมีอนุภาคขนาดทรายลดลงในดินล่างแต่ในดินบนก็ยังคงเป็นอนุภาคหลัก เช่นเดียวกับทั้งสองดินข้างต้น อย่างไรก็ตาม ชุดดินวารินมีปริมาณอนุภาคขนาดทรายในชั้นดินบนสูงกว่าดินอื่น เนื่องจาก ดินนี้มีวัตถุต้นกำเนิดดินที่เป็นตะกอนล้างผิวดินซึ่งอนุภาคขนาดเล็กส่วนใหญ่จะถูกพัดพาไปอยู่ที่ต่ำ ดินทุกดินมีปริมาณดินเหนียวเพิ่มขึ้นตามความลึกแสดงให้เห็นถึงพัฒนาการของดินที่มีการเคลื่อนย้ายของอนุภาคขนาดดินเหนียวลงสู่ตอนล่างของหน้าตัดดินโดยการชะละลาย (leaching) หรือการเคลื่อนย้ายเชิงกล (lessivage) (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544; เويب, 2548; Boul et al., 2003) ซึ่ง

ทำให้พัฒนาการของหน้าตัดดินเป็นแบบ Ap-Btd-Bt อย่างไรก็ตาม จึงทำให้ชั้นเนื้อดินของชั้นดานไถพรวนมีความแตกต่างจากชั้นดินอื่น แต่ไม่ได้เกิดจากอิทธิพลของการไถพรวนที่ทำให้ชั้นนี้มีชั้นเนื้อดินที่แตกต่าง

## 2) ปริมาณการแจกกระจายอนุภาคขนาดทราย

ดินที่มีปริมาณอนุภาคขนาดทรายละเอียดและทรายแป้งในปริมาณมาก มักเกิดการอัดตัวแน่น หรือเกิดชั้นดานได้ง่าย (Troeh et al., 1999) ซึ่งผลการศึกษพบว่า ดินทั้ง 3 ชุดดินมีปริมาณอนุภาคทรายละเอียดรวมกับอนุภาคขนาดทรายละเอียดมากอยู่สูงกว่าอนุภาคทรายขนาดอื่นๆ (Table 2) ซึ่งการที่มีอนุภาคขนาดทรายละเอียดและทรายละเอียดมากอยู่สูง ทำให้เกิดชั้นดานไถพรวนได้ง่าย เนื่องจาก อนุภาคขนาดดังกล่าว (ประมาณ 0.02-0.2 มม.) มีขนาดใกล้เคียงกับช่องว่างภายในดินจึงทำให้เกิดการอุดตันเมื่อมีแรงกดทับ เช่นการไถพรวนโดยใช้รถแทรกเตอร์ขนาดใหญ่ หรือไถพรวนในขณะที่ดินชื้นเกินไป มีผลทำให้ชั้นนี้มีความหนาแน่นรวมสูงขึ้นเนื่องจากอนุภาคขนาดทรายและทรายละเอียดไปทดแทนอากาศในช่องว่าง และส่งผลให้สภาพการนำน้ำของดินลดลงด้วยเนื่องจากปริมาตรรวมของช่องว่างในดินลดลงและเกิดความไม่ต่อเนื่องของช่องว่าง

## 3) ความหนาแน่นรวมของดิน

ความหนาแน่นรวมของดินในชุดดินวารินอยู่ในระดับต่ำถึงสูง (1.43-1.79 เม.ก./ม<sup>3</sup>) ในชุดดินยโสธรค่าความหนาแน่นรวมของดินอยู่ในระดับต่ำถึงสูง (1.42-1.87 เม.ก./ม<sup>3</sup>) และในชุดดินสตึกค่าความหนาแน่นรวมของดินอยู่ในระดับต่ำมากถึงสูงมาก (1.15-1.71 เม.ก./ม<sup>3</sup>) โดยค่าความหนาแน่นรวมของดินของชั้นดานไถพรวน (Btd) จะมีค่าสูงกว่าในชั้นดินบนและชั้นดินที่อยู่ข้างใต้ ชั้นดานไถพรวนในทุกบริเวณ (Figure 1) ชุดดินยโสธรมีค่าความหนาแน่นรวมของชั้นดานไถพรวนเฉลี่ยสูงสุด โดยอยู่ในพิสัย 1.74-1.87 เม.ก./ม<sup>3</sup> ขณะที่ชุดดินสตึกชั้นดานไถพรวนมีค่าความหนาแน่นรวมสูงกว่าในดินบนค่อนข้างมากกว่าดินอีกสองชุดดิน ซึ่งระดับความลึกของชั้นดานไถพรวนนี้จะมีผลต่อการเจริญเติบโตของมันสำปะหลังซึ่งในกรณีศึกษานี้ พบว่า ชุดดินสตึกและชุดดินยโสธรน่าจะมีปัญหามากกว่าเนื่องจากทั้งสองดิน พบชั้นดานไถพรวนเริ่มต้นที่ความลึกตั้งแต่ประมาณ 19 ซม. ขณะที่ดินสตึกเฉลี่ยเริ่มต้นที่ความลึก 23 ซม. โดยผลเสียก็คือ มีพื้นที่สำหรับการขนไชหรือแทงหัวน้อย ขณะที่ความชื้นส่วนที่มันสำปะหลังจะดูดใช้ได้ก็จะน้อยกว่า รวมถึงดินบนอัดตัวด้วยน้ำได้เร็วกว่าเนื่องจากมีพื้นที่หรือช่องว่างรวมโดยปริมาตรน้อยกว่าทำให้เกิดน้ำไหลป่าและการกร่อนดินได้ง่ายกว่า เช่นเดียวกับปริมาณธาตุอาหารที่สูญเสียไปกับน้ำไหลป่าหรือดินที่ถูกกร่อน

Table 1 Particle size distribution of soils chosen.

