

ผลงานฉบับสมบูรณ์ (เล่มที่ 1)

เรื่อง

การศึกษาลักษณะและการแจกกระจายของชั้นดินเปราะในจังหวัดลพบุรี
นครสวรรค์ และสระบุรี เพื่อวางแผนทางแก้ไขปัญหา
สำหรับการปลูกมันสำปะหลัง

A Study on Characteristics and Distribution of Fragipan in
Lopburi, Nakhon Sawan and Saraburi Provinces for Obtaining
the Solution against Constraints in Cassava Production

ของ

นางสาวชนิษฐา พันธุ์เมือง
ตำแหน่ง นักวิชาการเกษตรชำนาญการพิเศษ
ตำแหน่งเลขที่ 818
สำนักงานพัฒนาที่ดินเขต 6 กรมพัฒนาที่ดิน

ขอประเมินเพื่อแต่งตั้งให้ดำรงตำแหน่ง นักวิชาการเกษตรเชี่ยวชาญ
ตำแหน่งเลขที่ 818
ผู้เชี่ยวชาญด้านวางระบบการพัฒนาที่ดิน
สำนักงานพัฒนาที่ดินเขต 6 กรมพัฒนาที่ดิน
กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

สารบัญเรื่อง

สารบัญ	หน้า
สารบัญเรื่อง	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
บทคัดย่อภาษาไทย	1
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	3
บทนำ	5
วัตถุประสงค์	6
ขอบเขตการศึกษา	6
การตรวจเอกสาร	6
ระยะเวลาและสถานที่ดำเนินการ	13
อุปกรณ์และวิธีการ	13
จุดสำรวจดินและจุดเก็บตัวอย่างดินในจังหวัดลพบุรี สระบุรี และนครสวรรค์	23
สภาพพื้นที่ทั่วไปของพื้นที่ศึกษา	25
ผลการศึกษาและวิจารณ์	37
สรุปผล	143
ข้อเสนอแนะ	147
เอกสารอ้างอิง	149
ภาคผนวก	162

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
ตารางที่ 1	จุดเก็บตัวอย่างดินในพื้นที่มีชั้นดานเปราะ จังหวัดลพบุรี สระบุรีและ นครสวรรค์	24
ตารางที่ 2	ลักษณะสภาพภูมิประเทศของบริเวณพื้นที่ที่พบชั้นดานเปราะ จังหวัด ลพบุรี	58
ตารางที่ 3	ลักษณะสัณฐานวิทยาของดินที่พบชั้นดานเปราะ จังหวัดลพบุรี	60
ตารางที่ 4	ลักษณะสภาพภูมิประเทศของบริเวณพื้นที่ที่พบชั้นดานเปราะ จังหวัด สระบุรี	75
ตารางที่ 5	สัณฐานวิทยาสนามของดินที่พบชั้นดานเปราะในจังหวัดสระบุรี	77
ตารางที่ 6	ลักษณะสภาพภูมิประเทศของบริเวณพื้นที่ที่พบชั้นดานเปราะ จังหวัด นครสวรรค์	91
ตารางที่ 7	สัณฐานวิทยาสนามของดินที่พบชั้นดานเปราะในจังหวัดนครสวรรค์	93
ตารางที่ 8	ลักษณะทางสัณฐานวิทยาในสนามบางประการที่สำคัญของชั้นดาน เปราะที่พบในพื้นที่ศึกษาจังหวัดลพบุรี (LB) สระบุรี (SB) และ นครสวรรค์ (NS)	105
ตารางที่ 9	ผลการคำนวณ Kruskal-wallis ของผลวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและ สมบัติทางเคมีของดินในพื้นที่ศึกษาจังหวัดลพบุรี สระบุรีและจังหวัด นครสวรรค์	136
ตารางที่ 10	สมการความสัมพันธ์ของสมบัติทางกายภาพและเคมีของดินทางสถิติเพื่อ ประเมินปัจจัยที่มีผลต่อค่าความหนาแน่นรวมของดิน (BD) และค่าความ แข็งของดิน (SS) บนพื้นที่ศึกษาที่พบชั้นดานเปราะในพื้นที่ปลูกมัน ลำปะทึง จังหวัดลพบุรี สระบุรีและนครสวรรค์	140
ตารางที่ 11	ค่าวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีของดินที่สัมพันธ์กับระดับปัญหา (degree) ของชั้นดานเปราะในพื้นที่ศึกษาจังหวัดลพบุรี สระบุรีและ นครสวรรค์	141

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
ภาพที่ 1	แผนที่พื้นที่ปลูกมันสำปะหลังบนพื้นที่ศักยภาพ จังหวัดลพบุรี	27
ภาพที่ 2	แผนที่พื้นที่ปลูกมันสำปะหลังบนพื้นที่ศักยภาพ จังหวัดสระบุรี	31
ภาพที่ 3	แผนที่พื้นที่ปลูกมันสำปะหลังบนพื้นที่ศักยภาพ จังหวัดนครสวรรค์	35
ภาพที่ 4	สภาพภูมิประเทศจังหวัดนครสวรรค์ ลพบุรี และสระบุรี	36
ภาพที่ 5	จุดเจาะสำรวจดินและจุดเก็บตัวอย่างดิน อำเภอโคกสำโรง จังหวัดลพบุรี	38
ภาพที่ 6	จุดเจาะสำรวจดินและจุดเก็บตัวอย่างดิน อำเภอพัฒนานิคม จังหวัดลพบุรี	39
ภาพที่ 7	จุดเจาะสำรวจดินและจุดเก็บตัวอย่างดิน อำเภอลำสนธิ จังหวัดลพบุรี	40
ภาพที่ 8	จุดเจาะสำรวจดินและจุดเก็บตัวอย่างดิน อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี	41
ภาพที่ 9	จุดเจาะสำรวจดินและจุดเก็บตัวอย่างดิน อำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี	42
ภาพที่ 10	จุดเจาะสำรวจดินและจุดเก็บตัวอย่างดิน อำเภอพยุหะคีรีและอำเภอท่าตะโก จังหวัดนครสวรรค์	43
ภาพที่ 11	การแจกกระจายของชั้นดินเปราะ จังหวัดลพบุรี	45
ภาพที่ 12	การแจกกระจายของชั้นดินเปราะ อำเภอโคกสำโรง จังหวัดลพบุรี	46
ภาพที่ 13	การแจกกระจายของชั้นดินเปราะ อำเภอพัฒนานิคม จังหวัดลพบุรี	47
ภาพที่ 14	การแจกกระจายของชั้นดินเปราะ อำเภอลำสนธิ จังหวัดลพบุรี	48
ภาพที่ 15	การแจกกระจายของชั้นดินเปราะ จังหวัดสระบุรี	49
ภาพที่ 16	การแจกกระจายของชั้นดินเปราะ อำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี	50
ภาพที่ 17	การแจกกระจายของชั้นดินเปราะ อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี	51
ภาพที่ 18	การแจกกระจายของชั้นดินเปราะ จังหวัดนครสวรรค์	52
ภาพที่ 19	การแจกกระจายของชั้นดินเปราะ อำเภอท่าตะโก จังหวัดนครสวรรค์	53
ภาพที่ 20	การแจกกระจายของชั้นดินเปราะ อำเภอพยุหะคีรี จังหวัดนครสวรรค์	54
ภาพที่ 21	สภาพแวดล้อมของพื้นที่และภาพหน้าตัดของดินที่พบชั้นดินเปราะ อำเภอลำสนธิ จังหวัดลพบุรี	69
ภาพที่ 22	สภาพแวดล้อมของพื้นที่และภาพหน้าตัดของดินที่พบชั้นดินเปราะ อำเภอพัฒนานิคม อำเภอโคกสำโรง จังหวัดลพบุรี	70
ภาพที่ 23	สภาพแวดล้อมของพื้นที่และภาพหน้าตัดของดินที่พบชั้นดินเปราะ อำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี	86

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
ภาพที่ 24	สภาพแวดล้อมของพื้นที่และภาพหน้าตัดของดินที่พบชั้นดานเปราะ อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี	87
ภาพที่ 25	สภาพแวดล้อมของพื้นที่ และภาพหน้าตัดของดินที่พบชั้นดานเปราะ อำเภอยุทธะคีรี จังหวัดนครสวรรค์	100
ภาพที่ 26	สภาพแวดล้อมของพื้นที่ และภาพหน้าตัดของดินที่พบชั้นดานเปราะ อำเภอยุทธะคีรี และอำเภอท่าตะโก จังหวัดนครสวรรค์	101
ภาพที่ 27	การแจกกระจายของอนุภาคขนาดต่างๆ ในจังหวัดลพบุรี	108
ภาพที่ 28	การแจกกระจายของอนุภาคขนาดต่างๆ ในจังหวัดสระบุรี	109
ภาพที่ 29	การแจกกระจายของอนุภาคขนาดต่างๆ ในจังหวัดนครสวรรค์	109
ภาพที่ 30	ค่า BD ในพื้นที่ (a) จังหวัดลพบุรี (b) จังหวัดสระบุรี และ (c) จังหวัด นครสวรรค์	110
ภาพที่ 31	ความสัมพันธ์ของค่า BD กับ %clay ในพื้นที่จังหวัดลพบุรี (LB) จังหวัด สระบุรี (SB) และจังหวัดนครสวรรค์ (NS)	111
ภาพที่ 32	ค่า TP ในพื้นที่ (a) จังหวัดลพบุรี (b) จังหวัดสระบุรี และ (c) จังหวัด นครสวรรค์	112
ภาพที่ 33	ความสัมพันธ์ของค่า TP และค่า BD ในพื้นที่จังหวัดลพบุรี (LB) จังหวัด สระบุรี (SB) และจังหวัด นครสวรรค์ (NS)	113
ภาพที่ 34	ค่า AWC ในพื้นที่ (a) จังหวัดลพบุรี (b) จังหวัดสระบุรี และ (c) จังหวัด นครสวรรค์	114
ภาพที่ 35	ค่า K_{sat} ในพื้นที่ (a) จังหวัดลพบุรี (b) จังหวัดสระบุรี และ (c) จังหวัด นครสวรรค์	115
ภาพที่ 36	ความสัมพันธ์ของค่า K_{sat} กับค่า BD และค่า TP ในพื้นที่จังหวัดลพบุรี (LB) จังหวัดสระบุรี (SB) และจังหวัดนครสวรรค์ (NS)	116
ภาพที่ 37	ค่า SS ในพื้นที่ (a) จังหวัดลพบุรี (b) จังหวัดสระบุรี และ (c) จังหวัด นครสวรรค์	117
ภาพที่ 38	ค่า pH ในพื้นที่ (a) จังหวัดลพบุรี (b) จังหวัดสระบุรี และ (c) จังหวัด นครสวรรค์	119
ภาพที่ 39	ปริมาณ OM ในพื้นที่ (a) จังหวัดลพบุรี (b) จังหวัดสระบุรี และ (c) จังหวัด นครสวรรค์	120

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
ภาพที่ 40	ปริมาณ Avail. P ในพื้นที่ (a) จังหวัดลพบุรี (b) จังหวัดสระบุรี และ (c) จังหวัดนครสวรรค์	121
ภาพที่ 41	ปริมาณ Avail. K ในพื้นที่ (a) จังหวัดลพบุรี (b) จังหวัดสระบุรี และ (c) จังหวัดนครสวรรค์	122
ภาพที่ 42	ปริมาณ Extract. Ca ในพื้นที่ (a) จังหวัดลพบุรี (b) จังหวัดสระบุรี และ (c) จังหวัดนครสวรรค์	123
ภาพที่ 43	ปริมาณ Extract. Mg ในพื้นที่ (a) จังหวัดลพบุรี (b) จังหวัดสระบุรี และ (c) จังหวัดนครสวรรค์	124
ภาพที่ 44	ปริมาณ Extract. K ในพื้นที่ (a) จังหวัดลพบุรี (b) จังหวัดสระบุรี และ (c) จังหวัดนครสวรรค์	125
ภาพที่ 45	ปริมาณ Extract. Na ในพื้นที่ (a) จังหวัดลพบุรี (b) จังหวัดสระบุรี และ (c) จังหวัดนครสวรรค์	126
ภาพที่ 46	ปริมาณ EA ในพื้นที่ (a) จังหวัดลพบุรี (b) จังหวัดสระบุรี และ (c) จังหวัดนครสวรรค์	127
ภาพที่ 47	ความสัมพันธ์ของค่า EA กับค่า pH ในพื้นที่จังหวัดลพบุรี (LB) จังหวัดสระบุรี (SB) และจังหวัดนครสวรรค์ (NS)	127
ภาพที่ 48	ค่า CEC ในพื้นที่ (a) จังหวัดลพบุรี (b) จังหวัดสระบุรี และ (c) จังหวัดนครสวรรค์	128
ภาพที่ 49	ความสัมพันธ์ของค่า CEC กับปริมาณ clay ในพื้นที่จังหวัดลพบุรี (LB) จังหวัดสระบุรี (SB) และจังหวัดนครสวรรค์ (NS)	129
ภาพที่ 50	ความสัมพันธ์ของค่า SS กับสมบัติทางกายภาพบางประการของดินที่พบชั้นดานเปราะ ในพื้นที่จังหวัดลพบุรี (LB) จังหวัดสระบุรี (SB) และจังหวัดนครสวรรค์ (NS)	132
ภาพที่ 51	ความสัมพันธ์ของค่า SS กับสมบัติทางเคมีบางประการของดินที่พบชั้นดานเปราะ ในพื้นที่จังหวัดลพบุรี (LB) จังหวัดสระบุรี (SB) และจังหวัดนครสวรรค์ (NS)	133

บทคัดย่อ

ศึกษาลักษณะและการแจกกระจายของชั้นดานเปราะในจังหวัดลพบุรี นครสวรรค์ และสระบุรี เพื่อตรวจสอบสมบัติทางสัณฐานวิทยาสนาม เคมีและกายภาพของชั้นดานเปราะ วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัจจัยที่มีผลต่อค่าความแข็งและความหนาแน่นรวมของดินในชั้นดานเปราะและกำหนดค่ามาตรฐานของตัวชี้วัดชั้นดานเปราะในการประเมินระดับปัญหาชั้นดานเปราะเพื่อวางแผนแนวทางแก้ไขปัญหสำหรับการปลูกมันสำปะหลัง ในช่วง ปี พ.ศ. 2555-2561 ดำเนินการโดยการสำรวจเบื้องต้นในพื้นที่ที่มีแนวโน้มที่จะพบชั้นดานเปราะและจัดทำแผนที่การแจกกระจายของชั้นดานเปราะมาตราส่วน 1:25,000 เก็บตัวอย่างดินตามชั้นกำเนิดดิน วิเคราะห์ดินในห้องปฏิบัติการตามวิธีมาตรฐานและการทดสอบข้อมูลทางสถิติ

ชั้นดานเปราะในจังหวัดลพบุรี นครสวรรค์ และสระบุรี มีการแจกกระจายเป็นพื้นที่แคบๆ มีพื้นที่รวมเท่ากับ 37,771 ไร่ โดยพบมากที่สุดในจังหวัดลพบุรี (27,122 ไร่) รองลงมาได้แก่จังหวัดสระบุรี (10,012 ไร่) และจังหวัดนครสวรรค์พบเป็นพื้นที่เพียงเล็กน้อย (637 ไร่) ชั้นดานเปราะที่พบส่วนใหญ่พบอยู่ในระดับตื้นภายใน 50 เซนติเมตรจากชั้นผิวดิน ชั้นกำเนิดดินหลักประกอบด้วย A(p)-Bt (v, c)-Btx ชั้นดานเปราะมีค่าความหนาแน่นรวมสูง ความพรุนรวมต่ำ การนำน้ำขณะดินอิ่มตัวต่ำและมีค่าความแข็งของดินสูงมากอยู่ในช่วง 0.59-2.35 MPa ส่งผลให้ดินมีความต้านทานการแทงทะลุของรากพืชสูงจนเป็นข้อจำกัดในการปลูกมันสำปะหลัง นอกจากนี้ชั้นดานเปราะทุกบริเวณมีปฏิกิริยาดินสูงกว่าชั้นดินบน มีปริมาณอินทรีย์วัตถุ ปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่ำ มีปริมาณกรดที่สกัดได้และค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนอยู่ในระดับปานกลาง และมีเบสที่สกัดได้สูง (Ca, Mg, K, Na)

จากผลการทดสอบทางสถิติ พบว่า ค่าความหนาแน่นรวมของดิน ความแข็งของดิน ความพรุนรวมของดิน การนำน้ำขณะดินอิ่มตัวและปริมาณโซเดียมที่สกัดได้ เป็นตัวชี้วัดชั้นดานเปราะที่ดีเนื่องจากมีสหสัมพันธ์สูงและมีวิธีวิเคราะห์ที่ง่ายจึงสามารถใช้ประเมินศักยภาพของดินที่พบชั้นดานเปราะได้อย่างชัดเจนและเพียงพอ ในการประเมินระดับปัญหาชั้นดานเปราะทำการกำหนดค่ามาตรฐานของตัวชี้วัดชั้นดานเปราะ แบ่งออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ 1) ระดับปัญหาน้อยมีค่าความหนาแน่นรวมของดินอยู่ในช่วง $1.50-1.60 \text{ g cm}^{-3}$ ความแข็งของดินอยู่ในช่วง 0.5-1.25 MPa ความพรุนรวมของดินอยู่ในช่วง 40-45 เปอร์เซ็นต์ การนำน้ำขณะดินอิ่มตัวอยู่ในช่วง $0.5-2.0 \text{ cm hr}^{-1}$ และมีปริมาณโซเดียมที่สกัดได้น้อยกว่า $0.5 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ 2) ระดับปัญหปานกลางมีค่าความหนาแน่นรวมของดินอยู่ในช่วง $1.60-1.80 \text{ g cm}^{-3}$ ความแข็งของดินอยู่ในช่วง 1.25-1.80 MPa ความพรุนรวมของดินอยู่ในช่วง 30-40 เปอร์เซ็นต์ การนำน้ำขณะดินอิ่มตัวอยู่ในช่วง $0.125-0.50 \text{ cm hr}^{-1}$ และมีปริมาณโซเดียมที่สกัดได้อยู่ในช่วง $0.5-0.7 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ 3) ระดับปัญหามากมีค่าความหนาแน่นรวมของดินมากกว่า 1.80 g cm^{-3} ความแข็งของดินมากกว่า 1.80 MPa ความพรุนรวมของดินน้อยกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ การนำน้ำขณะดินอิ่มตัวน้อยกว่า 0.125 cm hr^{-1} และมีปริมาณโซเดียมที่สกัดได้มากกว่า $0.7 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$

ผลกระทบของชั้นดานเปราะต่อการปลูกมันสำปะหลังโดยเฉพาะพื้นที่ที่พบภายในระดับความลึก 50 เซนติเมตรจากชั้นผิวดิน มีระดับปัญหาชั้นดานเปราะมาก มีแนวทางการจัดการประกอบด้วย 1) การเพิ่มเติมอินทรีย์วัตถุเพื่อปรับปรุงโครงสร้างดิน ลดการอัดตัวของดิน และเพิ่มความสามารถในการกักเก็บความชื้นของดิน 2) การจัดการปุ๋ยไนโตรเจนและฟอสฟอรัส 3) การทำคันดินร่วมกับการปลูกหญ้าแฝก ขวางความลาดเท เพื่อลดปัญหาการกร่อนดิน 4) การขุดคุ้ยระบายน้ำรอบแปลงปลูกให้ลึกกว่าระดับการแทงหัวของมันสำปะหลังเพื่อช่วยระบายน้ำที่ขังอยู่บนชั้นดานเปราะให้ระบายออกด้านข้าง ซึ่งจะช่วยลดปัญหาการกร่อนดิน และการเน่าเสียของมันสำปะหลัง 5) ควรเลี่ยงการปลูกมันสำปะหลังในช่วงต้นฤดูฝน เนื่องจากเมื่อมันสำปะหลังเริ่มสะสมแป้งจะเป็นช่วงที่เกิดการสะสมน้ำใต้ดินชั่วคราว การปลูกมันสำปะหลังในช่วงปลายฤดูฝนน่าจะเป็นทางเลือกที่เหมาะสมกว่าและ (6) การจัดระบบชลประทานที่ดีหรือให้มีพืชคลุมตลอดเวลาเพื่อรักษาความชื้นไว้จะทำให้ชั้นดานเปราะมีความแน่นที่ลดลงและหมดไปในที่สุด ทั้งนี้การวางแผนการใช้ที่ดินต้องพิจารณาระบบการปลูกให้มีความเหมาะสมกับศักยภาพของดินตามการประเมินระดับปัญหาชั้นดานเปราะร่วมอีกด้วย รวมถึงควรมีการสนับสนุนพัฒนาศักยภาพของพื้นที่ให้มากขึ้นในเรื่องของคุณภาพดินและสร้างความเข้าใจให้กับเกษตรกรในการบริหารจัดการพื้นที่และการปรับปรุงบำรุงดินไม่ให้เกิดการเสื่อมโทรมเกิดการพัฒนาที่ดินให้ยั่งยืนได้ต่อไป

คำสำคัญ: มันสำปะหลัง, ชั้นดานเปราะ, สมบัติดิน, แผนที่ดิน

Abstract

The study on characteristics and distribution of fragipan in Lopburi, Nakhon Sawan and Saraburi provinces by analysis soil morphology, chemical and physical and analyzed the relationship of factors that caused to strength and dense. Set the stand value of fragipan indicators for evaluated fragipan problem level to landused planning and conducted to provide the solution for solving its problem for growing cassava (2013-2018). Presurvey on the areas that potentially had the occurrence of fragipan was carried out. In the areas that fragipan was found, 1:25,000 scale of soil map was produced. Soil samples were collected from each soil pit with respect to soil genetic horizon for laboratory analyses, all based on standard procedure and statistical data testing.

Soils with fragipan underneath distributed in small areas about 37,771 rai which the largest areas was found in Lopburi province (27,122 rai), followed by 10,012 rai in Saraburi and the smallest area was in Nakhon Sawan province (637 rai). Most of fragipan was found at shallow depth within 50 cm from the mineral soil surface. Major soil genetic horizon sequence was A(p)-Bt (v, c)-Btx. The layers had high bulk density, low total porosity, very low saturated hydraulic conductivity and very high dry soil strength of fragipan layers varied between 0.59-2.35 MPa effected to high resistance penetration of root. Additionally most of fragipan have pH higher than the overlying horizons, organic matter, available P and K are low. CEC and extractable acid were medium and extractable bases were dominant in these soils.

The systematic result led to an interpretation that the total bulk density, soil strength, total porosity, saturated hydraulic conductivity and extractable sodium were good indicators of fragipan due to these properties has high relationship and easy to laboratory analyses. Assessing the level of fragipan problems, performs the standard configuration of fragipan indicators. Divided into 3 levels are

1) Low problem level, the total bulk density is in the range of 1.50-1.60 g cm⁻³, soil strength is in the range of 0.5-1.25 MPa, the total porosity is in the range of 40-45 %, saturated hydraulic conductivity is in the range of 0.5-2.0 cm hr⁻¹ and extractable sodium less than 0.5 cmol_c kg⁻¹

2) Medium problem level, the total bulk density is in the range of 1.60-1.80 g cm⁻³, soil strength is in the range of 1.25-1.80 MPa, the total porosity is in the range of 30-40 %, saturated hydraulic conductivity is in the range of 0.125-0.50 cm hr⁻¹ and extractable sodium is in the range of 0.5-0.7 cmol_c kg⁻¹

3) Extreme problem level, the total bulk density is in the range of 1.60-1.80 g cm⁻³, soil strength is in the range of 1.25-1.80 MPa, the total porosity is in the range of 30-40 %, saturated hydraulic conductivity is in the range of 0.125-0.50 cm hr⁻¹ and extractable sodium is in the range of 0.5-0.7 cmol_c kg⁻¹

The impact of fragipan on cassava growth, especially shallow depth less than 50 cm. The strategies for solving these problems are as follow 1) addition of soil organic matter to reduce soil compactionness and increase the ability of soil to store moisture 2) N and P fertilizer management 3) buliding up a bund and grow vetiver grass across the slope 4)installing trench with the depth exceeding the depth of tuberization around growing plot to drain stored water on the fragipan laterally and subsequently to control soil erosion and to ease the problem of tuber rot and 5) trying to avoid growing cassava at the early rainy season owing to cassava starting to produce starch at the time when perch ground water starts to accrue thus growing cassava at nearly the end of rainy season is possibly more suitable and 6) irrigation system or constantly mulching to keep moisture will cause the brittle layer to become firmer, weaken and eventually depleted.

Keywords: cassava, fragipan, soil properties, soil map

บทนำ

ชั้นดานับเป็นปัญหาที่สำคัญที่มีผลทำให้ดินเสื่อมโทรม และทำให้ผลผลิตของดินลดลง ชั้นดานในดินเป็นชั้นที่แน่นทึบหรือเป็นชั้นที่มีสารเชื่อมอนุภาคดินทำให้แน่นทึบและมีความแข็ง (Brady and Weil, 2008) ช่องว่างมีขนาดเล็กและมีปริมาณลดลง การถ่ายเทน้ำและอากาศถูกจำกัด (Coelho *et al.*, 2000) ทำให้เกิดการไหลบ่าของน้ำที่ผิวดิน จึงเสี่ยงต่อการเกิดการกร่อนดิน (McDaniel *et al.*, 2008) อีกทั้งจำกัดการขนถ่ายของรากพืช และเป็นปัญหาต่อการเกษตรกรรม (Weisenborn and Schaetzl, 2005) ชั้นดานที่พบเป็นส่วนใหญ่และเป็นปัญหาทางการเกษตร แบ่งออกได้เป็น ชั้นดานที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ ได้แก่ ชั้นดานซิลิกา (duripan) และชั้นดานเปราะ (fragipan) และชั้นดานไถพรวน (plough pan) ซึ่งเกิดจากการเกษตรกรรมที่ไม่เหมาะสม (van Breeman and Buurman, 2003) ทั้งนี้อาจจะรวมถึงชั้นดานในลักษณะอื่นๆ ด้วย

ชั้นดานเปราะมีผลเสียต่อการปลูกพืชโดยเฉพาะเป็นตัวการที่ก่อให้เกิดปัญหาความเสื่อมโทรมของดิน ซึ่งต่อมาก็จะทำให้ผลผลิตพืชลดลงในที่สุด (Brady and Weil, 2008) ชั้นดานเปราะเป็นชั้นดินล่างที่มีการเชื่อมตัวด้วยซิลิกาอสัณฐานเป็นหลัก นอกจากนี้อาจพบเหล็ก และอะลูมิเนียมร่วมอยู่ด้วย (Weisenborn and Schaetzl, 2005; Aide and Marshaus, 2002) หรืออัดตัวแน่นและแข็ง โดยมักมีความพรุนรวมต่ำอยู่ในช่วง 40.4-28.3 เปอร์เซ็นต์ ช่องว่างขนาดเล็กกว่า 100 μm (Phunmuang, 2011) ความหนาแน่นรวมสูงมากกว่า 1.60-2.15 Mg m^{-3} (Glocker and Quandt, 1993; Lindbo and Veneman, 1989) และมีค่าความแข็งมากกว่ามากกว่า 60 Mg m^{-3} ซึ่งทำให้มีการต้านทานการแทงทะลุของรากพืชสูง (Norfleet and Karathanasis, 1996; Weisenborn and Schaetzl, 2005) สมบัติที่ไม่เหมาะสมเหล่านี้เป็นสาเหตุทำให้รากพืชไม่สามารถแทงทะลุได้ และขัดขวางการเคลื่อนย้ายของน้ำและอากาศลงสู่ดินข้างล่างภายในหน้าตัดดิน ซึ่งจะทำให้เกิดการสะสมของน้ำที่ผิวดินทำให้เกิดปัญหาการกร่อนดินตามมา (Calmon *et al.*, 1998) ชั้นดานเปราะเป็นชั้นแน่นทึบ มีการเชื่อมตัวอย่างอ่อน เปราะเมื่อขึ้น และแข็งมากเมื่อแห้ง โดยทั่วไปมักพบอยู่ใต้ชั้นดินล่างวินิจัยอาร์จิลลิก (argillic horizon) แคมบิก (cambic horizon) อัลบิก (albic horizon) หรือสปอดิก (spodic horizon) ชั้นดานเปราะจะต้องหนาน้อยกว่า 15 เซนติเมตรหรือหนากว่าและมากกว่าร้อยละ 50 โดยปริมาตรยุบสลายเมื่อแช่ในน้ำ (Buol *et al.*, 2003; Soil Survey Staff, 2006) ชั้นดานชนิดนี้มักมีวัตถุต้นกำเนิดดินที่มีเนื้อดินเป็นดินร่วน พีเฆต่ำ ปริมาณอินทรีย์วัตถุ แคลเซียม และแมกนีเซียมต่ำ (Weisenborn and Schaetzl, 2005; Nettleton *et al.*, 1994) และมักพบในดินที่มีอนุภาคขนาดทรายละเอียดและทรายแป้งในปริมาณมาก (Voorhees, 1992)

ในประเทศไทยชั้นดานเปราะก่อให้เกิดปัญหาความเสื่อมโทรมของดินอย่างกว้างขวางโดยเฉพาะในพื้นที่ภาคกลาง จังหวัดลพบุรี สระบุรีและนครสวรรค์ และจากรายงานการสำรวจดินเพื่อการเกษตรของสำนักสำรวจและวิจัยทรัพยากรดิน (2551, 2553) พบว่า พื้นที่จังหวัดลพบุรี สระบุรีและนครสวรรค์ มีวัตถุต้นกำเนิดที่มีศักยภาพในการเกิดชั้นดานเปราะซึ่งก่อให้เกิดปัญหาในระบบการปลูกพืชไร่ เช่น อ้อย ข้าวโพด

และมันสำปะหลัง ซึ่งในพื้นที่จังหวัดลพบุรี สระบุรีและนครสวรรค์มีพื้นที่ศักยภาพปลูกมันสำปะหลังเป็นพืชเศรษฐกิจของจังหวัด (กรมพัฒนาที่ดิน, 2564) และชั้นดินเปราะมีผลกระทบต่อระบบการปลูกมันสำปะหลังมากกว่าพืชไร่ชนิดอื่น เนื่องจากชั้นดินเปราะก่อให้เกิดชั้นน้ำใต้ดินชั่วคราวในช่วงฤดูฝน (McDaniel, 2008; Aide, 2021) มีผลทำให้หัวมันสำปะหลังช้ำน้ำและเกิดการเน่าเสียได้ ดังนั้น การศึกษานี้จึงเป็นประโยชน์ต่อการสร้างองค์ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับชั้นดินเปราะที่พบในประเทศไทยเพื่อใช้วางแผนการใช้ที่ดินรวมถึงแนวทางการจัดการปัญหาที่เกิดจากชั้นดินเปราะ เพื่อประโยชน์สำหรับการแก้ไขปัญหาให้กับเกษตรกรในพื้นที่จังหวัดลพบุรี สระบุรีและนครสวรรค์ บนพื้นที่ปลูกมันสำปะหลัง

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการแจกกระจายของชั้นดินเปราะในพื้นที่ปลูกมันสำปะหลังของจังหวัดลพบุรี นครสวรรค์ และจังหวัดสระบุรี
2. เพื่อตรวจสอบสมบัติทางสัณฐานวิทยาสนาม กายภาพ และเคมีของชั้นดินเปราะ
3. เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าความแข็งและค่าความหนาแน่นรวมของดินที่พบชั้นดินเปราะที่มีวัตถุต้นกำเนิดดินต่างกัน
4. เพื่อนำข้อมูลที่ได้จากการศึกษามาประมวลหาผลกระทบของชั้นดินเปราะต่อการทำการเกษตรและแนวทางการแก้ไขปัญหสำหรับปลูกมันสำปะหลัง

ขอบเขตของการศึกษา

ดำเนินการสำรวจพื้นที่ปลูกมันสำปะหลังในจังหวัดลพบุรี นครสวรรค์และสระบุรีในพื้นที่ปลูกมันสำปะหลังที่คาดว่าจะพบชั้นดินเปราะโดยใช้ส่วนเจาะดิน แล้วเก็บตัวอย่างดินจากพื้นที่ตัวแทน จำนวน 22 บริเวณ จะพบชั้นดินเปราะ ในระดับต้นลึกที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับลักษณะของผิวสภาพภูมิประเทศที่เป็นแบบโค้งเว้า หรือโค้งนูน แสดงให้ทราบถึงความรุนแรงของการกร่อนดินที่ผิวหน้าที่แตกต่างกัน จึงมีผลทำให้ชั้นดินเปราะเกิดอยู่ในระดับต้นลึกที่แตกต่างกัน และวัตถุต้นกำเนิดดินควรมีความสัมพันธ์กับการเกิดของชั้นดินเปราะและปัจจัยที่มีผลต่อข้อจำกัดของชั้นดินเปราะทำให้ชั้นนี้มีสมบัติแตกต่างกันซึ่งจะมีผลต่อรูปแบบการอนุรักษ์ดินและการจัดการดิน

การตรวจเอกสาร

1. ความหมายและลักษณะของชั้นดิน

ชั้นดิน หมายถึง ชั้นดินที่อนุภาคของดินอัดตัวกันแน่นทึบหรือชั้นที่มีสารเชื่อมอนุภาคของดินมาจับตัวกันแน่นและแข็ง (Brady and Weil, 2008) เป็นชั้นที่มีความพรุนต่ำ ประกอบด้วยช่องว่างขนาดเล็กเป็นส่วนใหญ่ ทำให้ชั้นดินมีความหนาแน่นรวมและความแข็ง (strength) สูง (Coelho *et al.*, 2000) จน

เป็นอุปสรรคต่อการขนถ่ายของรากพืช และจำกัดการไหลซึมผ่านของน้ำและอากาศ (Weisenborn and Schaetzl, 2005) ในที่สุดผลผลิตพืชก็จะลดลง (Stirzaker *et al.*, 1993)

2. ชนิดของชั้นดาน

ชั้นดานแบ่งตามลักษณะที่มีและไม่มี การเชื่อมตัวของอนุภาคได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ ชั้นดานที่มีการเชื่อมตัว (cemented pan) ได้แก่ชั้นดานซิลิกา ชั้นดินวินิจฉัยเพโทรแคลซิก ชั้นดินวินิจฉัยเพโทรยิปซิก ชั้นดินวินิจฉัยเพโทรพลาซิก และแนวสัมผัสเพโทรเฟอร์ริก และชั้นดานแน่นทึบ (dense pan) คือชั้นดานที่ไม่มีการเชื่อมตัวของอนุภาคจะเกิดจากการอัดตัวแน่นได้แก่ชั้นดานเปราะ ชั้นดานไถพรวน และชั้นดานดินเหนียว (van Breeman and Buurman, 2003) ซึ่งมีลักษณะสำคัญ การเกิด และกระบวนการที่เกี่ยวข้องแตกต่างกัน

3. ลักษณะและสมบัติของชั้นดานเปราะ

ลักษณะและสมบัติทั่วไปของชั้นดานเปราะ

ชั้นดานเปราะ (Fragipan) ได้มาจากรากศัพท์ภาษาละติน fragillis แปลว่า เปราะ บวกกับ pan (ชั้นดาน) ชั้นดานเปราะ เป็นชั้นดินล่างที่มีการอัดตัวแน่น และเป็นชั้นที่ขนานกับผิวดิน โดยทั่วไปจะพบอยู่ภายในชั้นดินล่างวินิจฉัยอาร์จิลลิกและอัลบิก ที่มีความหนาแน่นสูงกว่าชั้นดินบนและล่าง และมีสภาพการนำน้ำขณะดินอิ่มตัวด้วยน้ำ (saturated hydraulic conductivity) ต่ำถึงต่ำมาก (Soil Survey Staff, 1999) ชั้นดานเปราะหลายบริเวณมีสีซีด ผิวน้ำในแนวตั้งมักไม่เรียบ ชั้นส่วนแห้งจะละลายน้ำเมื่อแช่ในน้ำ และมักพบจุดประที่ที่เกิดจากเหล็ก (van Breeman and Buurman, 2003) ชั้นดานนี้เกิดขึ้นเนื่องจากการอัดตัวของดินเหนียว ทรายแปงและทราย มีการเชื่อมยึดตัวแน่นเมื่อแห้ง จะเปราะเมื่อขึ้น น้ำซึมผ่านได้ช้ามาก และมีปริมาณอินทรีย์วัตถุต่ำ (Lindbo and Veneman, 1993; Weisenborn and Schaetzl, 2005) ชั้นดานเปราะ มีความสำคัญในด้านการพิจารณาถึงการเคลื่อนที่ของน้ำที่เป็นประโยชน์ในดิน การเจริญเติบโตของรากพืช และการวินิจฉัยด้านวิศวกรรม (Ciolkosz and Waltman, 2000) และจะพบชั้นดานเปราะในพื้นที่ที่มีพืชพรรณที่เป็นป่าธรรมชาติมากที่สุด (กลุ่มมาตรฐาน, 2544; Soil Survey Staff, 1999) ซึ่ง Franzmeier *et al.* (1996) พบว่าชั้นดานเปราะจะเกิดในสภาพพื้นที่ที่มีพืชพรรณเป็นพืชใบเลี้ยงคู่ เช่น โอ๊ค เนื่องจากจะมีการไล่ซิลิกาออกมาในขณะที่พืชมีการดูดซับน้ำ

สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของชั้นดานเปราะ จะแสดงให้เห็นถึงกระบวนการทางดิน เช่น การมีผิวเคลือบดินเหนียวในเนื้อดินหรือบนผิวน้ำเม็ดดิน มีชั้นดินวินิจฉัยอัลบิกหรือการเคลือบบนวัสดุอัลบิก มีโครงสร้างดิน สภาพออกซิเดชัน-รีดักชัน เป็นต้น (Weisenborn and Schaetzl, 2005) นอกจากนี้ชั้นดานเปราะเป็นชั้นที่ขนานกับผิวน้ำดิน โดยพบขอบเขตบนของชั้นดานเปราะระหว่างความลึก 50-100 เซนติเมตรจากผิวน้ำดิน มีวัตถุต้นกำเนิดดินที่มีเนื้อดินเป็นดินร่วน โดยเฉพาะพวกทรายแปงหรือทรายละเอียดมาก มีปริมาณคาร์บอนต่อน้อยหรือไม่มีเลย และจะพบเฉพาะในดินที่มีการเคลื่อนที่ของน้ำในหน้า

ตัดดินในชั้นที่มีการชะล้างหรือสะสมเท่านั้น โดยโอกาสที่จะพบชั้นดานเปราะในสภาพพืชพรรณที่เป็นป่าจะมีอยู่มากกว่าพืชชนิดอื่นๆ (Soil Survey Staff, 1999)

ลักษณะที่สำคัญในการวินิจฉัยชั้นดานเปราะ จะพิจารณาชั้นดานที่มีขอบเขตบนอยู่ภายใน 100 เซนติเมตรจากผิวหน้าดินแล้ว โดยชั้นดานเปราะจะต้องมีลักษณะต่าง ๆ ทั้งหมด ดังต่อไปนี้ (Soil Survey Staff, 1999; Soil Survey Staff, Key to Soil Taxonomy, 2016)

1. เป็นชั้นที่มีความหนาน้อยกว่า 15 เซนติเมตร
2. มีลักษณะที่แสดงการเกิดโดยกระบวนการทางดิน (pedogenesis) ภายในชั้น อย่างน้อยแสดงบนผิวหน้าของหน่วยโครงสร้าง
3. โครงสร้างเป็นแบบแท่งหัวเหลี่ยม แท่งหัวมน หรือแบบก้อนเหลี่ยมที่มีขนาดใหญ่มาก และมีความคงทนแตกต่างกันได้ หรืออาจจะจับตัวกันแบบเนื้อเสมานแน่น ความห่างของแนวแยกกันได้ของโครงสร้าง ที่รากพืชจะแทรกหรือไซซอนได้ มีค่าเฉลี่ยประมาณช่วงละอย่างน้อย 10 เซนติเมตร ในแนวราบ
4. ชั้นส่วนของชั้นที่ฝังให้แห้ง ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5-10 เซนติเมตร เมื่อจุ่มลงในน้ำจะละลายได้มากกว่า ร้อยละ 50 ของปริมาตรของชั้น
5. ปริมาตรตั้งแต่ร้อยละ 60 ของวัสดุในชั้น มีการยึดตัวแบบคงทน (firm) หรือคงทนกว่าแต่จะเปราะเมื่อสภาพความชื้นใกล้เคียงความชื้นสนาม และมักจะไม่มีพบว่ามีรากพืชในชั้นนี้

การเกิดของชั้นดานเปราะ

การเกิดของชั้นดานเปราะยังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด แต่เข้าใจว่าชั้นดินนี้เกิดในช่วงที่มีสภาพภูมิอากาศและพืชพรรณธรรมชาติที่มีลักษณะเฉพาะ ชั้นดานเปราะแสดงกระบวนการทางดินหลายลักษณะ โดยนอกจากจะมีลักษณะแน่นและเปราะแล้ว ยังพบการจัดเรียงตัวของดินเหนียวตามผิวหน้าเม็ดดินและลักษณะที่แสดงถึงการมีสภาพออกซิเดชัน-รีดักชัน ความหนาแน่นและความเปราะของชั้นดานเปราะนั้นแตกต่างกันขึ้นอยู่กับผลของกระบวนการยึดตัวทางกายภาพ (physical ripening) กระบวนการแช่แข็งถาวร และเหตุการณ์อื่น ๆ ที่เกิดขึ้นสมัยไพลสโตซีน (Pleistocene: 0.01-1.8 ล้านปี) และสมบัติบางประการของชั้นดานเปราะมาจากดินบรรพกาลที่ถูกฝัง (Soil Survey Staff, 1999; Bryant, 1989) ซึ่งการเกิดของชั้นดานเปราะพบได้ 2 แบบ ดังนี้

1) การอัดตัวกันแน่นที่บ

ซึ่งชั้นดานเปราะเกิดจากทั้งกระบวนการทางกายภาพและเคมี (Singer, 1987; Bryant 1989; Bockheim and Harte-mink 2013) เกิดขึ้นเมื่อมีน้ำหนักรีดทับบนผิวดินเพิ่มขึ้น โดยน้ำหนักรีดทับจะส่งผ่านไปยังอนุภาคที่รับแรงทำให้เกิดการจัดเรียงตัวใหม่ของอนุภาคดินที่ติดกันและมีความแน่นมากขึ้น สัดส่วนของมวลดินต่อปริมาตรจะเพิ่มขึ้น ดินที่อัดตัวกันแน่นมากจะมีปริมาณดินเหนียวน้อยกว่าจะ

รวมกันเป็นเม็ดดิน (aggregate) ได้ ดังนั้นอนุภาคขนาดละเอียดจะถูกจัดเรียงอยู่แต่ในช่องว่างดินและช่องว่างอนุภาคขนาดใหญ่ และการไหลซึมผ่านของน้ำจะพาบางส่วนของอนุภาคบนผิวดินเคลื่อนที่ลงมาสะสมในช่องว่างทำให้เกิดการอัดแน่นขึ้นโดยมากลักษณะแน่นทึบของชั้นดานเกิดจากการอัดตัวแน่นของอนุภาคขนาดทราย ทรายแป้งขณะที่อนุภาคขนาดดินเหนียวมีจำกัด (Chartres and Norton, 1994) แต่ถ้าดินมีชั้นวินิจฉัยอาร์จิลลิกวางตัวอยู่บนชั้นดานเพราะ ดินเหนียวจะมีการเคลื่อนที่ลงมาสะสมด้านล่างได้มากขึ้น โดยจะสะสมเป็นชั้นหนาที่บริเวณส่วนต่ำของหน่วยโครงสร้าง นอกจากนี้ในบริเวณที่มีการสะสมอนุภาคละเอียดในชั้นดานเพราะยังอาจเกิดรอยแตกที่มาจาก การยึด-หดตัวเล็กน้อยเมื่ออยู่ในสภาพเปียก-แห้งได้ โดยอนุภาคขนาดทรายละเอียดมาก ทรายแป้ง และดินเหนียวสามารถจะแทรกตัวเข้าไปอยู่ในระหว่างรอยแตกนี้ได้ในช่วงแห้ง หลังจากนั้นเมื่อชั้นดานเพราะกลับมาขึ้นอีกครั้ง การขยายตัวจะเกิดได้น้อยลง และแรงของการขยายตัวจะช่วยให้วัสดุละเอียดเหล่านั้นแทรกตัวเข้าไปอยู่ในรอยแตกได้ลึกขึ้น ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นของการอัดตัวกันของอนุภาคดิน (Soil Survey Staff, 1999)

van Breeman and Buurman (2003) ได้กล่าวถึงกระบวนการเกิดชั้นดานเพราะ มีกระบวนการด้วยกันดังนี้ คือ กระบวนการอัดตัวกัน (compaction) ของอนุภาคดินซึ่งเนื่องมาจากการเกิดรอยแตกที่มาจาก การยึด-หดตัวเล็กน้อยเมื่อดินอยู่ในสภาพเปียก-แห้งสลับกัน กระบวนการสะสมของซิลิกา อสัณฐาน การเคลื่อนที่ลงมาสะสมของดินเหนียวและการจัดเรียงตัวใหม่ของอนุภาคขนาดทรายแป้งและอิทธิพลของน้ำหนักที่กดทับบนผิวดินชั้นบน