Soil series	Sand	Silt	Clay
	-----g/kg-----)		
Warin Series	718.2-862.2	66.0-172.1	59.1-126.6
Yasothon Series	657.0-748.4	104.1-174.2	135-194.1
Satuk Series	439.1 -780.7	52.2-126.3	434.6-122.4

Table 2 Sand fraction in sandy particles.

Soil series	Sand particle <sup>1/</sup> (g/kg)				
	VC	C	M	F	VF
Warin Series	0-8	8-113	85-217	368-527	98-226
Yasothon Series	3-10	28-56	133-189	327-377	145-241
Satuk Series	3-13	15-180	102-176	355-478	68-223

<sup>1/</sup> VC = very coarse sand, C = coarse sand, M = medium sand, F = fine sand, VF = very fine sand

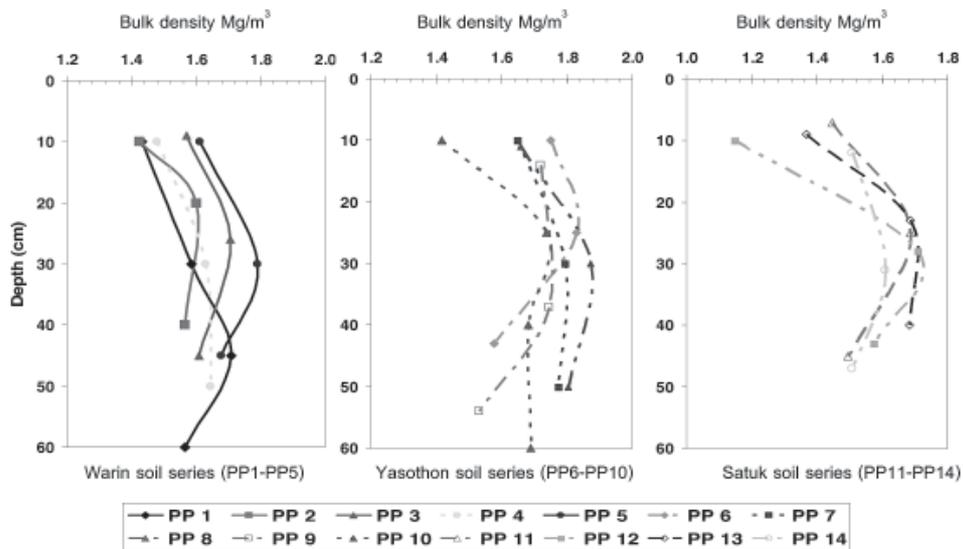


Figure 1 Bulk density with depth of soils chosen.

เมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาการอัดตัวแน่นของดินร่วนปนทรายที่ Scottish Centre of Agriculture โดย Smith (1987) โดยใช้เครื่องจักรกลชนิดต่างๆ พบว่าการใช้รถแทรกเตอร์วิ่งผ่านไปมาจำนวน 5 ครั้งทำให้ดินได้ชั้นไถพรวนที่ระดับความลึกตั้งแต่ 18-36 ซม. เกิดการอัดตัวแน่นมากที่สุด และมีค่าความหนาแน่นรวมเพิ่มขึ้นจนอยู่ในพิสัย 1.4-1.5 เม.ก./ม<sup>3</sup>. ซึ่งจะเห็นได้ว่าชั้นดานไถพรวนที่เกิดขึ้นมีค่าต่ำกว่าที่พบในการศึกษานี้มาก เนื่องจาก พื้นที่ปลูกมันสำปะหลังในจังหวัดนครราชสีมามีการใช้พื้นที่เพื่อปลูกพืชนี้มายาวนาน ขณะที่รูปแบบการไถพรวนยังคงไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก คือ มีการไถเปิดหน้าดินด้วยไถงานผาล 3 พรวนดินด้วยผาล 7 และยกร่อง ซึ่งการใช้เครื่องจักรกลเข้าเตรียมพื้นที่รวมถึงการเข้าจัดการระหว่างฤดูปลูก และการเก็บเกี่ยวเป็นระยะเวลายาวนานย่อมทำให้ชั้นดานไถพรวนมีความหนาแน่นสูงมากขึ้น สำหรับค่าความหนาแน่นรวมที่ได้จากการศึกษานี้มีค่าสูงกว่าค่าที่ Brady and Weil (2008) อ้างว่าจะมีผลยับยั้งการชอนไชของรากพืชซึ่งมีค่าเท่ากับหรือสูงกว่า 1.6 เม.ก./ม<sup>3</sup>. สำหรับในกรณีของดินเนื้อหยาบ

4) สภาพน้ำของดินที่อัดตัวด้วยน้ำ

ชุดดินวารินและชุดดินสติกมีสภาพน้ำของดิน

ขณะอัดตัวอยู่ในระดับเข้าถึงเร็ว (0.29-13.90 และ 0.16-19.83 ซม./ซม. ตามลำดับ) ส่วนชุดดินยโสธรสภาพน้ำของดินอยู่ในระดับช้ามากถึงเร็ว (0.09-18.21 ซม./ซม.) สำหรับชั้นดานไถพรวนที่เป็นชุดดินสติกสภาพน้ำของดิน มีค่าโดยเฉลี่ยต่ำกว่าที่พบในอีกสองชุดดินเนื่องจากมีวัตถุต้นกำเนิดดินเป็นหินทรายแป้ง ทำให้ช่องว่างในดินมีขนาดเล็กกว่า (Figure 2) สำหรับผลการศึกษานี้ให้ผลตรงกับการศึกษาโดย Anusontpornperm et al. (2005) ที่ทำการศึกษาดินที่ใช้ปลูกมันสำปะหลังใน 9 บริเวณในภาคตะวันออกเฉียงเหนือซึ่งดินทั้งหมดพบชั้นดินดานไถพรวนอยู่ใต้ชั้นดินบน และดินมีสภาพน้ำขณะอัดตัวในชั้นดังกล่าวต่ำกว่าในชั้นดินบนและชั้นดินที่อยู่ข้างใต้เช่นกัน

ปกติแล้ว ชั้นดินล่างมักมีสภาพน้ำของดินขณะอัดตัวต่ำกว่าในชั้นดินบน เนื่องจาก การแจกกระจายของอนุภาคขนาดดินเหนียวที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในดินชั้นล่าง มีผลให้ช่องว่างขนาดใหญ่ของดินลดลงตามความลึก (สุนทร, 2535) อย่างไรก็ตามจาก Figure 2 จะเห็นได้ว่า สภาพน้ำของชั้นดานไถพรวนช้ากว่าในชั้นสะสมดินเหนียว (Bt) ในเกือบทุกบริเวณที่มีการเก็บตัวอย่าง ทั้งๆ ที่ชั้น Bt มีปริมาณอนุภาค

ขนาดดินเหนียวสูงกว่า แสดงว่า สภาพน้ำในชั้น ดานไถพรวนมีค่าต่ำโดยได้รับอิทธิพลจากการกดทับ ขณะที่มีการใช้เครื่องจักรกลในแปลงมากกว่า สำหรับ ในชั้นดินบน เนื่องจาก พื้นที่มีความลาดชันพอสมควร และมีความยาวของความลาดชันค่อนข้างมาก ดังนั้น อนุภาคละเอียดในชั้นดินบนมักจะสูญเสียไปกับการกร่อนดิน ทำให้เนื้อดินชั้นบนค่อนข้างหยาบกว่า น้ำจึงมักจะซึมผ่านได้เร็วกว่า (Morgan, 1991; Troeh et al, 1999) ส่งผลให้การซาบซึมน้ำของดินบนดีกว่าดินล่าง

### 5) ลักษณะการดูดยึดน้ำ

การศึกษาความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำในดิน ที่ระดับของพลังงานกำกับกับดินต่างๆ ของทั้ง 3 ชุดดิน พบว่า กราฟการดูดยึดน้ำคล้ายคลึงกันทั้ง 3 บริเวณ กล่าวคือ ในช่วงแรกที่มีพลังงานกำกับกับดินต่ำ คือ ตั้งแต่ 0.01 ถึง 0.1 กิโลปาสคาล (กป.) ซึ่งสัมพันธ์กับ แรงดึงน้ำของดินในช่องว่างขนาดกลางและช่องว่าง ขนาดใหญ่ซึ่งเป็นช่องว่างระหว่างเม็ดดิน (Landon, 1991) ลักษณะของเส้นกราฟค่อนข้างลาด แสดง ปริมาณน้ำในดินที่เปลี่ยนแปลงไปอย่างมากเมื่อค่าพลังงาน กำกับกับดินเปลี่ยนแปลงไปหนึ่งหน่วย จากนั้นเป็น ช่วงที่สองความชันของเส้นกราฟจะลดลงเล็กน้อย โดยเฉพาะในช่วงพลังงานกำกับกับดิน 0.1 ถึง 33 กป. ซึ่งอยู่ในช่วงแรงดึงน้ำของดินในช่องว่างขนาดเล็ก (micropore) ปริมาณน้ำในดินลดน้อยลงเมื่อเปรียบเทียบกับ ต่อหนึ่งหน่วยพลังงานกำกับกับดินที่เปลี่ยนแปลงไป ส่วนในช่วงสุดท้ายคือที่มีค่าพลังงานกำกับกับดิน 300 ไปจนถึง 1500 กป. ปริมาณน้ำในดินมีการเปลี่ยนแปลง น้อยมาก เนื่องจากเป็นแรงดึงน้ำที่ออกจากช่องว่าง ภายในเม็ดดิน (intra-aggregate pore เป็นช่องว่างขนาดเล็กมาก) จากลักษณะดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า กราฟดูด ยึดความชื้น มีลักษณะของเส้นกราฟเป็นแบบดินทราย ซึ่งสอดคล้องกับการวิเคราะห์การแจกกระจายขนาดของ อนุภาคดินที่พบปริมาณอนุภาคขนาดทรายมากที่สุด จากลักษณะดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า ดินประกอบไปด้วยช่องขนาดใหญ่ (macropores, > 100 ไมครอน) ในสัดส่วนที่มากกว่าช่องขนาดปานกลาง (mesopores, 50-100 ไมครอน) และช่องขนาดเล็ก (micropores, < 50 ไมครอน) จากลักษณะดังกล่าวจึงทำให้ดินมีการระบาย