นอกจากนี้ Bryant (1989) ได้กล่าวไว้ว่า กระบวนการ Hydroconsolidation อาจจะทำให้เกิดชั้นดานเพราะขึ้นมาได้และผลการศึกษาของ Assallay (1997) พบว่าดินที่มีวัตถุต้นกำเนิดมาจากดินตะกอนลมหอบที่มีปริมาณดินเหนียวขนาดเล็กอยู่ 25 เปอร์เซ็นต์ ดินมีการกดทับและเปียก โครงสร้างดินจะเกิดการยุบตัวและทำให้เกิดชั้นดานเพราะขึ้นได้

2) การมีซิลิกาอสัณฐานเป็นสารเชื่อม

ชั้นดานเพราะจะเกิดการอัดตัวแน่นมากเมื่อแห้งทำให้เกิดความแข็งขึ้นแต่การสะสมอนุภาคขนาดละเอียดอย่างเดียวไม่เพียงพอที่จะทำให้ชั้นดานมีลักษณะเพราะเมื่อขึ้นได้ ความเพราะอาจเป็นผลมาจากพันธะเคมีของสารเชื่อมอย่างอ่อน ๆ ซึ่งมีได้หลายชนิด และลักษณะการเพราะตามธรรมชาติของชั้นดานเพราะทั่วไป ส่วนหนึ่งน่าจะมาจากการที่อนุภาคถูกเชื่อมโดยซิลิกา (Norton *et al.*, 1984) เป็นไปในทำนองเดียวกับการศึกษาดินที่มีชั้นดานในประเทศออสเตรเลียของ Chartres and Norton (1994) และ Franzmeier *et al.* (1996) ที่พบว่า การอัดตัวกันแน่นในชั้นดานเพราะอาจมีสาเหตุมาจากการเชื่อมตัวทางเคมีอย่างชั่วคราวของซิลิกาอสัณฐานในลักษณะที่เป็นสารตัวกลาง (intermediate) ซึ่งอาจจะปะปนอยู่กับเหล็กออกไซด์ นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Breuer and Schwertmann (1999) ที่พบว่าการอัดตัวกันของชั้นดานเพราะ เกิดจากซิลิกาอสัณฐานที่ละลายออกมาแล้วไม่ได้เคลื่อนย้ายออกไปจากดินนั้น และ Karathanasis (1989) ยังพบอีกว่า ระดับของการละลายของซิลิกาในสารละลายดินใกล้เคียงกับระดับ

การละลายของซิลิกาออสฐานในชั้นดานเปราะและคิดว่าซิลิกาออสฐานเป็นสารเชื่อมในชั้นดานเปราะได้ โดยมีการเชื่อมอย่างอ่อนๆขณะผุพังสลายตัวในสารละลายดินโดยระดับของการชะละลายและการดูดใช้ของพืชมีผลต่อระดับการละลายของซิลิกา

ลักษณะทางจุลสัณฐานวิทยา

ลักษณะทางจุลสัณฐานวิทยาของชั้นดานเปราะจะแสดงโครงสร้างเป็นแท่งหัวเหลี่ยมที่มีการเรียงตัวใกล้ชิดกันของเม็ดแร่ และการจัดเรียงตัวของดินเหนียว ทำให้ชั้นดานเปราะมีความหนาแน่นรวมที่สูงกว่าชั้นดินที่อยู่ด้านบน (Soil Survey Staff, 1999) ชั้นดานเปราะประกอบด้วยเม็ดควอตซ์ขนาดทรายและมีอนุภาคขนาดดินเหนียวเป็นสะพานเชื่อมระหว่างเม็ดทรายขนาดใหญ่ (Neyde *et al.*, 2002) และ Mullins (1989) ได้แสดงให้เห็นว่า วัสดุละเอียดพวกดินเหนียวและทรายแป้งจะทำให้ดินแข็งขึ้นได้เมื่อแห้ง โดยจะทำหน้าที่เป็นสะพานเชื่อมระหว่างเม็ดทราย ลักษณะของชั้นที่อัดตัวกันมักมีอนุภาคขนาดใหญ่เป็นองค์ประกอบมากนั้น Duley (1939) ยังพบว่า วัสดุขนาดดินเหนียวและทรายแป้งนี้จะอยู่ในสภาพแขวนลอยในน้ำที่ไหลบ่าลงมาจากด้านบนของพื้นที่แล้วมาสะสมยังบริเวณพื้นที่ด้านล่าง และผลการศึกษาของ Chen *et al.* (1980) พบว่า ชั้นดานเปราะมักจะเกิดขึ้นหลังจากมีการกร่อนเกิดขึ้นในบริเวณใกล้เคียง West *et al.* (1990) และ Radcliff *et al.* (1991) พบว่า ชั้นดานเปราะมักจะเกิดขึ้นในสภาพพื้นที่ที่เป็นแอ่งเล็กน้อย เนื่องจากพบว่ามีการทับถมของวัสดุขนาดเล็กโดยสะสมในลักษณะเป็นชั้นบางๆ (Bresson and Boiffin, 1990)

4. ผลกระทบจากการเกิดชั้นดานเปราะ

ผลกระทบจากการเกิดชั้นดานเปราะ ส่งผลเสียต่อการปลูกพืชหลายอย่างด้วยกัน ได้แก่

1) พืชเจริญเติบโตผิดปกติ ดินที่มีความโปร่ง ร่วนซุย การระบายน้ำและการระบายอากาศดี เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืช แต่ถ้าโครงสร้างของดินถูกทำลายจะทำให้เกิดการอัดตัวแน่นที่บของดินหรือการเกิดดินดาน ซึ่งจะเป็อุปสรรคต่อการงอกของรากพืช รากพืชไม่สามารถแทงทะลุลงไปข้างล่างได้ รากเจริญเติบโตได้น้อย รากพืชจะหดสั้นหรือม้วนกลับทำให้พืชดูดน้ำและธาตุอาหารได้น้อยลง เกิดอาการแคระแกร็น (ปรีชา, 2542; สติระ, 2544)

2) เกิดการกร่อนดิน ดินที่แน่นทึบทำให้น้ำไม่สามารถซึมลงไปในดินลึกได้ เมื่อฝนตกหนักจะเกิดการไหลบ่าชะล้างเอาผิวหน้าดินและปุ๋ยที่มีความอุดมสมบูรณ์ออกไป พื้นที่ที่เป็นชั้นดานเมื่อฝนตกดินที่อัดตัวแน่นจะทำให้ดินอึดตัวได้ง่าย น้ำฝนไม่สามารถที่จะไหลลงสู่ดินชั้นล่างได้ น้ำฝนก็จะไหลบ่าบริเวณผิวดินไปสู่ที่ต่ำได้ง่ายและรวดเร็ว ถ้าหากน้ำมากขึ้นก็จะไหลแรงขึ้นจะทำให้เกิดการชะล้างของดินมากขึ้นและทำให้เกิดการสูญเสียหน้าดิน (Rhoton *et al.*, 1990; Boer, 1999)

3) พืชแสดงอาการเหี่ยวเฉาเมื่อเกิดความแห้งแล้งหรือฝนทิ้งช่วงพืชจะแสดงอาการเหี่ยวเฉา (Voorhees, 1992) เนื่องจากรากพืชไม่สามารถขนไอน้ำผ่านชั้นดินดานลงไปตามลำเพื่อดูดน้ำและธาตุอาหารได้ ประกอบกับดินที่อยู่บริเวณเหนือชั้นดานไม่สามารถเก็บกักน้ำไว้ได้เพราะเกิดการสูญเสียไอน้ำในดินโดยการระเหยน้ำจากใต้ดินไม่สามารถเคลื่อนตัวหรือระเหยผ่านชั้นดินดานขึ้นมาให้พืชใช้ได้ เพราะน้ำที่เคลื่อนตัวหรือระเหยขึ้นมาจากใต้ดินจะไปติดอยู่ที่ชั้นดาน (Prudat *et al.*, 2022)

4) เกิดชั้นน้ำใต้ดินชั่วคราว ชั้นดานเป็นชั้นที่มีความพรุนต่ำประกอบด้วยช่องว่างขนาดเล็ก ชั้นดินแข็งจะยับยั้งการไหลซึมหรือการซาบซึม (percolation) ของน้ำด้วย ทำให้เกิดชั้นน้ำใต้ดินชั่วคราวขึ้นในฤดูฝน (McDaniel, 2008; Aide, 2021) คือ เป็นระดับน้ำใต้ดินที่แยกอยู่ต่างหากและอยู่สูงกว่าระดับน้ำใต้ดินทั่วไปในบริเวณนั้น โดยมีชั้นดินแน่นที่บดอัดอยู่ในชั้นที่ทำให้น้ำไหลซึมผ่านได้ในบริเวณเล็ก ๆ ซึ่งมีผลกระทบต่อระบบรากพืช ทำให้รากพืชขาดอากาศในการหายใจ การแลกเปลี่ยนก๊าซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์น้อยลงทำให้กระบวนการเมแทบอลิซึมของพืชเกิดได้ช้าลงมีผลทำให้ผลผลิตของพืชลดลง (Graveel *et al.*, 2002; Weisenborn and Schaetzl, 2005; Murdock *et al.*, 2020)

5) ข้อจำกัดของชั้นดานสำหรับการใช้ประโยชน์ในการปลูกพืช การพิจารณาว่าชั้นดานเป็นชั้นที่มีผลต่อการปลูกพืชหรือไม่ สามารถพิจารณาได้จากการพบชั้นดานที่ระดับความลึกเท่าใดจากผิวดิน (กลุ่มมาตรฐาน, 2544; สำนักวิจัยและพัฒนาการจัดการที่ดิน, 2550) โดยที่

ถ้าพบชั้นดานอยู่ตื้นหรือตื้นมาก (พบที่ระดับความลึกก่อน 50 เซนติเมตร) จะมีผลต่อการปลูกพืชเป็นอย่างมากพืชที่ปลูกควรเป็นพืชไร่รากสั้น การพัฒนาทำทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ ถ้าจะใช้ปลูกไม้ผล ไม้ยืนต้น จำเป็นต้องมีการปรับปรุงเฉพาะหลุม แต่บริเวณนี้ควรปลูกสร้างสวนป่า หรือสงวนไว้เป็นป่าต้นน้ำลำธาร

ถ้าพบชั้นดานอยู่ลึกปานกลาง (พบที่ระดับความลึก 50-100 เซนติเมตร) จะมีผลต่อการปลูกพืชบ้างแต่ไม่มากนัก สามารถปลูกพืชไร่ ไม้ผล ไม้ยืนต้นได้ แต่ต้องมีการจัดการที่ดีด้วย

ถ้าชั้นดานอยู่ลึกถึงลึกมาก (พบที่ระดับความลึกมากกว่า 100 เซนติเมตร) ดินไม่มีข้อจำกัดใด ๆ ทั้งสิ้น สามารถใช้ปลูกพืชต่างๆ ได้ อาจพบปัญหาเพียงเล็กน้อยหรือไม่มีเลย

และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างชั้นดานซิลิกาและชั้นดานเปราะ ชั้นดานเปราะมีข้อจำกัดในการใช้ประโยชน์น้อยกว่า เนื่องจากสามารถละลายน้ำได้ ดังนั้น โอกาสที่จะปรับปรุงดินให้ใช้ประโยชน์จะง่ายกว่า โดยต้องพยายามรักษาความชื้นของดินให้เหมาะสม และใช้น้ำเป็นตัวละลายดานให้แตกออกจากกัน

5. ขั้นตอนในประเทศไทย

ขั้นตอนในประเทศไทย

จากการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ โดยสำนักวิจัยและพัฒนาการจัดการที่ดิน (2550) พบว่า ประเทศไทยมีพื้นที่ที่มีโอกาสเกิดขั้นตอนจำนวน 27,672,394 ไร่ ครอบคลุมพื้นที่ 52 จังหวัด 491 อำเภอ 2,665 ตำบล โดยแบ่งพื้นที่ออกเป็น 3 ระดับได้ดังนี้

..... พื้นที่ที่มีศักยภาพในการเกิดขั้นตอนระดับ 1 (รุนแรงน้อย) มีพื้นที่ประมาณ 5,458,920 ไร่ พบมากที่สุดในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีพื้นที่ 1,646,968 ไร่ รองลงมาได้แก่ ภาคกลาง มีพื้นที่ 1,631,347 ไร่ ภาคเหนือ มีพื้นที่ 1,605,635 ไร่ และ ภาคตะวันออก มีพื้นที่ 574,970 ไร่

..... พื้นที่ที่มีศักยภาพในการเกิดขั้นตอนระดับ 2 (รุนแรงปานกลาง) มีพื้นที่ประมาณ 16,890,976 ไร่ พบมากที่สุดในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีพื้นที่ 8,398,688 ไร่ รองลงมาได้แก่ ภาคเหนือ มีพื้นที่ 4,169,824 ไร่ ภาคกลาง มีพื้นที่ 2,808,744 ไร่ และ ภาคตะวันออก มีพื้นที่ 1,513,720 ไร่

..... พื้นที่ที่มีศักยภาพในการเกิดขั้นตอนระดับ 3 (รุนแรงมาก) มีพื้นที่ประมาณ 5,322,498 ไร่ พบมากที่สุดในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีพื้นที่ 3,139,407 ไร่ รองลงมาได้แก่ ภาคตะวันออก มีพื้นที่ 1,091,190 ไร่ ภาคเหนือ มีพื้นที่ 699,360 ไร่ และภาคกลาง มีพื้นที่ 392,541 ไร่

ขั้นตอนเปราะในประเทศไทย

ขั้นตอนเปราะในประเทศไทยพบว่าพื้นที่อยู่ถึง 10,235,068 ไร่หรือร้อยละ 3.13 ของพื้นที่ทั้งประเทศ ประกอบด้วยขั้นตอนที่อัดตัวแน่น และขั้นตอนที่มีสารเชื่อมอย่างอ่อน (กลุ่มมาตรฐาน, 2544) สำหรับขั้นตอนเปราะในพื้นที่จังหวัดลพบุรี สระบุรีและนครสวรรค์ ยังไม่มีข้อมูลของพื้นที่ที่แน่ชัดประกอบกับยังมีการศึกษาไม่มากทำให้ไม่สามารถระบุเป็นตัวเลขที่ชัดเจนได้

จากฐานข้อมูลในแผนที่เกษตรเชิงรุก หรือ Agri-Map Online ของกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ มีการวิเคราะห์พื้นที่ปลูกมันสำปะหลังในปัจจุบัน ซึ่งจำแนกตามชั้นความเหมาะสมของที่ดินรายงานไว้ พื้นที่จังหวัดลพบุรี สระบุรีและนครสวรรค์ มีพื้นที่ปลูกมันสำปะหลังเป็นพืชเศรษฐกิจของจังหวัดและมีศักยภาพในการปลูกมันสำปะหลัง ประกอบกับวัตถุดิบกำเนิดของดินในพื้นที่ที่มีศักยภาพในการเกิดขั้นตอนเปราะได้ (สำนักสำรวจและวิจัยทรัพยากรดิน, 2551 และ 2553) ซึ่งก่อให้เกิดข้อจำกัดต่อการปลูกมันสำปะหลังและพืชชนิดอื่นๆ ได้มาก จึงมีความสำคัญอย่างยิ่งที่จะได้มีการศึกษาขั้นตอนเปราะในพื้นที่จังหวัดลพบุรี สระบุรี และนครสวรรค์ ในพื้นที่ปลูกมันสำปะหลังเพื่อสร้างองค์ความรู้การจัดการดินและที่ดินเพื่อการปลูกมันสำปะหลังให้ได้ผลผลิตที่มากขึ้นและรักษาทรัพยากรดินให้มีความสมบูรณ์และยั่งยืนต่อไป

ระยะเวลาและสถานที่ดำเนินการ

ระยะเวลาดำเนินการ เริ่มเดือนตุลาคม 2555 - สิ้นสุดเดือนกันยายน 2561

สถานที่ดำเนินการ

พื้นที่ปลูกมันสำปะหลังในจังหวัดลพบุรี สระบุรีและนครสวรรค์

ห้องปฏิบัติการสำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน ห้องปฏิบัติการปฐพีกลศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน กรุงเทพฯ

อุปกรณ์และวิธีการ

1. อุปกรณ์

อุปกรณ์สำหรับการสำรวจดิน เก็บตัวอย่างดินภาคสนามและอุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์ดินในห้องปฏิบัติการ (เอิบ, 2542ช; Soil Survey Division Staff, 1993)

อุปกรณ์สำรวจดินและเก็บตัวอย่างดินภาคสนาม

- 1) แผนที่ภูมิประเทศ (topographic map) มาตรฐาน 1:50,000 (กรมแผนที่ทหาร, 2542)
- 2) แผนที่กลุ่มชุดดิน (soil group map) มาตรฐาน 1:50,000 (สำนักสำรวจดินและวางแผนการใช้ที่ดิน, 2543ก)
- 3) แผนที่ภาพถ่ายออร์โธรีโธซีเชิงเลข (ortho photos) มาตรฐาน 1:4,000 ปี 2546
- 4) ข้อมูลสภาพภูมิอากาศเฉลี่ย 10 ปี (ปี พ.ศ. 2550-2560) (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2561)
- 5) สว่านเจาะดิน (soil auger) สมุดเทียบสีดิน (munsell soil color chart)
- 6) เครื่องวัดระดับอย่างง่าย (abney hand Level) เทปวัดระยะ (measuring tape)
- 7) อุปกรณ์เก็บตัวอย่างดินที่เปลี่ยนแปลงสภาพ (disturbed soil samples) ได้แก่ ถังเก็บตัวอย่างดินพลั่วสนาม ปากกา marker เชือกสำหรับมัดปากถุง กระบะพลาสติกสำหรับเรียงตัวอย่าง
- 8) อุปกรณ์เก็บตัวอย่างดินสภาพธรรมชาติ (undisturbed soil samples) ได้แก่ กระบอกเก็บตัวอย่างดินแบบกลม (core) อุปกรณ์ตอก core ค้อนยาง เทปพัน core มีดปาดดิน (soil spatula)

2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงานวิจัยแบ่งออกเป็น การศึกษาภาคสนาม การวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ และการกำหนดรูปแบบการทดสอบทางสถิติ โดยมีวิธีการดำเนินการวิจัย ดังนี้

การศึกษาภาคสนามและเก็บตัวอย่างดิน

1) สำรวจพื้นที่และจัดทำแผนที่การแจกกระจายของดินที่พบชั้นดานเปราะในพื้นที่จังหวัดลพบุรี สระบุรี และจังหวัดนครสวรรค์ โดยสำรวจที่มาตราส่วน 1:25,000 โดยทำการขุดเจาะสำรวจด้วยสว่านเจาะดินที่ระยะห่าง 100-150 เมตรต่อ 1 หลุมขุด และคัดเลือกพื้นที่ตัวแทนเพื่อกำหนดจุดเก็บตัวอย่างดิน โดยขุดหลุมหน้าตัดดินขนาด 2x2 เมตร จำนวน 22 จุด

2) ประมวลข้อมูลเพื่อหาความสัมพันธ์ของข้อจำกัดของชั้นดานเปราะกับสมบัติดินที่พบตามสภาพภูมิประเทศ และปัจจัยที่ก่อให้เกิดข้อจำกัดและนำข้อมูลที่ได้จากการศึกษามาประมวลหาผลกระทบของชั้นดานเปราะต่อการทำการเกษตรและแนวทางการแก้ไขปัญหาสำหรับการปลูกมันสำปะหลัง

3) การศึกษาดินในภาคสนามโดยการขุดหลุมเก็บตัวอย่างดินตามวิธีมาตรฐาน โดยแบ่งออกเป็นการเก็บตัวอย่างดินแบบรบกวน (disturbed samples) ตัวอย่างดินที่ถูกรบกวน (disturbed soil samples) จะเก็บทุกชั้นดินตามชั้นกำเนิดดิน (genetic horizon) ประมาณ 2-3 กิโลกรัมต่อชั้นกำเนิดดิน และแบบไม่ถูกรบกวน (undisturbed samples) เลือกเก็บเฉพาะชั้นที่ต้องการนำมาศึกษา โดยใช้กระบอกลูกเต๋า (core) เพื่อใช้วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีบางประการ

การวิเคราะห์สมบัติดินทางกายภาพในห้องปฏิบัติการ

1) เนื้อดิน (soil texture) หรือขนาดอนุภาคดิน (soil particle size analysis) ด้วยวิธีปิเปต (pipette method) (Kilmer and Alexander, 1949; Day, 1965; McCarty *et al.*, 2016) ในขนาดอนุภาคทรายแป้งและอนุภาคดินเหนียว ผลที่ได้จากการวิเคราะห์นำมาแจกแจงประเภทของเนื้อดิน (soil textural class) โดยการเปรียบเทียบกับชั้นเนื้อดินตามเกณฑ์ของกระทรวงเกษตรสหรัฐอเมริกา (USDA textural class) (Soil Survey Division Staff, 1993) และอาศัยหลักการตกตะกอนของอนุภาคในสารแขวนลอย (suspension) ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่างกัน ได้แก่ อนุภาคขนาดทราย ทรายแป้ง และดินเหนียว และคำนวณเวลาในการตกตะกอนของอนุภาคแต่ละขนาด

2) ความหนาแน่นรวมของดิน (bulk and particle density) (สุนทรี, 2536; Culley, 1993) การวิเคราะห์ความหนาแน่นรวมของดิน (ρ_b) คำนวณจากน้ำหนักดินแห้ง (dry soil, Ms) มีหน่วยเป็น g หารด้วยปริมาตรรวมของดินแห้ง (volume of dry soil, Vt) มีหน่วยเป็น cm^3 ซึ่งปริมาตรรวมประกอบด้วยปริมาตรของดินส่วนที่เป็นของแข็ง (Vs) ปริมาตรช่องบรรจุอากาศ (Va) และปริมาตรช่องบรรจุน้ำ (Vw) ความหนาแน่นรวมของดินนิยมใช้เป็นตัวชี้วัดในการประเมินการอัดตัวแน่นของดิน

การวิเคราะห์ความหนาแน่นรวมของดิน (ρ_b) คำนวณจากสมการที่ (1) น้ำหนักดินแห้ง (dry soil, Ms) มีหน่วยเป็น g หารด้วยปริมาตรรวมของดินแห้ง (volume of dry soil, Vt) มีหน่วยเป็น

cm^3 ซึ่งปริมาตรรวมประกอบด้วยปริมาตรของดินส่วนที่เป็นของแข็ง (V_s) ปริมาตรช่องบรรจุอากาศ (V_a) และปริมาตรช่องบรรจุน้ำ (V_w) ความหนาแน่นรวมของดินนิยมใช้เป็นตัวชี้วัดในการประเมินการอัดตัวแน่นของดิน ดินโดยทั่วไปมีค่าความหนาแน่นรวมอยู่ในช่วง $1.0\text{--}1.9 \text{ g cm}^{-3}$ ดินเหนียว ดินร่วนเหนียว และดินร่วนปนทรายแบ่ง โดยทั่วไปมีค่าความหนาแน่นรวมอยู่ในช่วง $1.0\text{--}1.6 \text{ g cm}^{-3}$ ในขณะที่ดินทรายและดินร่วนปนทรายโดยทั่วไปมีค่าความหนาแน่นรวมอยู่ในช่วง $1.4\text{--}1.8 \text{ g cm}^{-3}$ และดินอินทรีย์ (organic soils) โดยทั่วไปมีค่าความหนาแน่นรวมอยู่ในช่วง $0.2\text{--}0.8 \text{ g cm}^{-3}$ (McCarty *et al.*, 2016)

$$\text{สูตรคำนวณ Bulk Density } (\rho_b) = \frac{Ms}{Vt} = \frac{Ms}{Vs+Va+Vw} \quad (1)$$

3) การคำนวณความพรุนรวมของดิน (total porosity) คำนวณจากสัดส่วนของความหนาแน่นรวมของดิน (ρ_b) ต่อความหนาแน่นอนุภาคดิน (ρ_s) โดยคำนวณเป็นร้อยละ

ความพรุนรวมของดิน (f_t) คือ ปริมาตรทั้งหมดของดินที่เป็นช่องบรรจุน้ำและอากาศ โดยประกอบด้วยช่องที่มีทั้งขนาดเล็กที่เรียกว่า capillary หรือ micropores ซึ่งเป็นช่องบรรจุน้ำตามความจุของดิน (water-holding capacity) และไม่สูญเสียน้ำไปตามแรงโน้มถ่วงของโลก และช่องขนาดใหญ่ที่เรียกว่า noncapillary หรือ macropores ซึ่งเป็นช่องขนาดใหญ่ที่บรรจุอากาศและสูญเสียน้ำอย่างรวดเร็วไปตามแรงโน้มถ่วงของโลก สัดส่วนของช่องว่างขนาดเล็กและขนาดใหญ่นี้จะสัมพันธ์โดยตรงกับประเภทเนื้อดินและโครงสร้างดิน ดินที่มีปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินมาก อินทรีย์วัตถุจะช่วยให้เกิดการสร้างเม็ดดินและปรับปรุงโครงสร้างดิน ทำให้ดินมีความพรุนรวมของดินมากขึ้น การคำนวณความพรุนรวมของดินตามสมการที่ (2) คำนวณจากสัดส่วนของความหนาแน่นรวมของดิน (ρ_b) ต่อความหนาแน่นอนุภาคดิน (ρ_s) โดยคำนวณเป็นร้อยละ ซึ่งโดยทั่วไปเมื่อกำหนดให้ค่าความหนาแน่นอนุภาคดินเป็นค่าสมมติหรือค่าคงที่มีค่าเท่ากับ 2.65 g cm^{-3} และความหนาแน่นรวมของดินได้จากค่าวิเคราะห์จากตัวอย่างดินที่ไม่ถูกรบกวนโครงสร้าง (core sampling) พบว่า ดินทรายจะมีค่าความพรุนรวมของดินอยู่ในช่วง 32-47 % และดินที่มีเนื้อละเอียดกว่า (finer-textured soils) จะมีค่าความพรุนรวมของดินอยู่ในช่วง 42-62 % (McCarty *et al.*, 2016)

$$\text{สูตรคำนวณ Total Soil Porosity } (f_t) = \left(1 - \frac{\text{Bulk Density } (\rho_b)}{\text{Particle Density } (\rho_s)}\right) \times 100 \quad (2)$$

4) การนำน้ำของดินในสภาพที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (hydraulic conductivity of saturated soil) (สุนทรี, 2536; Reynolds, 1993) การวิเคราะห์การนำน้ำของดินในสภาพที่ดินอิ่มตัวด้วยน้ำ (K_{sat}) (cm h^{-1}) คือ การวัดสัดส่วนความสัมพันธ์ของอัตราการไหลของน้ำผ่านดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ การไหลของน้ำนี้เกิดจากทั้งการแทรกซึมผ่านผิวดิน (infiltration) และการซาบซึมน้ำในดิน (percolation) ซึ่งการวัดค่า K_{sat} สามารถทำในห้องปฏิบัติการได้โดยใช้ตัวอย่างดินที่เก็บแบบไม่รบกวนโครงสร้างด้วยกระบอกเก็บตัวอย่าง การคำนวณ K_{sat} สามารถคำนวณโดยสมการดาร์ซี (Darcy's equation) สมการที่ (3)

$$\text{สูตรคำนวณ } K_{\text{sat}} = \frac{Q}{AT} \times \frac{L}{dH} \quad (3)$$

เมื่อ Q = ปริมาณน้ำที่ไหลผ่าน soil core (cm³)
 A = พื้นที่หน้าตัด soil core (cm²)
 T = เวลาที่น้ำไหลผ่าน soil core (sec)
 L = ความยาวของ soil core (cm)
 dH = ความสูงของน้ำใน soil core (ความสูงของ soil core) + ความสูงของน้ำเหนือ soil core (cm)

5) ปริมาณความชื้นในดินที่เป็นประโยชน์ (available water capacity) คำนวณจากค่าปริมาณความจุความชื้นสนาม (field capacity), และความชื้นที่จุดเหี่ยวถาวร (permanent wilting point)

ปริมาณของน้ำที่เป็นประโยชน์ในดินขึ้นอยู่กับชนิดของดิน ดินที่มีเนื้อดินเหนียวมากกว่าจะสามารถอุ้มน้ำส่วนนี้ไว้ได้มากกว่า เช่น ดินร่วนปนเหนียว จะมีน้ำที่เป็นประโยชน์อยู่ประมาณ 20 % by weight เปรียบเทียบกับดินทรายละเอียดจะมีอยู่เพียงประมาณ 7 % by weight เท่านั้น หรือถ้าจะคิดคำนวณเป็นปริมาณน้ำในดินดังกล่าวในรูปของปริมาตรแล้ว สำหรับดินร่วนปนเหนียวและดินทรายละเอียดจะได้ประมาณ 17 และ 8 เซนติเมตรต่อความลึกของดิน 1 เมตร ตามลำดับ ศักยภาพของน้ำในดิน (ψ_{soil}) ขึ้นอยู่กับพลังงานก่อกับกอนดิน (ψ_m) และพลังงานก่อกับตัวละลาย (ψ_s) เป็นประการสำคัญ และค่าศักยภาพของน้ำในดินนี้สัมพันธ์กับเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่ FC และ PWP ดังนี้ คือ ที่จุด FC จะมีค่า ψ_{soil} ประมาณ -0.1 ถึง -0.3 bars และที่จุด PWP จะมีค่า ψ_{soil} ประมาณ -15 ถึง -20 bars แต่โดยทั่วไปจะยอมรับกันว่า -15 bars น้ำที่จุด PWP มีความสำคัญต่อพืชน้อยมาก เพราะฉะนั้นน้ำที่เป็นประโยชน์ต่อพืชประมาณร้อยละ 70 จะอยู่ระหว่าง FC และ -5 bars (เฉลิมพล, 2535)

จุดพิกัดบนของความเป็นประโยชน์ของน้ำในดิน (θ_{UL}) เดิมใช้คำว่า “ความชื้นที่ความจุสนาม” (FC) ซึ่งหมายถึงความชื้นที่เหลือในดินหลังจากให้น้ำแก่ดินจนเปียกแล้วปล่อยให้มีการระบายน้ำออกจากดิน จนการระบายน้ำนั้นช้ามากหรือแทบจะหยุด โดยทั่วไปเป็นเวลา 2-3 วัน หลังจากให้น้ำ ฉะนั้นค่าความชื้นที่ความจุสนามจึงเป็นค่าโดยประมาณจะกำหนดค่าแน่นอนเชิงปริมาณไม่ได้ ทั้งนี้ขึ้นกับชนิดดินและสภาพขอบเขตบนและขอบเขตล่างของดิน ในระยะแรกพบว่าเป็นค่าความชื้นที่ประมาณ -0.33×10^5 Pa แต่ในระยะหลังได้พยายามยกเลิกการใช้คำจำกัดความของคำว่า ความชื้นที่ความจุสนาม, ความชื้นที่ 1/3 บรรยากาศ, และความชื้นสมมุติ เพื่อลดความเข้าใจผิดว่าหมายถึงความชื้นที่จุดใดแน่ และผลการศึกษาดินในเขตร้อนพบว่าที่เรียกว่าความชื้นที่ความจุสนามนั้น ส่วนใหญ่มีค่าพลังงานก่อกับกอน

ดินที่ -0.1 ถึง -0.2×10^5 Pa แทนที่จะเป็น -0.33×10^5 Pa ดังนั้นเพื่อลดความสับสนจะต้องกำหนดว่าความชื้นที่จุดพิกัดบนนั้นผู้ศึกษาหมายถึงความชื้นที่ค่าพลังงานเท่าใด (สุนทร, 2536)

ค่าความชื้นที่จุดพิกัดล่าง (θ_{LL}) มักเรียกว่า “จุดเหี่ยวถาวร” (permanent wilting point, PWP) ซึ่งได้แก่ความชื้นของดินในบริเวณรากพืชที่หนาแน่นขณะที่พืชแสดงอาการเหี่ยวถาวร เป็นความชื้นขณะที่พืชได้น้ำจากดินไม่ทันกับอัตราที่พืชสูญเสียน้ำโดยกระบวนการคายน้ำ และมักกำหนดว่าเป็นความชื้นของดินที่พลังงานเท่ากับก่อนดินมีค่า -15×10^5 Pa ซึ่งการกำหนดจุดเหี่ยวถาวรเป็นค่าความชื้นที่พลังงานค่าหนึ่งนี้มีความเห็นคัดค้านมาก เพราะความจริงแล้วที่พลังงาน -15×10^5 Pa นั้นมิใช่ว่าพืชทุกชนิดจะเหี่ยวหมด ยังมีปัจจัยอื่นเกี่ยวข้องด้วย แต่การกำหนดค่าความชื้นที่จุดพิกัดล่างเป็นการกำหนดจากคุณสมบัติของดินอย่างเดียวซึ่งจะถูกต้องกว่า ดังนั้น จึงกำหนดให้ความชื้นที่พลังงานเท่ากับก่อนดินที่ -15×10^5 Pa เป็นจุดพิกัดล่างของความเป็นประโยชน์ของน้ำในดิน

การคำนวณค่าความจุน้ำที่เป็นประโยชน์ต่อพืชของดิน (θ_{AWC}) สามารถคำนวณได้ดังสมการสมการที่ (4)

$$\text{สูตรคำนวณ } \theta_{AWC} = \theta_{UL} - \theta_{LL} \text{ (หรือ } \theta_{AWC} = \theta_{FC} - \theta_{PWP}) \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ } \theta_{AWC} &= \text{ความจุน้ำที่เป็นประโยชน์ต่อพืช} \\ \theta_{UL} &= \text{สัดส่วนน้ำเชิงปริมาตรที่พิกัดบน} \\ \theta_{LL} &= \text{สัดส่วนน้ำเชิงปริมาตรที่พิกัดล่าง} \end{aligned}$$

6) ค่าความแข็งของดิน (soil strength) การต้านทานการแตกหักของดินหรือแรงเฉือนของดิน ซึ่งในทางการเกษตร หมายถึงการต้านทานการแทงทะลุของรากพืชในดินซึ่งค่าความแข็งของดินจะเป็นข้อจำกัดการแทงทะลุของรากพืชและมีค่าผันแปรไปตามความชื้นของดิน หน่วยของความแข็งของดินโดยทั่วไปคือ kilopascals (KPa) หรือ megapascals (MPa) ใช้ตัวอย่างแบบไม่ถูกรบกวนโครงสร้าง แบบ clod sample และวัดค่าโดยใช้เครื่องมือวงแหวนวัดแรง (Proving ring) โดยการ load cell (Northey and Schafer, 1974)

การใช้วงแหวนวัดแรง เป็นการใช้งานที่ต้องการความละเอียดของงานสูง และมีความแม่นยำถูกต้องมากที่สุด สำหรับงานในห้องปฏิบัติการปฐพีกลศาสตร์ มักเป็นงานที่ต้องการความละเอียดสูงแรงที่อ่านจากการทดสอบมีค่าไม่สูงมาก เพราะทดสอบกับดินเหนียว ลูกรีง หรือหินคลุก โดยเฉพาะการทดสอบ strength of soil การเลือกใช่วงแหวนจึงต้องใช้ให้เหมาะสมกับชนิดของงานที่ทดสอบ หลักการทำงานโดยทั่วไปก็นำเอาวงแหวนวัดแรงวางไว้ด้านบนหรือด้านล่างของตัวอย่างทดสอบ ถ้าเป็นการวางด้านบนมักจะติดกับโครงเหล็ก หรือเครื่องทดสอบ เช่น เครื่องทดสอบ Universal Testing Machine ซึ่งจะมีตัวยึดวงแหวนอยู่ด้านบน ทำให้ไม่มีแรงหรือน้ำหนักของวงแหวนกดลงบนตัวอย่าง ถ้าไม่มีตัวยึดบนเครื่อง

ทดสอบก็อาจวางบนแท่นที่เครื่องทดสอบแทน แล้วนำตัวอย่างมาวางบนวงแหวนวัดแรงอีกทีหนึ่ง จากนั้นก็กดกับโครงหลักของเครื่องทดสอบ วิธีนี้ควรนำแผ่นหลัก (plate) วางบนวงแหวนทดสอบก่อนนำตัวอย่างมาวาง เพราะพื้นที่ที่จะวางบนวงแหวนวัดแรงมักจะมีน้อย

เมื่อวางวงแหวนวัดแรงและตัวอย่างซ้อนกันก็หมุนเครื่องทดสอบให้เคลื่อนที่ขึ้น เพื่ออัดตัวอย่างกับวงแหวนทดสอบ (loading) กรณีเป็น manual ถ้าเป็นเครื่องมือหรือไฟฟ้าก็สามารถเปิดเครื่องให้เคลื่อนที่ขึ้นเพื่ออัดตัวอย่างได้ การที่เครื่องทดสอบเคลื่อนที่ขึ้นจะเกิดแรงอัด วงแหวนจะเคลื่อนที่สามารถวัดแรงที่กระทำได้โดยอ่านค่า dial gauge เช่น ค่าที่อ่านได้จาก dial gauge = 10 ซีด หรือ 10 Division ค่าที่ได้จะแสดงเป็นจำนวนซีดหรือ Division เราจะไม่ทราบค่าแรงได้เลย หากเราไม่มีค่าคงที่ (K) หรือค่าปรับแก้ ค่าคงที่นี้เราจะได้อีกกับวงแหวนวัดแรง ซึ่งผู้ผลิตจะต้องแนบมาด้วยเสมอเพื่อจะได้ทราบว่าค่าคงที่ หรือค่าปรับแก้ พร้อมกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับการยุบตัวมีค่าเท่าไร

ตัวอย่าง

$$\begin{aligned}\text{ค่าที่อ่านได้จากวงแหวนวัดแรง} &= 10 \text{ ซีด} \\ \text{ค่าคงที่ (constant)} &= 0.750 \text{ กก./ซีด} \\ \text{แรงที่กระทำ} &= 10 \times 0.750 \\ &= 7.50 \text{ กก.}\end{aligned}$$

การสอบเทียบเป็นการตรวจสอบว่าเครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่ใช้ยังมีความถูกต้องแม่นยำดีหรือเกิดการเปลี่ยนแปลงไปในทางใด การสอบเทียบเป็นสิ่งที่ดีสำหรับเครื่องมืออุปกรณ์ที่กระทำได้ ไม่แต่เฉพาะวงแหวนวัดแรงเท่านั้น เครื่องมืออื่น ๆ ก็ควรได้รับการสอบเทียบอยู่เสมอ เพราะค่าที่ได้จากวงแหวนวัดแรง เราจะนำไปใช้หลายอย่าง ถ้าหากเกิดการผิดพลาด การทดสอบอื่นๆ ก็จะมีผิดพลาดไปด้วย การทดสอบจึงเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการทดสอบในห้องปฏิบัติการ ก่อนการทดสอบเราจะต้องทราบค่าวงแหวนที่เราต้องการตรวจสอบ หรือสอบเทียบมีค่ากำลังสูงสุดเท่าไรเพื่อที่จะพิจารณาเลือกวงแหวนที่มีค่ามาตรฐานที่ใกล้เคียงกันแล้ว เราก็จะต้องกำหนดให้วงแหวนที่ต้องการสอบเทียบ และวงแหวนมาตรฐานสามารถทดสอบได้กี่ซีด (division) เพื่อจะได้ไม่เกินกว่าค่ากำลังสูงสุดที่วงแหวนจะรับได้ หรือไม่เกิน capacity ที่วงแหวนจะรับได้ ทั้งนี้ก็ไม่ควรต่ำเกินไป โดยปกติเรามักทดสอบค่าสอบเทียบกับวงแหวนวัดแรงที่ 80-90%

ตัวอย่างการคำนวณ

จากการสอบเทียบเราสามารถหาค่าแรงที่กระทำจากวงแหวน B ซึ่งรู้ค่ามาตรฐานแล้ว เช่น วงแหวน B มีค่าคงที่หรือค่า K = 4.365 กิโลกรัมต่อซีด ดังนั้นแรงที่เกิดขึ้นจริง สามารถหาได้จาก

$$\begin{aligned}\text{แรงที่กระทำ} &= \text{ซีด (Division)} \times K \\ &= 41 \times 4.365 = 178.97 \text{ กิโลกรัม}\end{aligned}$$

$$= 42 \times 4.365 = 183.33$$

$$= 43 \times 4.365 = 187.70$$

ค่าเฉลี่ย = 183.33 กิโลกรัม

ดังนั้นเมื่อแรงกระทำกับวงแหวน A มีค่ายุบตัว 100 ซีด (Division) เราสามารถบอกได้ว่าแรงที่กระทำนั้นมีค่าเท่ากับ 183.33 กิโลกรัม

ในกรณีที่วงแหวนวัดแรงค่ามาตรฐานไม่ได้บอกค่า K แต่อาจจะบอกเป็นค่าสมการ เช่น

$$y = 4.015X + 15.18 \quad (5)$$

เมื่อ y = แรงที่กระทำ (Actual Load in Kilograms)

X = Gauge Reading in division หรือค่า Division ที่อ่านได้จากวงแหวน (วงแหวนที่ต้องการสอบเทียบ)

เราสามารถคำนวณแรงที่กระทำได้ ดังนี้

$$y = 4.015X + 15.18 \text{ กิโลกรัม} \quad (6)$$

$$y = (4.015 \times 42) + 15.18 \quad (7)$$

$$= 183.81 \text{ กิโลกรัม}$$

จะเห็นได้ว่าค่า K กับสมการของวงแหวนมาตรฐานมักจะมีค่าใกล้เคียงกันจะต่างกันเล็กน้อย เนื่องจากค่า K คือแรงที่กระทำหารด้วยค่าที่อ่านจากวงแหวน (kg/Div) ค่า K ในการทดสอบจึงมีหลายค่า แต่จะเลือกเอาค่าเฉลี่ยมาใช้ ส่วนสมการเป็นสมการเส้นตรงที่เฉลี่ยแล้ว ดังนั้นค่าอาจใกล้เคียงกันแต่ค่า K บางครั้งจะแตกต่างกันมากในวงแหวนตัวเดียวกัน ดังนั้นเพื่อเป็นการเฉลี่ยให้ถูกต้องอาจเลือกใช้สมการเส้นตรงก็ได้ ค่าความสัมพันธ์ของการยุบตัวของวงแหวนจะสัมพันธ์กับแรงที่กระทำเสมอ ดังนั้นเราสามารถสรุปความสัมพันธ์ของการยุบตัว (ซิดหรือ division) กับแรงที่กระทำได้ และสามารถหาค่าคงที่ K (constant) ของวงแหวนวัดแรงที่เราสอบเทียบได้ หรืออาจจะหาในรูปแบบของสมการได้เช่นกัน

การวิเคราะห์สมบัติดินทางเคมีในห้องปฏิบัติการ

- 1) การวิเคราะห์ พีเอชดิน (soil reaction, pH) โดยใช้เครื่องมือวัดพีเอชดิน (pH meter) อัตราส่วนดินต่อน้ำเท่ากับ 1:1 (National Soil Survey Center, 1995)
- 2) ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน (organic matter content) โดยวิธี Walkley-Black (Nelson and Sommers, 1996)
- 3) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available phosphorus) โดยวิธี Bray II (Bray and Kurtz, 1945)

4) ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (available potassium) โดยใช้ 1M NH_4OAc ที่เป็นกลาง (pH 7.0) (Thomas, 1987a)

5) ปริมาณต่างรวมที่สกัดได้ (extractable bases) ซึ่งประกอบด้วย แคลเซียม แมกนีเซียม โซเดียม และโพแทสเซียม โดยสกัดด้วยสารละลาย 1M NH_4OAc ที่เป็นกลาง (pH 7.0) (Thomas, 1987a)