น้ำและการระบายอากาศดี แต่ดินอุ้มน้ำได้น้อย ทำให้ ดินมีน้ำใช้ประโยชน์ได้ต่ำ ส่งผลให้ดินในบริเวณเหล่านี้ มีโอกาสขาดน้ำได้ง่ายในฤดูแล้ง (Figure 3)

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบลักษณะการดูดยึดน้ำ ของชั้นดินบน (Ap) ชั้นดานไถพรวน (Btd) และชั้นดิน ข้างใต้ (Bt1) พบว่า ทั้งสามดินมีลักษณะแตกต่างกัน พอสมควร กล่าวคือ ชุดดินวารินทั้งสามชั้นดินมีความจุ ความชื้นรวมใกล้เคียงกันมาก (30.25-32.64% โดย ปริมาตร) และมีปริมาตรของช่องว่างขนาดใหญ่หรือ ช่องระบายน้ำใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตาม เส้นกราฟ ชั้นดานไถพรวนที่พลังงานกำกับกับดินระหว่าง 100 กป. จนถึงจุดเหี่ยวถาวรมีความชันน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับชั้นดินบนและชั้นดินที่อยู่ข้างใต้แสดงให้เห็นว่า น้ำส่วนนี้จะอยู่ในช่องว่างขนาดค่อนข้างเล็กเป็น ส่วนใหญ่ ชุดดินยโสธร พบว่า ชั้น Bt มีความจุความชื้น รวมสูงสุด แต่เส้นกราฟในช่วงพลังงานกำกับกับดิน 0.1-33 กป. ชันมาก แสดงว่าในชั้นนี้ช่องว่างส่วนใหญ่ เป็นช่องระบายน้ำ ซึ่งเป็นลักษณะเด่นของดินสีแดง ที่มีเหล็กออกไซด์ โดยเฉพาะฮีมาไทต์ทำให้ดินมี โครงสร้างขนาดเล็ก (microstructure) ที่คงทนและ แข็งแรง ทำให้ดินมีการระบายน้ำและอากาศที่ตรง กับการศึกษาของ Tawornpruek et al. (2005) ในดิน สีแดงอันดับออกซิซอลที่ชั้นดินมักจะมีปริมาณชื้นสะสม ในส่วนนี้มาก ขณะเดียวกันดินชั้นนี้ก็มีช่องว่างขนาด กลางอยู่พอสมควรจึงทำให้มีความน้ำใช้ประโยชน์ ได้สูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับชั้นดานไถพรวน ซึ่งเป็น ชั้นสะสมดินเหนียวเช่นเดียวกัน แต่เนื่องจากการ อัดตัวแน่นทำให้ช่องว่างที่บรรจุน้ำใช้ประโยชน์ได้ ลดน้อยลง ส่วนชั้นดินบนดินมีปริมาณอนุภาคขนาด ทรายละเอียดมาก ทรายละเอียด และทรายแป้งค่อนข้างใกล้เคียงกัน และมีปริมาณดินเหนียวต่ำ ประกอบ กับดินมีปริมาณอินทรีย์วัตถุต่ำมากทำให้โครงสร้างดิน ไม่คงทน ปริมาณความชื้นที่พลังงานกำกับกับดินต่างๆ จึงต่ำกว่าชั้นดินข้างใต้ สำหรับชุดดินสติ๊ก อิทธิพล ของการไถพรวนทำให้ชั้นใต้ชั้นดินบนมีปริมาตรของ ช่องว่างที่บรรจุน้ำใช้ประโยชน์ได้น้อยกว่าในดินบน และชั้นดินที่อยู่ข้างใต้ ถึงแม้ว่าความจุความชื้นรวม จะใกล้เคียงกับในชั้นดินบน