6) สภาพกรดที่สกัดได้ (exchangeable acidity) โดยวิธี barium Chloride-triethanolamine solution pH 8.2 (Thomas, 1987b)

7) ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (cation exchange capacity) โดยใช้การชะล้าง ไอออนบวกด้วยสารละลาย 1M NH_4OAc ที่เป็นกลาง (pH 7.0) และแทนที่ไอออนบวกของแอมโมเนียม ไอออนด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (10%) ในสภาพที่เป็นกรด กลั่นหาแอมโมเนียมไอออนแล้วคำนวณหา ค่าความจุแลกเปลี่ยนไอออนบวกของดิน (National Soil Survey Center, 1995)

3. การกำหนดรูปแบบการทดสอบทางสถิติ

วิธีทางสถิติที่นำกระบวนการที่ใช้หลักฐานจากตัวอย่างและทฤษฎีความน่าจะเป็น เข้ามาช่วยในการ ตัดสินใจเกี่ยวกับประชากรที่ต้องการศึกษาและมีข้อสงสัยบางประการอยู่ก่อนหน้าแล้วว่าข้อสมมติฐานนั้นมี เหตุผลพอจะเชื่อถือหรือไม่ คือ การทดสอบสมมติฐานหรือการทดสอบความมีนัยสำคัญ (test of significance)

สมมติฐานทางสถิติ (statistical hypothesis) คือ ข้อสมมติเกี่ยวกับลักษณะที่สนใจในประชากร ซึ่งอาจเป็นจริงหรือไม่เป็นจริงก็ได้ การตั้งสมมติฐานจะตั้ง 2 สมมติฐานคู่กัน คือ สมมติฐานว่าง (null hypothesis, H_0) และสมมติฐานทางเลือก (alternative hypothesis, H_1) เมื่อ H_0 เป็นสมมติฐานที่อ้างว่า ค่าพารามิเตอร์ของประชากรกลุ่มต่างๆ ไม่แตกต่างกัน โดยทั่วไปผู้วิเคราะห์ต้องการพิสูจน์ว่า H_0 ไม่เป็นจริง ($H_0 \neq H_1$) และ H_1 เป็นสมมติฐานที่กล่าวถึงพารามิเตอร์ว่ามีค่าแตกต่างจากค่าที่กำหนดไว้ใน H_0 ซึ่งโอกาสที่จะเกิดความผิดพลาดในการตัดสินใจไม่เชื่อสมมติฐาน H_0 กำหนดโดยระดับนัยสำคัญของการทดสอบ (level of significance, α) โดยทั่วไปนิยมใช้ระดับนัยสำคัญ 3 ระดับ คือ ระดับ .01 นิยมใช้ในเรื่องที่ เกี่ยวกับการประกันคุณภาพ (มีโอกาสเพียง 1 ใน 100 ที่ H_0 จะเป็นจริง), ระดับ .05 นิยมใช้ในโครงการวิจัย เกี่ยวกับผู้บริโภค (มีโอกาสเพียง 5 ใน 100 ที่ H_0 จะเป็นจริง), และระดับ .10 นิยมใช้ในการทำโพล (มี โอกาสเพียง 10 ใน 100 ที่ H_0 จะเป็นจริง) ทั้งนี้ การกำหนดระดับนัยสำคัญของการทดสอบ ผู้ศึกษาจะเป็น ผู้กำหนดว่าควรเป็นเท่าใด (สมจิต, 2548) สถิติที่ใช้ทดสอบในการศึกษานี้ ได้แก่

1) การทดสอบของ Kruskal-wallis (อุมพร, 2542) ใช้ทดสอบประชากร k กลุ่มมีค่ามัธยฐาน เท่ากันหรือไม่โดยมีวิธีการที่สำคัญคือ ค่าคาดหวังของลำดับที่ของข้อมูลตัวอย่างแต่ละกลุ่มควรมีค่า พอดีกัน ข้อมูลที่นำมาทดสอบประกอบด้วยข้อมูลจากตัวอย่างสุ่ม k ชุด แต่ละชุดอาจมีขนาดตัวอย่าง

แตกต่างกัน ข้อมูลที่จะใช้วิเคราะห์ต้องมีมาตราวัดอย่างน้อยเป็นแบบเรียงลำดับ (ordinal scale) และมีการแจกแจงแบบต่อเนื่อง

การทดสอบประชากร k กลุ่มที่เป็นอิสระกัน มีวิธีการสำคัญคือ ค่าคาดหวังของลำดับที่ของข้อมูลตัวอย่างแต่ละกลุ่ม ถ้าประชากรทั้ง k กลุ่มมีค่ากลางไม่ต่างกันควรมีค่าพอๆ กัน ข้อมูลที่นำมาทดสอบประกอบด้วยข้อมูลจากตัวอย่างสุ่ม k ชุด แต่ละชุดอาจมีขนาดตัวอย่างแตกต่างกัน

สมมติฐาน H_0 : ค่ามัธยฐานของประชากร k กลุ่มไม่แตกต่างกัน H_1 : ค่ามัธยฐานของประชากรอย่างน้อย 1 คู่แตกต่างกัน วิธีการสรุปขั้นตอนได้ดังนี้

(1) จัดลำดับของข้อมูลทั้งหมดรวมกันจากน้อยไปหามาก โดยให้คะแนนต่ำสุดมีลำดับที่ 1 และคะแนนสูงสุดเป็นลำดับที่ n เมื่อ n เป็นจำนวนข้อมูลทั้งหมด

(2) หาผลรวมของลำดับที่อยู่ในข้อมูลแต่ละชุด คือ $R_i, i = 1, 2, \dots, k$

(3) คำนวณค่าสถิติ
$$H = \left[\frac{12}{n(n+1)} \sum_i^k R_i^2 - 3 \frac{n+1}{2} \right] \quad (8)$$

เมื่อ $k =$ จำนวนประชากรที่เป็นอิสระต่อกัน

$R_i =$ ผลรวมของลำดับที่อยู่ในตัวอย่างที่ $i, j = 1, \dots, k$

$n_i =$ ขนาดตัวอย่างชุดที่ $i, i = 1, \dots, k$

$$n = \sum_i^k n_i$$

ถ้า H_0 เป็นจริง H จะมีการแจกแจงประมาณได้ด้วย χ^2 ที่ d.f. = $k - 1$ ถ้า n_i มีค่าใหญ่พอสมควร การหาอาณาเขตวิกฤตและการสรุปผล สามารถแยกได้ตามขนาดตัวอย่าง คือ

เมื่อ $n_i > 5$ การแจกแจงของค่าสถิติ H ประมาณได้ด้วย χ^2 ที่ d.f. = $k - 1$ เมื่อกำหนด รัดับนัยสำคัญ = α หาอาณาเขตวิกฤตจากตาราง χ^2 d.f. = $k - 1$ จะปฏิเสธ H_0 เมื่อค่าของ H มากกว่าหรือเท่ากับ χ^2 จากตาราง

เมื่อ $k = 3$ และ $n_i \leq 5$ ในแต่ละ k ใช้ตารางที่ kruskal สร้างไว้โดยแสดงค่าวิกฤตของ H พร้อมทั้งความน่าจะเป็นที่จะเกิดค่า H นั้นๆ ตารางของ kruskal คือตารางที่ 16 จะสามารถ เปรียบเทียบค่า H หรือ p-value ได้ คือ จะปฏิเสธ H_0 เมื่อค่า H จากตัวอย่างมากกว่าหรือเท่ากับ H จากตารางที่ระดับนัยสำคัญ α

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย เมื่อใช้การทดสอบของครัสคาลและวอลลิส แล้วพบว่า ปฏิเสธ H_0 แสดงว่ามีทรีทเมนต์อย่างน้อย 1 คู่ มีประสิทธิภาพต่างกัน เราสามารถเปรียบเทียบเป็นคู่ๆ ได้ ด้วยวิธีการของการเปรียบเทียบ ค่าเฉลี่ยต่อไปนี้

(1) เปรียบเทียบทรีทเมนต์ทุกคู่ เมื่อต้องการเปรียบเทียบทรีทเมนต์ที่ i และ j ว่าต่างกันหรือไม่

ให้ $\overline{Ri}$ = ค่าเฉลี่ยของลำดับที่จากทรีทเมนต์ที่ i

$\overline{Rj}$ = ค่าเฉลี่ยของลำดับที่จากทรีทเมนต์ที่ j

ที่ระดับนัยสำคัญ = α

$$\text{ค่าวิกฤต} = Z \sqrt{\frac{n(n+1)}{12} \left[\frac{1}{n_i} + \frac{1}{n_j} \right]} \quad (9)$$

เมื่อ n = ผลรวมของขนาดตัวอย่าง k กลุ่ม

$$= n_1 + n_2 + \dots + n_k$$

$$Z = \text{คะแนนมาตรฐานที่มีพื้นที่ปลายหางด้านขวา} = \frac{\alpha}{k(k-1)}$$

หาค่า $|Ri - Rj|$ แล้วเทียบกับค่าวิกฤต ถ้าค่า $|Ri - Rj| \leq$ ค่าวิกฤต แสดงว่าคู่นี้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญ α การเปรียบเทียบเช่นนี้ สามารถทำได้ทุกคู่ที่เป็นไปได้ คือ kC_2 คู่

หมายเหตุ 1. ถ้าทั้ง k ตัวอย่างมีขนาดตัวอย่างเท่ากัน ($n_1 = n_2 = \dots = n_k$) ค่าวิกฤตจะคือค่า

$$Z \sqrt{\frac{k(n+1)}{6}}$$

(2) การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยมักกำหนดค่าระดับนัยสำคัญ α ให้มีค่าใหญ่กว่าปกติเพื่อให้คลุมทุกคู่ที่เปรียบเทียบ ดังนั้นค่า α ที่จะกำหนดจึงขึ้นอยู่กัค่า k คือถ้าค่า k มีค่าใหญ่จะกำหนดค่า α ให้มีค่าใหญ่ขึ้นเพราะต้องเปรียบเทียบจำนวนคู่ที่มากขึ้น kC_2 คู่ และมักกำหนดค่า = 0.15 0.20 หรือ 0.25 ขึ้นอยู่กับค่า k ว่าใหญ่แค่ไหน

เปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม บางกรณีผู้วิจัยอยากเปรียบเทียบทรีทเมนต์อื่นๆ กับสิ่งที่ใช้ประจำ หรือเป็นฐานในการ เปรียบเทียบซึ่งนิยมเรียกว่าเป็นกลุ่มควบคุม Control ในกรณีนี้จะมีจำนวนคู่ที่ทำการเปรียบเทียบ เพียง k-1 คู่ การหาค่าวิกฤตยังคงเหมือนเดิมแต่ค่า Z จะคือค่า $Z \frac{\alpha}{2p}$ เมื่อ P = จำนวนคู่ที่ต้องการ เปรียบเทียบ

2) การทดสอบการเปรียบเทียบเชิงซ้อน (multiple comparison) ใช้วิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) (สมจิต, 2548; นิภาพร, 2552) ใช้กับกลุ่มตัวอย่างที่มีขนาดเท่ากัน เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยทีละคู่ ภายใต้ความแปรปรวนที่เท่ากัน วิธีนี้นิยมใช้ในรายงานวิจัยทางด้านการแพทย์และทางด้านวิทยาศาสตร์ มีหลักการเดียวกับวิธี Student-Newman-Keuls (SNK) แต่การคำนวณค่าสถิติทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยวิธี Duncan (D) จะคำนวณโดยใช้ค่าวิกฤตที่เปิดตารางจาก Duncan's New Multiple Range Test แทน และทำการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของประชากรคู่ใดๆ

กับค่า D ถ้าค่าเฉลี่ยมากกว่าค่า D แสดงว่าค่าเฉลี่ยของประชากรคู่หนึ่งๆแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับนัยสำคัญ α

3) การวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณ (multiple linear regression) โดยใช้วิธี stepwise เป็นวิธีการคัดเลือกตัวแปรอิสระเข้าสู่สมการโดยจะนำตัวแปรอิสระที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามมากที่สุดเข้าเป็นสมการแรกและทดสอบความมีนัยสำคัญทางสถิติ ถ้าพบว่าไม่มีนัยสำคัญทางสถิติก็จะถือว่าสิ้นสุดการคัดเลือก แต่ถ้าพบว่ามีนัยสำคัญทางสถิติก็จะคัดเลือกตัวที่มีความสัมพันธ์อันดับถัดไปเข้าสู่สมการ และทุกครั้งที่มีการนำตัวแปรอิสระตัวใหม่เข้ามาสมการจะต้องมีการตรวจสอบว่าตัวแปรอิสระทุกตัวที่อยู่ในสมการก่อนหน้านี้ทุกตัวยังควรอยู่ในสมการหรือไม่ ถ้าไม่ควรอยู่ก็จะถูกคัดออกก่อนแล้วค่อยคัดเลือกตัวแปรอิสระที่มีความสัมพันธ์อันดับถัดไปเข้าสู่สมการ แต่ถ้าไม่มีนัยสำคัญทางสถิติก็จะถูกคัดออก การเลือกตัวแปรอิสระเข้าสู่สมการจะดำเนินการอย่างนี้ไปเรื่อยๆจนกระทั่งไม่มีตัวแปรอิสระตัวใดถูกนำเข้าหรือคัดออกจากสมการจึงถือว่าสิ้นสุดการคัดเลือก

4. จุดสำรวจดินและจุดเก็บตัวอย่างดินในจังหวัดลพบุรี สระบุรี และนครสวรรค์

ทำการสำรวจดินในภาคสนามในพื้นที่ปลูกมันสำปะหลังและคัดเลือกพื้นที่ตัวแทนในการเก็บตัวอย่างดิน จังหวัดลพบุรี สระบุรีและนครสวรรค์ จำนวน 22 จุด (ตารางที่ 1)

จังหวัดลพบุรี กำหนดจุดเก็บตัวอย่างดิน 8 จุด มีความสูงจากระดับทะเลปานกลาง 84-136 เมตร บริเวณพื้นที่ตำบลบ้านท่าเยี่ยมและตำบลบ้านใหม่ อำเภอลำสนธิ ตำบลดีลัง อำเภอพัฒนานิคม ตำบลเพนียด อำเภอโคกสำโรง

จังหวัดสระบุรี กำหนดจุดเก็บตัวอย่างดิน 8 จุด มีความสูงจากระดับทะเลปานกลาง 79-116 เมตร บริเวณพื้นที่ตำบลชะอม อำเภอแก่งคอย ตำบลกุดนกเปล้า ตำบลปากข้าวสารและตำบลหนองปลาไหล อำเภอเมือง

จังหวัดนครสวรรค์ กำหนดจุดเก็บตัวอย่างดิน 6 จุด มีความสูงจากระดับทะเลปานกลาง 79-116 เมตร บริเวณพื้นที่ตำบลเขากระลา อำเภอพยุหะคีรี และตำบลหัวถนน อำเภอท่าตะโก

ตารางที่ 1 จุดเก็บตัวอย่างดินในพื้นที่พบชั้นดานเปราะ จังหวัดลพบุรี สระบุรีและนครสวรรค์

สัญลักษณ์	จุดพิกัด	ความสูงจากระดับทะเล ปานกลาง (m)	สถานที่
จังหวัดลพบุรี			
LB-1	753158 E 1694867 N	115	ต.บ้านท่าเยียม อ.ลำสนธิ
LB-2	754168 E 1697221 N	94	ต.บ้านท่าเยียม อ.ลำสนธิ
LB-3	754258 E 1697135 N	136	ต.บ้านท่าเยียม อ.ลำสนธิ
LB-4	755420 E 1695361 N	113	ต.บ้านใหม่ อ.ลำสนธิ
LB-5	703372 E 1652352 N	94	ต.ดีลัง อ.พัฒนานิคม
LB-6	703656 E 1653073 N	96	ต.ดีลัง อ.พัฒนานิคม
LB-7	703596 E 1652962 N	84	ต.ดีลัง อ.พัฒนานิคม
LB-8	692656 E 1665102 N	89	ต.เพนียด อ.โคกสำโรง
จังหวัดสระบุรี			
SB-1	728236 E 1595654 N	104	ต.ชะอม อ.แก่งคอย
SB-2	728224 E 1595321 N	102	ต.ชะอม อ.แก่งคอย
SB-3	728200 E 1594964 N	116	ต.ชะอม อ.แก่งคอย
SB-4	728177 E 1594619 N	94	ต.ชะอม อ.แก่งคอย
SB-5	710738 E 1603440 N	92	ต.กุดนกเปล้า อ.เมือง
SB-6	710369 E 1603464 N	96	ต.ปากข้าวสาร อ.เมือง
SB-7	710037 E 1603452 N	88	ต.ปากข้าวสาร อ.เมือง
SB-8	710128 E 1601851 N	79	ต.หนองปลาไหล อ.เมือง
จังหวัดนครสวรรค์			
NS-1	648215 E 1721953 N	112	ต.เขากะลา อ.พยุหะคีรี
NS-2	647744 E 1723529 N	76	ต.เขากะลา อ.พยุหะคีรี
NS-3	647330 E 1723529 N	77	ต.เขากะลา อ.พยุหะคีรี
NS-4	647330 E 1723781 N	157	ต.เขากะลา อ.พยุหะคีรี
NS-5	648744 E 1722522 N	117	ต.หัวถนน อ.ท่าตะโก
NS-6	648589 E 1723570 N	72	ต.หัวถนน อ.ท่าตะโก

สภาพพื้นที่ทั่วไปของพื้นที่ศึกษา

สภาพพื้นที่ของจังหวัดลพบุรี (สำนักสำรวจดินและวางแผนการใช้ที่ดิน, 2551)

จังหวัดลพบุรีตั้งอยู่ในภาคกลางของประเทศไทย มีพื้นที่ 6,199.782 ตารางกิโลเมตร หรือ 3,874,864 ไร่ อยู่ระหว่างพิกัด UTM ระบบ WGS1984 Zone 47 N แนวแกน X ที่ 652670E ถึง 758070E และแนวแกน Y ที่ 1619822N ถึง 1742725N มีอาณาเขตติดต่อกับจังหวัดใกล้เคียง ดังนี้

ทิศเหนือ	ติดต่อกับ	จังหวัดนครสวรรค์ และจังหวัดเพชรบูรณ์
ทิศใต้	ติดต่อกับ	จังหวัดพระนครศรีอยุธยา และจังหวัดสระบุรี
ทิศตะวันออก	ติดต่อกับ	จังหวัดชัยภูมิ จังหวัดนครราชสีมา และจังหวัดสระบุรี
ทิศตะวันตก	ติดต่อกับ	จังหวัดสิงห์บุรี และจังหวัดนครสวรรค์

จังหวัดลพบุรี มีลักษณะภูมิประเทศ แบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ คือที่ราบลุ่ม มีเนื้อที่ 1,170 ตารางกิโลเมตร เป็นพื้นที่ของอำเภอรำไพบุรีทั้งหมด ตอนกลางและตะวันตกของอำเภอเมืองลพบุรี ตอนกลางและตะวันตกเฉียงใต้ของอำเภอโคกสำโรง และส่วนใหญ่ของอำเภอบ้านหมี่ พื้นที่ราบตอนกลางของอำเภอเมืองลพบุรีและที่ราบสลับเนินเขาและภูเขา มีเนื้อที่ 4,816.67 ตารางกิโลเมตร ครอบคลุมพื้นที่ด้านตะวันออกของอำเภอเมืองลพบุรี ทิศตะวันตกเฉียงเหนือของอำเภอบ้านหมี่บางส่วน ทิศตะวันตกเฉียงเหนือและทิศตะวันออกของอำเภอโคกสำโรงและอำเภอลำหลาว มีแม่น้ำสำคัญไหลผ่าน คือ แม่น้ำป่าสักโดยมีการสร้างเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์เพื่อกักเก็บน้ำ และเป็นสถานที่พักผ่อนหย่อนใจสำหรับชาวจังหวัดลพบุรี และจังหวัดใกล้เคียง รวมทั้งยังมีแม่น้ำลพบุรีผ่านทางฝั่งตะวันตกของจังหวัดด้วย รวมทั้งมีระบบคลองชลประทานที่เป็นประโยชน์ในทางเกษตรกรรมอีกด้วย

จากสถิติภูมิอากาศของจังหวัดลพบุรี พบว่าบริเวณจังหวัดลพบุรี จัดอยู่ในลักษณะภูมิอากาศแบบฝนเมืองร้อนเฉพาะฤดู (Aw : Tropical Savannah Climate) ภูมิอากาศแบบนี้จะมีอุณหภูมิสูงตลอดปี มีฝนตกชุกเป็นบางระยะและมีฤดูร้อนที่เด่นชัด เดือนที่หนาวที่สุดในรอบปี จะมีอุณหภูมิสูงกว่า 18 องศาเซลเซียส และเดือนที่แล้งที่สุดจะมีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยน้อยกว่า 60.9 มิลลิเมตร โดยที่น้ำฝนเฉลี่ยตลอดปีน้อยกว่า 2,540 มิลลิเมตร

จังหวัดลพบุรีตั้งอยู่ในเขตศูนย์สูตร ลักษณะของภูมิอากาศจะขึ้นอยู่กับลมมรสุมประจำฤดู ซึ่งมีอยู่ 2 ประเภท คือ ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ และลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ฤดูฝนจะได้รับอิทธิพลจากมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ โดยเริ่มจากเดือนพฤษภาคมไปจนถึงเดือนตุลาคม รวมระยะเวลาประมาณ 6 เดือน ปริมาณน้ำฝนในช่วงนี้จะมีประมาณ 85 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณน้ำฝนตลอดปี ลมมรสุมนี้พัดผ่านทะเลอันดามันนำเอาความชุ่มชื้นเข้ามาสู่ประเทศไทย ส่วนลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือจะเริ่มพัดเข้ามาตั้งแต่เดือนพฤศจิกายนไปจนถึงเดือนกุมภาพันธ์ ลมมรสุมนี้พัดมาจากประเทศจีนนำเอาความแห้งแล้งเข้ามาสู่ประเทศไทย และในช่วงกลางเดือนพฤศจิกายนไปจนถึงต้นเดือนกุมภาพันธ์ นอกจากอากาศจะแห้งแล้งแล้วยังมี

ความหนาวเย็นด้วยในช่วงนี้นับว่าเป็นฤดูหนาว ส่วนฤดูร้อนจะเริ่มตั้งแต่กลางเดือนกุมภาพันธ์ไปจนถึงสิ้นสุดเดือนเมษายน มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยตลอดปี 1,123 มิลลิเมตร เดือนที่ฝนตกมากที่สุด คือ เดือนกันยายนซึ่งมีปริมาณน้ำฝน 268.3 มิลลิเมตร ทั้งนี้เพราะอยู่ในช่วงที่ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้อย่างเต็มที่ เดือนที่แล้งที่สุดคือเดือนธันวาคม ซึ่งมีปริมาณน้ำฝนเพียง 4.5 มิลลิเมตร อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดปี 28.3 องศาเซลเซียส ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างเดือนที่ร้อนที่สุด และเดือนที่หนาวที่สุดมีเพียงเล็กน้อย คือ แตกต่างกันเพียง 5.9 องศาเซลเซียส โดยที่ร้อนที่สุด คือ เดือนเมษายนซึ่งมีอุณหภูมิเฉลี่ย 36.8 องศาเซลเซียส และเดือนธันวาคมมีอากาศหนาวเย็นที่สุดโดยมีอุณหภูมิเฉลี่ย 20.9 องศาเซลเซียส ลักษณะอุณหภูมิแบบนี้เป็นลักษณะของประเทศที่อยู่ในเขตร้อนความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยตลอดปี 71.5 เปอร์เซ็นต์ เดือนกันยายนมีความชื้นสัมพัทธ์สูงสุด คือ 82 เปอร์เซ็นต์ ส่วนเดือนที่มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุด คือ เดือนธันวาคมโดยมีค่าเท่ากับ 60 เปอร์เซ็นต์

ช่วงระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการเพาะปลูก คือ ประมาณกลางเดือนเมษายน ถึงปลายเดือนตุลาคม ช่วงเวลาที่ไม่เหมาะสมต่อการเพาะปลูก แบ่งเป็น

1. ช่วงเสี่ยงต่อการขาดน้ำจะมีปริมาณน้ำฝนและการกระจายน้อยหรือไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืช อยู่ในช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงกลางเดือนเมษายน
2. ช่วงน้ำมากพอ เป็นช่วงที่ปริมาณน้ำฝนตกมากอาจทำให้เกิดน้ำท่วมในช่วงกลางเดือนสิงหาคมถึงเดือนตุลาคม

ดังนั้น ช่วงฤดูปลูกพืชที่เหมาะสมในพื้นที่เขตจังหวัดลพบุรี คือระหว่าง วันที่ 12 เมษายน ถึงวันที่ 16 ตุลาคม รวมเวลา 187 วัน สำหรับช่วงเวลาในการเพาะปลูกที่เหมาะสมในเขตพื้นที่ความรับผิดชอบของสถานีบัวชุม มีความแตกต่างจากพื้นที่จังหวัดลพบุรีเพียงเล็กน้อย คือระหว่าง วันที่ 12 เมษายน ถึง วันที่ 12 ตุลาคม รวมเวลา 183 วัน

การใช้พื้นที่ในการปลูกมันสำปะหลังของจังหวัดลพบุรี

มันสำปะหลังเป็นพืชเศรษฐกิจหลักของจังหวัดลพบุรี ในลำดับที่ 3 จากฐานข้อมูลในแผนที่เกษตรเชิงรุก หรือ Agri-Map Online (กรมพัฒนาที่ดิน, 2564) ซึ่งสามารถวิเคราะห์พื้นที่ปลูกมันสำปะหลังโดยจำแนกตามชั้นความเหมาะสมของที่ดินได้ดังนี้ (ภาพที่ 1)

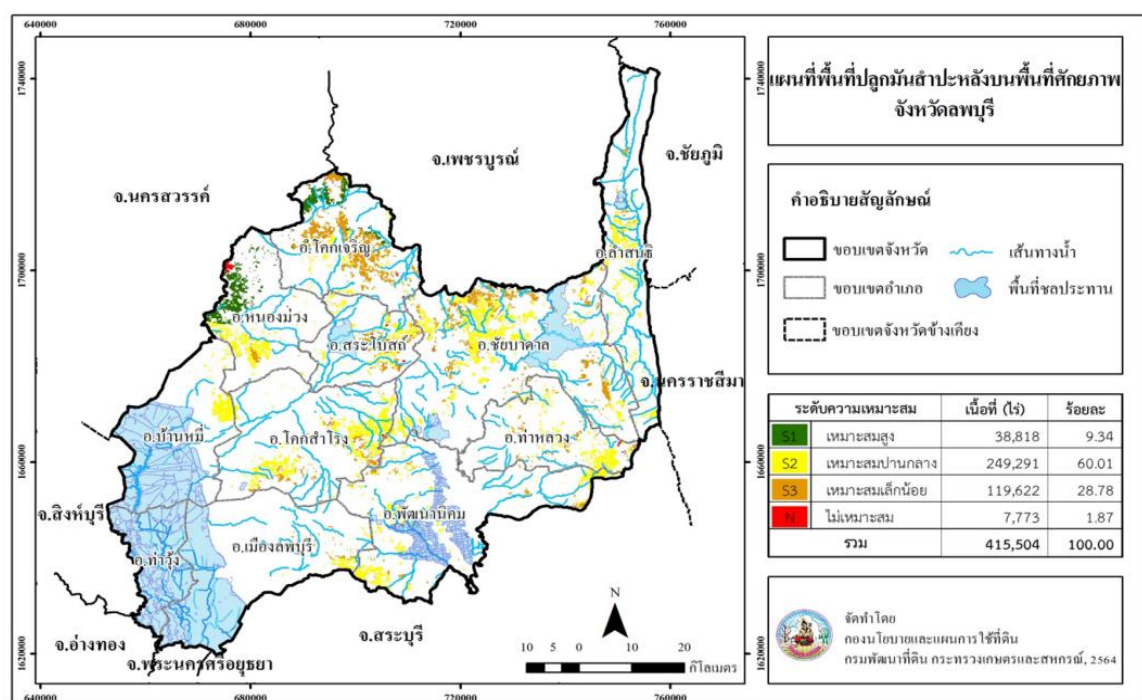
- (1) พื้นที่เหมาะสมสูง (S1) มีเนื้อที่ 38,818 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 14.10 ของพื้นที่ศักยภาพสูง กระจายตัวอยู่ในอำเภอหนองม่วง 21,391 ไร่ อำเภอโคกเจริญ 15,962 ไร่ และอำเภอพัฒนานิคม 720 ไร่

(2) พื้นที่เหมาะสมปานกลาง (S2) มีเนื้อที่ 249,291 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 15.10 ของพื้นที่ศักยภาพปานกลาง กระจายตัวอยู่ในอำเภอชัยบาดาล 64,158 ไร่ อำเภอโคกสำโรง 41,932 ไร่ และ อำเภอพัฒนานิคม 37,014 ไร่

(3) พื้นที่เหมาะสมเล็กน้อย (S3) มีเนื้อที่ 119,622 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 18.63% ของพื้นที่ศักยภาพเล็กน้อย กระจายตัวอยู่ในอำเภอโคกเจริญ 40,427 ไร่ อำเภอชัยบาดาล 38,348 ไร่ อำเภอโคกสำโรง 9,550 ไร่ และอำเภอพัฒนานิคม 8,936 ไร่

(4) พื้นที่ไม่เหมาะสม (N) มีเนื้อที่ 7,773 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.62 ของพื้นที่ศักยภาพไม่เหมาะสม

ทั้งนี้ในการส่งเสริมการปลูกพืชจะพิจารณาเฉพาะพื้นที่ที่มีศักยภาพคงเหลือในระดับความเหมาะสมสูง (S1) และระดับความเหมาะสมปานกลาง (S2) เท่านั้น เนื่องจากสภาพพื้นที่ปลูกพืชตรงตามศักยภาพของดิน การลงทุนต่ำก็สามารถเพิ่มผลผลิตได้ จึงควรส่งเสริมในพื้นที่ดังกล่าว



ที่มา: กองนโยบายและแผนการใช้ที่ดิน (2564)

ภาพที่ 1 แผนที่พื้นที่ปลูกมันสำปะหลังบนพื้นที่ศักยภาพ จังหวัดลพบุรี

สภาพพื้นที่ของจังหวัดสระบุรี (สำนักสำรวจดินและวางแผนการใช้ที่ดิน, 2553)

จังหวัดสระบุรี ตั้งอยู่ในภาคกลางของประเทศไทย ระหว่างเส้นรุ้งที่ 14 องศา 10 ลิปดา ถึง 14 องศา 50 ลิปดาเหนือ กับเส้นแวงที่ 100 องศา 30 ลิปดา ถึง 101 องศา 10 ลิปดาตะวันออก อยู่ทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือของกรุงเทพฯ ตามทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 1 (ถนนพหลโยธิน) ระยะทางประมาณ 108 กิโลเมตร และทางรถไฟสายตะวันออกเฉียงเหนือ ระยะทางประมาณ 113 กิโลเมตร จังหวัดสระบุรีมีเนื้อที่ทั้งหมด 3,576.486 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 2,235,304 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.70 ของพื้นที่ทั้งประเทศ

ทิศเหนือ	ติดต่อกับ	จังหวัดลพบุรี
ทิศใต้	ติดต่อกับ	จังหวัดพระนครศรีอยุธยา
ทิศตะวันออก	ติดต่อกับ	จังหวัดนครราชสีมา และจังหวัดนครนายก
ทิศตะวันตก	ติดต่อกับ	จังหวัดพระนครศรีอยุธยา และจังหวัดลพบุรี

สภาพภูมิประเทศทางตอนใต้และทางตะวันตกของจังหวัดเป็นที่ราบลุ่ม อยู่สูงจากระดับทะเลปานกลาง ประมาณ 2 เมตร และถัดขึ้นไปทางทิศเหนือและทิศตะวันออกเฉียงเหนือ พื้นที่มีลักษณะเกือบราบเรียบจนถึงเป็นลูกคลื่นลอนลาด อยู่สูงจากระดับทะเลปานกลาง 8-10 เมตร และจะสูงขึ้นไปจนถึงเป็นลูกคลื่นลอนชันและพื้นที่ภูเขา ทั้งนี้สามารถแบ่งสภาพภูมิประเทศของจังหวัดสระบุรีได้เป็น 2 ลักษณะใหญ่ๆ คือ พื้นที่ภูเขา ได้แก่ อำเภอแก่งคอย อำเภอมวกเหล็ก อำเภอพระพุทธบาท อำเภอวังม่วง และบางส่วนของอำเภอเมืองสระบุรี พื้นที่ส่วนมากเป็นพื้นที่ภูเขาที่มีเนินเขาลูกโดดสลับกัน มีความสูงเฉลี่ยประมาณ 100-500 เมตร จากระดับทะเลปานกลาง ในช่วงฤดูแล้งมักประสบปัญหาอากาศร้อนและแห้งแล้งที่ค่อนข้างรุนแรงในแต่ละปี โดยบริเวณนี้มีเนื้อที่ประมาณร้อยละ 40 ของเนื้อที่ทั้งจังหวัด ส่วนบริเวณด้านตะวันออกที่ติดต่อกับจังหวัดนครราชสีมาและจังหวัดนครนายก ซึ่งอยู่ในเขตพื้นที่อุทยานแห่งชาติเขาใหญ่จะเป็นบริเวณที่มีความสูงมากที่สุดของจังหวัดสระบุรี เช่น ยอดเขาอินทรีนิล และยอดเขาแก้วมีความสูงประมาณ 1,052 และ 1,017 เมตร จากระดับทะเลปานกลางตามลำดับ พื้นที่ราบลุ่ม ได้แก่ บริเวณพื้นที่ทางด้านตะวันตกของจังหวัด บางส่วนอยู่ตอนกลางและตอนใต้ของจังหวัด ได้แก่ อำเภอเมืองสระบุรี อำเภอหนองแซง อำเภอบ้านหมอ อำเภอเสาไห้ อำเภอวิหารแดง อำเภอหนองโดน อำเภอดอนพุด และบางส่วนของอำเภอหนองแค พื้นที่ส่วนนี้มีเนื้อที่ประมาณร้อยละ 60 ของเนื้อที่ทั้งจังหวัด บริเวณนี้มีลักษณะเป็นที่ราบเรียบซึ่งเกิดจากการตกตะกอนของน้ำที่พัดพามา มีความสูงจากระดับทะเลปานกลางระหว่าง 2-5 เมตร และบางส่วนพื้นที่เป็นลูกคลื่นลอนลาด มีความสูงประมาณ 8-15 เมตร จากระดับทะเลปานกลาง

ภูมิอากาศของจังหวัดสระบุรีเป็นแบบฝนเมืองร้อนเฉพาะฤดู คือ มีฝนน้อยมาก มีลมมรสุมแรงในฤดูหนาวและฤดูร้อน โดยในฤดูร้อนอากาศค่อนข้างร้อนและแห้งแล้ง มีอุณหภูมิค่อนข้างสูงจึงทำให้อากาศร้อนอบอ้าว มีอุณหภูมิสูงสุด เฉลี่ย 36-37 องศาเซลเซียส ส่วนในฤดูหนาวอากาศจะหนาวเย็นแต่ไม่หนาว

จัดมากเหมือนทางภาคเหนือของประเทศ อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย 20-21 องศาเซลเซียส เดือนเมษายนเป็นช่วงที่มีอากาศร้อนจัดที่สุด ส่วนฤดูหนาวอากาศจะหนาวที่สุดในเดือนธันวาคม ฤดูร้อนเริ่มประมาณเดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม ซึ่งในบางปีอากาศจะมีความแห้งแล้งมาก โดยในเดือนเมษายนมีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดประมาณ 36.9 องศาเซลเซียส

ฤดูฝน เริ่มประมาณปลายเดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม บางปีถ้ามีความแห้งแล้งมากและฝนทิ้งช่วงนาน ฤดูฝนก็จะเริ่มประมาณเดือนมิถุนายนส่วนมากได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ซึ่งนำความชื้นมาจากมหาสมุทรอินเดีย และฝนจากพายุดีเปรสชันหรือพายุไต้ฝุ่นหรือพายุโซนร้อนจากทะเลจีนตอนใต้ ในรอบปีมีฝนตกเฉลี่ยประมาณ 92 วัน มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยประมาณ 1,092.50 มิลลิเมตร ฤดูหนาวเริ่มประมาณเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนกุมภาพันธ์ โดยได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งพัดพาเอาความหนาวเย็นและความแห้งแล้งมาจากตอนเหนือของทวีปเอเชีย โดยเดือนธันวาคม มีอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดประมาณ 20.1 องศาเซลเซียส

ปริมาณฝนของจังหวัดสระบุรี พบว่า พื้นที่ส่วนใหญ่มีปริมาณฝนรวมตลอดปีประมาณ 1,000-1,100 มิลลิเมตร เว้นแต่บริเวณอำเภอเฉลิมพระเกียรติ ที่มีปริมาณฝนรวมตลอดปี มากกว่า 1,500 มิลลิเมตร บริเวณตอนบนของอำเภอมวกเหล็ก มีปริมาณฝนรวมตลอดปีต่ำกว่า 1,000 มิลลิเมตร ซึ่งฝนที่เกิดขึ้นในจังหวัดสระบุรี ส่วนใหญ่เป็นฝนจากอิทธิพลของมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และร่องความกดอากาศต่ำที่ผ่านประเทศไทยตอนบนเกือบตลอดช่วงฤดูฝน โดยตลอดทั้งปีมีจำนวนวันฝนตกเฉลี่ยประมาณ 70-95 วัน นอกจากนี้ บางปีอาจมีพายุดีเปรสชันเคลื่อนผ่านเข้ามาในบริเวณจังหวัดสระบุรี หรือจังหวัดใกล้เคียงทำให้มีฝนตกเพิ่มขึ้นได้

ช่วงระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการเพาะปลูก คือ ประมาณกลางเดือนเมษายนจนถึงช่วงต้นเดือนพฤศจิกายนและช่วงเวลาที่ ไม่เหมาะสมต่อการเพาะปลูก แบ่งเป็น

1. ช่วงขาดน้ำ เริ่มตั้งแต่ต้นเดือนพฤศจิกายนจนถึงช่วงปลายของเดือนเมษายน ซึ่งหากมีการปลูกพืชในช่วงนี้ ต้องมีการหาแหล่งน้ำหรืออาศัยน้ำจากการชลประทาน
2. ช่วงความชื้นเพียงพอ เริ่มตั้งแต่ปลายเดือนเมษายนจนถึงช่วงต้นเดือนพฤศจิกายน เป็นช่วงที่เหมาะสมในการปลูกพืชในฤดูเพาะปลูกมากที่สุด แต่

เนื่องจากในช่วงต้นเดือนสิงหาคมจนถึงกลางเดือนตุลาคมจะเป็นช่วงที่มีน้ำมากเกินพอ ซึ่งอาจทำความเสียหายแก่พืชที่ปลูกได้

การใช้พื้นที่ในการปลูกมันสำปะหลังของจังหวัดสระบุรี

มันสำปะหลังเป็นพืชเศรษฐกิจหลักของสระบุรีในอันดับที่ 4 การปลูกมันสำปะหลัง เกษตรกรส่วนใหญ่จะทำการปลูกในช่วงต้นฤดูฝน คือ ประมาณพฤษภาคม ซึ่งจะได้ผลผลิตหัวมันสดสูงกว่าการปลูกในช่วง

อื่นๆ และทำการเก็บเกี่ยว เมื่อมันสำปะหลังมีอายุ 9-12 เดือน ผลผลิตจะออกสู่ตลาดมากในช่วงเดือนมกราคมถึงมีนาคม เกษตรกรมีการใช้พันธุ์มันสำปะหลังพันธุ์ส่งเสริมซึ่งสำนักงานเกษตรจังหวัดและสำนักงานเกษตรอำเภอได้จัดทำโครงการเพิ่มผลผลิตต่อไร่ ใช้มันสำปะหลังพันธุ์ดีให้แก่เกษตรกร และมีการใช้ปุ๋ยเคมีเพียงเล็กน้อย การตลาดผลผลิตมันสำปะหลังของจังหวัดสระบุรีส่วนใหญ่จะถูกขายให้กับลานมันในจังหวัด เพื่อทำเป็นมันเส้นโดยขายในลักษณะหัวมันสำปะหลังสด จากฐานข้อมูลในแผนที่เกษตรเชิงรุก หรือ Agri-Map Online (กรมพัฒนาที่ดิน, 2564) สามารถวิเคราะห์ข้อมูลพื้นที่ปลูกมันสำปะหลัง โดยจำแนกตามชั้นความเหมาะสมของที่ดินได้ ดังนี้ (ภาพที่ 2)

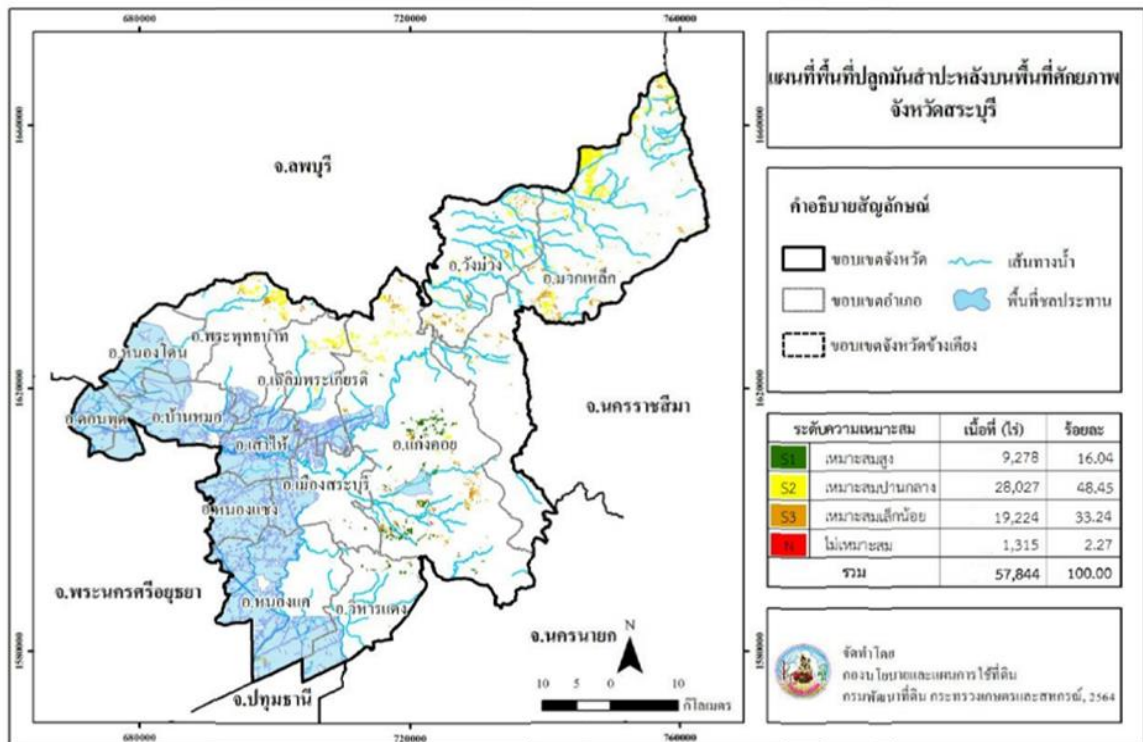
(1) พื้นที่เหมาะสมสูง (S1) มีเนื้อที่ 9,278 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 9.43 ของพื้นที่ศักยภาพสูง พบกระจายอยู่ในเขตอำเภอแก่งคอย 8,065 ไร่ อำเภอวิหารแดง 815 ไร่ และอำเภอเมืองสระบุรี 207 ไร่ เป็นต้น 25

(2) พื้นที่เหมาะสมปานกลาง (S2) ในการปลูกมันสำปะหลัง มีเนื้อที่ 28,027 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 7.49 ของพื้นที่พื้นที่ศักยภาพปานกลาง พบมากในเขตอำเภออำเภอมวกเหล็ก 13,712 ไร่ อำเภอพระพุทธบาท 4,278 ไร่ และอำเภอแก่งคอย 4,094 ไร่ เป็นต้น

(3) พื้นที่เหมาะสมเล็กน้อย (S3) ในการปลูกมันสำปะหลัง มีเนื้อที่ 19,224 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 8.44 ของพื้นที่ศักยภาพเล็กน้อย พบมากในเขตอำเภอมวกเหล็ก 6,721 ไร่ อำเภอแก่งคอย 6,370 ไร่ และอำเภอวังม่วง 3,251 ไร่ เป็นต้น

(4) พื้นที่ไม่เหมาะสม (N) มีเนื้อที่ 1,315 ไร่ สำปะหลัง มีเนื้อที่ 19,224 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.13 ของพื้นที่ศักยภาพไม่เหมาะสม

ทั้งนี้ในการส่งเสริมการปลูกพืชจะพิจารณาเฉพาะพื้นที่ที่มีศักยภาพคงเหลือในระดับความเหมาะสมสูง (S1) และระดับความเหมาะสมปานกลาง (S2) เท่านั้น เนื่องจากสภาพพื้นที่ปลูกพืชตรงตามศักยภาพของดิน การลงทุนต่ำก็สามารถเพิ่มผลผลิตได้ จึงควรส่งเสริมในพื้นที่ดังกล่าว



ที่มา: กองนโยบายและแผนการใช้ที่ดิน (2564)

ภาพที่ 2 แผนที่พื้นที่ปลูกมันสำปะหลังบนพื้นที่ศักยภาพ จังหวัดสระบุรี

สภาพพื้นที่ของจังหวัดนครสวรรค์ (สำนักสำรวจดินและวางแผนการใช้ที่ดิน, 2553)

จังหวัดนครสวรรค์ตั้งอยู่ในภาคเหนือตอนล่างของประเทศไทย มีพื้นที่ 9,597.677 ตารางกิโลเมตร หรือ 5,998,548 ไร่ อยู่ระหว่างพิกัด UTM ระบบ WGS1984 Zone 47 N แนวแกน X ที่ 520000E ถึง 690000E และแนวแกน Y ที่ 1670000N ถึง 1800000N มีอาณาเขตติดต่อกับจังหวัดใกล้เคียง ดังนี้

ทิศเหนือ	ติดต่อกับ	จังหวัดพิจิตร และจังหวัดกำแพงเพชร
ทิศใต้	ติดต่อกับ	จังหวัดอุทัยธานี ชัยนาท ลพบุรีและจังหวัดสิงห์บุรี
ทิศตะวันออก	ติดต่อกับ	จังหวัดเพชรบูรณ์
ทิศตะวันตก	ติดต่อกับ	จังหวัดตาก และจังหวัดอุทัยธานี

สภาพภูมิประเทศมีลักษณะคล้ายแอ่งกระทะโดยพื้นที่ตอนกลางของจังหวัดเป็นแอ่งต่ำของที่ราบน้ำท่วมถึง ความสูงจากระดับทะเลปานกลางประมาณ 22 เมตร ส่วนบริเวณทางด้านทิศตะวันออกและทิศตะวันตกจะมีระดับค่อยๆ สูงขึ้น โดยเฉพาะทางด้านทิศตะวันตกสุดในอำเภอแม่วงค์ซึ่งมีสภาพพื้นที่มีระดับสูงมาก จุดสูงสุด คือ เขาตาอุโจ โดยสูงประมาณ 1,780 เมตร จากระดับทะเลปานกลาง จากลักษณะภูมิประเทศที่ปรากฏ สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 เขตย่อย ดังนี้

1. เขตภูเขาสูงด้านตะวันตกอยู่ทางด้านทิศตะวันตกของอำเภอแม่वंศ์เป็นต้นกำเนิดของลำน้ำแม่वंศ์และแม่น้ำสะแกกรัง บริเวณนี้เป็นพื้นที่แห่งเดียวของจังหวัดที่ยังมีสภาพป่าดงดิบหลงเหลืออยู่เพราะเป็นที่สูงและเป็นเขตป่าสงวนแห่งชาติแม่वंศ์-แม่ปิง ภูเขาสำคัญในเขตนี้คือ เขาชนกัน มีลำน้ำแม่वंศ์ตัดผ่านช่องเขาในลักษณะร่องน้ำ อีกทั้งเขตนี้เป็นที่สูงและภูเขาซึ่งสูงประมาณ 750-1,780 เมตร จากระดับทะเลปานกลาง จึงมีประชากรอาศัยอยู่เพียงเล็กน้อย

2. เขตที่ราบเนินตะกอนรูปพัดเป็นพื้นที่ต่อเนื่องมาจากเขตภูเขาสูงด้านตะวันตก อยู่ในอำเภอลาดยาว มีความสูงประมาณ 300-750 เมตรจากระดับทะเลปานกลาง เนื่องจากพื้นที่ค่อนข้างลาดเทจากที่สูงทางทิศตะวันตกไปทางทิศตะวันออกจึงทำให้ชุมชนในอำเภอลาดยาวประสบปัญหาน้ำท่วมเป็นประจำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อป่าในเขตป่าสงวนแห่งชาติถูกทำลายไป ทำให้สภาวะน้ำท่วมมีความรุนแรงมากขึ้น พื้นที่บริเวณนี้ ปัจจุบันมีการปลูกพืชไร่ เช่น ข้าวโพด อ้อยและมันสำปะหลัง แต่พื้นที่ราบต่ำใช้ทำนาข้าว มีประชากรอาศัยอยู่หนาแน่นเป็นหย่อมๆ แถบบริเวณลุ่มน้ำ

3. เขตที่ราบขั้นบันไดทางตะวันออกเป็นขอบเขตของที่ราบขั้นบันไดซึ่งต่อเนื่องมาจากจังหวัดเพชรบูรณ์ พื้นที่มีภูเขาที่ผ่านการสักร่อนมามากทำให้ภูเขาที่เหลืออยู่มีระดับสูงไม่มากนัก ความสูงประมาณ 100-500 เมตร จากระดับทะเลปานกลาง ประกอบกับพื้นที่สูงๆต่ำๆเป็นลอนคลื่น ทำให้ประชากรตั้งถิ่นฐานกระจายเป็นหย่อมๆ นอกจากการทำนาในพื้นที่ราบลุ่มแล้ว เขตนี้ยังมีความสำคัญมากในการปลูกพืชไร่ เช่น ข้าวฟ่าง ข้าวโพด ถั่วเขียวฝัวมัน อ้อย ฝ้ายและมันสำปะหลัง นอกจากนี้ในกรณีพื้นที่ค่อนข้างสูงจะมีการขาดแคลนน้ำในการเพาะปลูกแม้ว่าบางแห่งจะมีคลองชลประทานช่วยบ้างก็ตาม เช่น อำเภอตาคลี ดังนั้นประชากรจึงไม่ค่อยหนาแน่นนัก

4. เขตที่ราบลุ่มตอนกลาง คือ พื้นที่สองฝั่งแม่น้ำเจ้าพระยา แม่น้ำปิง และแม่น้ำน่าน ความสูงประมาณ 22-100 เมตร จากระดับทะเลปานกลาง พื้นที่ครอบคลุมอาณาเขตกว้างขวางมากกว่าทุกเขตและมีประชากรอาศัยอยู่หนาแน่นมากที่สุด เนื่องจากเป็นพื้นที่ราบลุ่มค่อนข้างอุดมสมบูรณ์เหมาะแก่การทำนา เขตนี้จึงเป็นแหล่งผลิตข้าวเด่นกว่าเขตอื่นๆ นอกจากนี้ก็มีการเพาะปลูกพืชไร่ในพื้นที่ระดับสูงขึ้น เช่น อ้อย ข้าวฟ่าง ข้าวโพด ถั่วเขียวฝัวมัน เป็นต้น

จากสภาพพื้นที่ราบลุ่มดังกล่าวทำให้เกิดแหล่งน้ำสำคัญจากตอนกลางของจังหวัดนครสวรรค์เป็นพื้นที่แอ่งต่ำจึงเป็นที่รองรับน้ำจากหลายสายที่ไหลมารวมกันโดยเฉพาะอย่างยิ่งเป็นต้นกำเนิดของแม่น้ำเจ้าพระยา ซึ่งเป็นแม่น้ำสายสำคัญที่สุดในประเทศไทย รวมทั้งมีบึงบอระเพ็ดมีเนื้อที่ประมาณ 132,737 ไร่ ตั้งอยู่ระหว่างเขตติดต่อ 3 อำเภอ คืออำเภอเมืองนครสวรรค์ อำเภอชุมแสงและอำเภอท่าตะโก สำหรับแหล่งน้ำอื่นๆ ได้แก่ แม่น้ำเจ้าพระยา แม่น้ำปิง แม่น้ำน่านและแม่น้ำวัง นอกจากนี้ยังมีคลองและหนองน้ำต่างๆ อีกเป็นจำนวนมากทำให้ประชากรของจังหวัดนครสวรรค์มีอาชีพเด่นอีกอย่างคือการทำประมง โดยประชากรจะมีการเลี้ยงปลาทั้งในบ่อและกระชังโดยเฉพาะการเลี้ยงปลาในบ่อ อำเภอที่มีจำนวนบ่อเลี้ยง

ปลามากที่สุดคือ อำเภอชุมแสง สำหรับการเลี้ยงปลาในกระชังประชาชนนิยมเลี้ยงบริเวณริมสองฝั่งของลำน้ำน่านและลำน้ำเจ้าพระยา เริ่มตั้งแต่ตำบลมะมั่ง อำเภอชุมแสงจนถึงอำเภอยะหริ่ง

ลักษณะของภูมิอากาศเป็นแบบทุ่งหญ้าฝนเมืองร้อนเฉพาะฤดู จะมีอุณหภูมิสูงตลอดปี มีฝนตกชุกเป็นบางระยะและมีฤดูร้อนที่เด่นชัด เดือนที่หนาวที่สุดในรอบปีจะมีอุณหภูมิต่ำกว่า 18 องศาเซลเซียส จังหวัดนครสวรรค์ตั้งอยู่ในเขตศูนย์สูตร ลักษณะของภูมิอากาศจะขึ้นอยู่กับลมมรสุมประจำฤดู ซึ่งมีอยู่ 2 ประเภท คือ ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือและลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ฤดูฝนจะได้รับอิทธิพลจากมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ โดยเริ่มจากเดือนพฤษภาคมไปจนถึงเดือนตุลาคมรวมระยะเวลาประมาณ 6 เดือน ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยในช่วงนี้จะมีประมาณร้อยละ 87.3 ของปริมาณน้ำฝนตลอดปี ลมมรสุมนี้พัดผ่านทะเลอันดามัน นำเอาความชื้นชื้นเข้ามาสู่ประเทศไทย ส่วนลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือจะเริ่มพัดเข้ามาตั้งแต่เดือนพฤศจิกายนถึงเดือนกุมภาพันธ์ ลมมรสุมนี้พัดมาจากประเทศจีน นำเอาความแห้งแล้งเข้ามาสู่ประเทศไทย และในช่วงกลางเดือนพฤศจิกายนถึงต้นเดือนกุมภาพันธ์ นอกจากอากาศจะแห้งแล้งแล้วยังมีความหนาวเย็นด้วย ในช่วงนี้นับว่าเป็นฤดูหนาว ส่วนฤดูร้อนจะเริ่มตั้งแต่กลางเดือนกุมภาพันธ์ไปจนถึงสิ้นเดือนเมษายน

ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยตลอดปีของจังหวัดนครสวรรค์เท่ากับ 1,156.9 มิลลิเมตร เดือนที่ฝนตกมากที่สุดคือเดือนกันยายนซึ่งมีปริมาณน้ำฝน 240.2 มิลลิเมตร ทั้งนี้เพราะอยู่ในช่วงที่ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้อย่างเต็มที่ เดือนที่แล้งที่สุด คือเดือนธันวาคม ซึ่งมีปริมาณน้ำฝนเพียง 4.5 มิลลิเมตร อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดปี 28.3 องศาเซลเซียส อุณหภูมิของเดือนที่ร้อนที่สุดมีความแตกต่างจากเดือนที่หนาวที่สุดเท่ากับ 19 องศาเซลเซียส โดยเดือนที่ร้อนที่สุดคือเดือนเมษายน มีอุณหภูมิเฉลี่ย 38.1 องศาเซลเซียส ส่วนเดือนที่หนาวเย็นที่สุดคือเดือนธันวาคม มีอุณหภูมิเฉลี่ย 19.1 องศาเซลเซียส ลักษณะอุณหภูมิแบบนี้เป็นลักษณะของประเทศที่อยู่ในเขตร้อน ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยตลอดปีเท่ากับร้อยละ 72.4 โดยมีความชื้นสัมพัทธ์สูงที่สุดในเดือนกันยายนเท่ากับร้อยละ 83 ส่วนเดือนมีนาคมมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำที่สุดเท่ากับร้อยละ 62

ช่วงระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการเพาะปลูก คือ ประมาณกลางเดือนเมษายนจนถึงช่วงต้นเดือนพฤศจิกายน และช่วงเวลาที่ ไม่เหมาะสมต่อการเพาะปลูก แบ่งเป็น

1. ช่วงขาดน้ำ เริ่มตั้งแต่ต้นเดือนพฤศจิกายนจนถึงช่วงปลายของเดือนเมษายน ซึ่งหากมีการปลูกพืชในช่วงนี้ต้องมีการหาแหล่งน้ำหรืออาศัยน้ำจากการชลประทาน
2. ช่วงน้ำมากพอ เริ่มตั้งแต่เดือนสิงหาคมจนถึงช่วงเดือนตุลาคม เป็นช่วงที่เหมาะสมในการปลูกพืชในฤดูเพาะปลูกมากที่สุด

ดังนั้น ช่วงฤดูเพาะปลูกพืชที่เหมาะสมคือระหว่างกลางเดือนเมษายนถึงกลางเดือนตุลาคม รวมเวลา 181 วัน

การใช้พื้นที่ในการปลูกมันสำปะหลังของจังหวัดนครสวรรค์

ในเขตพื้นที่ภาคเหนือ จังหวัดนครสวรรค์มีพื้นที่เพาะปลูกมันสำปะหลังอยู่ในลำดับต้นๆ รองจาก จังหวัดกำแพงเพชร พันธุ์ที่ใช้เพาะปลูกจะเป็นพันธุ์ที่ทางราชการส่งเสริมและเหมาะสมที่จะใช้ ปลูกในเขตพื้นที่จังหวัด จากฐานข้อมูลในแผนที่เกษตรเชิงรุก หรือ Agri-Map Online (กรมพัฒนาที่ดิน, 2564) วิเคราะห์ข้อมูลพื้นที่ปลูกมันสำปะหลัง โดยจำแนกตามชั้นความเหมาะสมของที่ดินได้ ดังนี้ (ภาพที่ 3)

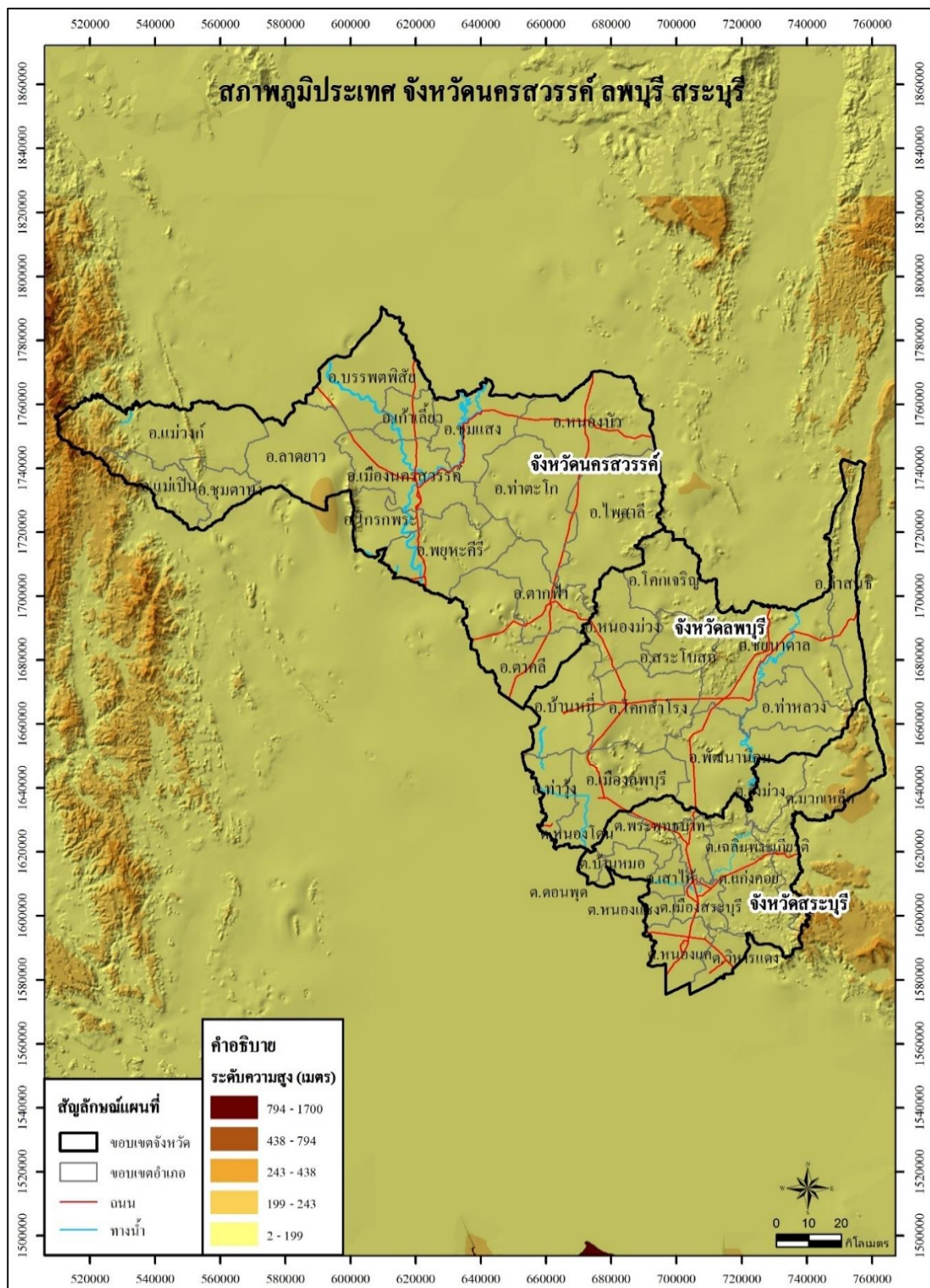
(1) พื้นที่เหมาะสมสูง (S1) มีเนื้อที่ 41,076 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 15.32 ของพื้นที่ศักยภาพสูง กระจายตัวมากอยู่ในอำเภอแม่วงก 16,385 ไร่ อำเภอไพศาลี 11,364 ไร่ และอำเภอบรรพตพิสัย 4,882 ไร่ 18

(2) พื้นที่เหมาะสมปานกลาง (S2) มีเนื้อที่ 235,298 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 18.59 ของพื้นที่ศักยภาพปานกลาง กระจายตัวมากอยู่ในอำเภอแม่วงก 80,599 ไร่ อำเภอหนองบัว 36,972 ไร่ และ อำเภอไพศาลี 26,921 ไร่

(3) พื้นที่เหมาะสมเล็กน้อย (S3) มีเนื้อที่ 278,674 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 40.36 ของพื้นที่ศักยภาพเล็กน้อย กระจายตัวมากอยู่ในอำเภอลาดยาว 65,635 ไร่ อำเภอไพศาลี 62,588 ไร่ และ อำเภอแม่วงก 51,225 ไร่

(4) พื้นที่ไม่เหมาะสม (N) มีเนื้อที่ 2,522 ไร่

ทั้งนี้ในการส่งเสริมการปลูกพืชจะพิจารณาเฉพาะพื้นที่ที่มีศักยภาพคงเหลือในระดับความเหมาะสมสูง (S1) และระดับความเหมาะสมปานกลาง (S2) เท่านั้น เนื่องจากสภาพพื้นที่ปลูกพืชตรงตามศักยภาพของดิน การลงทุนต่ำก็สามารถเพิ่มผลผลิตได้ จึงควรส่งเสริมในพื้นที่ดังกล่าว



ที่มา: สำนักสำรวจและวิจัยทรัพยากรดิน (2551 และ 2553)

ภาพที่ 4 สภาพภูมิประเทศจังหวัดนครสวรรค์ ลพบุรี และสระบุรี

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ผลการศึกษาลักษณะและปัญหาของชั้นดานเปราะภายใต้ระบบการปลูกมันสำปะหลังในจังหวัดลพบุรี สระบุรีและจังหวัดนครสวรรค์ ประกอบด้วยลักษณะสภาพพื้นที่ทั่วไป และสัณฐานวิทยาของดินในสนาม สมบัติทางกายภาพ สมบัติทางเคมี ความสัมพันธ์ของความแข็งและความหนาแน่นรวมของดินกับสมบัติต่างๆ ของดิน และการแจกกระจายของชั้นดานเปราะในพื้นที่ปลูกมันสำปะหลังทั้ง 3 จังหวัด ทำการศึกษาสำรวจดินและคัดเลือกพื้นที่ตัวแทนชุดหลุมหน้าตัดดินขนาดใหญ่ รวม 22 จุด ผลการศึกษาประกอบด้วย แผนที่การแจกกระจายของชั้นดานเปราะ สัณฐานวิทยาสถาปัตยกรรมของดิน สมบัติทางกายภาพ สมบัติทางเคมี และการทดสอบทางสถิติ ดังนี้

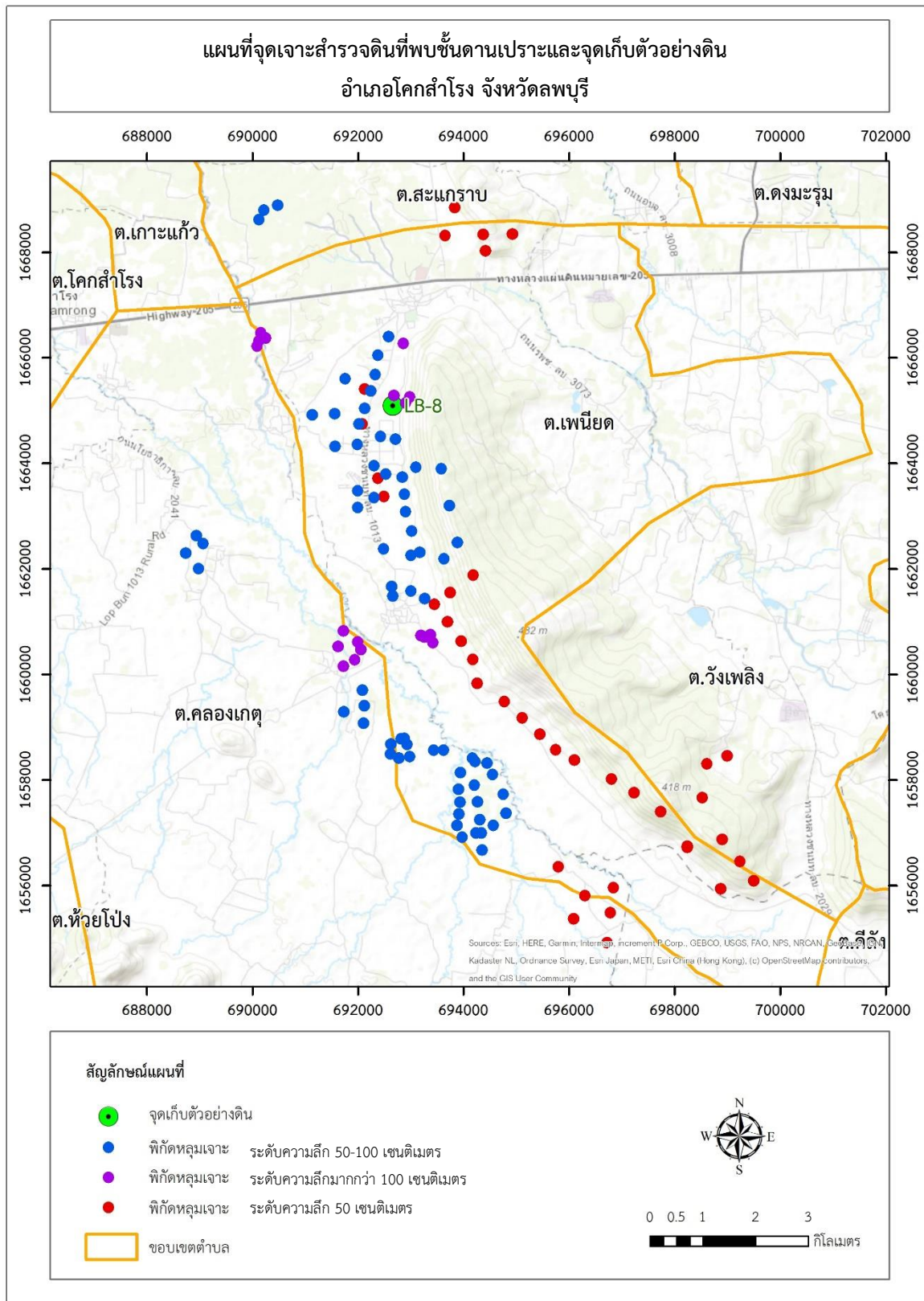
การแจกกระจายของชั้นดานเปราะในพื้นที่ปลูกมันสำปะหลัง จังหวัดลพบุรี สระบุรี และจังหวัดนครสวรรค์

1. จุดสำรวจดินที่พบชั้นดานเปราะ

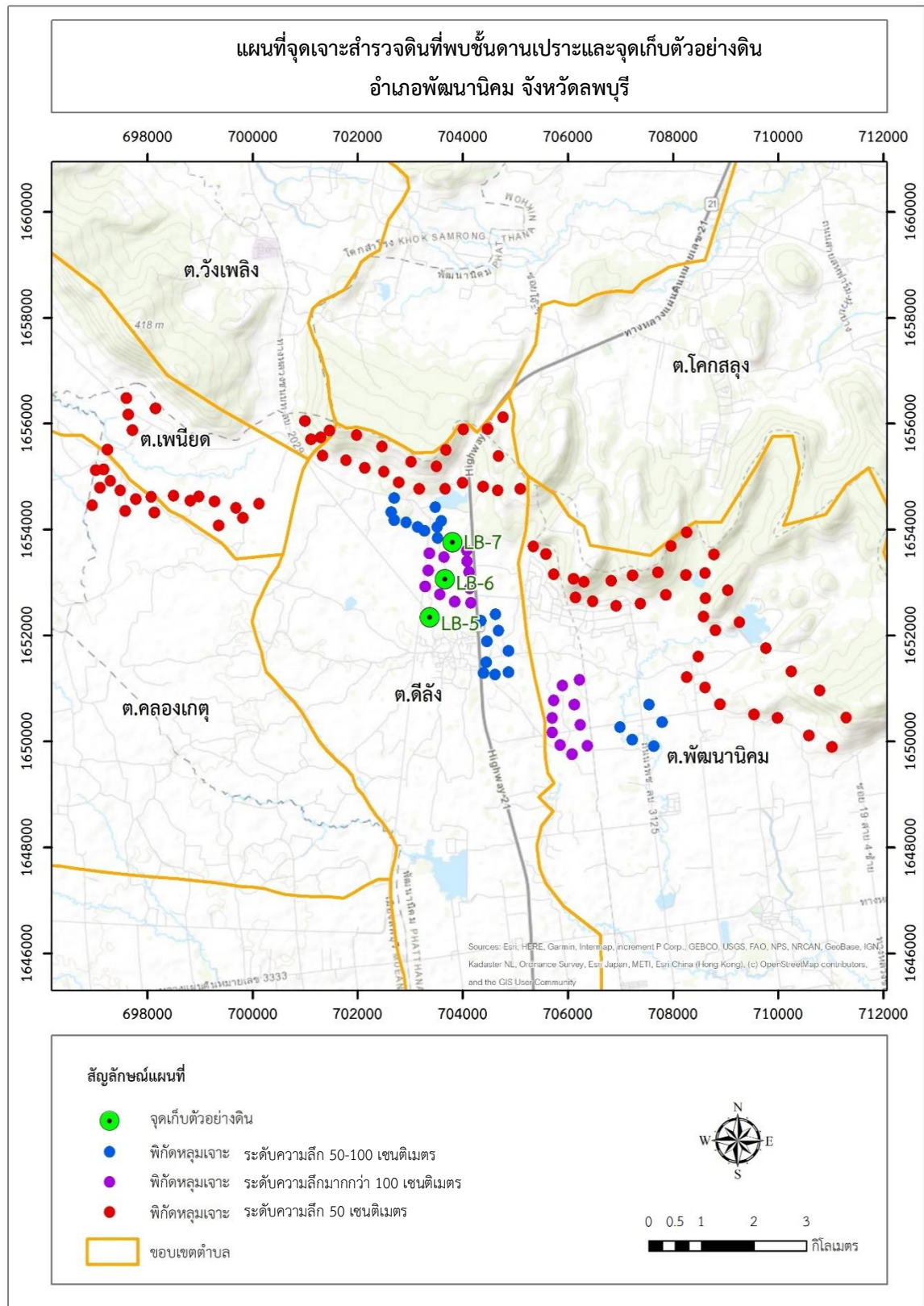
จังหวัดลพบุรี ในอำเภอโคกสำโรงมีจุดสำรวจดินที่พบชั้นดานเปราะ ระดับความลึก 50 เซนติเมตร จำนวน 39 จุด ระดับความลึก 50-100 เซนติเมตร จำนวน 73 จุด ระดับความลึกมากกว่า 100 เซนติเมตร จำนวน 19 จุด (ภาพที่ 5) อำเภอพัฒนานิคมมีจุดสำรวจดินที่พบชั้นดานเปราะ ระดับความลึก 50 เซนติเมตร จำนวน 82 จุด ระดับความลึก 50-100 เซนติเมตร จำนวน 24 จุด และระดับความลึกมากกว่า 100 เซนติเมตร จำนวน 21 จุด (ภาพที่ 6) อำเภอลำสนธิ มีจุดสำรวจดินที่พบชั้นดานเปราะ ระดับความลึก 50 เซนติเมตร จำนวน 62 จุด ระดับความลึก 50-100 เซนติเมตร จำนวน 38 จุด และระดับความลึกมากกว่า 100 เซนติเมตร จำนวน 19 จุด (ภาพที่ 7)

จังหวัดสระบุรี ในอำเภอแก่งคอยมีจุดสำรวจดินที่พบชั้นดานเปราะ ที่ระดับความลึก 50 เซนติเมตร จำนวน 62 จุด (ภาพที่ 8) และในอำเภอเมืองมีจุดสำรวจดินที่พบชั้นดานเปราะ ระดับความลึก 50 เซนติเมตร จำนวน 102 จุด (ภาพที่ 9)

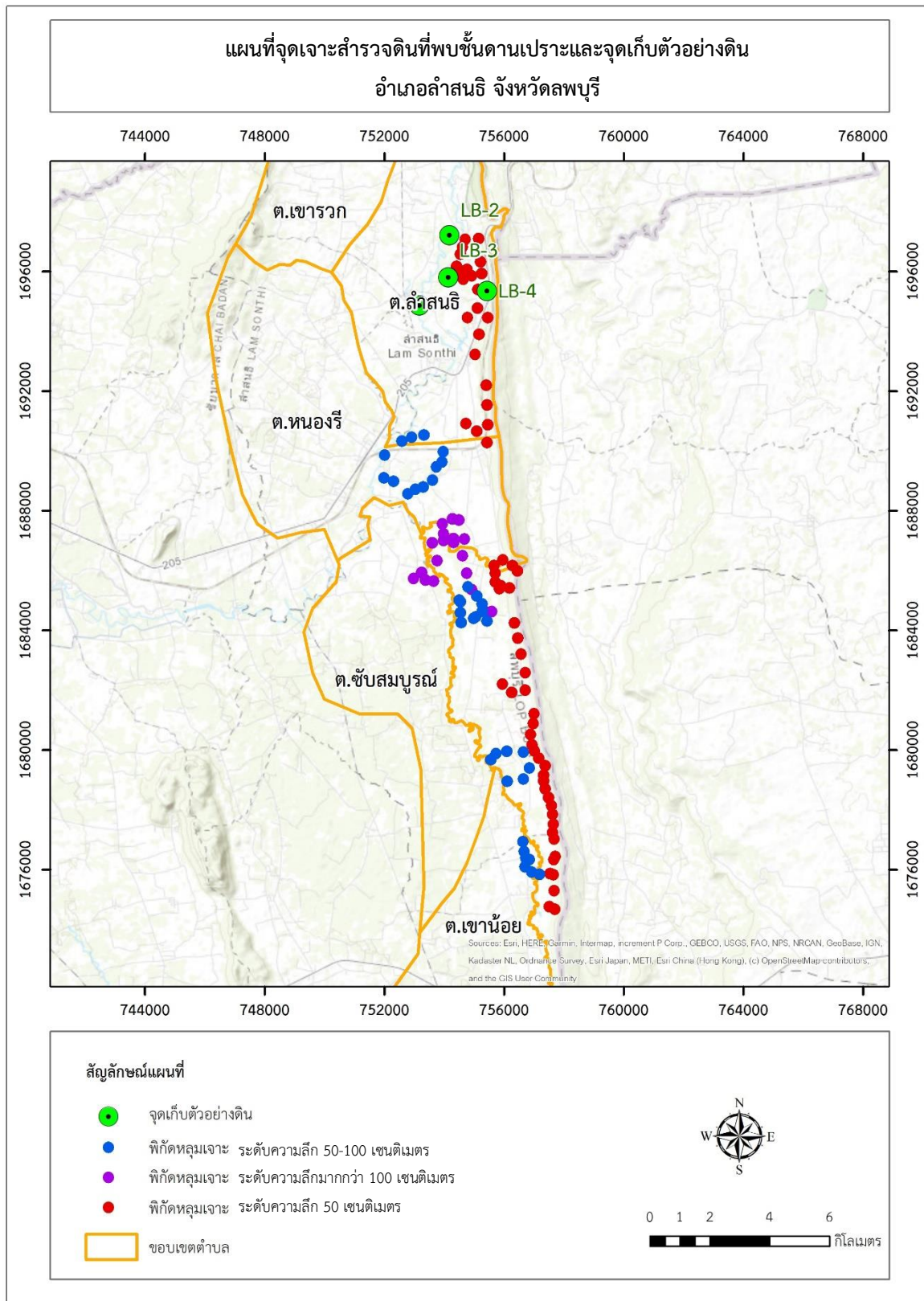
จังหวัดนครสวรรค์ ในอำเภอพยุหะคีรีและอำเภอท่าตะโกมีจุดสำรวจดินที่พบชั้นดานเปราะ ที่ระดับความลึก 50 เซนติเมตร จำนวน 92 จุด (ภาพที่ 10)



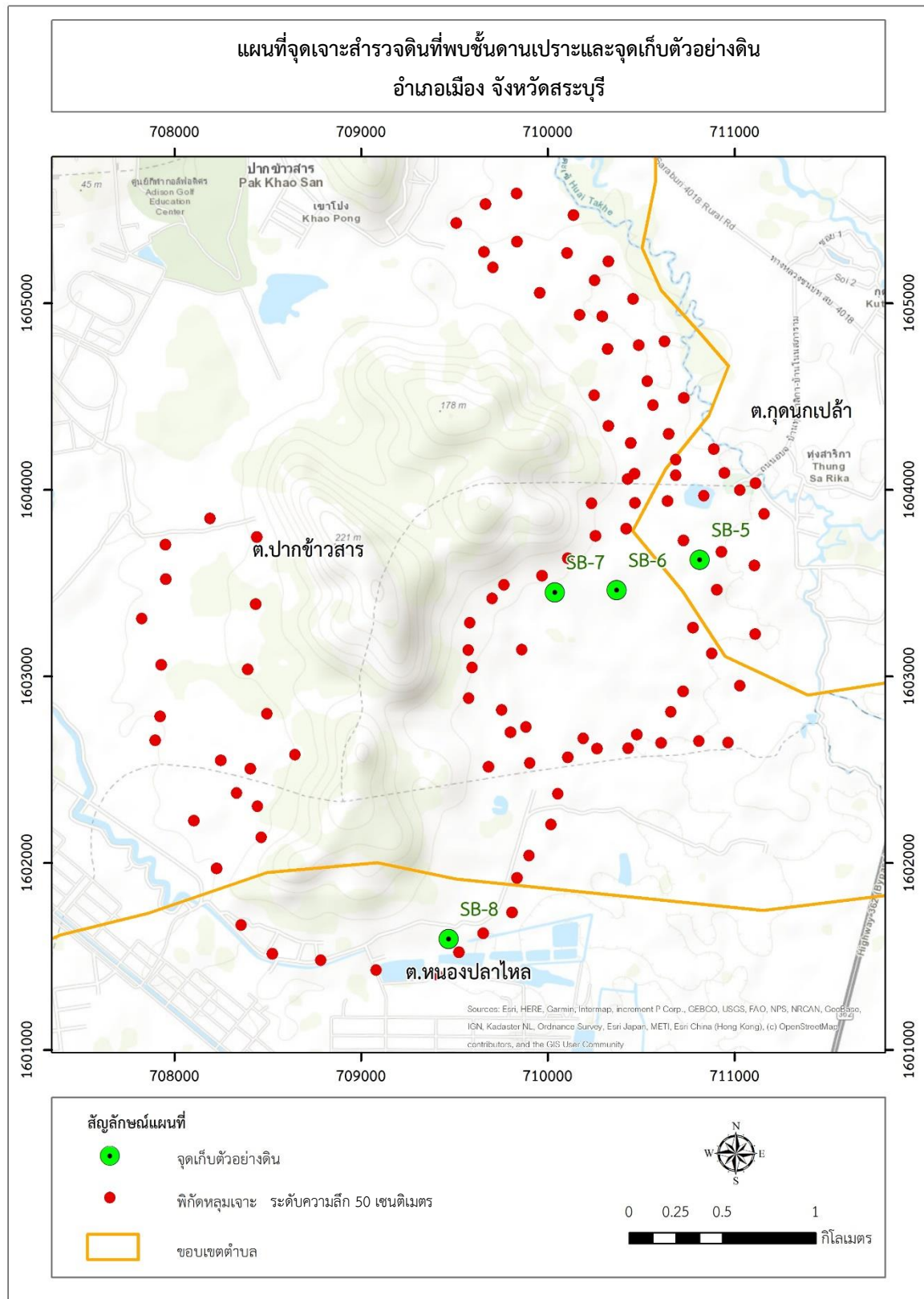
ภาพที่ 5 จุดเจาะสำรวจดินและจุดเก็บตัวอย่างดิน อำเภอโคกสำโรง จังหวัดลพบุรี



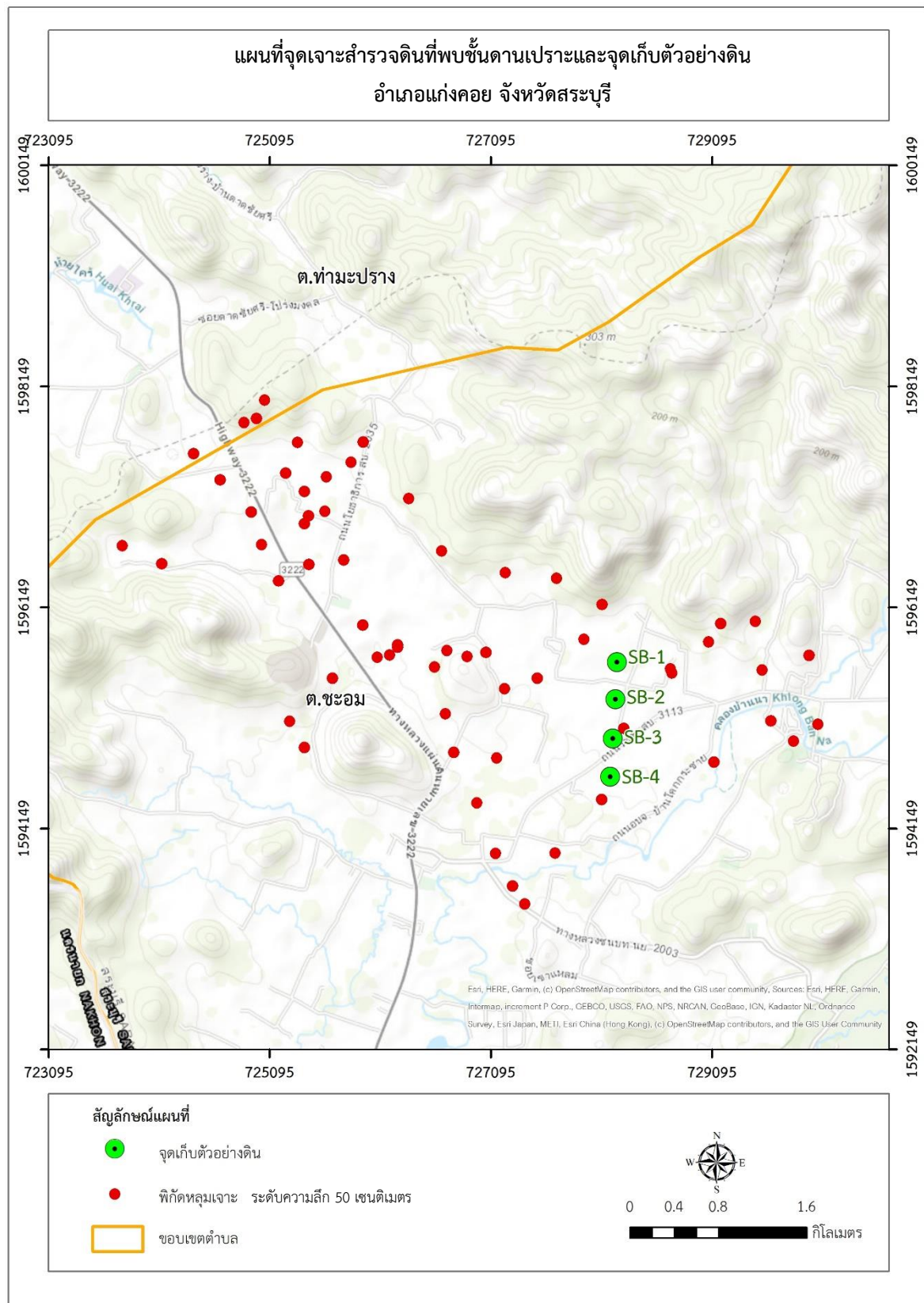
ภาพที่ 6 จุดเจาะสำรวจดินและจุดเก็บตัวอย่างดิน อำเภอพัฒนานิคม จังหวัดลพบุรี



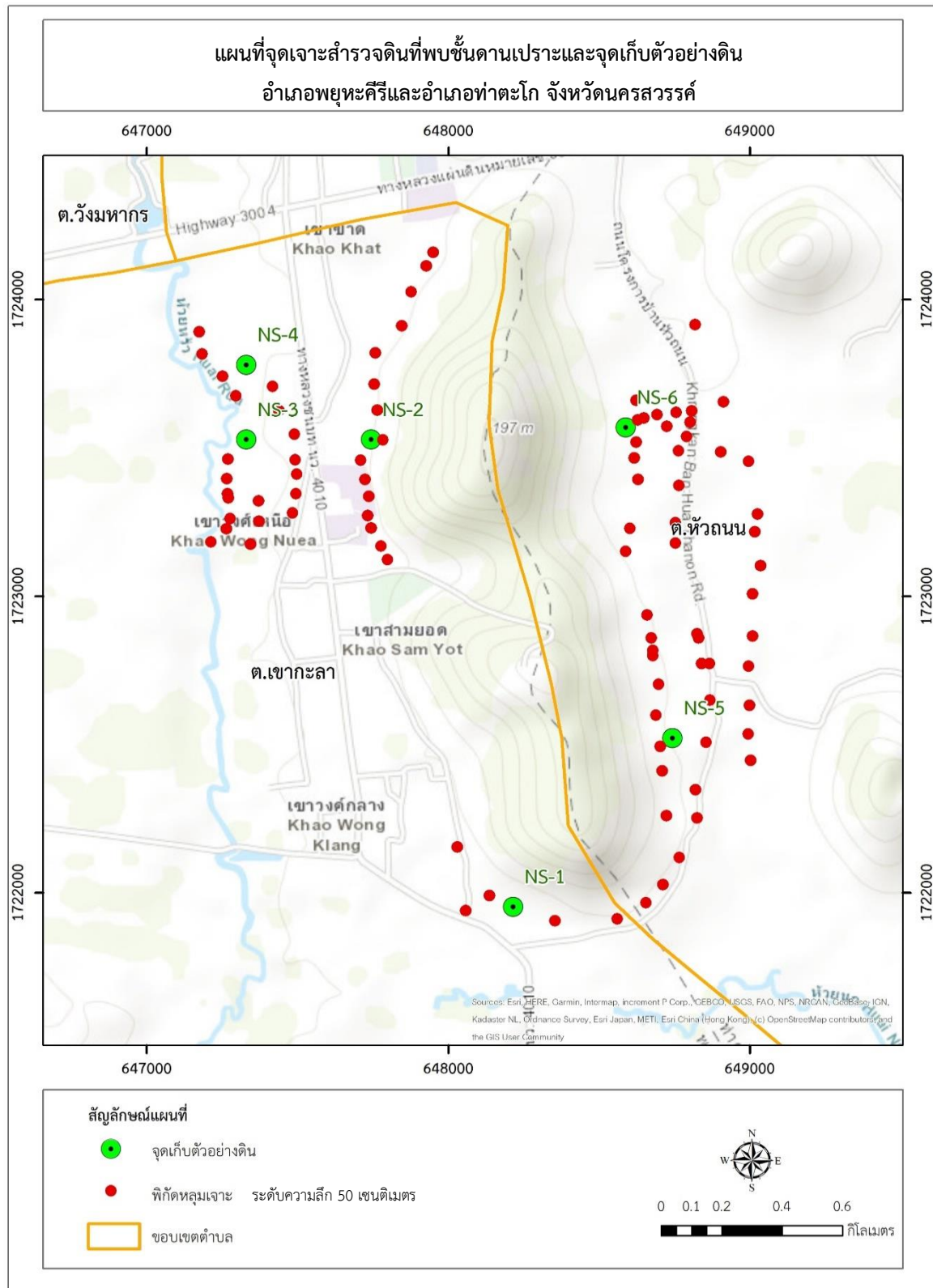
ภาพที่ 7 จุดเจาะสำรวจดินและจุดเก็บตัวอย่างดิน อำเภอลำสนธิ จังหวัดลพบุรี