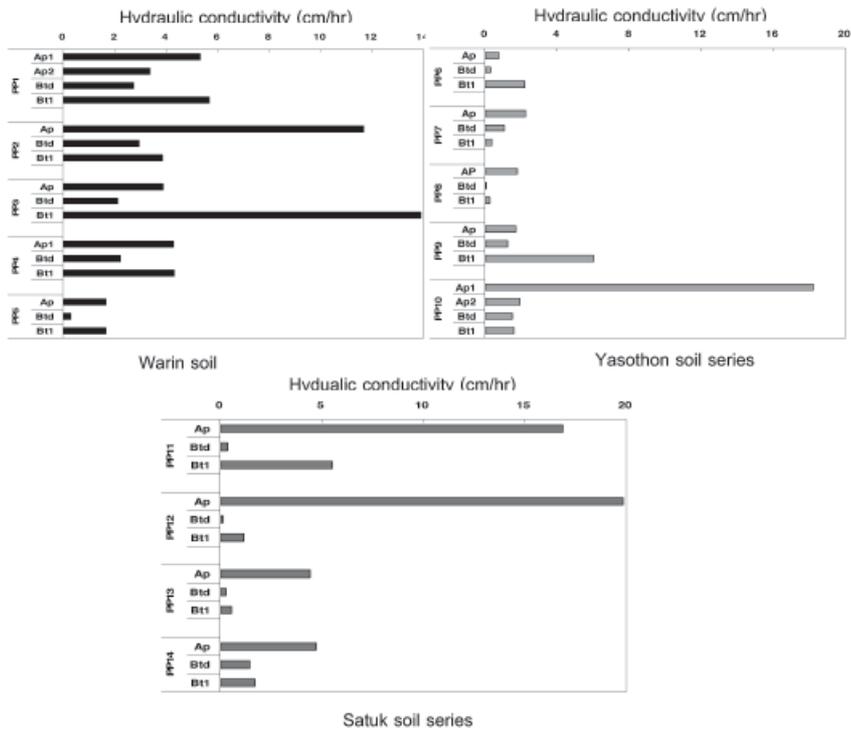


Figure 2 Saturated hydraulic conductivity with depth of soils chosen.

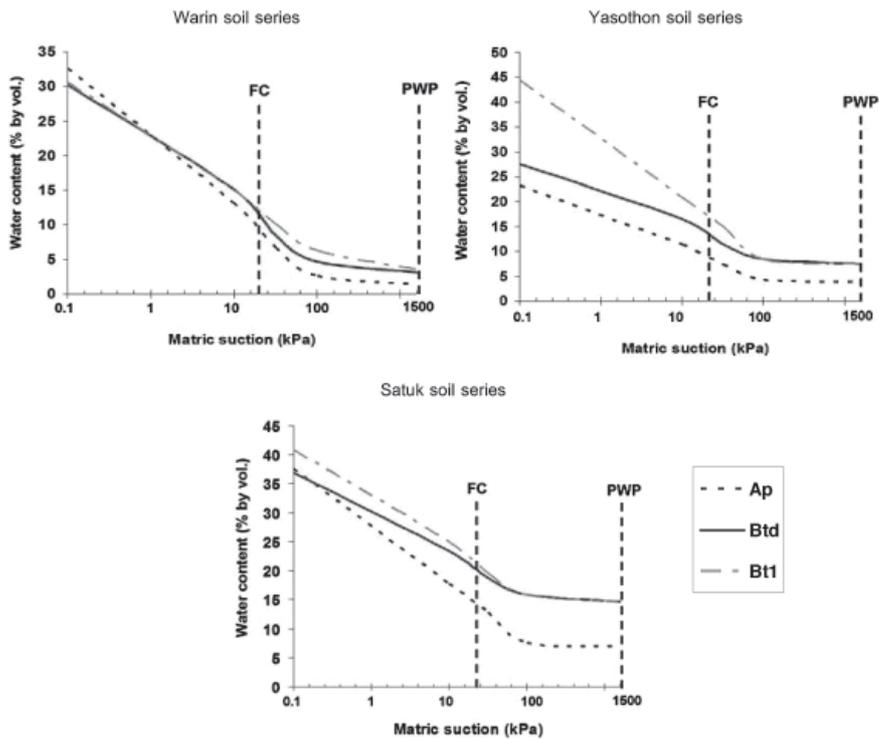


Figure 3 Comparison of soil moisture retention curve among top three soil layers in soils chosen.

**Table 3** Volumetric moisture percentage at various suctions of soils chosen.

Horizon	Water content at matric potential					AWC
	-0.1 kPa	-10 kPa	-33 kPa	-100 kPa	-1500 kPa	
Warin Series						
Ap	32.64	13.13	6.76	2.62	1.38	5.38
Btd	30.25	15.14	8.47	4.61	3.12	5.34
Bt1	30.61	14.99	10.15	6.25	3.48	6.68
Yasothon series						
Ap	23.15	11.33	7.39	4.22	3.82	3.57
Btd	27.55	16.54	11.48	8.45	7.51	3.97
Bt1	44.43	20.86	15.17	8.36	7.47	7.71
Satuk series						
Ap	37.56	17.85	12.87	7.53	6.90	5.97
Btd	36.88	23.40	18.82	15.87	14.70	4.12
Bt1	40.88	24.94	19.62	15.75	14.70	4.92