ภาพที่ 8 จุดเจาะสำรวจดินและจุดเก็บตัวอย่างดิน อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี



ภาพที่ 9 จุดเจาะสำรวจดินและจุดเก็บตัวอย่างดิน อำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี



ภาพที่ 10 จุดเจาะสำรวจดินและจุดเก็บตัวอย่างดิน อำเภอพยุหะคีรีและอำเภอท่าตะโก จังหวัดนครสวรรค์

2. การแจกกระจายของดินที่พบชั้นดานเปราะในจังหวัดลพบุรี สระบุรีและจังหวัดนครสวรรค์

ดำเนินการศึกษาใน 3 พื้นที่ซึ่งอยู่ในจังหวัดลพบุรี สระบุรี และจังหวัดนครสวรรค์ โดยพบการแจกกระจายในพื้นที่ ดังนี้

จังหวัดลพบุรี ได้แก่ บริเวณ ตำบลเพนียด ตำบลคลองเกตุ อำเภอโคกสำโรง ตำบลดีลัง ตำบลพัฒนานิคม อำเภอพัฒนานิคม และตำบลลำสนธิ ตำบลหนองรี ตำบลเขาน้อย ตำบลซับสมบุรณ์ อำเภอลำสนธิ

จังหวัดสระบุรี ได้แก่ ตำบลชะอม อำเภอแก่งคอย และตำบลกุดนกเปล้า ตำบลหนองปลาไหล ตำบลปากข้าวสาร อำเภอเมือง

จังหวัดนครสวรรค์ ได้แก่ ตำบลหัวถนน อำเภอท่าตะโก และตำบลเขากระลา อำเภอพยุหะคีรี

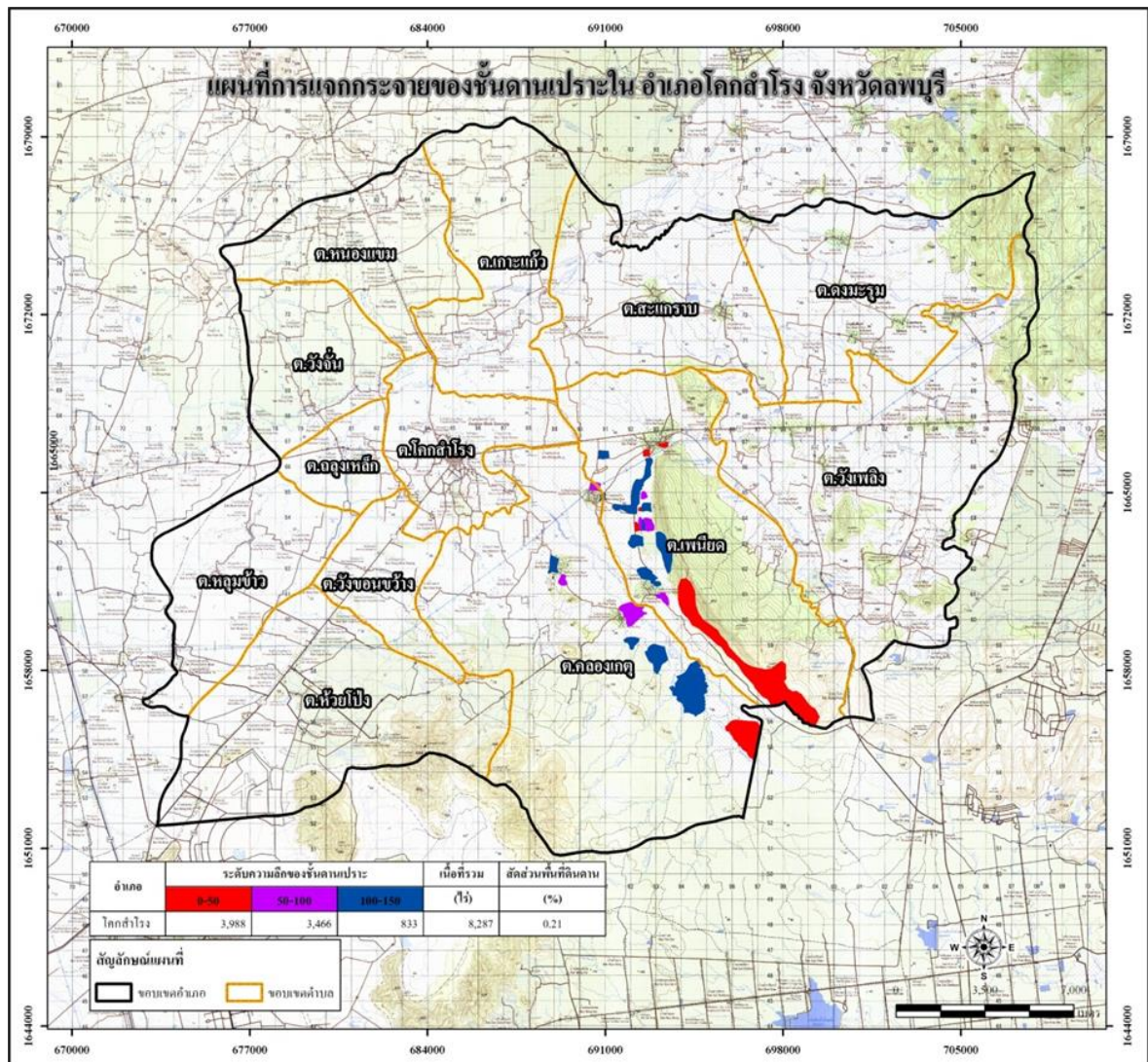
2.1 การแจกกระจายของดินที่พบชั้นดานเปราะในจังหวัดลพบุรี

ผลการสำรวจ พบว่า ดินที่พบชั้นดานเปราะในจังหวัดลพบุรี พบแจกกระจายอยู่ใน 3 อำเภอ ประกอบด้วย อำเภอโคกสำโรง อำเภอพัฒนานิคม และอำเภอลำสนธิ (ภาพที่ 11) โดยทั้งจังหวัดมีพื้นที่รวมทั้งสิ้น 27,122 ไร่ หรือร้อยละ 0.69 ของพื้นที่จังหวัด แบ่งออกเป็น ดินที่พบชั้นดานเปราะภายใน 50 เซนติเมตร จำนวน 15,415 ไร่ ที่ระดับ 50-100 เซนติเมตร จำนวน 8,326 ไร่ และที่ระดับ 100-150 เซนติเมตร จำนวน 3,381 ไร่

การแจกกระจายของชั้นดินเปราะที่พบในจังหวัดลพบุรี มีระดับปัญหาที่เป็นข้อจำกัดรุนแรง เนื่องจากพบระดับความลึกของชั้นดินเปราะภายใน 50 เซนติเมตรเป็นพื้นที่บริเวณกว้างและมีการปลูกมันสำปะหลังต่อเนื่องเป็นระยะเวลาที่ยาวนาน ผลผลิตมันสำปะหลังในพื้นที่ของอำเภอที่พบชั้นดินเปราะมีผลผลิตเฉลี่ย (2.31 ตันต่อไร่) ต่ำกว่าผลผลิตเฉลี่ยของจังหวัด (4.09 ตันต่อไร่) (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2555) ทั้งจากหัวมันสำปะหลังมีขนาดน้ำหนักน้อยและหัวมันสำปะหลังเน่าเสียรวมถึงโรครากเน่าในช่วงฤดูฝน อีกทั้งเกษตรกรไม่มีองค์ความรู้ในการจัดการที่ดินที่มีปัญหาชั้นดินเปราะ

อำเภอโคกสำโรง จังหวัดลพบุรี

การแจกกระจายของดินที่พบชั้นดานเปราะ (ภาพที่ 12) มีเนื้อที่รวมทั้งหมดเท่ากับ 8,287 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.21 ของเนื้อที่จังหวัดลพบุรี มีพื้นที่การแจกกระจายอยู่ในตำบลเพนียดและตำบลคลองเกตุ โดยพบว่า พื้นที่ที่พบชั้นดานเปราะที่ระดับต้นภายใน 50 เซนติเมตรจากชั้นผิวดินมีอยู่ 3,988 ไร่ พบอยู่ที่ระดับความลึก 50-100 เซนติเมตรเท่ากับ 3,466 ไร่ และที่ระดับ 100-150 เซนติเมตรเท่ากับ 833 ไร่

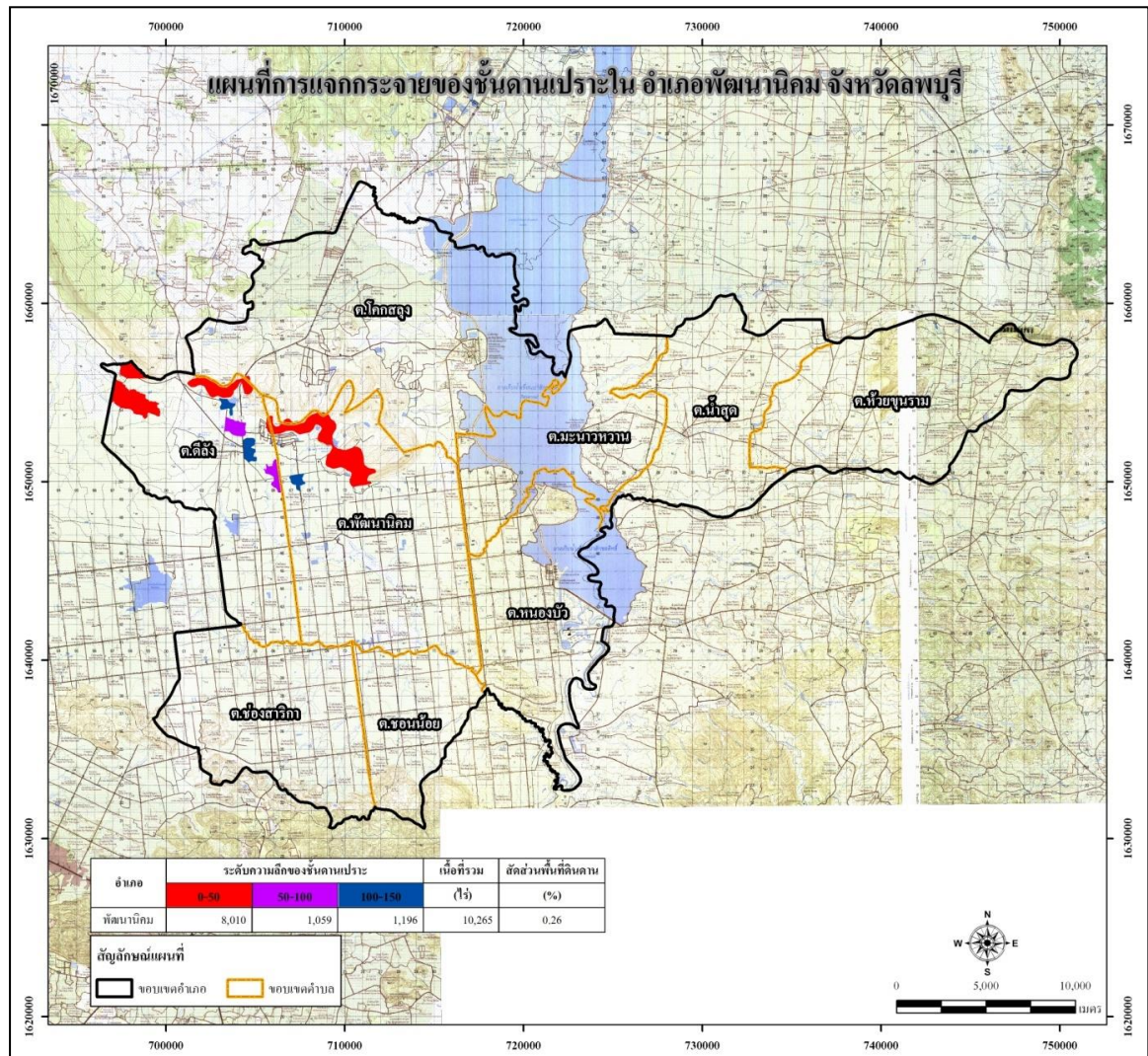


ภาพที่ 12 การแจกกระจายของชั้นดานเปราะ อำเภอโคกสำโรง จังหวัดลพบุรี

การแจกกระจายของชั้นดานเปราะในพื้นที่ปลูกมันสำปะหลัง ในตำบลเพนียดและตำบลคลองเกตุ อำเภอโคกสำโรงมีผลกระทบต่อผลผลิตของมันสำปะหลัง โดยเกษตรกรได้ผลผลิตเฉลี่ย (2.15 ตันต่อไร่) ต่ำกว่าผลผลิตเฉลี่ยของอำเภอ (2.31 ตันต่อไร่) และต่ำกว่าผลผลิตเฉลี่ย (4.09 ตันต่อไร่) ของจังหวัด (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2555) ทั้งจากหัวมันสำปะหลังมีขนาดน้ำหนักน้อยและหัวมันสำปะหลังเน่าเสียในช่วงฤดูฝน อีกทั้งเกษตรกรไม่มีองค์ความรู้ในการจัดการที่ดินที่มีปัญหาชั้นดานเปราะ

อำเภอพัฒนานิคม จังหวัดลพบุรี

การแจกกระจายของดินที่พบชั้นดานเปราะแสดง (ภาพที่ 13) มีเนื้อที่รวมทั้งหมดเท่ากับ 10,265 ไร่คิดเป็นร้อยละ 0.26 ของเนื้อที่จังหวัดลพบุรี พื้นที่การแจกกระจายอยู่ในตำบลดีลังและตำบลพัฒนานิคม โดยพบว่า พื้นที่ที่พบชั้นดานเปราะที่ระดับต้นภายใน 50 เซนติเมตรจากชั้นผิวดิน มีอยู่ 8,010 ไร่ พบอยู่ที่ระดับความลึก 50-100 เซนติเมตร เท่ากับ 1,059 ไร่ และที่ระดับ 100-150 เซนติเมตร เท่ากับ 1,196 ไร่

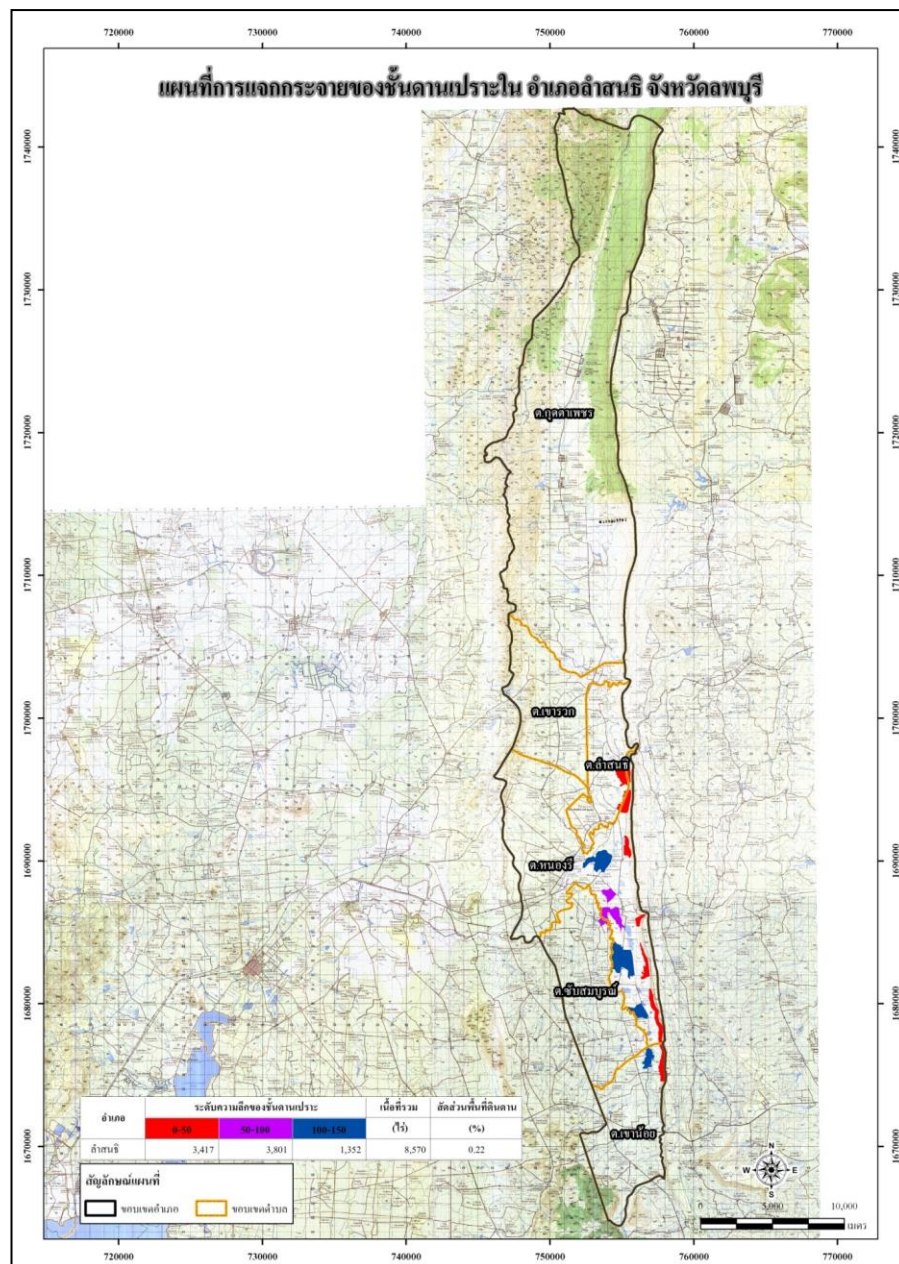


ภาพที่ 13 การแจกกระจายของชั้นดานเปราะ อำเภอพัฒนานิคม จังหวัดลพบุรี

การแจกกระจายของชั้นดานเปราะในพื้นที่ปลูกมันสำปะหลัง ในตำบลดีลังและตำบลพัฒนานิคม อำเภอพัฒนานิคมมีผลกระทบต่อผลผลิตของมันสำปะหลัง โดยเกษตรกรได้ผลผลิตเฉลี่ย (2.15-3.18 ตันต่อไร่) ต่ำกว่าผลผลิตเฉลี่ยของอำเภอ (4.31 ตันต่อไร่) และต่ำกว่าผลผลิตเฉลี่ย (4.09 ตันต่อไร่) ของจังหวัด (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2555) ทั้งจากหัวมันสำปะหลังมีขนาดน้ำหนักน้อยและหัวมันสำปะหลังเน่าเสียในช่วงฤดูฝน อีกทั้งเกษตรกรไม่มีองค์ความรู้ในการจัดการที่ดินที่มีปัญหาชั้นดานเปราะ

อำเภอลำสนธิ จังหวัดลพบุรี

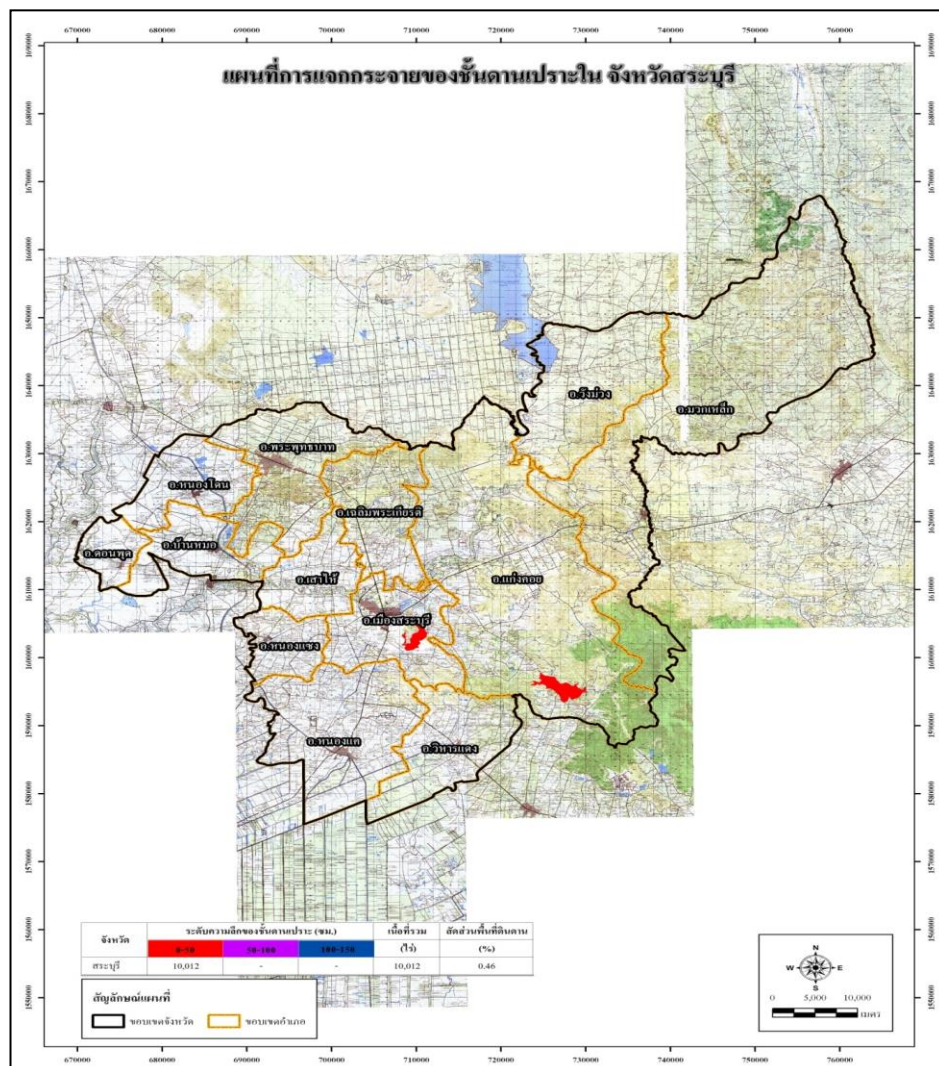
การแจกกระจายของดินที่พบชั้นดานเปราะแสดง (ภาพที่ 14) มีเนื้อที่รวมทั้งหมดเท่ากับ 8,570 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.22 ของเนื้อที่จังหวัดลพบุรี มีพื้นที่การแจกกระจายอยู่ในตำบลลำสนธิ ตำบลหนองรี และ ตำบลเขาน้อย โดยพบว่า พื้นที่ที่พบชั้นดานเปราะที่ระดับต้นภายใน 50 เซนติเมตรจากชั้นผิวดิน มีอยู่ 3,417 ไร่ พบอยู่ที่ระดับความลึก 50-100 เซนติเมตร เท่ากับ 3,801 ไร่ และที่ระดับ 100-150 เซนติเมตร เท่ากับ 1,352 ไร่ ซึ่งเกษตรกรได้ผลผลิตเฉลี่ย 3.93 ตันต่อไร่ ซึ่งต่ำกว่าผลผลิตเฉลี่ยของอำเภอ (4.16 ตันต่อไร่) และต่ำกว่าผลผลิตเฉลี่ยของจังหวัด (4.09 ตันต่อไร่)



ภาพที่ 14 การแจกกระจายของชั้นดานเปราะ อำเภอลำสนธิ จังหวัดลพบุรี

2.2 การแจกกระจายของชั้นดานเปราะในจังหวัดสระบุรี

ผลการสำรวจ พบว่า ดินที่พบชั้นดานเปราะในจังหวัดสระบุรี พบแจกกระจายอยู่ใน 2 อำเภอ ประกอบด้วย อำเภอแก่งคอย และอำเภอเมือง (ภาพที่ 15) โดยทั้งจังหวัดมีพื้นที่รวมทั้งสิ้น 10,012 ไร่ หรือ ร้อยละ 0.46 ของพื้นที่จังหวัด โดยพบชั้นดานเปราะภายใน 50 เซนติเมตร เท่านั้น

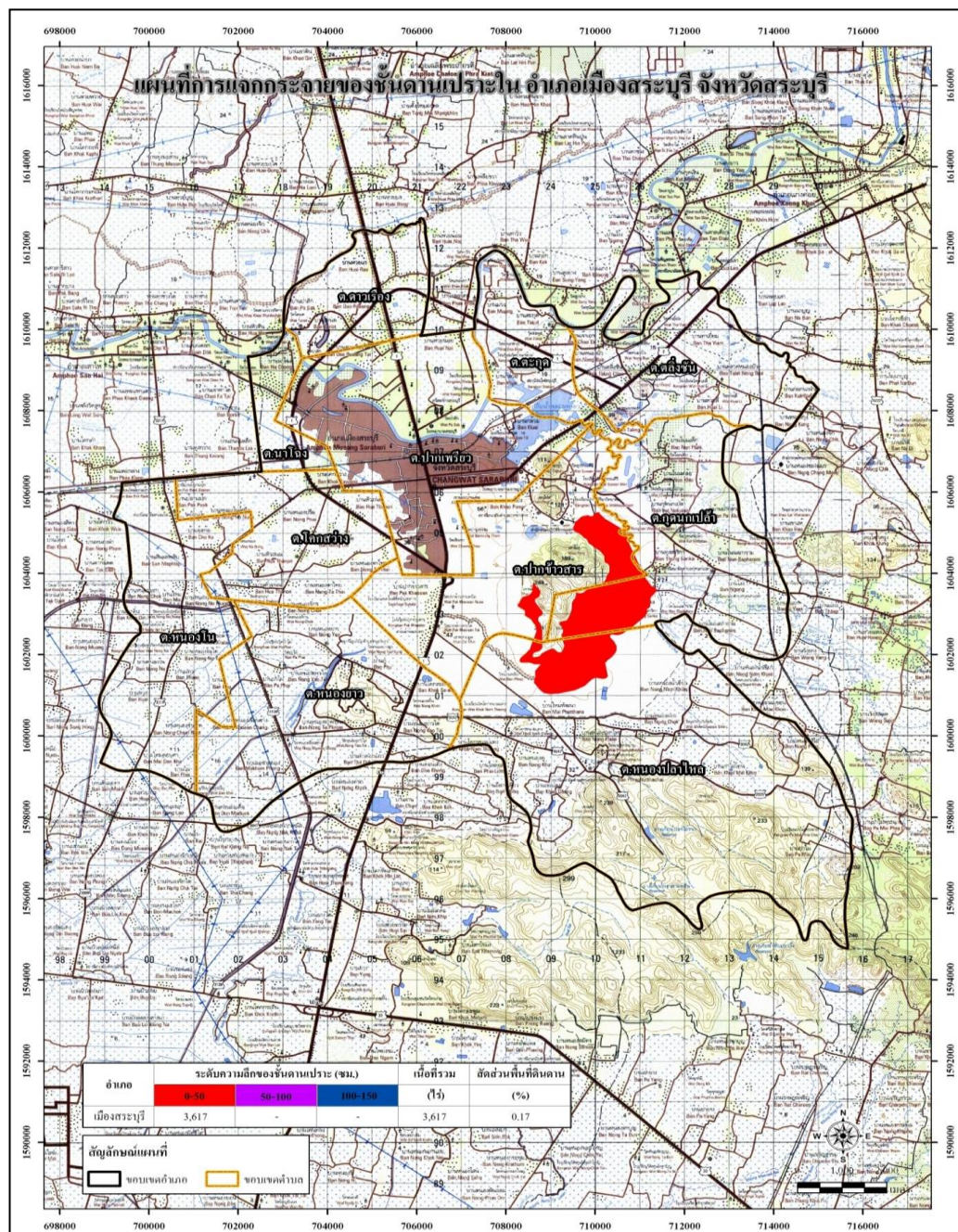


ภาพที่ 15 การแจกกระจายของชั้นดานเปราะ จังหวัดสระบุรี

การแจกกระจายของชั้นดานเปราะที่พบในจังหวัดสระบุรี มีระดับปัญหาที่เป็นข้อจำกัดรุนแรง เนื่องจากพบระดับความลึกของชั้นดานเปราะภายใน 50 เซนติเมตรเป็นพื้นที่บริเวณกว้างและมีการปลูกมันสำปะหลังต่อเนื่องเป็นระยะเวลาที่ยาวนาน ผลผลิตมันสำปะหลังในพื้นที่ของอำเภอที่พบชั้นดานเปราะมีผลผลิตเฉลี่ย (3.04 ตันต่อไร่) ต่ำกว่าผลผลิตเฉลี่ยของจังหวัด (3.64 ตันต่อไร่) (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2555) ทั้งจากหัวมันสำปะหลังมีขนาดน้ำหนักน้อยและหัวมันสำปะหลังเน่าเสียในช่วงฤดูฝน อีกทั้งเกษตรกรไม่มีองค์ความรู้ในการจัดการที่ดินที่มีปัญหาชั้นดานเปราะ

อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี

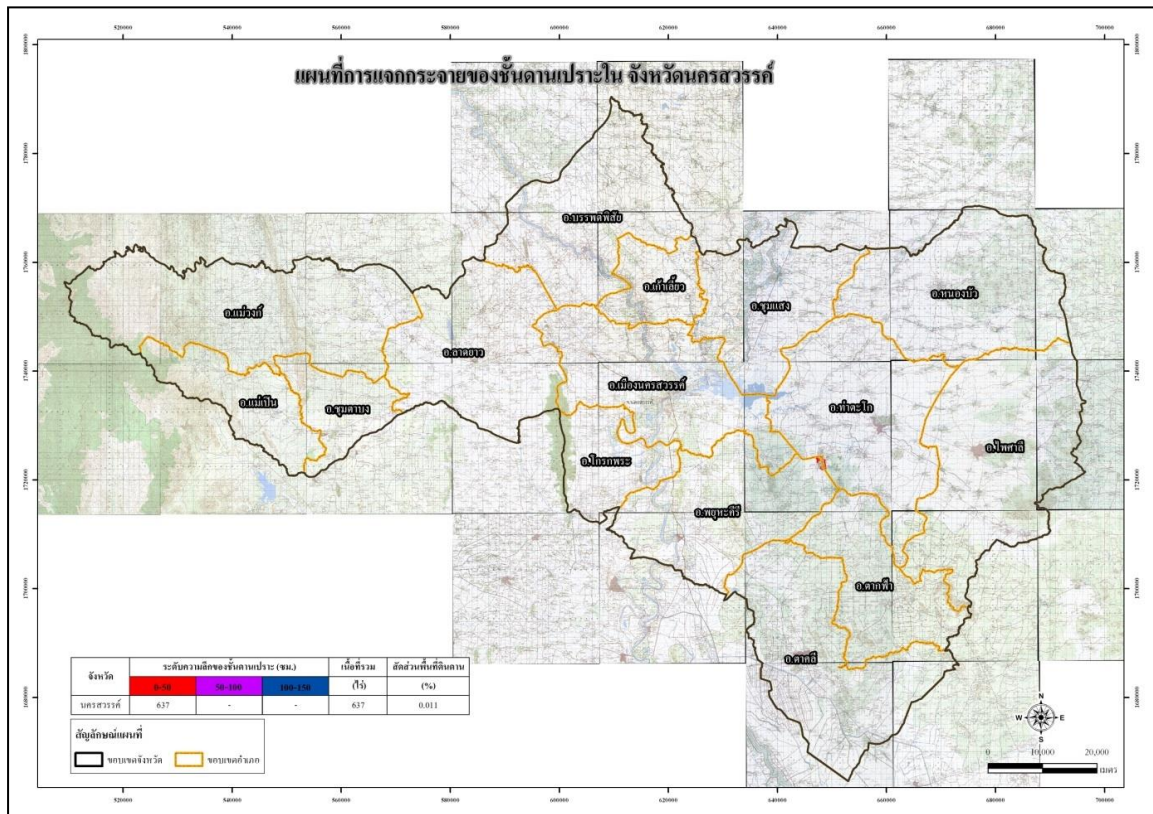
การแจกกระจายของดินที่พบชั้นดานเปราะ (ภาพที่ 17) มีเนื้อที่รวมทั้งหมดเท่ากับ 3,617 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.17 ของเนื้อที่จังหวัดสระบุรี มีพื้นที่การแจกกระจายอยู่ในตำบลปากข้าวสาร ตำบลกุดนกเปล้า และตำบลหนองปลาไหล โดยพบชั้นดานเปราะที่ระดับต้นภายใน 50 เซนติเมตรจากชั้นผิวดินทั้งหมด



ภาพที่ 17 การแจกกระจายของชั้นดานเปราะ อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี

2.3 การแจกกระจายของดินที่พบชั้นดานเปราะในจังหวัดนครสวรรค์

ผลการสำรวจ พบว่า ดินที่พบชั้นดานเปราะในจังหวัดนครสวรรค์ พบแจกกระจายอยู่ใน 2 อำเภอ ประกอบด้วย อำเภอท่าตะโก และอำเภอพยุหะคีรี โดยทั้งจังหวัดมีพื้นที่รวมทั้งสิ้น 617 ไร่ หรือร้อยละ 0.011 ของพื้นที่จังหวัด โดยพบชั้นดานเปราะภายใน 50 เซนติเมตรเท่านั้น (ภาพที่ 18)

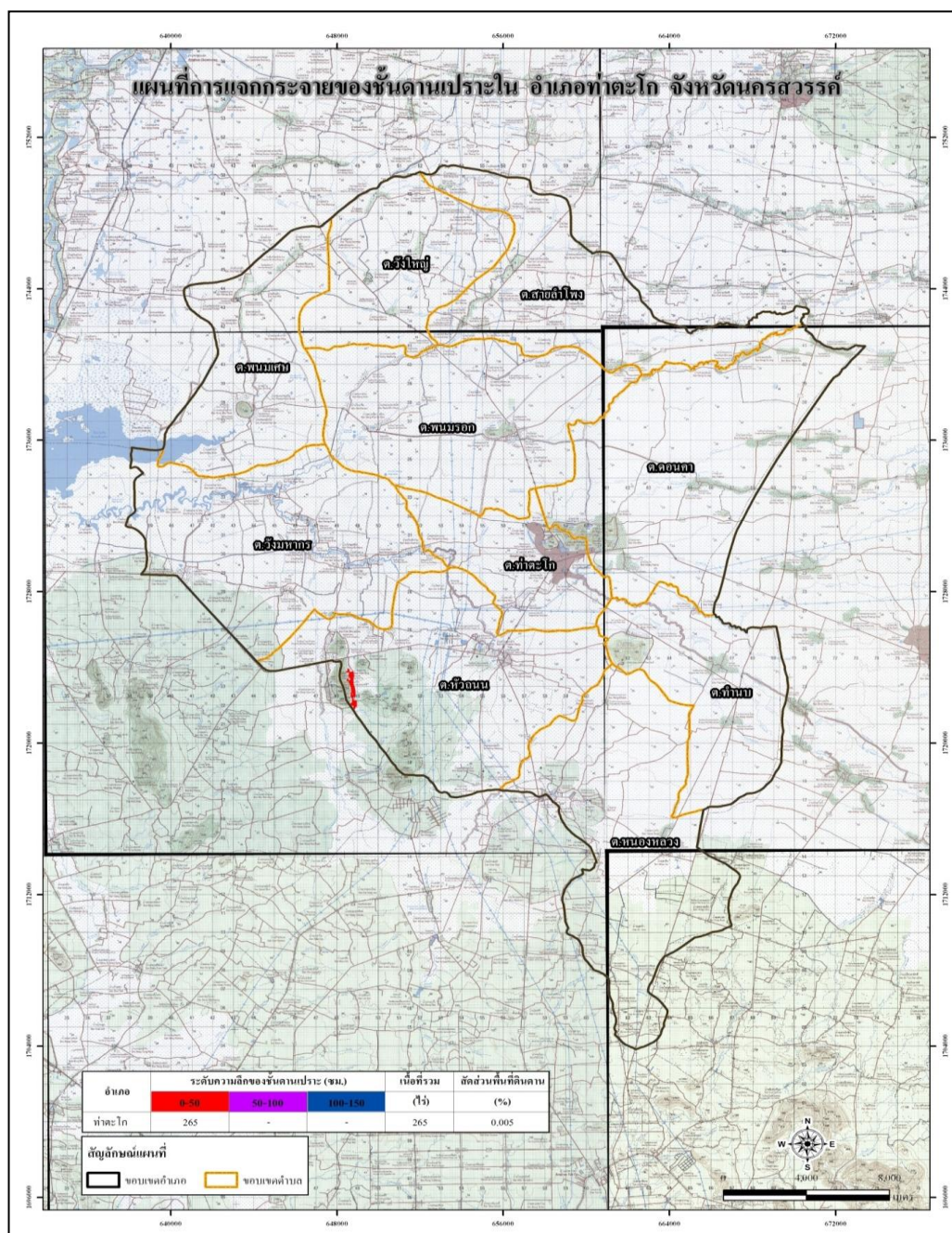


ภาพที่ 18 การแจกกระจายของชั้นดานเปราะ จังหวัดนครสวรรค์

การแจกกระจายของชั้นดานเปราะที่พบในจังหวัดนครสวรรค์ มีระดับปัญหาที่เป็นข้อจำกัดรุนแรงเนื่องจากพบระดับความลึกของชั้นดานเปราะภายใน 50 เซนติเมตรและพื้นที่ที่มีการปลูกมันสำปะหลังต่อเนื่องเป็นระยะเวลาที่ยาวนาน ผลผลิตมันสำปะหลังในพื้นที่ของอำเภอท่าตะโกที่พบชั้นดานเปราะมีผลผลิตเฉลี่ย (3.04 ตันต่อไร่) และผลผลิตมันสำปะหลังในพื้นที่ของอำเภอพยุหะคีรีที่พบชั้นดานเปราะมีผลผลิตเฉลี่ย (3.23 ตันต่อไร่) ซึ่งต่ำกว่าผลผลิตเฉลี่ยของจังหวัด (3.55 ตันต่อไร่) (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2555) ทั้งจากหัวมันสำปะหลังมีขนาดน้ำหนักน้อยและหัวมันสำปะหลังเน่าเสียในช่วงฤดูฝน รวมถึงโรครากเน่า อีกทั้งเกษตรกรไม่มีองค์ความรู้ในการจัดการดินและที่ดินที่มีปัญหาชั้นดานเปราะ

อำเภอท่าตะโก จังหวัดนครสวรรค์

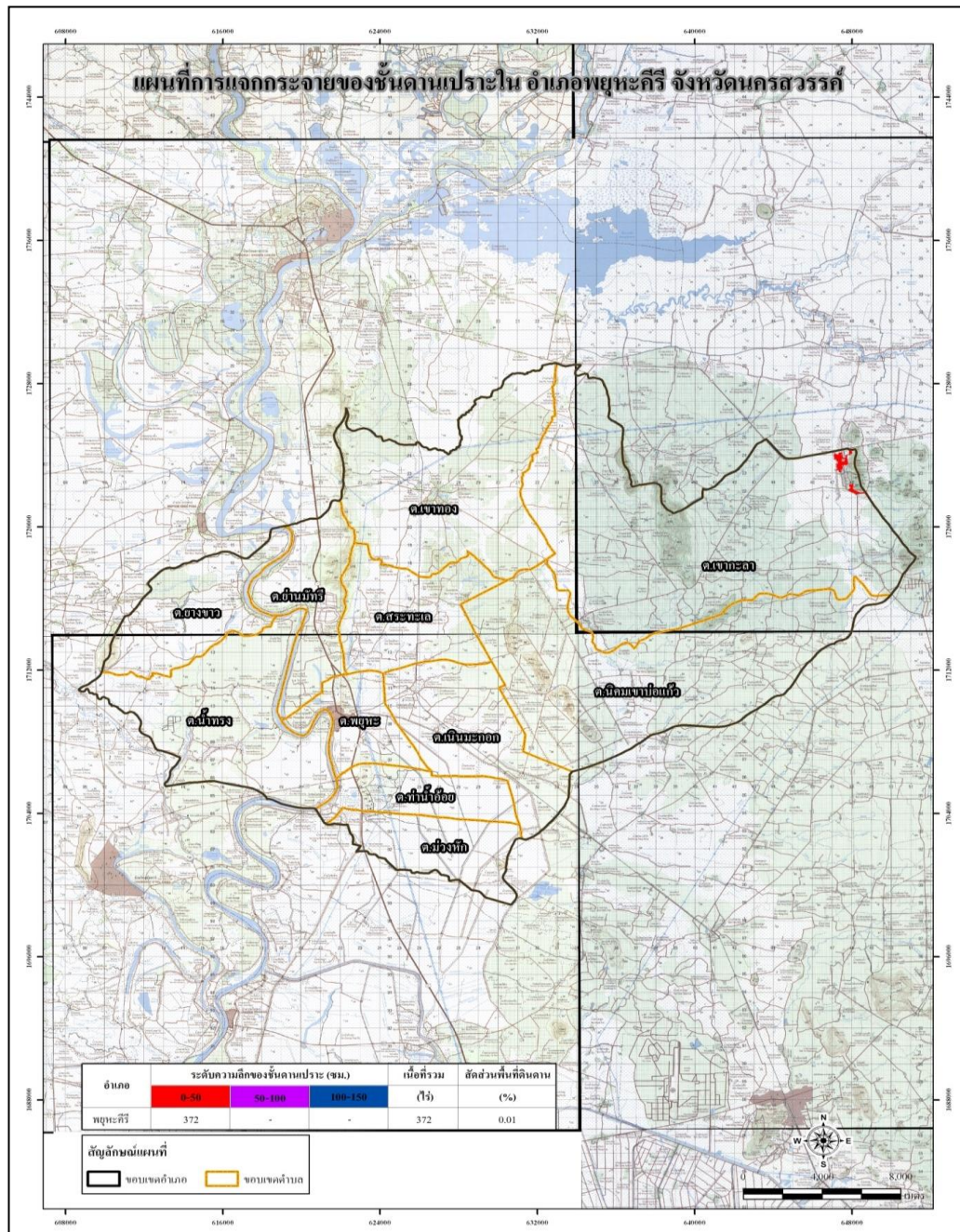
การแจกกระจายของดินที่พบชั้นดานเปราะ มีเนื้อที่รวมทั้งหมดเท่ากับ 265 ไร่คิดเป็นร้อยละ 0.005 ของเนื้อที่จังหวัดนครสวรรค์ มีพื้นที่การแจกกระจายอยู่ในตำบลหัวถนน โดยพบชั้นดานเปราะที่ระดับดินภายใน 50 เซนติเมตรจากชั้นผิวดินทั้งหมด (ภาพที่ 19)



ภาพที่ 19 การแจกกระจายของชั้นดานเปราะ อำเภอท่าตะโก จังหวัดนครสวรรค์

อำเภอพยุหะคีรี จังหวัดนครสวรรค์

การแจกกระจายของดินที่พบชั้นดานเปราะ มีเนื้อที่รวมทั้งหมดเท่ากับ 372 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.01 ของเนื้อที่จังหวัดนครสวรรค์ มีพื้นที่การแจกกระจายอยู่ในพื้นที่ตำบลเขาทะเล โดยพบชั้นดานเปราะที่ระดับดินภายใน 50 เซนติเมตรจากชั้นผิวดินทั้งหมด (ภาพที่ 20)



ภาพที่ 20 การแจกกระจายของชั้นดานเปราะ อำเภอพยุหะคีรี จังหวัดนครสวรรค์

ผลการศึกษาสัณฐานวิทยาสนามของดินที่พบชั้นดานเปราะ

ลักษณะทั่วไปของสัณฐานวิทยาในสนามของดินที่พบชั้นดานเปราะบนพื้นที่ปลูกมันสำปะหลังใน จังหวัดลพบุรี สระบุรี และจังหวัดนครสวรรค์

1. ลักษณะทั่วไปและสัณฐานวิทยาสนามของชั้นดานเปราะ จังหวัดลพบุรี

ลักษณะทั่วไปและสัณฐานวิทยาสนามของดินที่ทำการศึกษาทั้ง 3 อำเภอ แสดงไว้ในตารางที่ 2 และ 3 และ ภาพที่ 21 และ 22

LB-1 มีพิกัด 753158 E 1694867 N ตำบลบ้านท่าเยียม อำเภอลำสนธิ จังหวัดลพบุรี บริเวณนี้อยู่ สูงจากระดับทะเลปานกลางประมาณ 115 เมตร สภาพพื้นที่เป็นลูกคลื่นลอนลาด มีความลาดเทประมาณ ร้อยละ 5-8 ดินมีการระบายน้ำดีปานกลาง ดินมีความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้เข้าถึงปานกลาง มีการไหลบ่า ของน้ำบนผิวดินปานกลาง วัตถุต้นกำเนิดเป็นตะกอนเศษหินเชิงเขาของหินทรายแป้ง หินทราย และหิน คองโกเมอเรทที่เป็นต่าง สามารถแบ่งชั้นดินได้ 2 ชั้นคือ Ap-Btx พบชั้นดานเปราะที่ความลึก 35-150 เซนติเมตร ดินมีความหนาของชั้นดานเปราะประมาณ 115 เซนติเมตร ดินบนมีสีน้ำตาลจนถึงสีน้ำตาลเข้ม เนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียวปนทราย ดินมีพีเอชเป็นกรดจัด (pH 5.5) มีโครงสร้างแบบก้อนเหลี่ยมมุมมน ส่วน ดินล่างมีสีแดงปนเหลืองถึงสีน้ำตาลเข้ม มีเนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียวและดินร่วนเหนียวปนทราย มีโครงสร้าง แบบก้อนเหลี่ยมมุมมน พีเอชดินเป็นกรดจัดถึงเป็นต่าง (pH 5.5-8.0)

LB-2 มีพิกัด 754168 E 1697221 N ตำบลบ้านท่าเยียม อำเภอลำสนธิ จังหวัดลพบุรี บริเวณนี้อยู่ สูงจากระดับทะเลปานกลางประมาณ 94 เมตร สภาพพื้นที่เป็นลูกคลื่นลอนลาดเล็กน้อย มีความลาดเท ประมาณร้อยละ 2-5 ดินมีการระบายน้ำค่อนข้างเลวถึงดีปานกลาง ดินมีความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้เข้าถึง ปานกลาง มีการไหลบ่าของน้ำบนผิวดินช้า วัตถุต้นกำเนิดเป็นตะกอนเศษหินเชิงเขาของหินทรายแป้ง หิน ทราย และหินคองโกเมอเรทที่เป็นต่าง สามารถแบ่งชั้นดินได้ 3 ชั้นคือ A-Bt-Btx พบชั้นดานเปราะที่ความ ลึก 55-200 เซนติเมตร ดินมีความหนาของชั้นดานเปราะประมาณ 145 เซนติเมตร ดินบนมีสีน้ำตาลจนถึง สีน้ำตาลเข้ม เนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียวปนทราย ดินมีพีเอชเป็นกรดเล็กน้อยถึงต่างเล็กน้อย (pH 6.5-7.5) มี โครงสร้างแบบก้อนเหลี่ยมมุมมน ส่วนดินล่างมีสีแดงปนเหลืองถึงสีน้ำตาลเข้ม มีเนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียว และดินร่วนเหนียวปนทราย มีโครงสร้างแบบก้อนเหลี่ยมมุมมน พีเอชดินเป็นต่างเล็กน้อยถึงเป็นต่าง (pH 7.5-8.0)

LB-3 มีพิกัด 754258 E 1697135 N ตำบลบ้านท่าเยียม อำเภอลำสนธิ จังหวัดลพบุรี บริเวณนี้อยู่ สูงจากระดับทะเลปานกลางประมาณ 136 เมตร สภาพพื้นที่เป็นลูกคลื่นลอนลาดเล็กน้อย มีความลาดเท ประมาณร้อยละ 2-5 ดินมีการระบายน้ำค่อนข้างเลวถึงดีปานกลาง ดินมีความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้เข้าถึง ปานกลาง มีการไหลบ่าของน้ำบนผิวดินช้า วัตถุต้นกำเนิดเป็นตะกอนเศษหินเชิงเขาของหินทรายแป้ง หิน ทราย และหินคองโกเมอเรทที่เป็นต่าง สามารถแบ่งชั้นดินได้ 3 ชั้นคือ A-Bt-Btx พบชั้นดานเปราะที่ความ

ลึก 63-200 เซนติเมตร ดินมีความหนาของชั้นดานเปราะประมาณ 137 เซนติเมตร ดินบนมีสีน้ำตาลจนถึงสีน้ำตาลเข้ม เนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียวปนทราย ดินมีพีเอชเป็นกรดจัดถึงกรดปานกลาง (pH 5.5-6.0) มีโครงสร้างแบบก้อนเหลี่ยมมุมมน ส่วนดินล่างมีสีแดงปนเหลืองถึงสีน้ำตาลเข้ม มีเนื้อดินเป็นดินเหนียวปนทราย มีโครงสร้างแบบก้อนเหลี่ยมมุมมน พีเอชดินเป็นกรดจัดมากถึงเป็นกรดปานกลาง (pH 5.0-6.0)

LB-4 มีพิกัด 755420 E 1695361 N ตำบลบ้านใหม่ อำเภอลำสนธิ จังหวัดลพบุรี บริเวณนี้อยู่สูงจากระดับทะเลปานกลางประมาณ 113 เมตร สภาพพื้นที่เป็นลูกคลื่นลอนลาดเล็กน้อย มีความลาดเทประมาณร้อยละ 2-5 ดินมีการระบายน้ำค่อนข้างเลวถึงดีปานกลาง ดินมีความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้ช้าถึงปานกลาง มีการไหลบ่าของน้ำบนผิวดินช้า วัตถุต้นกำเนิดเป็นตะกอนเศษหินเชิงเขาของหินทรายแปง หินทราย และหินคองโกเมอเรทที่เป็นต่าง สามารถแบ่งชั้นดินได้ 2 ชั้นคือ A-Btx พบชั้นดานเปราะที่ความลึก 41-130 เซนติเมตร ดินมีความหนาของชั้นดานเปราะประมาณ 89 เซนติเมตร ดินบนมีสีน้ำตาลจนถึงสีน้ำตาลเข้ม เนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียวปนทราย ดินมีพีเอชเป็นกรดจัดมาก (pH 5.0) มีโครงสร้างแบบก้อนเหลี่ยมมุมมน ส่วนดินล่างมีสีแดงปนเหลืองถึงสีน้ำตาลเข้ม มีเนื้อดินเป็นดินเหนียวปนทรายปนกรวดมาก มีโครงสร้างแบบก้อนเหลี่ยมมุมมน พีเอชดินเป็นกรดจัดมากถึงเป็นต่าง (pH 5.0-8.0)

LB-5 มีพิกัด 703372 E 1652352 N ตำบลดีลัง อำเภอพัฒนานิคม จังหวัดลพบุรี บริเวณนี้อยู่สูงจากระดับทะเลปานกลางประมาณ 94 เมตร สภาพพื้นที่เป็นลูกคลื่นลอนลาดเล็กน้อย มีความลาดเทประมาณร้อยละ 1-3 ดินมีการระบายน้ำดีปานกลาง ดินมีความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้ช้าปานกลางถึงเร็ว มีการไหลบ่าของน้ำบนผิวดินช้า วัตถุต้นกำเนิดเป็นตะกอนน้ำพาที่ถมบนหินตะกอนและหินแก้วภูเขาไฟ สามารถแบ่งชั้นดินได้ 3 ชั้นคือ A-Bt-Btx พบชั้นดานเปราะที่ความลึก 90-200 เซนติเมตร ดินมีความหนาของชั้นดานเปราะประมาณ 110 เซนติเมตร ดินบนมีสีน้ำตาลจนถึงสีน้ำตาลเข้ม เนื้อดินเป็นดินร่วนปนทราย ดินมีพีเอชเป็นกรดรุนแรงถึงเป็นกรดจัดมาก (pH 4.0-5.0) มีโครงสร้างแบบก้อนเหลี่ยมมุมมน ส่วนดินล่างมีสีแดงปนเหลืองถึงสีน้ำตาลเข้ม มีเนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียวปนทราย มีโครงสร้างแบบก้อนเหลี่ยมมุมมน พีเอชดินเป็นกรดรุนแรงถึงเป็นต่าง (pH 4.0-8.0)

LB-6 มีพิกัด 703656 E 1653073 N ตำบลดีลัง อำเภอพัฒนานิคม จังหวัดลพบุรี บริเวณนี้อยู่สูงจากระดับทะเลปานกลางประมาณ 96 เมตร สภาพพื้นที่เป็นลูกคลื่นลอนลาดเล็กน้อย มีความลาดเทประมาณร้อยละ 1-3 ดินมีการระบายน้ำดีปานกลาง ดินมีความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้ช้าปานกลางถึงเร็ว มีการไหลบ่าของน้ำบนผิวดินช้า วัตถุต้นกำเนิดเป็นตะกอนน้ำพาที่ถมบนหินตะกอนและหินแก้วภูเขาไฟ สามารถแบ่งชั้นดินได้ 3 ชั้นคือ A-Bt-Btx พบชั้นดานเปราะที่ความลึก 76-140 เซนติเมตร ดินมีความหนาของชั้นดานเปราะประมาณ 64 เซนติเมตร ดินบนมีสีน้ำตาลจนถึงสีน้ำตาลเข้ม เนื้อดินเป็นดินร่วนปนทราย ดินมีพีเอชเป็นกรดรุนแรงมาก (pH 4.0) มีโครงสร้างแบบก้อนเหลี่ยมมุมมน ส่วนดินล่างมีสีแดงปนเหลืองถึงสีน้ำตาลเข้ม มีเนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียวปนทรายและดินเหนียวปนทราย มีโครงสร้างแบบก้อนเหลี่ยมมุมมน พีเอชดินเป็นกรดรุนแรงมากถึงเป็นกรดรุนแรง (pH 4.0-4.5)

LB-7 มีพิกัด 703596 E 1652962 N ตำบลติ่ง อำเภอดอนจาน จังหวัดอุบลราชธานี บริเวณนี้อยู่สูงจากระดับทะเลปานกลางประมาณ 84 เมตร สภาพพื้นที่เป็นลูกคลื่นลอนลาดเล็กน้อย มีความลาดเทประมาณร้อยละ 1-3 ดินมีการระบายน้ำดีปานกลาง ดินมีความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้ปานกลาง มีการไหลบ่าของน้ำบนผิวดินช้า วัตถุต้นกำเนิดเป็นตะกอนน้ำพาที่บดบดหินตะกอนและหินแกรนิต สามารถแบ่งชั้นดินได้ 3 ชั้นคือ A-Btv-Btx พบชั้นดานเปราะที่ความลึก 62-160 เซนติเมตร ดินมีความหนาของชั้นดานเปราะประมาณ 98 เซนติเมตร ดินบนมีสีน้ำตาลจนถึงสีน้ำตาลเข้ม เนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียวปนทราย ดินมีพีเอชเป็นกรดรุนแรง (pH 4.5) มีโครงสร้างแบบก้อนเหลี่ยมมุมมน ส่วนดินล่างมีสีแดงปนเหลืองถึงสีน้ำตาลเข้ม มีเนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียวปนทราย มีโครงสร้างแบบก้อนเหลี่ยมมุมมน พีเอชดินเป็นกรดรุนแรงถึงเป็นด่าง (pH 4.5-8.0)

LB-8 มีพิกัด 692656 E 1665102 N ตำบลเพี้ยะ อำเภอดอนจาน จังหวัดอุบลราชธานี บริเวณนี้อยู่สูงจากระดับทะเลปานกลางประมาณ 89 เมตร สภาพพื้นที่เป็นลูกคลื่นลอนลาดเล็กน้อย มีความลาดเทประมาณร้อยละ 1-3 ดินมีการระบายน้ำดีปานกลาง ดินมีความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้ปานกลาง มีการไหลบ่าของน้ำบนผิวดินช้า วัตถุต้นกำเนิดเป็นตะกอนน้ำพาที่บดบดหินตะกอนและหินแกรนิต สามารถแบ่งชั้นดินได้ 3 ชั้นคือ A-Bt-Btx พบชั้นดานเปราะที่ความลึก 75-160 เซนติเมตร ดินมีความหนาของชั้นดานเปราะประมาณ 85 เซนติเมตร ดินบนมีสีน้ำตาลจนถึงสีน้ำตาลเข้ม เนื้อดินเป็นดินร่วนปนทราย ดินมีพีเอชเป็นกรดปานกลาง (pH 7.5) มีโครงสร้างแบบก้อนเหลี่ยมมุมมน ส่วนดินล่างมีสีแดงปนเหลืองถึงสีน้ำตาลเข้ม มีเนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียวปนทรายถึงดินร่วนเหนียว มีโครงสร้างแบบก้อนเหลี่ยมมุมมน พีเอชดินเป็นกรดรุนแรงมากถึงเป็นด่างปานกลาง (pH 4.0-7.5)

ตารางที่ 2 ลักษณะสภาพภูมิประเทศของบริเวณพื้นที่ที่พบชั้นดานเปราะ จังหวัดลพบุรี

Pedon	Fragipan (cm)		Profile development	Parent material	Drainage	Permeability	Runoff
	Starting depth	Thickness					
LB-1	35-150	115	Ap-Btx	Colluvium from siltstone and sandstone with greenish grey calcareous conglomerate	Moderately well drained	Moderate	Medium
LB-2	55-200	145	A-Bt-Btx	Colluvium from siltstone and sandstone with greenish grey calcareous conglomerate	Somewhat poorly drained to moderately well drained	Slow to Moderate	Slow
LB-3	63-200	137	A-Bt-Btx	Colluvium from siltstone and sandstone with greenish grey calcareous conglomerate	Somewhat poorly drained to moderately well drained	Slow to Moderate	Slow
LB-4	41-130	89	A-Btx	Colluvium from siltstone and sandstone with greenish grey calcareous conglomerate	Somewhat poorly drained	Slow	Slow
LB-5	90-200	110	A-Bt-Btx	Alluvium over sedimentary rocks and tuff	Moderately well drained	Moderate to Rapid	Slow
LB-6	76-140	64	A-Bt-Btx	Alluvium over sedimentary rocks and tuff	Moderately well drained	Moderate	Slow
LB-7	62-160	98	A-Btv-Btx	Alluvium over sedimentary rocks and tuff	Moderately well drained	Moderate	Slow
LB-8	75-160	85	A-Bt-Btx	Alluvium over sedimentary rocks and tuff	Moderately well drained	Moderate	Slow

หมายเหตุ :

การระบายน้ำของดิน (soil drainage) แบ่งเป็น 7 ชั้น ดังนี้

- | | |
|--|---|
| (1) การระบายน้ำของดินเลวมาก (very poorly drained : vpd) | (2) การระบายน้ำของดินเลว (poorly drained : pd) |
| (3) การระบายน้ำของดินค่อนข้างเลว (somewhat poorly drained : spd) | (4) การระบายน้ำของดินดีปานกลาง (moderately well drained : md) |
| (5) การระบายน้ำของดินดี (well drained : wd) | (6) การระบายน้ำของดินค่อนข้างมาก (somewhat excessively drained : sex) |
| (7) การระบายน้ำของดินมากเกินไป (excessively drained : ex) | |

การซึมน้ำของดิน (soil permeability)

Soil permeability classes	Permeability rates ¹	
	cm/hour	cm/day
การซึมน้ำของดินช้ามาก (very slow)	Less than 0.13	Less than 3
การซึมน้ำของดินช้า (slow)	0.13 - 0.3	3 - 12
การซึมน้ำของดินค่อนข้างช้า (moderately slow)	0.5 - 2.0	12 - 48
การซึมน้ำของดินปานกลาง (moderately)	2.0 - 6.3	48 - 151
การซึมน้ำของดินค่อนข้างเร็ว (moderately rapid)	6.3 - 12.7	151 - 305
การซึมน้ำของดินเร็ว (rapid)	12.7 - 25	305 - 600
การซึมน้ำของดินเร็วมาก (very rapid)	More than 25	More than 600

การไหลบ่า (run off) : การไหลบ่าช้า (slow) การไหลบ่าปานกลาง (medium) การไหลบ่าเร็ว (rapid)

ตารางที่ 3 ลักษณะสัณฐานวิทยาของดินที่พบชั้นดานเปราะ จังหวัดลพบุรี

Horizon	Depth (cm)	Matrix color	Mottles	Texture	Structure	Consistence D, M, W	Field pH	Boundary
LB-1 (753158 E 1694867 N, 115 m MSL ต.ลำสนธิ อ.ลำสนธิ จ.ลพบุรี)								
Ap1	0-20	7.5YR 4/1, 7.5YR 5/2	none	SCL	3 m SBK	H,F, SS/SP	5.5	C and S
Ap2	20-35	7.5YR 4/1 (75%), 7.5YR 5/2 (20%)	7.5YR 4/6 (5%)	SCL	3 m SBK	H,F, SS/SP	5.5	C and S
Btx1	35-58	7.5YR 5/2 (60%), 7.5YR 6/2 (30%)	5YR 5/6 (10%)	SC	4 m SBK	EH, F, MS/SP	5.0	G and S
Btx2	58-75	7.5YR 5/3 (50%), 7.5YR 4/2 (30%)	5YR 5/8 (20%)	SC	4 m-c SBK	EH, F, MS/SP	5.5	C and S
Btx3	75-100	5YR 5/2 (50%), 7.5YR 5/3 (40%)	7.5YR 5/8 (10%)	SC	4 m-c SBK	EH, F, VS/MP	7.5	C and S
Btx4	100-135	5YR 5/2 (60%), 7.5YR 5/3 (30%)	5YR 5/6 (10%)	SCL	4 m-c SBK	EH, F, MS/MP	7.5	C and S
Btx5	135-150+	5YR 6/2 (60%), 7.5YR 6/3 (30%)	5YR 6/6 (7%), 7.5YR 7/6 (3%)	SCL	4 m-c SBK	EH, F, MS/MP	8.0	

ตารางที่ 3 (ต่อ)

Horizon	Depth (cm)	Matrix color	Mottles	Texture	Structure	Consistence D, M, W	Field pH	Boundary
LB-2 (754168 E 1697221 N, 94 m MSL ต.ลำสนธิ อ.ลำสนธิ จ.ลพบุรี)								
A1	0-20	7.5YR 5/2 (70%), 7.5YR 5/4(30%)	none	SCL	3m SBK	H, F, MS/SP	6.5	C and S
A2	20-32	7.5YR 5/3(70%), 7.5YR 6/6(30%)	none	SCL	3 m SBK	H, F, MS/SP	7.5	C and S
Bt	32-55	7.5YR 5/3(60%), 7.5YR 5/6(40%)	none	SC	4 m SBK	VH, F, VS/SP	7.5	C and S
Btx1	55-83	7.5YR 5/3 (60%), 7.5YR 6/4 (35%)	5YR 6/6 (5%)	SC	4 m SBK	EH, F, VS/MP	7.5	C and S
Btx2	83-112	7.5YR 5/3 (50%), 7.5YR 6/4 (40%)	5YR 6/6 (10%)	SC	4 m SBK	EH, F, VS/MP	8.0	C and S
Btx3	112-141	7.5YR 5/3 (40%), 7.5YR 6/4 (40%)	5YR 6/6 (20%)	SC	4 m-c SBK	EH, F, VS/MP	8.0	C and S
Btx4	141-172	7.5YR 5/3 (50%), 7.5YR 6/4 (25%)	5YR 5/6 (25%)	SCL	4 m-c SBK	EH, F, MS/MP	8.0	C and S
Btx5	172-200	7.5YR 5/3 (50%), 7.5YR 6/4 (30%)	5YR 5/6 (20%)	SCL	4 m-c SBK	EH, F, MS/MP	8.0	-

ตารางที่ 3 (ต่อ)

Horizon	Depth (cm)	Matrix color	Mottles	Texture	Structure	Consistence D, M, W	Field pH	Boundary
LB-3 (754258 E 1697135 N, 136 m MSL ต.ลำสนธิ อ.ลำสนธิ จ.ลพบุรี)								
A1	0-20	7.5YR 5/3(70%), 7.5YR 4/2(30%)	none	SCL	2m SBK	H, SF, MS/SP	6.0	C and S
A2	20-35	7.5YR 4/2(70%), 7.5YR 6/4(30%)	none	SCL	2 m SBK	H, SF, MS/SP	5.5	C and S
Bt	35-63	7.5YR 4/3(65%), 7.5YR 6/4(25%)	7.5YR 6/6(10%)	SC	3 m SBK	H, F, VS/MP	5.0	C and S
Btx1	63-85	7.5YR 4/3 (75%)	7.5YR 5/6 (25%)	SC	4 m SBK	VH, F, VS/MP	5.0	C and S
Btx2	85-105	7.5YR 4/3 (70%)	5YR 4/6 (30%)	SC	4 m SBK	VH, F, VS/MP	5.0	C and S
Btx3	105-140	7.5YR 4/3 (65%)	5YR 4/6 (35%)	SC	4 m-c SBK	EH, F, VS/MP	6.0	C and S
Btx4	140-172	7.5YR 4/3 (70%)	5YR 5/6 (30%)	SC	4 m-c SBK	EH, F, VS/MP	5.5	C and S
Btx5	172-200	7.5YR 4/3 (65%)	5YR 5/6 (25%), 7.5YR 5/6 (10%)	SC	4 m-c SBK	EH, F, VS/MP	5.5	-

ตารางที่ 3 (ต่อ)

Horizon	Depth (cm)	Matrix color	Mottles	Texture	Structure	Consistence D, M, W	Field pH	Boundary
LB-4 (755420 E 1695361 N, 113 m MSL ต.ลำสนธิ อ.ลำสนธิ จ.ลพบุรี)								
A1	0-28	7.5YR 5/6 (95%)	5YR 5/8 (5%)	SCL	4m SBK	VH, F, SS/SP	5.0	C and S
A2	28-41	7.5YR 5/4 (70%)	5YR 5/6 (30%)	SCL	4 m SBK	VH, F, MS/SP	5.0	C and S
Btx1	41-68	7.5YR 5/8 (75%)	5YR 6/8 (15%), 2.5YR 4/8 (10%)	gSC	4 m SBK	EH, F, VS/MP	5.0	C and S
Btx2	68-88	7.5YR 5/4 (87%)	5YR 5/6 (10%), 5YR 5/8 (3%)	gSC	4 m SBK	EH, F, VS/MP	7.0	C and S
Btx3	88-103	7.5YR 5/6 (60%)	7.5YR 6/8 (30%), 5YR 5/8 (10%)	gSC	4 mSBK	EH, F, VS/MP	7.0	C and G
Btx4	103-115	7.5YR 5/4 (60%), 10YR 5/8 (30%)	5YR 5/8 (10%)	gSC	4 m-c SBK	EH, F, VS/MP	8.0	C and G
Btx5	115-130	10YR 6/4 (60%), 10YR 5/8 (35%)	5YR 5/8 (5%)	gSC	4 m-c SBK	EH, F, MS/MP	8.0	-

ตารางที่ 3 (ต่อ)

Horizon	Depth (cm)	Matrix color	Mottles	Texture	Structure	Consistence D, M, W	Field pH	Boundary
LB-5 703372 E 1652352 N, 94 m MSL ต.ดีลัง อ.พัฒนานิคม จ.ลพบุรี								
A1	0-25	7.5YR 4/4 (60%), 7.5YR4/3 (40%)	none	SL	2f-m semi- SBK	SH, VF, NS/NP	5.5	C and S
A2	25-30	7.5YR 4/4	none	SL	2f-m semi- SBK	SH, VF, NS/NP	4.0	C and S
Bt1	30-56	5YR4/6	none	SL	3f-m semi- SBK	SH, F, SS/SP	4.0	C and S
Bt2	56-70	5YR5/6 (75%)	2.5YR 4/8 (20%), 2.5YR 3/6 (5%)	SL	3m SBK	SH, F, SS/SP	4.0	C and S
Bt3	70-90	5YR5/6 (70%)	2.5YR 5/8 (10%), 5YR 6/8 (20%)	SL	3m SBK	SH, F, SS/SP	4.0	A and S
Btx1	90-115	5YR 6/4 (80%)	5YR 5/8 (10%), 7.5YR 5/8(10%)	SCL	4 m SBK	EH, F, MS/MP	5.0	C and S
Btx2	115-136	5YR 6/4 (72%)	5YR 5/8 (18%), 7.5YR 5/8(10%)	SCL	4 m SBK	EH, F, VS/MP	8.0	C and S
Btx3	136-170	7.5YR 5/4 (80%)	7.5YR 5/8 (15%), 5YR 5/8 (5%)	SCL	4 mSBK	EH, F, VS/MP	8.0	C and G
Btx4	170-200	7.5YR 5/4 (80%)	7.5YR 5/8 (17%), 5YR5/8 (3%)	SCL	4 m-c SBK	EH, F, VS/MP	8.0	-

ตารางที่ 3 (ต่อ)

Horizon	Depth (cm)	Matrix color	Mottles	Texture	Structure	Consistence D, M, W	Field pH	Boundary
LB-6 (703656 E 1653073 N, 96 m MSL ต.ดีลัง อ.พัฒนานิคม จ.ลพบุรี)								
A1	0-18	7.5YR 5/4 (90%)	7.5YR 6/8 (10%)	SL	3m SBK	H, F, SS/NP	4.0	C and S
A2	18-30	7.5YR 6/4 (75%)	7.5YR 5/8 (20%), 5YR5/8(5%)	SL	3m SBK	H, F, SS/NP	4.0	C and S
Bt1	30-55	7.5YR6/4 (75%)	7.5YR 6/6 (20%), 10YR6/8(5%)	SCL	4f SBK	H, F, VS/VP	4.0	C and S
Bt2	55-76	7.5YR6/4(70%)	7.5YR 6/8 (20%), 5YR 5/6 (5%)	SCL	4f SBK	H, F, VS/VP	4.0	C and S
Btx1	76-105	7.5YR 6/3 (60%)	7.5YR 6/8 (30%), 2.5YR 5/8 (10%)	SCL	4 m SBK	EH, F, MS/MP	4.0	C and S
Btx2	105-117	7.5YR 6/3 (60%)	5YR 5/8 (30%), 7.5YR 6/8 (10%)	SCL	4 m SBK	EH, F, MS/MP	4.5	C and S
Btx3	117-128	7.5YR 6/3 (65%)	7.5YR 6/8 (15%), 10YR 6/8 (15%), 2.5YR 4/8 (5%)	SC	4 m SBK	EH, F, MS/MP	4.0	C and S
Btx4	128-140	7.5YR 6/2 (60%)	7.5YR 6/8 (15%), 5YR 5/8 (15%), 2.5YR 4/8 (10%)	SC	4 m-c SBK	EH, F, VS/MP	4.0	-

ตารางที่ 3 (ต่อ)

Horizon	Depth (cm)	Matrix color	Mottles	Texture	Structure	Consistence D, M, W	Field pH	Boundary
LB-7 (703596 E 1652962 N, 84 m MSL ต.ดีลัง อ.พัฒนานิคม จ.ลพบุรี)								
A1	0-15	7.5YR 6/8 (60%),7.5YR6/4(33%)	2.5YR 5/8 (7%)	SCL	3f SBK	H, F, SS/NP	4.5	C and S
A2	15-32	7.5YR 5/6 (50%),7.5YR6/4(44%)	2.5YR 5/8 (6%)	SCL	3m SBK	H, F, SS/NP	4.5	C and S
Btv	32-62	7.5YR6/3 (40%),7.5YR6/8 (35%)	2.5YR 4/8 (25%)	SCL	4f SBK	H, F, MS/MP	4.5	C and S
Btx1	62-80	10YR 5/4 (40%),7.5YR6/6 (43%)	7.5YR 6/8 (10%), 10YR 6/8 (7%)	SCL	4 m SBK	EH, F, MS/MP	4.0	C and S
Btx2	80-105	10YR 5/4 (60%),10YR 6/4 (30%)	5YR 6/8 (10%)	SCL	4 f SBK	EH, F, MS/MP	7.5	C and S
Btx3	105-135	7.5YR 6/4 (40%),7.5YR 5/8 (40%)	5YR 5/8 (15%), 2.5YR 4/8 (5%)	SCL	4 f SBK	EH, F, MS/MP	7.5	C and S
Btx4	135-160	7.5YR 6/3 (40%),10YR 5/4 (32%)	7.5YR 5/8 (15%), 5YR 5/8 (3%)	SCL	4 f SBK	EH, F, VS/MP	8.0	C and S
Btx5	160+	7.5YR 6/4 (81%)	5YR 5/8 (7%), 2.5YR 5/8 (12%)	SCL	4 f SBK	EH, F, VS/MP	8.0	-

ตารางที่ 3 (ต่อ)

Horizon	Depth (cm)	Matrix color	Mottles	Texture	Structure	Consistence D, M, W	Field pH	Boundary
LB-8 (692656 E 1665102 N, 89 m MSL ต.เพนียด อ.โคกสำโรง จ.ลพบุรี)								
A	0-25	5YR 5/6	-	SL	3f SBK	SH, F, SS/NP	7.5	C and S
Bt1	25-50	5YR 5/6		SL	4f SBK	SH, F, SS/SP	7.5	C and S
Bt2	50-75	5YR 4/6(60%) 5YR 5/6(40%)	-	SL	4 m SBK	VH, F, MS/MP	7.0	C and S
Btx1	75-100	7.5YR 6/4 (40%) 7.5YR6/6 (25%)	2.5YR 5/8 (20%), 10R 4/8 (15%)	SC	4 m SBK	VH, F, VS/VP	4.0	C and S
Btx2	100-128	7.5YR 6/4 (40%) 10YR 6/3 (30%)	2.5YR 5/8 (10%),10R4/8 (20%)	sgSC	4 f SBK	EH, F, VS/VP	4.0	C and S
Btx3	128-160	10YR 6/3 (60%) 10YR 6/8 (25%)	5YR 5/8 (10%), 2.5YR 5/8 (5%)	sgSCL	4 f SBK	EH, F, VS/VP	4.5	-

หมายเหตุ

Texture: VG = very gravelly, G = gravelly, SG = slightly gravelly, LS = loamy sand, SL = sandy loam, SCL = sandy clay loam, SC = sandy clay

Structure: 1 = weak, 2 = moderately weak, 3 = moderate, 4 = strong, SBK = subangular blocky structure, ABK = angular blocky structure, SG = single grain, vf = very fine, f = fine, m = medium, c = coarse

Consistence: D = dry, S = soft, SH = slightly hard, H = hard, VH = very hard, M = moist, L = loose, Vfri = very friable, Fri = friable, SF = slightly firm, F = firm, VF = very firm, W = wet, NS = non-sticky, SS = slightly sticky, MS = moderately sticky, VS = very sticky, NP = non-plastic, SP = slightly plastic, MP = moderately plastic, VP = very plastic

Boundary: A = abrupt, C = clear, D = diffuse, G = gradual, S = smooth, W = wavy, I = irregular



LB-1



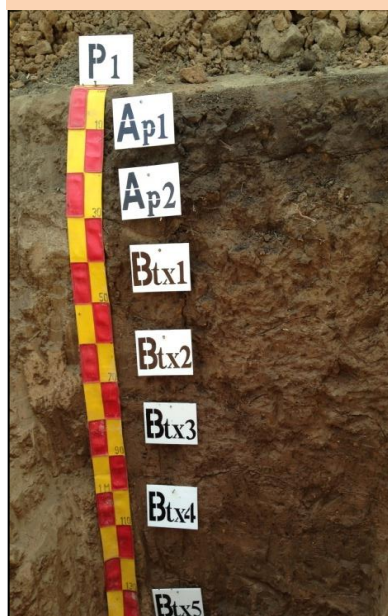
LB-2



LB-3



LB-4



ภาพที่ 21 สภาพแวดล้อมของพื้นที่ และภาพหน้าตัดของดินที่พบชั้นดานเปราะ อำเภอลำสนธิ จังหวัดลพบุรี



LB-5



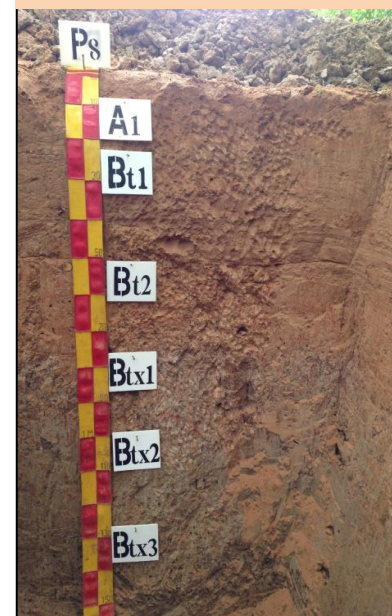
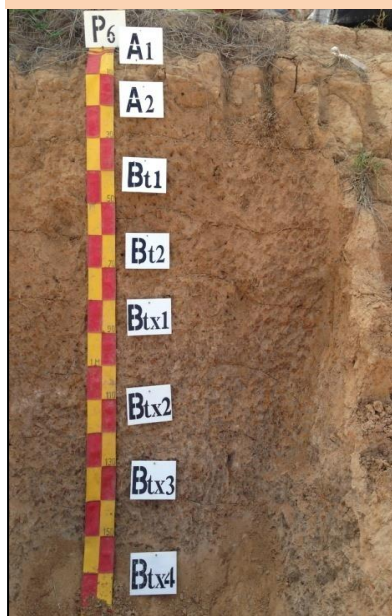
LB-6



LB-7



LB-8



ภาพที่ 22 สภาพแวดล้อมของพื้นที่ และภาพหน้าตัดของดินที่พบชั้นดานเปราะ อำเภอนานคม อำเภอดงสำโรง จังหวัดลพบุรี

จากการศึกษาฐานวิทยาในสนามของชั้นดานเปราะที่พบในพื้นที่ศึกษาจังหวัดลพบุรี มีวัตถุต้นกำเนิดดินเป็นตะกอนเศษหินเชิงเขาของหินทรายแป้ง หินทราย และหินคองโกเมอเรทที่เป็นต่าง และวัตถุต้นกำเนิดจากตะกอนน้ำพาทับถมบนหินตะกอนและหินเถ้าภูเขาไฟ โดยชั้นดานเปราะที่พบมีความหนาและระดับความลึกของชั้นดานเปราะแตกต่างกันไปตามผิวหน้าของสภาพภูมิประเทศ แบ่งชั้นดินได้ 3 ชั้นคือ A-Bt-Btx โดยพบชั้นดานเปราะ (Btx) ที่ระดับ 35-90 เซนติเมตร มีความหนาตั้งแต่ 64-145 เซนติเมตร พบการเคลือบของอนุภาคดินเหนียวที่เคลื่อนย้ายมาจากดินชั้นบน ชั้นดานเปราะมีเนื้อดินเป็นดินร่วนปนทรายถึงดินเหนียวปนทรายขึ้นอยู่กับวัตถุต้นกำเนิดดินและการเคลื่อนย้ายของอนุภาคนาโนดินเหนียว โดยชั้นดานเปราะที่มีวัตถุต้นกำเนิดเป็นตะกอนน้ำพาทับถมบนหินตะกอนและหินเถ้าภูเขาไฟ มีสีแดงปนเหลืองถึงสีน้ำตาล มีจุดประสีแดงและสีน้ำตาลปนแดงที่เกิดจากเหล็กเช่นเดียวกับผลการศึกษาของ van Breeman and Buurman (2003) ที่พบจุดประของเหล็กในชั้นดานเปราะ ชั้นดานเปราะในพื้นที่ศึกษามีโครงสร้างแบบก้อนเหลี่ยมมุมมน ชั้นส่วนของชั้นดานเปราะมีความแข็งแรงมากแต่จะยุบสลายง่ายเมื่อแช่น้ำ ตามลักษณะการจำแนกชั้นดานเปราะของ Soil Survey Staff (1999, 2014) และมีค่าพีเอชเป็นกรดจัดมากถึงเป็นต่าง

ชั้นดานเปราะที่พบในพื้นที่ศึกษาจังหวัดลพบุรีที่มีวัตถุต้นกำเนิดดินเป็นตะกอนเศษหินเชิงเขาของหินทรายแป้ง หินทราย และหินคองโกเมอเรทที่เป็นต่าง และวัตถุต้นกำเนิดดินจากตะกอนน้ำพาทับถมบนหินตะกอนและหินเถ้าภูเขาไฟ มีลักษณะของฐานวิทยาในสนามตามลักษณะการจำแนกชั้นดานเปราะของ Soil Survey Staff (1999, 2014) เช่นเดียวกับผลการศึกษาชั้นดานเปราะของ ของ Phunmuang (2011) ที่มีวัตถุต้นกำเนิดดินเป็นตะกอนเศษหินเชิงเขาของหินทรายทับถมบนหินเถ้าภูเขาไฟ มีความหนาของชั้นดานเปราะ 68-160 เซนติเมตร มีโครงสร้างเป็นก้อนเหลี่ยมมุมมน ก้อนเหลี่ยมมุมคมและแท่งปริซึม มีจุดประที่เกิดจากเหล็ก มีเนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียวปนทรายถึงดินร่วนปนทรายและดินเหนียวปนทราย ชั้นส่วนของชั้นดานเปราะที่พบในพื้นที่ศึกษาจังหวัดลพบุรีมีความแข็งแรงมากแต่จะยุบสลายง่ายเมื่อแช่น้ำและมีค่าพีเอชเป็นกรดจัดมากถึงเป็นต่าง ซึ่งสมบัติในสนามเหล่านี้มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของไม้ป่าหลัง ทำให้ผลผลิตลดลง

2. ลักษณะทั่วไปและสัณฐานวิทยาสนามของชั้นดานเปราะในจังหวัดสระบุรี

ลักษณะทั่วไปและสัณฐานวิทยาสนามของดินที่ทำการศึกษาทั้ง 2 อำเภอ แสดงไว้ในตารางที่ 4 และ ตารางที่ 5 และ ภาพที่ 23 และภาพที่ 24

SB-1 มีพิกัด 728236 E 1595654 N ตำบลชะอม อำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี บริเวณนี้อยู่สูงจากระดับทะเลปานกลางประมาณ 102 เมตร สภาพพื้นที่เป็นลูกคลื่นลอนลาด มีความลาดเทประมาณร้อยละ 5-8 ดินมีการระบายน้ำดีปานกลาง ดินมีความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้ปานกลาง มีการไหลบ่าของน้ำบนผิวดินปานกลาง วัตถุต้นกำเนิดเป็นตะกอนเศษหินเชิงเขาของหินทรายแป้ง หินเถ้าภูเขาไฟแอนดิซิติคส์สามารถแบ่งชั้นดินได้ 3 ชั้นคือ A-Btx-Btc-Cr พบชั้นดานเปราะที่ความลึก 20-81 เซนติเมตร ดินมีความหนาของชั้นดานเปราะประมาณ 61 เซนติเมตร ดินบนมีสีน้ำตาลจนถึงสีน้ำตาลเข้ม เนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียวปนทรายปนกรวด ดินมีพีเอชเป็นกรดเล็กน้อย (pH 6.5) มีโครงสร้างแบบก้อนเหลี่ยมมุมมน ส่วนดินล่างมีสีแดงปนเหลืองถึงสีน้ำตาลเข้ม มีเนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียวปนทราย และดินร่วนเหนียว มีโครงสร้างแบบก้อนเหลี่ยมมุมมน พีเอชดินเป็นกรดจัดมากถึงเป็นกรดจัด (pH 5.0-5.5)

SB-2 มีพิกัด 728224 E 1595321 N ตำบลชะอม อำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี บริเวณนี้อยู่สูงจากระดับทะเลปานกลางประมาณ 104 เมตร สภาพพื้นที่เป็นลูกคลื่นลอนลาดเล็กน้อย มีความลาดเทประมาณร้อยละ 2-5 ดินมีการระบายน้ำดีปานกลาง ดินมีความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้ปานกลาง มีการไหลบ่าของน้ำบนผิวดินปานกลาง วัตถุต้นกำเนิดเป็นตะกอนเศษหินเชิงเขาของ หินเถ้าภูเขาไฟแอนดิซิติคส์สามารถแบ่งชั้นดินได้ 3 ชั้นคือ A-Btx-Cr พบชั้นดานเปราะที่ความลึก 30-122 เซนติเมตร ดินมีความหนาของชั้นดานเปราะประมาณ 92 เซนติเมตร ดินบนมีสีน้ำตาลจนถึงสีน้ำตาลเข้ม เนื้อดินเป็นดินเหนียวปนทราย ดินมีพีเอชเป็นกรดจัดมาก (pH 5.0) มีโครงสร้างแบบก้อนเหลี่ยมมุมมน ส่วนดินล่างมีสีแดงปนเหลืองถึงสีน้ำตาลเข้ม มีเนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียวปนทราย มีโครงสร้างแบบก้อนเหลี่ยมมุมมน พีเอชดินเป็นกรดจัดมากถึงเป็นกรดจัด (pH 4.5-5.5)

SB-3 มีพิกัด 728200 E 1594964 N ตำบลชะอม อำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี บริเวณนี้อยู่สูงจากระดับทะเลปานกลางประมาณ 116 เมตร สภาพพื้นที่ค่อนข้างราบเรียบ มีความลาดเทประมาณร้อยละ 0-2 ดินมีการระบายน้ำดีปานกลาง ดินมีความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้ปานกลาง มีการไหลบ่าของน้ำบนผิวดินต่ำ วัตถุต้นกำเนิดเป็นตะกอนเศษหินเชิงเขาของหินเถ้าภูเขาไฟแอนดิซิติคส์ สามารถแบ่งชั้นดินได้ 3 ชั้นคือ A-Btx-Cr พบชั้นดานเปราะที่ความลึก 33-135 เซนติเมตร ดินมีความหนาของชั้นดานเปราะประมาณ 102 เซนติเมตร ดินบนมีสีน้ำตาลจนถึงสีน้ำตาลเข้ม เนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียวปนทราย ดินมีพีเอชเป็นกรดจัด (pH 5.5) มีโครงสร้างแบบก้อนเหลี่ยมมุมมน ส่วนดินล่างมีสีแดงปนเหลืองถึงสีน้ำตาลเข้ม มีเนื้อดินเป็นดินเหนียวปนทราย มีโครงสร้างแบบก้อนเหลี่ยมมุมมน พีเอชดินเป็นกรดจัดมากถึงเป็นกรดเล็กน้อย (pH 5.0-6.5)

SB-4 มีพิกัด 728177 E 1594619 N ตำบลกุดนกกเปล้า อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี บริเวณนี้อยู่สูงจากระดับทะเลปานกลางประมาณ 94 เมตร สภาพพื้นที่เป็นลูกคลื่นลอนลาดเล็กน้อย มีความลาดเทประมาณร้อยละ 2-5 ดินมีการระบายน้ำดีปานกลาง ดินมีความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้ช้าถึงปานกลาง มีการไหลบ่าของน้ำบนผิวดินช้า วัตถุต้นกำเนิดเป็นตะกอนเศษหินเชิงเขาของหินเก่าภูเขาไฟแอนดีซิดิกส์สามารถแบ่งชั้นดินได้ 3 ชั้นคือ A-Btx-Btc พบชั้นดานเปราะที่ความลึก 32-130 เซนติเมตร ดินมีความหนาของชั้นดานเปราะประมาณ 98 เซนติเมตร ดินบนมีสีน้ำตาล เนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียวปนทรายปนกรวด ดินมีพีเอชเป็นกรดจัด (pH 5.5) มีโครงสร้างแบบก้อนเหลี่ยมมุมมน ส่วนดินล่างมีสีแดงปนเหลืองถึงสีน้ำตาลเข้ม มีเนื้อดินเป็นดินเหนียวปนทรายปนกรวดมาก มีโครงสร้างแบบก้อนเหลี่ยมมุมมน พีเอชดินเป็นกรดจัด (pH 5.5)