สำหรับความหนาแน่นรวม และสภาพน้ำของดินก็มีความสัมพันธ์กับลักษณะของเส้นกราฟ คือชั้นที่มีการอัดตัวแน่นหรือมีความหนาแน่นรวมสูงเนื่องจากปริมาตรของช่องว่างถูกแทนที่ด้วยวัสดุที่เป็นของแข็ง ซึ่งก็จะทำให้สภาพน้ำของดินขณะอัดตัวมีอัตราที่ช้า ลักษณะของเส้นกราฟก็จะมีความชันน้อยกว่า ทั้งในช่วงชั้นที่มีศักย์วัสดุพื้นต่ำจนถึงจุดที่มีศักย์ดังกล่าวสูง เมื่อเปรียบเทียบกับชั้นดินล่างด้วยกัน (Bt) ซึ่งหากเส้นกราฟมีความชันน้อยมากตั้งแต่จุดความจุความชื้นสนามไปยังจุดเหี่ยวถาวร ก็จะแสดงให้เห็นว่าดินในชั้นดังกล่าวมีปริมาณน้ำที่ใช้ประโยชน์ได้ต่ำ เช่นเดียวกัน การอัดตัวแน่นของชั้นดินไทรพรวนก็มีผลทำให้ช่องระบายน้ำลดลงด้วย เส้นกราฟของชั้นนี้ในช่วงพลังงานกำกับก่อนดินน้อยส่วนใหญ่จึงอยู่ต่ำกว่าชั้นดินที่อยู่ข้างใต้ ส่วนความจุความชื้นรวมของชั้นดินไทรพรวนที่มีค่าต่ำกว่าชั้นดินบนและชั้นดินที่อยู่ข้างใต้เนื่องจากมีอนุภาคขนาดเล็กเข้าไปแทนที่ในช่องว่างบางส่วนทำให้ปริมาตรรวมของช่องว่างในชั้นดินไทรพรวนมีน้อยกว่าในชั้นดินข้างบนและข้างใต้

#### 6) ความจุน้ำใช้ประโยชน์ได้ (available water capacity, AWC)

ปริมาณความจุน้ำใช้ประโยชน์ได้ในดินทั้งสามคำนวณจากปริมาณน้ำที่ความจุความชื้นสนาม (field

capacity, FC) ที่แรงดึงน้ำเท่ากับ 33 กป.หักลบด้วยปริมาณน้ำที่จุดเหี่ยวถาวร (permanent wilting point, PWP) ที่แรงดึงน้ำเท่ากับ 1,500 กป. ดังแสดงไว้ใน **Table 3** พบว่า ในชั้นสะสมดินเหนียว (Bt) ของชุดดินยโสธรมีความจุน้ำใช้ประโยชน์ได้สูงสุดเท่ากับ 7.71% โดยปริมาตร แต่ในชั้นดินบนและชั้นดานไทรพรวนกลับมีความจุน้ำใช้ประโยชน์ได้ต่ำสุดเท่ากับ 3.57 และ 3.97% โดยปริมาตรเมื่อเปรียบเทียบกับดินวารินและดินสติคซึ่งมีค่าอยู่ในพิสัย 5.34-6.68 และ 4.12-5.97% โดยปริมาตร

เมื่อเปรียบเทียบกับชั้นดานไทรพรวน (Btd) ระหว่างดินทั้งสาม พบว่า ชุดดินวารินมีค่าสูงสุด (5.34% โดยปริมาตร) รองลงมาได้แก่ชุดดินสติค (4.12% โดยปริมาตร) และชุดดินยโสธรมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 3.97% โดยปริมาตร ส่วนใหญ่มีค่าใกล้เคียงหรือต่ำกว่าในดินบนแต่ต่ำกว่าชั้นดินที่อยู่ข้างใต้ทั้งหมด จากลักษณะดังกล่าวจะส่งผลเสียต่อมันสำปะหลัง คือ ในช่วงที่ไม่มีฝนตก ความชื้นที่ผิวดินจะสูญเสียไปอย่างรวดเร็วโดยการระเหยและจากการดูดใช้ของรากพืช ปริมาณน้ำสำรองที่อยู่ในชั้นดินไทรพรวนซึ่งมีรากมันสำปะหลังสะสมอยู่ซึ่งก็จะสามารถดูดใช้น้ำได้โดยตรง และน้ำบางส่วนน่าจะเคลื่อนที่ขึ้นมาตามท่อแคพิลลารี แต่เนื่องจากชั้นดังกล่าวมีความจุน้ำใช้ประโยชน์ได้น้อยมันสำปะหลัง

จึงน่าจะแสดงอาการขาดน้ำได้ง่าย หรืออาจจะเจริญเติบโตไม่เป็นไปตามปกติถึงแม้จะเป็นพืชทนแล้งก็ตาม ขณะเดียวกัน น้ำที่น้ำจะเคลื่อนที่ขึ้นมาเพิ่มเติมตามท่อแคพิลลารีจากชั้นดินที่อยู่ข้างใต้ก็อาจจะมีปริมาณน้อยกว่าปกติ เนื่องจากชั้นดานไถพรอนมีความแน่นทึบและท่อน้ำไม่ต่อเนื่องที่เกิดจากการอัดต้นดังที่ได้มีการศึกษาลักษณะการแจกกระจายและขนาดของช่องว่างโดย Sindhusen et al. (2008) ซึ่งยังพบอีกด้วยว่ารากของพืชจะถูกจำกัดอยู่ที่ความลึก 0-20 ซม.