SB-5 มีพิกัด 710738 E 1603440 N ตำบลกุดนกกเปล้า อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี บริเวณนี้อยู่สูงจากระดับทะเลปานกลางประมาณ 92 เมตร สภาพพื้นที่เป็นลูกคลื่นลอนลาดเล็กน้อย มีความลาดเทประมาณร้อยละ 1-3 ดินมีการระบายน้ำดีปานกลาง ดินมีความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้ช้าถึงปานกลาง มีการไหลบ่าของน้ำบนผิวดินช้า วัตถุต้นกำเนิดเป็นตะกอนเศษหินเชิงเขาของหินเก่าภูเขาไฟแอนดีซิดิกส์สามารถแบ่งชั้นดินได้ A-Btx-Btc พบชั้นดานเปราะที่ความลึก 30-88 เซนติเมตร ดินมีความหนาของชั้นดานเปราะประมาณ 58 เซนติเมตร ดินบนมีสีน้ำตาลจนถึงสีน้ำตาลเข้ม เนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียวปนทรายปนกรวด ดินมีพีเอชเป็นกรดจัดมาก (pH 5.0) มีโครงสร้างแบบก้อนเหลี่ยมมุมมน ส่วนดินล่างมีสีแดงปนเหลืองถึงสีน้ำตาลเข้ม มีเนื้อดินเป็นดินเหนียวปนทราย มีโครงสร้างแบบก้อนเหลี่ยมมุมมน พีเอชดินเป็นกรดจัดมากถึงเป็นกรดจัด (pH 5.0-5.5)

SB-6 มีพิกัด 710369 E 1603464 N ตำบลกุดนกกเปล้า อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี บริเวณนี้อยู่สูงจากระดับทะเลปานกลางประมาณ 96 เมตร สภาพพื้นที่เป็นลูกคลื่นลอนลาดเล็กน้อย มีความลาดเทประมาณร้อยละ 1-3 ดินมีการระบายน้ำดีปานกลาง ดินมีความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้ช้าถึงปานกลาง มีการไหลบ่าของน้ำบนผิวดินช้า วัตถุต้นกำเนิดเป็นตะกอนเศษหินเชิงเขาของหินเก่าภูเขาไฟแอนดีซิดิกส์สามารถแบ่งชั้นดินได้ A-Btx-Cr พบชั้นดานเปราะที่ความลึก 10-115 เซนติเมตร ดินมีความหนาของชั้นดานเปราะประมาณ 105 เซนติเมตร ดินบนมีสีน้ำตาลปนแดงจนถึงสีน้ำตาลเข้ม เนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียว ดินมีพีเอชเป็นกรดจัด (pH 5.5) มีโครงสร้างแบบก้อนเหลี่ยมมุมมน ส่วนดินล่างมีสีน้ำตาลปนแดงถึงสีแดงปนเหลือง มีเนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียวปนทรายและดินร่วนเหนียวปนทรายถึงดินเหนียวปนทราย มีโครงสร้างแบบก้อนเหลี่ยมมุมมน พีเอชดินเป็นกรดจัดมากถึงเป็นกรดจัด (pH 5.0-5.5)

SB-7 มีพิกัด 710037 E 1603452 N ตำบลกุดนกกเปล้า อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี บริเวณนี้อยู่สูงจากระดับทะเลปานกลางประมาณ 88 เมตร สภาพพื้นที่เป็นลูกคลื่นลอนลาดเล็กน้อย มีความลาดเทประมาณร้อยละ 1-3 ดินมีการระบายน้ำดีปานกลาง ดินมีความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้ปานกลาง มีการไหลบ่าของน้ำบนผิวดินปานกลาง วัตถุต้นกำเนิดเป็นตะกอนเศษหินเชิงเขาของหินเก่าภูเขาไฟแอนดีซิดิกส์

สามารถแบ่งชั้นดินได้ 3 ชั้นคือ A-Btx-Cr พบชั้นดานเปราะที่ความลึก 10-130 เซนติเมตร ดินมีความหนาของชั้นดานเปราะประมาณ 120 เซนติเมตร ดินบนมีสีน้ำตาลปนแดง เนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียว ดินมีพีเอชเป็นกรดจัด (pH 5.5) มีโครงสร้างแบบก้อนเหลี่ยมมุมมน ส่วนดินล่างมีสีแดงปนเหลืองถึงสีน้ำตาลเข้ม มีเนื้อดินเป็นดินเหนียวปนทราย มีโครงสร้างแบบก้อนเหลี่ยมมุมมน พีเอชดินเป็นกรดจัดมากถึงเป็นด่าง (pH 5.0-7.5)

SB-8 มีพิกัด 709680 E 1603428 N ตำบลกุดนกเปล้า อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี บริเวณนี้อยู่สูงจากระดับทะเลปานกลางประมาณ 79 เมตร สภาพพื้นที่เป็นลูกคลื่นลอนลาดเล็กน้อย มีความลาดเทประมาณร้อยละ 1-3 ดินมีการระบายน้ำดีปานกลาง ดินมีความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้ปานกลาง มีการไหลบ่าของน้ำบนผิวดินปานกลาง วัตถุต้นกำเนิดเป็นตะกอนเศษหินเชิงเขาของหินเถ้าภูเขาไฟแอนดิซิติกส์ สามารถแบ่งชั้นดินได้ 3 ชั้นคือ A-Btx-Cr พบชั้นดานเปราะที่ความลึก 10-140 เซนติเมตร ดินมีความหนาของชั้นดานเปราะประมาณ 130 เซนติเมตร ดินบนมีสีน้ำตาลจนถึงสีน้ำตาลเข้ม เนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียว ดินมีพีเอชเป็นกรดเล็กน้อย (pH 6.5) มีโครงสร้างแบบก้อนเหลี่ยมมุมมน ส่วนดินล่างมีสีแดงปนเหลืองถึงสีน้ำตาลเข้ม มีเนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียวปนทรายถึงดินร่วนเหนียว มีโครงสร้างแบบก้อนเหลี่ยมมุมมน พีเอชดินเป็นกรดเล็กน้อยถึงเป็นด่างปานกลาง (pH 6.5-8.5)

ตารางที่ 4 ลักษณะสภาพภูมิประเทศของบริเวณพื้นที่ที่พบชั้นดานเปราะ จังหวัดสระบุรี

Pedon	Fragipan (cm)		Profile development	Parent material	Drainage	Permeability	Runoff
	Starting depth	Thickness					
SB-1	20-81	61	A-Btx-Btc	Colluvium from andesitic tuff	Moderately well drained	Moderate	Medium
SB-2	30-122	92	A-Btx-Btc	Colluvium from andesitic tuff	Moderately well drained	Moderate	Medium
SB-3	33-135	102	A-Btx-Btc	Colluvium from andesitic tuff	Moderately well drained	Moderate	Medium
SB-4	32-130	98	A-Btx-Btc	Colluvium from andesitic tuff	Moderately well drained	Moderate	Medium
SB-5	30-88	58	A-Btx-Btc	Colluvium from andesitic tuff	Moderate to well drained	Moderate	Medium
SB-6	10-115	105	A-Btx-Btc	Colluvium from andesitic tuff	Moderately well drained	Moderate	Medium
SB-7	10-130	120	A-Btx-Btc	Colluvium from andesitic tuff	Moderately well drained	Moderate	Medium
SB-8	10-140	130	A-Btx-Btc	Colluvium from andesitic tuff	Moderately well drained	Moderate	Medium

หมายเหตุ :

การระบายน้ำของดิน (soil drainage) แบ่งเป็น 7 ชั้น ดังนี้

- | | |
|--|---|
| (1) การระบายน้ำของดินเลวมาก (very poorly drained : vpd) | (2) การระบายน้ำของดินเลว (poorly drained : pd) |
| (3) การระบายน้ำของดินค่อนข้างเลว (somewhat poorly drained : spd) | (4) การระบายน้ำของดินดีปานกลาง (moderately well drained : md) |
| (5) การระบายน้ำของดินดี (welldrained : wd) | (6) การระบายน้ำของดินค่อนข้างมาก (somewhat excessively drained : sex) |
| (7) การระบายน้ำของดินมากเกินไป (excessively drained : ex) | |

การซาบซึมน้ำของดิน (soil permeability)

Soil permeability classes	Permeability rates ¹	
	cm/hour	cm/day
การซาบซึมน้ำของดินช้ามาก (very slow)	Less than 0.13	Less than 3
การซาบซึมน้ำของดินช้า (slow)	0.13 - 0.3	3 - 12
การซาบซึมน้ำของดินค่อนข้างช้า (moderately slow)	0.5 - 2.0	12 - 48
การซาบซึมน้ำของดินปานกลาง (moderately)	2.0 - 6.3	48 - 151
การซาบซึมน้ำของดินค่อนข้างเร็ว (moderately rapid)	6.3 - 12.7	151 - 305
การซาบซึมน้ำของดินเร็ว (rapid)	12.7 - 25	305 - 600
การซาบซึมน้ำของดินเร็วมาก (very rapid)	More than 25	More than 600

การไหลบ่า (run off) การไหลบ่าช้า (slow) การไหลบ่าปานกลาง (medium) การไหลบ่าเร็ว (rapid)

ตารางที่ 5 สันฐานวิทยาสนามของดินที่พบชั้นดานเปราะ จังหวัดสระบุรี

Horizon	Depth (cm)	Matrix color	Mottles	Texture	Structure	Consistence D, M, W	Field pH	Boundary
SB-1 (728236 E 1595654 N, 102 m MSL, ต.ชะอม อ.แก่งคอย จ.สระบุรี)								
A1	0-10	10YR 4/4(98%)	2.5YR4/8 (2%)	sgSCL	3 m ABK	H, F, SS/SP	6.5	C and S
A2	10-20	7.5YR 4/6 (85%)	5YR 6/8(10%), 2.5YR 4/8 (5%)	sgSCL	4m ABK	H, F, MS/SP	6.5	C and S
Btx1	20-42	7.5YR 4/6 (82%)	5YR 6/8(10%), 2.5YR 4/8 (8%)	gSCL	4 m ABK	EH, F, MS/SP	5.5	G and S
Btx2	42-60	7.5YR 5/6(73%)	5YR 5/8(15%), 2.5YR 4/8 (12%)	gSCL	4 m-c ABK	EH, F, MS/SP	5.5	C and S
Btx3	60-81	7.5YR 6/4 (68%)	5YR 5/8 (18%), 2.5YR 4/8 (15%)	gSC	4 m-c ABK	EH, F, VS/MP	5.5	C and D
Btc	81-120	7.5YR 6/4 (60%)	10YR 5/8 (10%), 5YR 5/8 (12%), 2.5YR 4/8 (8%)	gSC	4 m-c ABK	EH, F, MS/MP	5.0	C and S
Cr	120+	-	-	-	-	-	-	-

ตารางที่ 5 (ต่อ)

Horizon	Depth (cm)	Matrix color	Mottles	Texture	Structure	Consistence D, M, W	Field pH	Boundary
SB-2 (728224 E 1595321 N, 104 m MSL, ต.ชะอม อ.แก่งคอย จ.สระบุรี)								
A1	0-12	5YR 4/6(90%)	7.5YR 6/8 (5%), 2.5YR 5/8 (2%)	gSC	3m ABK	H, F, MS/SP	5.0	C and S
A2	12-30	7.5YR 5/6(85%)	5YR 6/8 (10%), 2.5YR 5/8 (5%)	gSC	3 m ABK	H, F, MS/SP	4.5	C and S
Btx1	30-55	7.5YR 5/8 (75%)	7.5YR 6/8 (15%), 5YR 8/8 (5%), 2.5YR 5/8(5%)	gSC	4 m ABK	VH, F, VS/MP	4.5	C and S
Btx2	55-80	7.5YR 6/6 (85%)	10YR 6/8 (15%), 5YR 6/8 (10%)	gSC	4 m ABK	EH, F, VS/MP	4.5	C and S
Btx3	80-122	7.5YR 6/4 (75%)	10YR 6/8 (15%), 5YR 6/8 (10%)	gSCL	4 m-c ABK	EH, F, VS/MP	4.5	C and S
Btc	122-145	7.5YR 6/4 (66%)	10YR 7/8 (18%), 5YR 6/8 (10%), 2.5YR 5/8 (8%)	gSCL	4 m-c ABK	EH, F, MS/MP	5.5	-
Cr	145+	-	-	-	-	-	-	-

ตารางที่ 5 (ต่อ)

Horizon	Depth (cm)	Matrix color	Mottles	Texture	Structure	Consistence D, M, W	Field pH	Boundary
SB-3 (728200 E 1594964 N, 116 m MSL, ต.ชะอม อ.แก่งคอย จ.สระบุรี)								
A1	0-15	7.5YR 4/3(90%)	7.5YR6/8(7%), 2.5YR 5/8 (3%)	sgSCL	2m SBK	H, SF, MS/SP	5.0	C and S
A2	15-33	7.5YR 4/4(87%)	7.5YR 6/8 (8%), 2.5YR 5/8 (5%)	gSC	2 m SBK	H, F, VS/MP	5.0	C and S
Btx1	33-72	7.5YR 4/3 (85%)	2.5YR 4/8 (5%), 2.5YR 6/8 (10%)	gSCL	4 m SBK	VH, F, VS/MP	5.5	C and S
Btx2	72-96	7.5YR 4/3 (85%)	7.5YR 6/8 (10%), 2.5YR 5/8 (5%)	gSCL	4 m SBK	VH, F, VS/MP	5.5	C and S
Btx3	96-115	7.5YR 6/4(60%),7.5YR6/8 (20%)	5YR 5/8 (15%), 2.5YR 5/8 (5%)	gSC	4 m-c SBK	EH, F, VS/MP	6.0	C and S
Btx4	115-135	7.5YR 6/4 (55%)	10YR 6/6 (30%), 5YR 5/8 (10%), 2.5YR 5/8 (5%)	gSC	4 m-c SBK	EH, F, VS/MP	6.5	C and S
Btc	135-170	7.5YR 6/4 (50%)	10YR 7/8 (35%), 5YR 5/8 (10%), 2.5YR 5/8 (5%)	gSC	4 m-c SBK	EH, F, VS/VP	6.5	C and S
Cr	170+	-	-	-	-	-	-	-

ตารางที่ 5 (ต่อ)

Horizon	Depth (cm)	Matrix color	Mottles	Texture	Structure	Consistence D, M, W	Field pH	Boundary
SB-4 (728177 E 1594619 N, 94 m MSL, ต.กุดนกเปล้า อ.เมือง จ.สระบุรี)								
A1	0-13	7.5YR 4/4 (55%) 7.5YR5/6(40%)	2.5YR 5/8 (5%)	sgSCL	4m ABK	H, F, SS/SP	5.5	C and S
A2	13-32	7.5YR 4/4 (50%), 7.5YR6/8(45%)	2.5YR 5/8 (5%)	sgSCL	4 m ABK	H, F, MS/SP	5.5	C and S
Btx1	32-48	7.5YR 4/3 (60%), 7.5YR6/8(37%)	2.5YR5/8 (3%)	sgSCL	4 m ABK	EH, F, VS/MP	5.5	C and S
Btx2	48-79	7.5YR 4/4 (80%), 7.5YR6/8(23%)	5YR 5/8 (7%), 2.5YR 5/8 (10%)	gSCL	4 m ABK	EH, F, VS/MP	5.5	C and S
Btx3	79-95	7.5YR 6/4 (75%)	10YR 5/8 (20%), 2.5YR 5/8 (5%)	gSCL	4 m ABK	EH, F, VS/MP	5.5	C and S
Btx4	95-130	7.5YR 6/4 (74%)	10YR 5/8 (22%), 2.5YR 5/8 (4%)	gSC	4 m-c ABK	EH, F, VS/MP	5.5	C and S
Btc	130-150	10YR 5/4 (77%)	10YR 5/8 (25%), 5YR 5/8 (8%), 2.5YR 5/8 (5%)	vgSCL	4 m-c ABK	EH, F, MS/MP	5.5	C and S
Cr	150+	-	-	-	-	-	-	-

ตารางที่ 5 (ต่อ)

Horizon	Depth (cm)	Matrix color	Mottles	Texture	Structure	Consistence D, M, W	Field pH	Boundary
SB-5 (710738 E 1603440 N, 92 m MSL, ต.กุดนกเปล้า อ.เมือง จ.สระบุรี)								
A1	0-20	7.5YR 4/3 (83%)	-	sgSCL	2f-m semi- ABK	SH, F, SS/SP	5.5	C and S
A2	20-30	5YR 4/6 (80%)	-	sgSCL	2f-m semi- ABK	H, VF, NS/NP	5.5	C and S
Btx1	30-46	5YR5/6 (80%) ,5YR5/4 (20%)	-	sgSC	3f-m semi- ABK	H, F, SS/SP	5.0	C and S
Btx2	46-68	5YR5/4 (77%)	5YR 5/8 (15%), 2.5YR 5/8 (8%)	gSC	3m ABK	VH, F, MS/MP	5.5	C and S
Btx3	68-88	5YR5/4 (78%)	7.5YR 6/8 (17%), 2.5YR 5/8(5%)	gSC	3m ABK	VH, F, MS/MP	5.5	C and D
Btc	88-115	5YR 5/4 (68%)	5YR 6/8 (20%), 2.5YR 6/8 (7%), 2.5YR 5/8 (5%)	vgSC	4 m ABK	EH, F, VS/VP	5.5	-
Cr	115+	-	-	-	-	-	-	-

ตารางที่ 5 (ต่อ)

Horizon	Depth (cm)	Matrix color	Mottles	Texture	Structure	Consistence D, M, W	Field pH	Boundary
SB-6 (710369 E 1603464 N, 96 m MSL, ต.กุดนกเปล้า อ.เมือง จ.สระบุรี)								
A	0-10	7.5YR 5/4 (79%)	7.5YR 6/8 (10%), 5YR 6/8 (8%), 2.5YR 5/8 (3%)	CL	3m SBK	SH, F, SS/SP	5.5	C and S
Btx1	10-22	5YR 5/4 (72%)	7.5YR 6/8 (15%), 5YR 6/8 (8%), 2.5YR 5/8 (5%)	CL	4 m SBK	SH, F, SS/SP	5.5	C and S
Btx2	22-41	7.5YR 5/4 (67%)	7.5YR 6/8 (20%), 5YR 5/8 (10%), 2.5YR 5/8 (5%)	SCL	4 m SBK	EH, F, MS/MP	5.5	C and S
Btx3	41-68	7.5YR 5/4 (62%)	7.5YR 6/8 (25%), 5YR 5/8 (10%), 2.5YR 5/8 (3%)	SCL	4 m SBK	EH, F, MS/MP	5.0	C and S
Btx4	68-86	7.5YR 5/2 (62%)	7.5YR5/8 (20%), 5YR 5/8 (15%), 2.5YR 5/8 (5%)	SC	4 m-c SBK	EH, F, MS/MP	5.0	C and D
Btx5	86-115	7.5YR6/3 (65%)	5YR 5/8 (30%), 2.5YR 5/8 (5%)	SC	4 m-c SBK	EH, F, MS/MP	5.0	-
Cr	115+	-	-	-	-	-	-	-

ตารางที่ 5 (ต่อ)

Horizon	Depth (cm)	Matrix color	Mottles	Texture	Structure	Consistence D, M, W	Field pH	Boundary
SB-7 (710037 E 1603452 N, 88 m MSL, ต.กุดนกเปล้า อ.เมือง จ.สระบุรี)								
A	0-10	7.5YR 4/4 (90%)	7.5YR 5/8 (7%), 2.5YR4/8 (3%)	CL	3m SBK	SH, F, SS/SP	5.5	C and S
Btx1	10-28	5YR 4/4 (80%)	5YR 5/8 (15%), 2.5YR 4/8 (5%)	SCL	4 m SBK	SH, F, MS/SP	5.0	C and S
Btx2	28-46	7.5YR 5/3 (70%)	5YR 5/8 (15%), 2.5YR 5/8 (15%)	gSCL	4 m SBK	EH, F, VS/MP	5.0	C and S
Btx3	46-66	7.5YR 4/3 (80%)	5YR 5/8 (10%), 7.5YR 5/8 (5%), 2.5YR 5/8 (5%)	gSC	4 m SBK	EH, F, VS/MP	6.5	C and S
Btx4	66-82	7.5YR 6/3 (77%)	7.5YR 5/8 (20%), 2.5YR 5/8 (3%)	gSC	4 m-c SBK	EH, F, VS/MP	7.0	C and D
Btx5	82-130	7.5YR5/4 (75%)	5YR6/8(20%), 2.5YR 5/8 (5%)	gSC	4 m-c SBK	EH, F, VS/MP	7.5	-
Cr	130+	-	-	-	-	-	-	-

ตารางที่ 5 (ต่อ)

Horizon	Depth (cm)	Matrix color	Mottles	Texture	Structure	Consistence D, M, W	Field pH	Boundary
SB-8 (709680 E 1603428 N, 79 MSL, ต.กุดนกเปล้า อ.เมือง จ.สระบุรี)								
A	0-10	7.5YR 4/3 (90%)	5YR 5/8 (10%)	CL	3m ABK	SH, F, SS/SP	6.5	C and S
Btx1	10-28	7.5YR 4/4 (88%)	5YR 6/8 (12%)	sgSCL	4 m ABK	SH, F, MS/SP	6.5	C and S
Btx2	28-35	7.5YR 5/1 (82%)	5YR 6/8 (15%), 2.5YR 5/8 (3%)	gSC	4 m SBK	EH, F, MS/MP	7.0	C and S
Btx3	35-70	7.5YR 5/1 (50%) 7.5YR4/4 (30%)	5YR 5/8 (15%), 2.5YR 5/8 (3%)	gSC	4 m SBK	EH, F, MS/MP	7.0	C and S
Btx4	70-90	7.5YR 5/1 (60%) 7.5YR 4/4 (20%)	5YR5/8 (17%), 2.5YR 5/8 (3%)	gSC	4 m-c SBK	EH, F, MS/MP	8.0	C and D
Btx5	90-112	7.5YR5/4 (85%)	5YR 5/8 (22%), 2.5YR 5/8 (3%)	gSC	4 m-c SBK	EH, F, MS/MP	8.5	C and S
Btx6	112-140	7.5YR4/3 (95%)	5YR 5/8 (5%)	gSCL	4 m-c SBK	EH, F, MS/MP	7.0	-
Cr	140+	-	-	-	-	-	-	-

หมายเหตุ

Texture: vg = very gravelly, g = gravelly, sg = slightly gravelly, LS = loamy sand, SL = sandy loam, SCL = sandy clay loam, SC = sandy clay

Structure: 1 = weak, 2 = moderately weak, 3 = moderate, 4 = strong, SBK = subangular blocky structure, ABK = angular blocky structure, SG = single grain, vf = very fine, f = fine, m = medium, c = coarse

Consistence: D = dry, S = soft, SH = slightly hard, H = hard, VH = very hard, M = moist, L = loose, Vfri = very friable, Fri = friable, SF = slightly firm, F = firm, VF = very firm, W = wet, NS = non-sticky, SS = slightly sticky, MS = moderately sticky, VS = very sticky, NP = non-plastic, SP = slightly plastic, MP = moderately plastic, VP = very plastic

Boundary: A = abrupt, C = clear, D = diffuse, G = gradual, S = smooth, W = wavy, I = irregular



SB-1



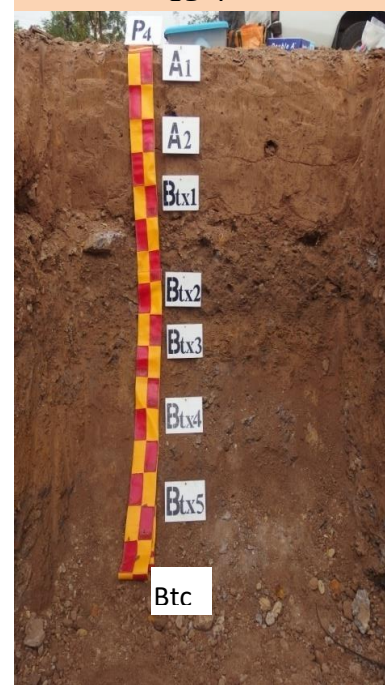
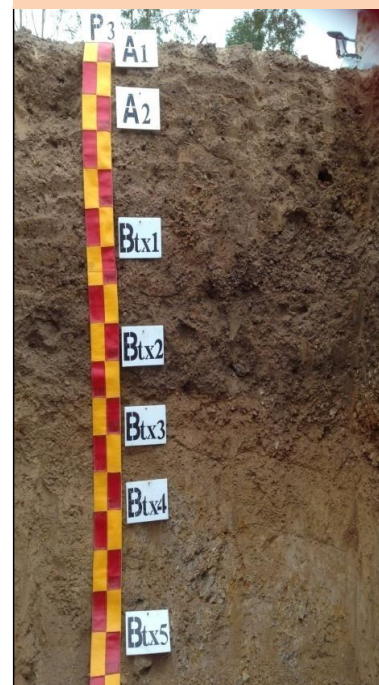
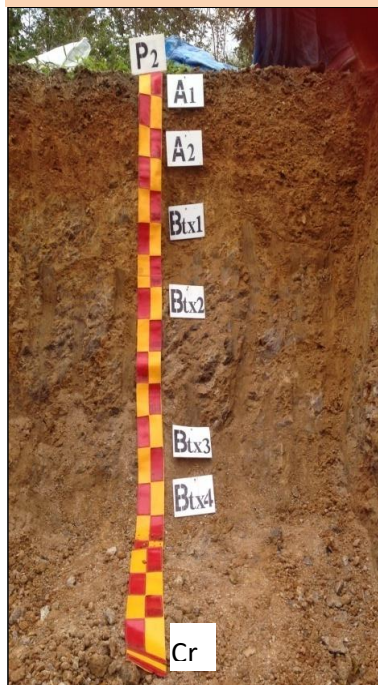
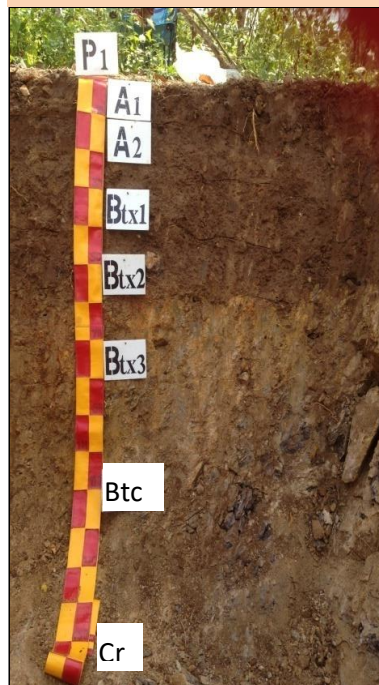
SB-2



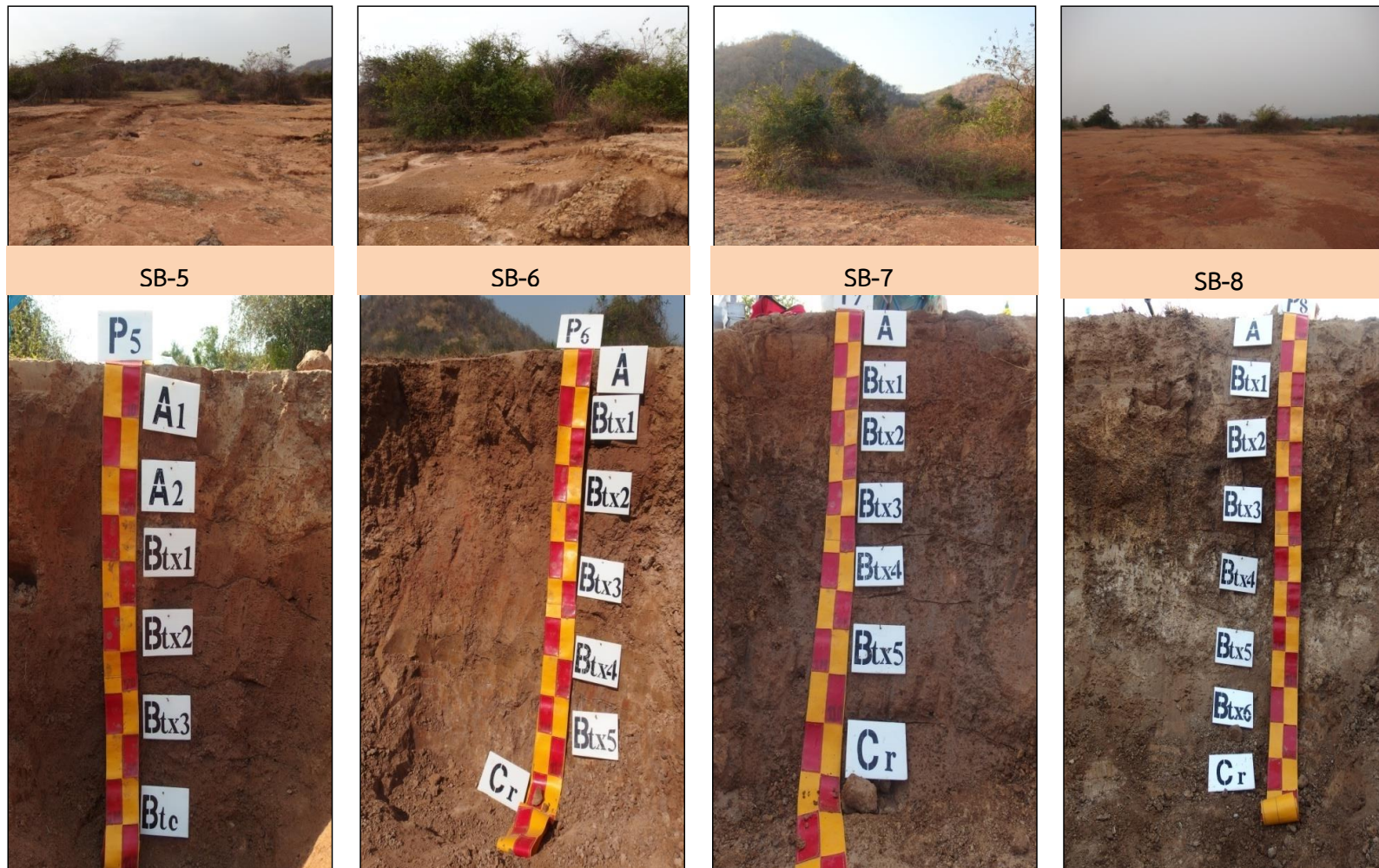
SB-3



SB-4



ภาพที่ 23 สภาพแวดล้อมของพื้นที่ และภาพหน้าตัดของดินที่พบชั้นดานเปราะ อำเภอกำแพงคอย จังหวัดสระบุรี



ภาพที่ 24 สภาพแวดล้อมของพื้นที่ และภาพหน้าตัดของดินที่พบชั้นดานเปราะ อำเภอมือง จังหวัดสระบุรี

จากการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาในสนามของชั้นดานเปราะที่พบในพื้นที่ศึกษาจังหวัดสระบุรี ที่มีวัตถุต้นกำเนิดเป็นตะกอนเศษหินเชิงเขาของหินเถ้าภูเขาไฟแอนดิซิติคส์ มีความหนาและระดับความลึกของชั้นดานเปราะแตกต่างกันไปตามผิวหน้าของสภาพภูมิประเทศ แบ่งชั้นดินได้ 3 ชั้นคือ A-Btx-Btc โดยพบชั้นดานเปราะ (Btx) ที่ระดับตื้นมากคือ 10-33 เซนติเมตร มีความหนา ตั้งแต่ 58-130 เซนติเมตร พบการเคลือบของอนุภาคดินเหนียวที่เคลื่อนย้ายจากชั้นดินบน ชั้นดานเปราะมีเนื้อดินปนกรวดเป็นดินร่วนเหนียวปนทรายถึงดินร่วนเหนียวและดินเหนียวปนทราย เช่นเดียวกับการศึกษาของ Phunmuang (2011) ที่พบชั้นดานเปราะมีเนื้อดินเช่นเดียวกันและมีสีแดงปนเหลืองถึงสีน้ำตาล มีจุดประสีแดงและสีน้ำตาลปนแดงที่เกิดจากเหล็กเช่นเดียวกับผลการศึกษาของ van Breeman and Buurman (2003) ที่พบจุดประของเหล็กในชั้นดานเปราะ ชั้นดานเปราะที่พบในพื้นที่ศึกษามีการระบายน้ำดีปานกลาง มีโครงสร้างแบบก้อนเหลี่ยมมุมมน ชั้นส่วนของชั้นดานเปราะมีความแข็งมากเมื่อแห้งแต่จะยุ่ยสลายง่ายเมื่อแช่น้ำตามลักษณะการจำแนกชั้นดานเปราะของ Soil Survey Staff (1999, 2014) และมีค่าพีเอชกรดจัดมากถึงเป็นด่างปานกลาง

ชั้นดานเปราะที่พบในพื้นที่ศึกษา จังหวัดสระบุรีที่มีวัตถุต้นกำเนิดดินเป็นตะกอนเศษหินเชิงเขาของหินเถ้าภูเขาไฟแอนดิซิติคส์ มีลักษณะของสัณฐานวิทยาในสนามมีลักษณะของสัณฐานวิทยาในสนามตามลักษณะการจำแนกชั้นดานเปราะของ Soil Survey Staff (1999, 2014) เช่นเดียวกับผลการศึกษาชั้นดานเปราะของ Sandoval and Román (2000) ที่พบชั้นดานเปราะมีวัตถุต้นกำเนิดดินเป็นตะกอนเศษหินเชิงเขาของหินเถ้าภูเขาไฟแอนดิซิติคส์ และวัตถุต้นกำเนิดดินเป็นหินเถ้าภูเขาไฟ ที่มีความหนาของชั้นดานเปราะ 15-120 เซนติเมตร มีเนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียวปนทรายถึงดินร่วนเหนียวและดินเหนียวปนทราย และมีโครงสร้างเป็นก้อนเหลี่ยมมุมมน มีความแข็งมากแต่จะยุ่ยสลายง่ายเมื่อแช่น้ำ ซึ่งสมบัติในสนามเหล่านี้มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของมันสำปะหลัง ทำให้ผลผลิตลดลง

3. ลักษณะทั่วไปและสัณฐานวิทยาสนามของดินจังหวัดนครสวรรค์

ลักษณะทั่วไปและสัณฐานวิทยาสนามของดิน และสมบัติทางฟิสิกส์ของดิน ที่ทำการศึกษาทั้ง 2 อำเภอ แสดงไว้ในตารางที่ 6, 7 และ ภาพที่ 25 และ 26

NS-1 มีพิกัด 648215 E 1721953 N ตำบลเขาทะเล อำเภอพยุหะคีรี จังหวัดนครสวรรค์ บริเวณนี้อยู่สูงจากระดับทะเลปานกลางประมาณ 112 เมตร สภาพพื้นที่เป็นลูกคลื่นลอนลาดเล็กน้อย มีความลาดเทประมาณร้อยละ 2-5 ดินมีการระบายน้ำดีปานกลาง ดินมีความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้ปานกลาง มีการไหลบ่าของน้ำบนผิวดินปานกลาง วัตถุต้นกำเนิดเป็นตะกอนเศษหินเชิงเขาของหินตะกอน หินเถ้าภูเขาไฟ และศิลาแลง สามารถแบ่งชั้นดินได้ 4 ชั้นคือ A-Btx-Btc-Btv พบชั้นดานเปราะที่ความลึก 33-132 เซนติเมตร ดินมีความหนาของชั้นดานเปราะประมาณ 99 เซนติเมตร ดินบนมีสีน้ำตาลจนถึงสีน้ำตาลเข้ม เนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียวปนทราย ดินมีพีเอชเป็นกรดเล็กน้อย (pH 6.5) มีโครงสร้างแบบก้อนเหลี่ยมมุมมน

ส่วนดินล่างมีสีน้ำตาลปนสีแดงถึงสีน้ำตาลเข้ม มีเนื้อดินเป็นดินเหนียวปนทรายปนกรวด มีโครงสร้างแบบก้อนเหลี่ยมมุมมน พีเอชดินเป็นกรดจัดมากถึงเป็นกรดจัด (pH 8.0-8.5)

NS-2 มีพิกัด 647744 E 1723529 N ตำบลเขากะลา อำเภอยะหริ่ง จังหวัดนครสวรรค์ บริเวณนี้อยู่สูงจากระดับทะเลปานกลางประมาณ 76 เมตร สภาพพื้นที่เป็นลูกคลื่นลอนลาดเล็กน้อย มีความลาดเทประมาณร้อยละ 2-5 ดินมีการระบายน้ำดีปานกลาง ดินมีความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้ปานกลาง มีการไหลบ่าของน้ำบนผิวดินปานกลาง วัตถุต้นกำเนิดเป็นตะกอนเศษหินเชิงเขาของหินตะกอน หินเถ้าภูเขาไฟ และศิลาแลง สามารถแบ่งชั้นดินได้ 4 ชั้นคือ A-Btx-Btc-Btv พบชั้นดานเปราะที่ความลึก 29-150 เซนติเมตร ดินมีความหนาของชั้นดานเปราะประมาณ 121 เซนติเมตร ดินบนมีสีน้ำตาล เนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียวถึงดินร่วนเหนียวปนทราย ดินมีพีเอชเป็นกรดจัด (pH 5.5) มีโครงสร้างแบบก้อนเหลี่ยมมุมมน ส่วนดินล่างมีสีน้ำตาลเข้ม มีเนื้อดินเป็นดินเหนียวปนทราย มีโครงสร้างแบบก้อนเหลี่ยมมุมมน พีเอชดินเป็นกรดจัดมากถึงเป็นกรดจัด (pH 5.5-8.0)

NS-3 มีพิกัด 647330 E 1723529 N ตำบลเขากะลา อำเภอยะหริ่ง จังหวัดนครสวรรค์ บริเวณนี้อยู่สูงจากระดับทะเลปานกลางประมาณ 77 เมตร สภาพพื้นที่ค่อนข้างราบเรียบ มีความลาดเทประมาณร้อยละ 0-2 ดินมีการระบายน้ำดีปานกลาง ดินมีความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้ปานกลาง มีการไหลบ่าของน้ำบนผิวดินช้า วัตถุต้นกำเนิดเป็นตะกอนเศษหินเชิงเขาของหินตะกอน หินเถ้าภูเขาไฟและศิลาแลง สามารถแบ่งชั้นดินได้ 3 ชั้นคือ A-Btx-Btc พบชั้นดานเปราะที่ความลึก 22-170 เซนติเมตร ดินมีความหนาของชั้นดานเปราะประมาณ 148 เซนติเมตร ดินบนมีสีน้ำตาลปนแดง เนื้อดินเป็นดินร่วนถึงดินร่วนเหนียว ดินมีพีเอชเป็นกรดจัด (pH 5.5) มีโครงสร้างแบบก้อนเหลี่ยมมุมมน ส่วนดินล่างมีสีแดงปนเหลืองถึงสีน้ำตาลเข้ม มีเนื้อดินเป็นดินเหนียวปนทราย มีโครงสร้างแบบก้อนเหลี่ยมมุมมน พีเอชดินเป็นกรดจัดถึงเป็นด่างปานกลาง (pH 5.5-8.5)

NS-4 มีพิกัด 647330 E 1723781 N ตำบลเขากะลา อำเภอยะหริ่ง จังหวัดนครสวรรค์ บริเวณนี้อยู่สูงจากระดับทะเลปานกลางประมาณ 157 เมตร สภาพพื้นที่ค่อนข้างราบเรียบถึงลูกคลื่นลอนลาดเล็กน้อย มีความลาดเทประมาณร้อยละ 0-5 ดินมีการระบายน้ำดีปานกลาง ดินมีความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้ปานกลาง มีการไหลบ่าของน้ำบนผิวดินปานกลาง วัตถุต้นกำเนิดเป็นตะกอนเศษหินเชิงเขาของหินตะกอน หินเถ้าภูเขาไฟและศิลาแลง สามารถแบ่งชั้นดินได้ 3 ชั้นคือ A-Btx-Btc พบชั้นดานเปราะที่ความลึก 30-180 เซนติเมตร ดินมีความหนาของชั้นดานเปราะประมาณ 150 เซนติเมตร ดินบนมีสีน้ำตาลปนแดง เนื้อดินเป็นดินร่วนถึงดินร่วนเหนียว ดินมีพีเอชเป็นกรดเล็กน้อย (pH 6.5) มีโครงสร้างแบบก้อนเหลี่ยมมุมมน ส่วนดินล่างมีสีน้ำตาลถึงสีน้ำตาลเข้ม มีเนื้อดินเป็นดินเหนียวปนกรวด มีโครงสร้างแบบก้อนเหลี่ยมมุมมน พีเอชดินเป็นกรดเล็กน้อย ถึงเป็นด่างปานกลาง (pH 6.5-8.5)

NS-5 มีพิกัด 648744 E 1722522 N ตำบลหัวถนน อำเภอท่าตะโก จังหวัดนครสวรรค์ บริเวณนี้ อยู่สูงจากระดับทะเลปานกลางประมาณ 117 เมตร สภาพพื้นที่ค่อนข้างราบเรียบถึงลูกคลื่นลอนลาด เล็กน้อย มีความลาดเทประมาณร้อยละ 0-5 ดินมีการระบายน้ำดีปานกลาง ดินมีความสามารถให้น้ำซึมผ่าน ได้ปานกลาง มีการไหลบ่าของน้ำบนผิวดินปานกลาง วัตถุต้นกำเนิดเป็นตะกอนเศษหินเชิงเขาของหิน ตะกอน หินเถ้าภูเขาไฟและศิลาแลง สามารถแบ่งชั้นดินได้ 4 ชั้นคือ A-Btx-Btc-Btv พบชั้นดานเปราะที่ ความลึก 40-145 เซนติเมตร ดินมีความหนาของชั้นดานเปราะประมาณ 105 เซนติเมตร ดินบนมีสีน้ำตาล ปนแดง เนื้อดินเป็นดินร่วนถึงดินร่วนเหนียวปนกรวด ดินมีพีเอชเป็นกรดจัด (pH 5.5) มีโครงสร้างแบบก้อน เหลี่ยมมุมคม ส่วนดินล่างมีสีน้ำตาล มีเนื้อดินเป็นดินเหนียวปนกรวด มีโครงสร้างแบบก้อนเหลี่ยมมุมคม พีเอชดินเป็นด่างถึงเป็นด่างปานกลาง (pH 8.05-8.5)

NS-6 มีพิกัด 648589 E 1723570 N ตำบลหัวถนน อำเภอท่าตะโก จังหวัดนครสวรรค์ บริเวณนี้ อยู่สูงจากระดับทะเลปานกลางประมาณ 72 เมตร สภาพพื้นที่ค่อนข้างราบเรียบ มีความลาดเทประมาณ ร้อยละ 0-2 ดินมีการระบายน้ำดีปานกลาง ดินมีความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้ปานกลาง มีการไหลบ่าของ น้ำบนผิวดินต่ำ วัตถุต้นกำเนิดเป็นตะกอนเศษหินเชิงเขาของหินตะกอน หินเถ้าภูเขาไฟและศิลาแลง สามารถแบ่งชั้นดินได้ 3 ชั้นคือ A-Btx-Btc พบชั้นดานเปราะที่ความลึก 35-160 เซนติเมตร ดินมีความหนา ของชั้นดานเปราะประมาณ 125 เซนติเมตร ดินบนมีสีน้ำตาลปนแดง เนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียวปนกรวด ดินมีพีเอชเป็นกรดจัด (pH 5.5) มีโครงสร้างแบบก้อนเหลี่ยมมุมคม ส่วนดินล่างมีสีน้ำตาล มีเนื้อดินเป็นดิน เหนียวปนทรายปนกรวด มีโครงสร้างแบบก้อนเหลี่ยมมุมคม พีเอชดินเป็นด่างถึงเป็นด่างปานกลาง (pH 8.0-8.5)