**ปัญหาของชั้นดานไถพรอนต่อการปลูกมันสำปะหลัง**

เมื่อพิจารณาจากสมบัติต่างๆ ของดินในชั้นดานไถพรอน พบว่า ชั้นนี้จะมีผลเสียต่อการเจริญเติบโตของมันสำปะหลังได้ในหลายกรณี ดังนี้

1) ปัญหาการกร่อนดิน เนื่องจาก ชั้นดานไถพรอนเป็นชั้นที่มีความหนาแน่นรวมสูง มีสภาพนำน้ำต่ำ การไหลซึมของน้ำลงตามแนวตั้งก็จะช้ากว่าปกติ โดยเฉพาะในช่วงฤดูฝน จึงทำให้เกิดการสะสมของน้ำที่ผิวดิน ทำให้มีการไหลบ่าไปตามผิวดิน และเกิดการกร่อนดินอย่างรุนแรงในพื้นที่ปลูกมันสำปะหลังทั่วไปที่มีความลาดชันในระดับหนึ่ง และมีความยาวของความลาดชันมาก

2) การสูญเสียธาตุอาหารพืชไปกับน้ำ เนื่องจากชั้นดินดานไถพรอนไปจำกัดการซึมของน้ำ จึงทำให้ธาตุอาหารหรือน้ำที่ไหลลงไปเกิดการสะสมอยู่เฉพาะในชั้นบางๆ ของชั้นดินบนเท่านั้น เมื่อเกิดปัญหาน้ำไหลบ่าไปตามผิวดิน หรือการไหลไปในลักษณะของน้ำใต้ดินชั่วคราว (perched groundwater) โดยเฉพาะในพื้นที่บริเวณที่เป็นดินสติก และดินวาริน ที่มีความลาดเทค่อนข้างสม่ำเสมอ ธาตุอาหารพืชเหล่านี้ก็จะสูญเสียไปกับน้ำที่ไหลลงสู่สวนต่ำดังกล่าวได้ง่าย หรือสูญหายไปกับตะกอนที่ถูกพัดพาออกไปจากพื้นดิน นอกจากนี้ จากการที่ดินเหล่านี้มีเนื้อหยาบ มีปริมาณอินทรีย์วัตถุต่ำ และมีค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนต่ำ ความสามารถของดินในการกักเก็บธาตุอาหารจึงต่ำไปด้วย ก็ยังเป็นการส่งเสริมให้เกิดการสูญเสียได้ง่ายขึ้น

3) การเคลื่อนที่ของน้ำและความชุ่มน้ำใช้ประโยชน์ได้ ชั้นดานไถพรอนจะไปกีดขวางไม่ให้น้ำฝนที่ตกลงมาไหลซึมลงสู่ด้านล่าง เพราะฉะนั้น น้ำส่วนใหญ่จึงสูญหายไปกับน้ำที่ไหลบ่าไปตามผิวดิน ในขณะที่เดียวกันในช่วงฤดูแล้ง น้ำที่อยู่ด้านล่างจะเคลื่อนขึ้นมาข้างบนตามท่อแคพิลลารีได้ยาก เนื่องจากชั้นดานไถพรอนมีค่าความหนาแน่นรวมสูงและสภาพนำน้ำต่ำ เพราะการอัดตัวแน่น เพราะฉะนั้นจึงไม่เกิดความต่อเนื่องของระบบน้ำในดินประกอบกับชั้นดินบนมีความชุ่มน้ำใช้ประโยชน์ได้ต่ำ ซึ่งก็อาจจะทำให้มันสำปะหลังขาดน้ำได้ง่าย

4) ปัญหาการเน่าของหัวมันสำปะหลัง ในกรณีนี้มักจะเกิดในดินที่พบบนความลาดเทไม่มากนัก หรือพบบนพื้นที่ที่มีความยาวของความลาดเทไม่มาก ดังเช่น ดินที่ทำการศึกษาที่เป็นชุดดินยโสธร เนื่องจากชั้นดานไถพรอนไปกีดขวางการไหลของน้ำทำให้เกิดการสะสมน้ำในชั้นดินบน แต่จากการที่พื้นที่ที่มีความลาดชันไม่มาก ทำให้เกิดปัญหาการสะสมน้ำในโซนรากพืชซึ่งอยู่ลึกประมาณ 0-30 ซม. ปัญหานี้จะส่งผลเสียอย่างรุนแรงเมื่อมันสำปะหลังเริ่มมีการสะสมแป้งในราก หรือหลังจากที่เริ่มมีการสร้างหัว ซึ่งการแช่ขังของน้ำในตอนบนของชั้นดานไถพรอนเพียงไม่กี่วันก็จะทำให้หัวมันสำปะหลังเน่าได้ง่าย

**สรุป**

การศึกษาลักษณะและปัญหาของชั้นดานไถพรอนในระบบการปลูกมันสำปะหลังในจังหวัดนครราชสีมาพบว่า ระดับความลึกและความหนาของชั้นดานไถพรอนไม่มีความสัมพันธ์กับตำแหน่งตามลำดับภูมิประเทศ ชั้นนี้มีความหนาแน่นรวมในระดับค่อนข้างสูงถึงสูง และสูงกว่าชั้นดินบนและชั้นดินล่างที่อยู่ข้างใต้ โดยค่าความหนาแน่นรวมในชุดดินยโสธรเฉลี่ยมีค่าสูงสุดสภาพนำน้ำของดินขณะอิ่มตัวช้ามากถึงปานกลาง และช้ากว่าชั้นดินบนและชั้นดินล่างที่อยู่ข้างใต้ โดยค่าสภาพนำน้ำของดินขณะอิ่มตัวในชุดดินสติกเฉลี่ยช้าที่สุด ความชุ่มน้ำใช้ประโยชน์ได้ของชั้นดานไถพรอน

มีปริมาณต่ำมาก และส่วนใหญ่มีค่าต่ำกว่าชั้นดินบน และชั้นดินล่างที่อยู่ข้างใต้ในทุกดิน โดยค่าเฉลี่ยต่ำสุด พบในชั้นดานไทรพรวนของชุดดินยโสธร เมื่อพิจารณา จากสมบัติของชั้นดานไทรพรวน พบว่ามีผลเสียต่อการเจริญเติบโตของมันสำปะหลัง ดังต่อไปนี้ 1) ส่งเสริมการเกิดการกร่อนดิน 2) ทำให้ธาตุอาหารพืชหรือปุ๋ยที่ใส่สูญเสียไปกับน้ำที่ไหลบ่าหรือน้ำใต้ดินชั่วคราวได้ง่าย 3) ทำให้การเคลื่อนที่ของน้ำในดินไม่ต่อเนื่องและมีความจุน้ำใช้ประโยชน์ได้ต่ำทำให้ไม่มีน้ำสำรองในช่วงแล้ง และ 4) ปัญหาการเน่าของหัวมันสำปะหลัง

### เอกสารอ้างอิง

- คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2548. ปฐพีเบื้องต้น. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- สุนทรียังชัชวาล. 2535. ชลศาสตร์ในระบบดิน-พืช. ภาควิชาปฐพีวิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม.
- เียบ เขียวรัตน์มณ. 2548. การสำรวจดิน. พิมพ์ครั้งที่ 2. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- Anusontpornperm, S., S. Nortcliff and I. Kheoruenromne. 2005. Hardpan formation of some coarse-textured upland soils in Thailand. Paper presented at the Conference on Management of Tropical Sandy Soils from Sustainable Agriculture. November 27-December 2, 2005. Khon Kaen, Thailand.
- Bennie, A.T.P. 1991. Growth and mechanical impedance, pp. 393-414. In: Y. Waisels, A. Eshel.
- and U. Kafkafi. Plant Roots: the Hidden Half. Marcel Dekker Inc., NY.
- Brady, N.C. and R.R. Weil. 2008. The Nature and Properties of Soils. 14<sup>th</sup> ed. Practice-Hall, Inc., New Jersey, USA.
- Buol, S.W., R.J. Southard., R.C. Graham and P.A. McDaniel. 2003. Soil Genesis and Classification. 5<sup>th</sup> ed. Iowa State Press, A Blackwell Publishing Company, Iowa.
- Coelho, M.B., L. Mateos and F.J. Villalobos. 2000. Influence of a compacted loam subsoil on growth and yield of irrigated cotton in southern Spain. Soil Till. Res. 57: 129-142.
- Landon, J.R. 1991. Booker Tropical Soil Manual: A Handbook for Soil Survey and Agricultural Land Evaluation in the Tropics and Subtropics. John Wiley & Son, Inc., NY.
- Klute, A. 1986. Water retention: laboratory methods. p. 635-661. In: A. Klute. Methods of soil analysis, Part 1: Physical and Mineralogical Methods. 2<sup>nd</sup> ed. ASA Monograph No. 9. Madison, WI.
- McDaniel, P.A., M.P. Regan, E. Brooks, J. Boll, S. Barndt, A. Falen, S.K. Young, and J.E. Hammel. 2008. Linking fragipans, perched water tables, and catchment-scale hydrological processes. Catena 73: 166-173.
- Morgan, R.P.C. 1995. Soil Erosion and Conservation. Longman Ltd., UK.
- Sindhusen, P., C. Hartmann, G. Lesturgez, S. Ratana-Aanupap, V. Hallaire, A. Bruand and R. Poss. 2008. Consequence of slotting on the pore characteristics of a sandy soil in northeast Thailand. Soil Use Manage. 24: 100-107
- Smith, D.L.O. 1987. Measurement, interpretation and modelling of soil compaction. Soil Use Manage. 3: 87-93.
- Tawornpruek, S., I. Kheoruenromne, A. Suddhiprakarn and R.J. Gilkes. 2005. Microstructure and water retention of Oxisols in Thailand. Austr. J. Soil Res. 43: 973-986.
- Troeh, F.R., J.A. Hobbs and R.L. Donahue. 1999. Soil and Water Conservation: Productivity and Environmental Protection. 3<sup>rd</sup> ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, N.J.
- Voorhees, W.B. 1992. Wheel-induced soil physical limitation to root growth, pp. 73-95. In: J.L.Hatfield and B. Stewart. Advances in Soil Science Vol. 19. Springer-Verlag, NY.