ตารางที่ 6 ลักษณะสภาพภูมิประเทศของบริเวณพื้นที่ที่พบชั้นดานเปราะ จังหวัดนครสวรรค์

Pedon	Fragipan (cm)		Profile development	Parent material	Drainage	Permeability	Runoff
	Starting depth	Thickness					
NS-1	33-132	99	A-Btx-Btc-Btv	Colluvium over sedimentary rocks, tuff and laterite	Moderately well drained	Low to Moderate	Slow
NS-2	29-150	121	A-Btx-Btc-Btv	Colluvium over sedimentary rocks, tuff and laterite	Moderately well drained	Low to Moderate	Medium
NS-3	22-170	148	A-Btx-Btc	Colluvium over sedimentary rocks, tuff and laterite	Moderately well drained	Low to Moderate	Slow
NS-4	30-180	150	A-Btx-Btc	Colluvium over sedimentary rocks, tuff and laterite	Moderately well drained	Low to Moderate	Slow
NS-5	40-145	105	A-Btx-Btc-Btv	Colluvium over sedimentary rocks, tuff and laterite	Moderate to well drained	Low to Moderate	Medium
NS-6	35-160	125	A-Btx-Btc	Colluvium over sedimentary rocks, tuff and laterite	Moderately well drained	Low to Moderate	Medium

หมายเหตุ :

การระบายน้ำของดิน (soil drainage) แบ่งเป็น 7 ชั้น ดังนี้

- | | |
|--|---|
| (1) การระบายน้ำของดินเลวมาก (very poorly drained : vpd) | (2) การระบายน้ำของดินเลว (poorly drained : pd) |
| (3) การระบายน้ำของดินค่อนข้างเลว (somewhat poorly drained : spd) | (4) การระบายน้ำของดินดีปานกลาง (moderately well drained : md) |
| (5) การระบายน้ำของดินดี (well drained : wd) | (6) การระบายน้ำของดินค่อนข้างมาก (somewhat excessively drained : sex) |
| (7) การระบายน้ำของดินมากเกินไป (excessively drained : ex) | |

การซึมน้ำของดิน (soil permeability)

Soil permeability classes	Permeability rates ¹	
	cm/hour	cm/day
การซึมน้ำของดินช้ามาก (very slow)	Less than 0.13	Less than 3
การซึมน้ำของดินช้า (slow)	0.13 - 0.3	3 - 12
การซึมน้ำของดินค่อนข้างช้า (moderately slow)	0.5 - 2.0	12 - 48
การซึมน้ำของดินปานกลาง (moderately)	2.0 - 6.3	48 - 151
การซึมน้ำของดินค่อนข้างเร็ว (moderately rapid)	6.3 - 12.7	151 - 305
การซึมน้ำของดินเร็ว (rapid)	12.7 - 25	305 - 600
การซึมน้ำของดินเร็วมาก (very rapid)	More than 25	More than 600

การไหลบ่า (run off) การไหลบ่าช้า (slow) การไหลบ่าปานกลาง (medium) การไหลบ่าเร็ว (rapid)

ตารางที่ 7 สัณฐานวิทยาสนามของดินที่พบชั้นดานเปราะ จังหวัดนครสวรรค์

Horizon	Depth (cm)	Matrix color	Mottles	Texture	Structure	Consistence D, M, W	Field pH	Boundary
NS-1 (648215 E 1721953 N, 112 m MSL, ต.เขากะลา อ.พยุหะคีรี จ.นครสวรรค์)								
A1	0-10	10YR 4/3	none	SCL	3 m ABK	H,F, SS/SP	6.5	C and S
A2	10-33	10YR 4/4	none	gSC	4m ABK	H,F, MS/SP	5.5	C and S
Btx1	33-55	7.5YR 4/4 (60%), 7.5YR 6/2 (30%)	7.5YR 6/8 (30%), 2.5YR 4/8(10%)	gSC	4 m ABK	EH, F, MS/SP	8.0	G and S
Btx2	55-90	10YR 6/2 (55%)	7.5YR 6/8 (35%), 2.5YR 4/8(10%)	gSC	4 m-c ABK	EH, F, MS/SP	8.0	C and S
Btx3	90-132	10YR 5/2 (50%), 10YR 5/4 (30%)	7.5YR 6/8 (10%),2.5YR 4/8(10%)	gSC	4 m-c ABK	EH, F, VS/MP	8.0	C and D
Btc	132-170	10YR 6/2 (40%), 10YR 6/3 (45%)	7.5YR 6/8 (8%), 5YR 5/8 (7%)	gSC	4 m-c ABK	EH, F, MS/MP	8.5	C and S
Btv	170-200	10YR 6/2 (45%), 10YR 6/3(40%)	7.5YR 6/8 (10%), 5YR 4/8 (5%)	gSC	4 m-c ABK	EH, F, MS/MP	8.5	-

ตารางที่ 7 (ต่อ)

Horizon	Depth (cm)	Matrix color	Mottles	Texture	Structure	Consistence D, M, W	Field pH	Boundary
NS-2 (647744 E 1723529 N, 76 m MSL, ต.เขาทะลุ อ.พยุหะคีรี จ.นครสวรรค์)								
A1	0-10	7.5YR 4/3 (95%)	5YR 5/8 (5%)	CL	3m ABK	H,F, MS/SP	5.5	C and S
A2	10-29	7.5YR 5/3 (90%)	5YR 5/8 (10%)	gSCL	3 m ABK	H,F, MS/SP	5.5	C and S
Btx1	29-51	7.5YR 5/3 (75%)	5YR 5/8 (10%), 10YR 6/8 (10%), 2.5YR 5/8 (5%)	gSCL	4 m ABK	EH, F, MS/MP	5.5	C and S
Btx2	51-82	7.5YR 4/2 (75%)	7.5YR 6/8 (10%), 5YR 5/8 (8)%, 2.5YR 5/8 (7%)	gSCL	4 m ABK	EH, F, MS/MP	8.0	C and S
Btx3	82-113	7.5YR 4/4 (70%)	5YR 5/8 (15%), 7.5YR 6/8 (10%), 2.5YR 5/8 (5%)	gSC	4 m-c ABK	EH, F, VS/MP	8.0	C and S
Btx4	113-150	7.5YR 5/3 (75%)	7.5YR 6/8 (10%), 5YR 6/8 (10%), 2.5YR 5/8 (5%)	gSC	4 m-c ABK	EH, F, MS/MP	8.0	C and D
Btc	150-181	7.5YR 5/3 (70%)	7.5YR 6/6 (15%), 5YR 6/8 (9%), 2.5YR 4/8 (6%)	gSC	4 m-c ABK	EH, F, MS/MP	8.0	C and S
Btv	181-200	7.5YR5/3(70%)	7.5YR 6/6 (5%), 7.5YR 6/6 (15%), 2.5YR 4/8 (7%)	gSC	4 m-c ABK	EH, F, MS/MP	8.0	-

ตารางที่ 7 (ต่อ)

Horizon	Depth (cm)	Matrix color	Mottles	Texture	Structure	Consistence D, M, W	Field pH	Boundary
NS-3 (647330 E 1723529 N, 77 m MSL, ต.เขาทะลุ อ.พยุหะคีรี จ.นครสวรรค์)								
A1	0-10	7.5YR 3/3 (90%)	5YR 5/6 (10%)	L	2m ABK	H,SF, SS/SP	5.5	C and S
A2	10-21	7.5YR 4/4 (85%)	5YR 5/6 (15%)	CL	2 m ABK	H,F, MS/MP	6.5	C and S
Btx1	21-32	7.5YR 5/2 (75%)	5YR 5/8 (15%), 2.5YR 4/8 (10%)	gSCL	4 m ABK	VH, F, MS/MP	6.0	C and S
Btx2	32-60	7.5YR 5/4 (80%)	7.5YR 6/8 (10%), 2.5YR 5/8(5%)	gSC	4 m ABK	VH, F, VS/MP	5.5	C and S
Btx3	60-95	7.5YR 5/4 (60%),7.5YR 5/1 (20%)	7.5YR 6/8 (15%), 2.5YR 5/8(5%)	gSC	4 m-c ABK	EH, F, VS/MP	8.5	C and S
Btx4	95-132	7.5YR 5/4(55%), 7.5YR 5/1 (30%)	7.5YR 6/8 (10%), 2.5 YR 5/8(5%)	gSC	4 m-c ABK	EH, F, VS/MP	8.5	C and S
Btx5	132-170	7.5YR 5/3 (70%), 7.5YR 4/2 (19%)	5YR 5/8 (8%), 2.5YR 4/8 (3%)	gSC	4 m-c ABK	EH, F, VS/MP	8.0	C and D
Btc	170-200	7.5YR 5/3 (65%), 7.5YR 4/2 (20%)	5YR 5/8 (10%), 2.5YR 4/8 (5%)	gSC	4 m-c ABK	EH, F, VS/MP	8.0	-

ตารางที่ 7 (ต่อ)

Horizon	Depth (cm)	Matrix color	Mottles	Texture	Structure	Consistence D, M, W	Field pH	Boundary
NS-4 (647330 E 1723781 N, 157 m MSL, ต.เขาทะลุ อ.พยุหะคีรี จ.นครสวรรค์)								
A1	0-10	7.5YR 3/2 (95%)	5YR 5/8 (5%)	L	4m ABK	H,F, SS/SP	6.5	C and S
A2	10-30	7.5YR 3/2 (75 %)	5YR 5/6 (30%)	gCL	4 m ABK	H,F, MS/SP	6.5	C and S
Btx1	30-73	7.5YR 3/2 (80%)	5YR 8/8 (10%), 2.5YR 5/8 (10%)	gSCL	4 m ABK	EH, F, MS/MP	8.0	C and S
Btx2	73-110	7.5YR 3/2 (80%)	7.5YR 5/8 (12%), 5YR 5/8 (8%)	gSC	4 m ABK	EH, F, VS/MP	8.0	C and S
Btx3	110-155	7.5YR 3/2 (80%)	7.5YR 5/8 (15%), 5YR 5/8 (5%)	gSC	4 m ABK	EH, F, VS/MP	8.0	C and G
Btx4	155-180	10YR 5/4 (80%)	7.5YR 5/8 (15%), 5YR 5/8 (5%), 2.5YR 5/8 (5%)	gSC	4 m-c ABK	EH, F, VS/MP	8.0	C and D
Btc	180-200	10YR 5/4 (77%)	7.5YR 5/8 (15%), 5YR 5/8 (5%), 2.5YR 5/8 (3%)	gSC	4 m-c ABK	EH, F, MS/MP	8.5	-

ตารางที่ 7 (ต่อ)

Horizon	Depth (cm)	Matrix color	Mottles	Texture	Structure	Consistence D, M, W	Field pH	Boundary
NS-5 (648744 E 1722522 N, 117 m MSL, ต.หัวถนน อ.ท่าตะโก จ.นครสวรรค์)								
A1	0-22	7.5YR 4/3 (83%)	5YR 6/8 (10%), 2.5YR 4/8 (7%)	sgL	2f-m semi- ABK	SH,VF, NS/NP	5.5	C and S
A2	22-40	7.5YR 5/3 (80%)	5YR 6/8 (10%), 2.5YR 5/8 (5%)	gCL	2f-m semi- ABK	H,VF, MS/NP	5.5	C and S
Btx1	40-80	7.5YR 5/3 (85%)	5YR 6/8 (10%), 2.5YR 5/8 (5%)	gSCL	3f-m semi- SBK	H,F, MS/SP	8.0	C and S
Btx2	80-130	7.5YR 5/ 4(50%),10YR 6/8(37%)	5YR 5/8 (10%), 2.5YR 5/8(3%)	gSC	3m ABK	VH,F, MS/MP	8.5	C and S
Btx3	130-145	10YR 5/4 (80%),7.5YR 6/8(10%)	5YR 5/8 (8%), 2.5YR 5/8(2%)	gSC	3m ABK	VH,F, MS/MP	8.0	C and D
Btc	145-180	10YR 5/4 (70%)	7.5YR 6/8 (20%), 5YR 5/8 (10%)	gSC	4 m ABK	EH, F, VS/MP	8.5	C and S
Btv	180-200	7.5YR 5/4 (60%),10YR 6/8 (25%)	5YR 5/8 (12%), 2.5YR 5/8 (3%)	gSC	4 m ABK	EH, F, VS/MP	8.5	-

ตารางที่ 7 (ต่อ)

Horizon	Depth (cm)	Matrix color	Mottles	Texture	Structure	Consistence D, M, W	Field pH	Boundary
NS-6 (648589 E 1723570 N, 72 m MSL, ต.หัวถนน อ.ท่าตะโก จ.นครสวรรค์)								
A1	0-14	7.5YR 4/2 (80%)	7.5YR 6/8 (15%), 5YR 6/8 (5%)	gCL	3m ABK	H, F, SS/NP	5.5	C and S
A2	14-35	7.5YR 5/3 (80%)	7.5YR 6/8 (15%), 5YR 6/8 (5%)	gCL	3m ABK	H, F, SS/NP	5.5	C and S
Btx1	35-66	7.5YR 4/3 (80%)	5YR 5/8 (15%), 2.5YR 5/8 (5%)	gSCL	4 m ABK	EH, F, MS/MP	5.5	C and S
Btx2	66-91	7.5YR 6/1 (20%), 7.5YR 4/3 (50%)	5YR 5/8 (20%), 2.5YR 5/8 (5%), 10YR 6/8 (5%)	gSCL	4 m ABK	EH, F, MS/MP	8.5	C and S
Btx3	91-120	7.5YR 4/3 (70%)	5YR 5/8 (20%), 2.5YR 5/8 (10%)	gSC	4 m ABK	EH, F, MS/MP	8.0	C and S
Btx4	120-160	7.5YR 5/4 (45%), 7.5YR 6/2 (35%)	5YR 5/8 (15%), 2.5YR 4/8 (5%)	gSC	4 m-c ABK	EH, F, VS/MP	8.5	C and D
Btc	160-200	10YR 6/3 (70%)	7.5YR 6/6 (15%), 5YR 5/8 (10%), 2.5YR 5/8 (5%)	gSC	4 m-c ABK	EH, F, VS/MP	8.0	-

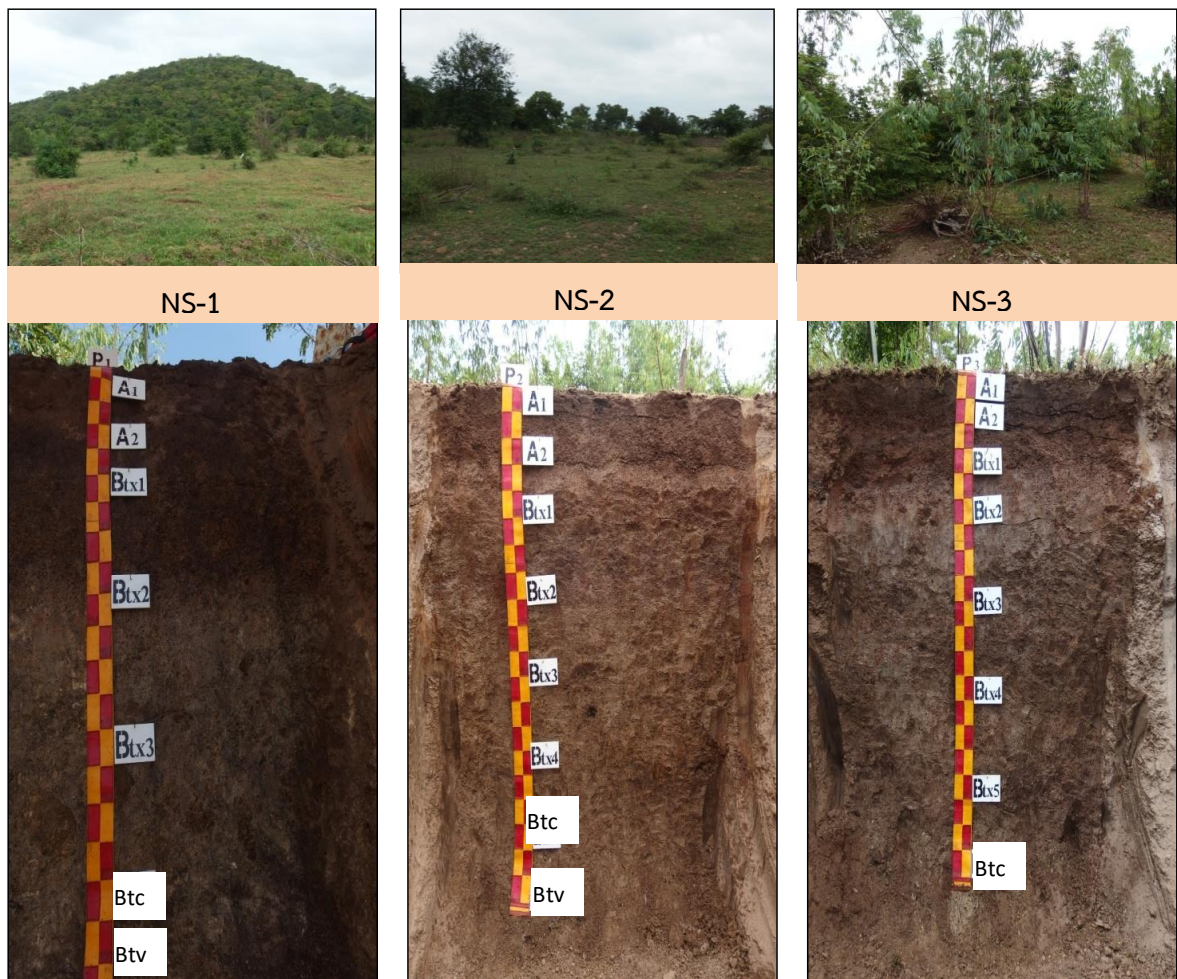
หมายเหตุ

Texture: vg = very gravelly, g = gravelly, sg = slightly gravelly, LS = loamy sand, SL = sandy loam, SCL = sandy clay loam, SC = sandy clay

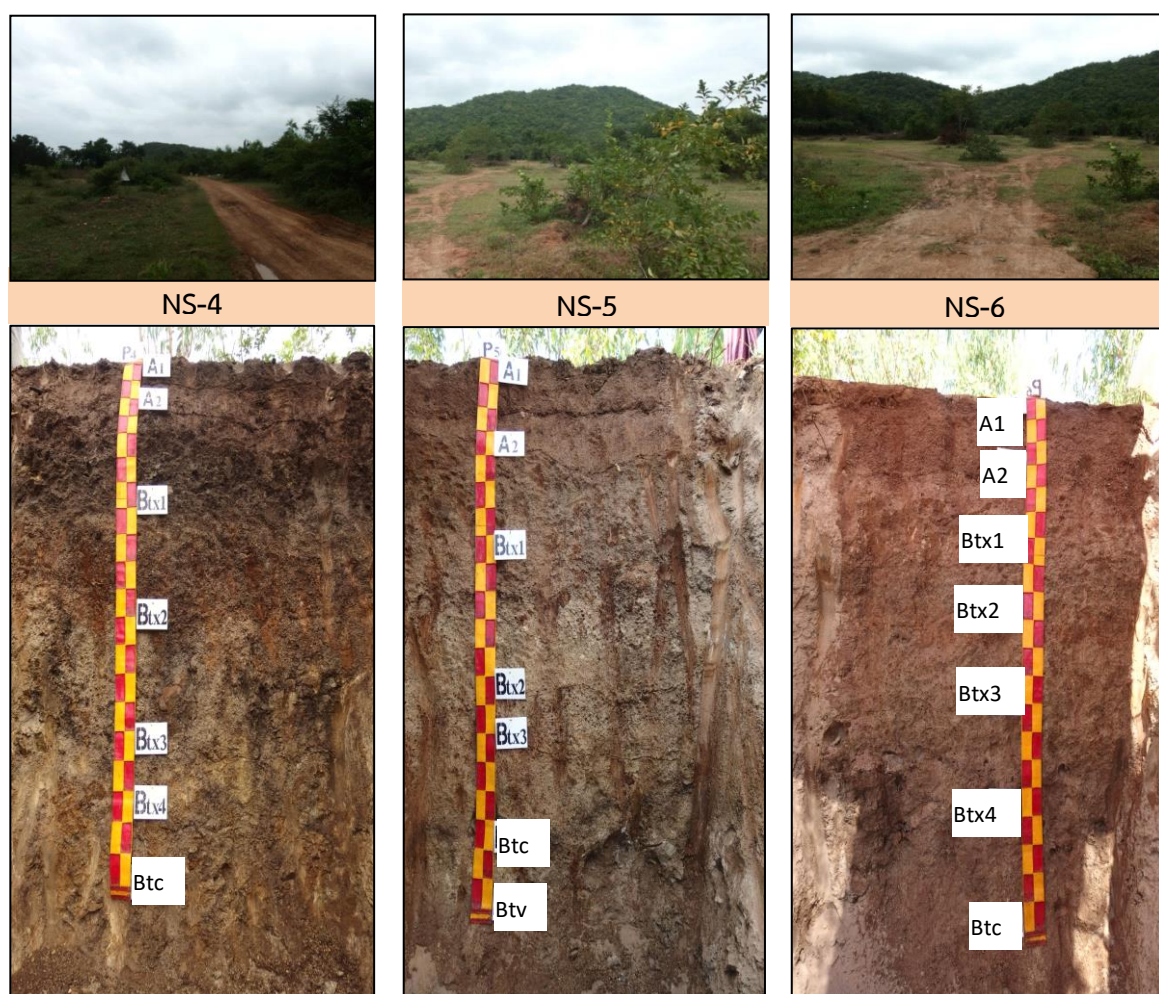
Structure: 1 = weak, 2 = moderately weak, 3 = moderate, 4 = strong, SBK = subangular blocky structure, ABK = angular blocky structure, SG = single grain, vf = very fine, f = fine, m = medium, c = coarse

Consistence: D = dry, S = soft, SH = slightly hard, H = hard, VH = very hard, M = moist, L = loose, Vfri = very friable, Fri = friable, SF = slightly firm, F = firm, VF = very firm, W = wet, NS = non-sticky, SS = slightly sticky, MS = moderately sticky, VS = very sticky, NP = non-plastic, SP = slightly plastic, MP = moderately plastic, VP = very plastic

Boundary: A = abrupt, C = clear, D = diffuse, G = gradual, S = smooth, W = wavy, I = irregular



ภาพที่ 25 สภาพแวดล้อมของพื้นที่ และภาพหน้าตัดของดินที่พบชั้นดานเปราะ อำเภอยุหะคีรี จังหวัด นครสวรรค์



ภาพที่ 26 สภาพแวดล้อมของพื้นที่ และภาพหน้าตัดของดินที่พบชั้นดานเปราะ อำเภอยุหะคีร์ และ อำเภอนาทะโก จังหวัดนครสวรรค์

จากการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาในสนามของชั้นดานเปราะที่พบในพื้นที่ศึกษา จังหวัดนครสวรรค์ มีวัตถุต้นกำเนิดเป็นตะกอนเศษหินเชิงเขาของหินตะกอน หินแก้วภูเขาไฟและศิลาแลง มีความหนาและระดับความลึกของชั้นดานเปราะแตกต่างกันไปตามผิวหน้าของสภาพภูมิประเทศ แบ่งชั้นดินได้ 4 ชั้นคือ A-Btx-Btc-Btv ซึ่งบางชั้นประกอบไปด้วยก้อนเม็ดกลมและศิลาแลง โดยพบชั้นดานเปราะ (Btx) ที่ระดับตื้นมากคือ 22-40 เซนติเมตร มีความหนา ตั้งแต่ 99-150 เซนติเมตร พบการเคลือบของอนุภาคดินเหนียวและสะพานดินเหนียวที่แสดงถึงการเคลื่อนย้ายของอนุภาคดินเหนียวจากชั้นดินบน ชั้นดานเปราะมีเนื้อดินปนกรวดเป็นดินร่วนเหนียวปนทรายและดินเหนียวปนทราย (Phunmuang, 2011) มีสีน้ำตาลปนแดงและสีน้ำตาล มีจุดประสีแดงและสีน้ำตาลปนแดงที่เกิดจากเหล็กและแมงกานีสเช่นเดียวกับผลการศึกษาของ van Breeman and Buurman (2003) ที่พบจุดประของเหล็กและแมงกานีสในชั้นดานเปราะ ชั้นดานเปราะที่พบในพื้นที่ศึกษานี้มีการระบายน้ำดีปานกลาง มีโครงสร้างแบบก้อนเหลี่ยมมุมคม

ชั้นส่วนของชั้นดานเปราะมีความแข็งแรงมากเมื่อแห้งแต่จะยุ่ยสลายง่ายเมื่อแช่น้ำตามลักษณะการจำแนกชั้นดานเปราะของ Soil Survey Staff (1999, 2014) และมีค่าพีเอชกรดจัดถึงเป็นด่างปานกลาง

ชั้นดานเปราะที่พบในพื้นที่จังหวัดนครสวรรค์ที่มีวัตถุต้นกำเนิดดินเป็นตะกอนเศษหินเชิงเขาของหินตะกอน หินเถ้าภูเขาไฟและศิลาแลง มีลักษณะของสัณฐานวิทยาในสนามมีลักษณะของสัณฐานวิทยาในสนามตามลักษณะการจำแนกชั้นดานเปราะของ Soil Survey Staff (1999, 2014) เช่นเดียวกับผลการศึกษาชั้นดานเปราะของ Phunmuang (2011) ที่มีวัตถุต้นกำเนิดดินเป็นตะกอนเศษหินเชิงเขาของหินทรายทับถมบนหินเถ้าภูเขาไฟ มีความหนาของชั้นดานเปราะ 68-160 เซนติเมตร มีโครงสร้างเป็นก้อนเหลี่ยมมุมมน ก้อนเหลี่ยมมุมคมและแท่งปริซึม มีจุดประที่เกิดจากเหล็กและแมงกานีส มีเนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียวปนทรายถึงดินร่วนปนทรายและดินเหนียวปนทราย ชั้นส่วนของชั้นดานเปราะมีความแข็งแรงมากแต่จะยุ่ยสลายง่ายเมื่อแช่น้ำ ซึ่งสมบัติในสนามเหล่านี้มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของมันสำปะหลัง ทำให้ผลผลิตลดต่ำลง

ประเด็นพิจารณา

จากผลการศึกษาสัณฐานวิทยาสนามของดินที่พบชั้นดานเปราะในพื้นที่ศึกษาของจังหวัดลพบุรี สระบุรีและนครสวรรค์ (ตารางที่ 8) มีวัตถุต้นกำเนิดดินเป็นตะกอนเศษหินเชิงเขาของหินทรายแป้ง หินทราย และหินคองโกเมอเรทที่เป็นต่าง วัตถุต้นกำเนิดจากตะกอนน้ำพาทับถมบนหินตะกอนและหินเถ้าภูเขาไฟ (จังหวัดลพบุรี) วัตถุต้นกำเนิดเป็นตะกอนเศษหินเชิงเขาของหินเถ้าภูเขาไฟแอนดิซิดิกส์ (จังหวัดสระบุรี) และวัตถุต้นกำเนิดเป็นตะกอนเศษหินเชิงเขาของหินตะกอน หินเถ้าภูเขาไฟและศิลาแลง (จังหวัดนครสวรรค์) จะเห็นได้ว่า มีวัตถุต้นกำเนิดดินที่แตกต่างกันโดยเฉพาะหินเถ้าภูเขาไฟที่แตกต่างกัน ดินในพื้นที่ศึกษามีความไม่ต่อเนื่องของธรณีวิทยา (lithologic discontinuity) (Soil Survey Staff, 1993) ซึ่งการที่พื้นที่มีวัตถุต้นกำเนิดดินที่ต่างกันทำให้มีเนื้อดินที่ต่างกันระหว่างดินชั้นบนและดินชั้นดานเปราะ

ชั้นดานเปราะที่พบในพื้นที่ศึกษามีความหนาและระดับความลึกของชั้นดานเปราะแตกต่างกันไปตามผิวหน้าของสภาพภูมิประเทศ โดยชั้นดานเปราะที่พบในพื้นที่ศึกษาจังหวัดลพบุรีพบที่ระดับความลึก 35-200 เซนติเมตร และมีความหนา 64-145 เซนติเมตร ชั้นดานเปราะที่พบในพื้นที่ศึกษาจังหวัดสระบุรีพบที่ระดับความลึก 10-140 เซนติเมตร และมีความหนา 58-130 เซนติเมตร ชั้นดานเปราะที่พบในพื้นที่ศึกษาจังหวัดนครสวรรค์พบที่ระดับความลึก 22-180 เซนติเมตร และมีความหนา 99-150 เซนติเมตร ซึ่งตำแหน่งที่พบชั้นดานเปราะที่ระดับตื้นมากจะอยู่บนพื้นที่ที่มีความสูงที่มากกว่าและพบร่องรอยของการชะล้างหน้าดินสูง เช่นเดียวกับการศึกษาของ Chen *et al.* (1980) และ Graveel *et al.* (2002) ที่พบชั้นดานเปราะปรากฏขึ้นในระดับที่ตื้นหลังจากเกิดการชะล้างของหน้าดิน และชั้นดานเปราะที่พบในพื้นที่ศึกษาทุกบริเวณมีความหนามากกว่า 50-200 เซนติเมตร (Franzmeier *et al.*, 1989)

ดินในพื้นที่ศึกษาสามารถแบ่งชั้นดินได้ทั้งหมดเป็น A-Ap-Bt-Btx-Btc-Btv-C (Hammer, 1997) พบการเคลื่อนย้ายของอนุภาคดินเหนียวและสะพานดินเหนียวระหว่างเม็ดทรายซึ่งแสดงถึงการเคลื่อนย้ายอนุภาคดินเหนียวจากชั้นดินบน (Buol *et al.*, 2003) และการพบสะพานดินเหนียวซึ่งบ่งชี้ได้ว่าชั้นดานเพราะที่พบมีการเชื่อมตัวกันอย่างอ่อนของอนุภาคดินที่ทำให้ดินมีความแข็งและเปราะเมื่อขึ้น (Wang *et al.*, 1974; Lindbo and Veneman, 1989) นอกจากนี้ยังพบก้อนเม็ดกลมของเหล็กและแมงกานีส และศิลาแลงในบางพื้นที่ซึ่งบ่งชี้ถึงสภาพเปียกและแห้งในบางชั้นดินของพื้นที่ เช่นเดียวกับการศึกษาของ Phunmuang (2011) ที่พบก้อนเม็ดกลมของเหล็กและแมงกานีส และศิลาแลงในบางชั้นดิน

ชั้นดานเพราะมีโครงสร้างแบบก้อนเหลี่ยมมุมมนและก้อนเหลี่ยมมุมคมตามลักษณะการจำแนกชั้นดานเพราะของ Soil Survey Staff (1999, 2014) และเช่นเดียวกับการศึกษาของ Ciolkosz and Waltman (2000) ที่พบว่าชั้นดานเพราะมีโครงสร้างเป็นแบบแบบก้อนเหลี่ยมมุมมนและก้อนเหลี่ยมมุมคมและแท่งปริซึม และโครงสร้างนี้อาจจะถูกสร้างโดยโซเดียมซึ่งมีปริมาณสูงในพื้นที่ของการศึกษานี้ (Buol *et al.*, 2003) ชั้นดานเพราะมีสีแดงปนเหลือง สีน้ำตาลปนแดงถึงสีน้ำตาล มีจุดประสีแดงและสีน้ำตาลปนแดงของเหล็กและแมงกานีส ซึ่งแสดงให้เห็นถึงกระบวนการทางดินภายใต้สภาพเปียก-แห้งในชั้นดิน (Lindbo *et al.*, 1995) มีเนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียวปนทรายถึงดินร่วนเหนียวและดินเหนียวปนทรายบางบริเวณมีเนื้อดินปนกรวด ชั้นดานเพราะมีการระบายน้ำช้าถึงปานกลาง มีค่าพีเอชเป็นกรดจัดมากถึงเป็นด่างปานกลางโดยเฉพาะในชั้นดานเพราะตอนล่างมีพีเอชเป็นด่างอ่อนถึงเป็นด่างปานกลางในบริเวณที่มีวัตถุต้นกำเนิดดินเป็นหินแกรนิตซึ่งมีค่าพีเอชสูงกว่าดินชั้นบน อาจจะเป็นเนื่องจากมีอัตราการชะละลายที่ไม่มาก เพราะมีปริมาณน้ำฝนในพื้นที่น้อย ซึ่งจะพบเม็ดกลมของแคลเซียมคาร์บอเนตในชั้นดานเพราะ และวัตถุต้นกำเนิดดินจากหินแกรนิตมีปริมาณของ แคลเซียม แมกนีเซียมและโพแทสเซียมที่สูง

ชั้นดานเพราะที่พบในพื้นที่ศึกษามีเนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียวปนทราย ดินร่วนเหนียวปนทรายแป้งถึงดินร่วนเหนียวและดินเหนียวปนทราย (Bockheim and Hartemink, 2013) บางบริเวณมีก้อนกรวดปะปนในชั้นดิน ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความไม่ต่อเนื่องทางธรณีวิทยา (chronological lithologic discontinuity) ซึ่งพบก้อนกรวดตลอดหน้าตัดดินในชั้นดานเพราะ (Buol *et al.*, 2003; Aide, 2021) พบก้อนเม็ดกลมของเหล็กและแมงกานีส ซึ่งแสดงถึงสภาพเปียกแห้งของดินในพื้นที่ (Lindbo *et al.*, 1995) และพบแคลเซียมคาร์บอเนตร่วมด้วย ชั้นดานเพราะมีความแข็งมากเมื่อแห้งและเปราะเมื่อขึ้น และจะยุบสลายง่ายเมื่อแช่น้ำ ซึ่งลักษณะของความแข็งมากของชั้นดานเพราะเมื่อแห้งเนื่องจากสมบัติของการยึดตัวแบบคงทนและการมีสะพานดินเหนียวเชื่อมระหว่างอนุภาคดิน (Soil Survey Staff, 1999) และไม่พบรากพืชในชั้นดานเพราะนี้ ซึ่งการพัฒนาของรากพืชได้รับผลกระทบจากการอัดตัวแน่นอย่างมากของชั้นดานเพราะนี้ซึ่งเป็นลักษณะการจำแนกชั้นดานเพราะอีกลักษณะหนึ่งของ Soil Survey Staff (1999) นอกจากนี้ยังพบว่าชั้นดานเพราะมีช่องว่างที่มีขนาดเล็ก จึงมีผลทำให้ชั้นดานเพราะมีการซาบซึมน้ำอยู่ในระดับต่ำถึง

ปานกลาง (Daniels and Feitton, 1994; Falsone and Bonifacio, 2009; Phunmuang, 2011) และดิน
มีความชื้นต่ำ (Mehuys and De Kimpe, 1976)

ตารางที่ 8 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาในสนามบางประการที่สำคัญของชั้นดานเปราะที่พบในพื้นที่ศึกษาจังหวัดลพบุรี (LB) สระบุรี (SB) และนครสวรรค์ (NS)

Areas	Fragipan (cm)		Profile development	Parent material	Permeability	Structure	Texture	Consistence D,M,W	pH
	Starting depth	Thickness							
LB	35-200	89-145	A-Bt-Btx	Colluvium from siltstone and sandstone with greenish grey calcareous conglomerate	Slow-Moderate	SBK	SCL-SC	EH,f,VS/MP	5.0-8.0
	62-200	64-110	A-Bt-Btv-Btx	Alluvium over sedimentary rocks and tuff	Moderate	SBk	SCL-SC	EH,f,VS/MP	4.0-8.0
SB	10-140	121	A-Btx-Btc	Colluvium from andesitic tuff	Slow-Moderate	SBK	CL-gSCL-gSC	EH,f,VS/MP	4.5-8.5
NS	22-180	99-150	A-Btx-Btc	Colluvium over sedimentary rocks, tuff and laterite	Slow-Moderate	ABK	gSCL-gSC	EH,f,VS/MP	5.5-8.5

สมบัติทางกายภาพของดินที่พบชั้นดานเปราะ

ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของดินที่ทำการศึกษาในจังหวัดลพบุรี สระบุรีและนครสวรรค์ ประกอบด้วยการกระจายของอนุภาคและชั้นเนื้อดิน ความหนาแน่นรวมของดิน ความพรุนรวมของดิน ความจุน้ำใช้ประโยชน์ได้ สภาพน้ำของดินขณะอิ่มตัว และความแข็งของดิน ซึ่งแสดงผลการวิเคราะห์ ตารางผนวกที่ 14, 15 และ 16

1. การแจกกระจายของอนุภาคและชั้นเนื้อดิน (Particle size distribution)

ผลการวิเคราะห์การแจกกระจายของอนุภาคขนาดทราย ทรายแป้ง และดินเหนียวของดินบริเวณที่ศึกษาทั้ง 3 จังหวัด โดยเปรียบเทียบการแจกกระจายของอนุภาคดินกับเกณฑ์การจำแนกชั้นของเนื้อดินหลักของกระทรวงเกษตรสหรัฐอเมริกา สามารถสรุปได้ดังนี้

จังหวัดลพบุรีมีการแจกกระจายอนุภาคขนาดทรายอยู่ในช่วง 4.8-78.4 เปอร์เซ็นต์ การแจกกระจายอนุภาคขนาดทรายแป้งอยู่ในช่วง 12.5-71.4 เปอร์เซ็นต์และการแจกกระจายอนุภาคขนาดดินเหนียวอยู่ในช่วง 3.5-40.8 เปอร์เซ็นต์ LB1-LB4 (อำเภอลำสนธิ) มีการแจกกระจายอนุภาคขนาดทรายอยู่ในช่วง 4.8-66.3 เปอร์เซ็นต์ การแจกกระจายอนุภาคขนาดทรายแป้งอยู่ในช่วง 15.9-71.4 เปอร์เซ็นต์และการแจกกระจายอนุภาคขนาดดินเหนียวอยู่ในช่วง 17.8-40.8 เปอร์เซ็นต์ LB5-LB7 (อำเภอพัฒนานิคม) มีการแจกกระจายอนุภาคขนาดทรายอยู่ในช่วง 52.1-76.3 เปอร์เซ็นต์ การแจกกระจายอนุภาคขนาดทรายแป้งอยู่ในช่วง 19.7-31.3 เปอร์เซ็นต์และการแจกกระจายอนุภาคขนาดดินเหนียวอยู่ในช่วง 35.0-21.1 เปอร์เซ็นต์ LB8 (อำเภอโคกสำโรง) มีการแจกกระจายอนุภาคขนาดทรายอยู่ในช่วง 49.8-78.4 เปอร์เซ็นต์ การแจกกระจายอนุภาคขนาดทรายแป้งอยู่ในช่วง 12.5-37.1 เปอร์เซ็นต์ และการแจกกระจายอนุภาคขนาดดินเหนียวอยู่ในช่วง 9.1-31.2 เปอร์เซ็นต์ (ภาพที่ 27 และตารางผนวกที่ 14) ในพื้นที่ LB1-LB4 ซึ่งมีมีวัตถุต้นกำเนิดดินเป็นตะกอนเศษหินเชิงเขาของหินทรายแป้ง หินทราย และหินคองโกเมอเรทที่เป็นต่างมีปริมาณอนุภาคขนาดทรายมากกว่าอนุภาคขนาดทรายแป้งและอนุภาคขนาดดินเหนียวในขณะที่ LB5-LB8 ซึ่งมีวัตถุต้นกำเนิดดินจากตะกอนน้ำพาทับถมบนหินตะกอนและหินถ้ำภูเขาไฟ มีปริมาณอนุภาคขนาดทรายแป้งและอนุภาคขนาดดินเหนียวมากกว่าอนุภาคขนาดทราย และเมื่อเปรียบเทียบการแจกกระจายของอนุภาคขนาดทราย อนุภาคขนาดทรายแป้ง และอนุภาคขนาดดินเหนียวในชั้นดานเปราะ พบว่า ดินในชั้นดานเปราะมีปริมาณสัดส่วนของอนุภาคขนาดทรายแป้งและอนุภาคขนาดดินเหนียวเพิ่มขึ้นตามความลึก โดยเฉพาะในชั้นดานเปราะตอนล่างมีปริมาณของอนุภาคขนาดดินเหนียวและอนุภาคขนาดทรายแป้งมากกว่าชั้นดานเปราะตอนบนและอนุภาคขนาดทรายมีแนวโน้มลดลงตามความลึกในทุกบริเวณ

จังหวัดสระบุรีมีการแจกกระจายอนุภาคขนาดทรายอยู่ในช่วง 32.0-63.0 เปอร์เซ็นต์ การแจกกระจายอนุภาคขนาดทรายแป้งอยู่ในช่วง 0.70-43.6 เปอร์เซ็นต์ และการแจกกระจายอนุภาคขนาดดินเหนียวอยู่ในช่วง 13.0-50.7 เปอร์เซ็นต์ SB1-SB4 (อำเภอแก่งคอย) มีการแจกกระจายอนุภาคขนาดทราย

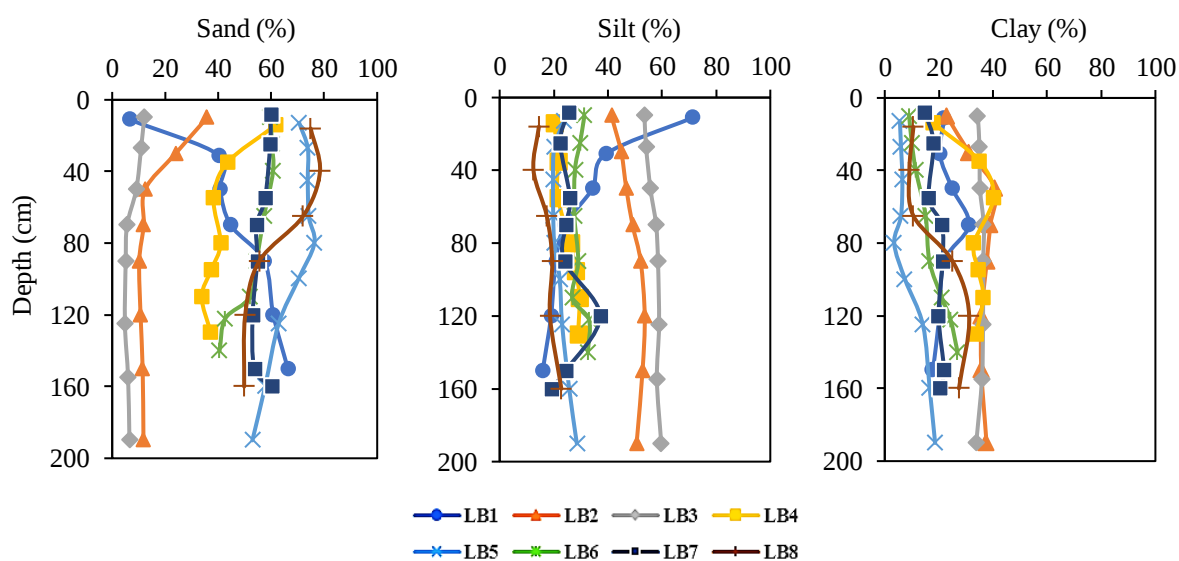
อยู่ในช่วง 32.0-62.9 เปอร์เซ็นต์ การแจกกระจายอนุภาคขนาดทรายแป้งอยู่ในช่วง 0.70-26.4 เปอร์เซ็นต์ และการแจกกระจายอนุภาคขนาดดินเหนียวอยู่ในช่วง 13.0-50.7 เปอร์เซ็นต์ SB5-SB8 (อำเภอเมือง) มีการแจกกระจายอนุภาคขนาดทรายอยู่ในช่วง 30.5-60.2 เปอร์เซ็นต์ การแจกกระจายอนุภาคขนาดทรายแป้งอยู่ในช่วง 0.90-35.8 เปอร์เซ็นต์ และการแจกกระจายอนุภาคขนาดดินเหนียวอยู่ในช่วง 20.2-48.8 เปอร์เซ็นต์ (ภาพที่ 28 และตารางผนวกที่ 15) และเมื่อเปรียบเทียบการแจกกระจายของอนุภาคขนาดทราย อนุภาคขนาดทรายแป้ง และอนุภาคขนาดดินเหนียว พบว่า ดินในชั้นดานเปราะมีปริมาณสัดส่วนของ อนุภาคขนาดทรายแป้งและอนุภาคขนาดดินเหนียวเพิ่มขึ้นตามความลึก และอนุภาคขนาดทรายมีแนวโน้มลดลงตามความลึกในทุกบริเวณ โดยเฉพาะในชั้นดานเปราะตอนล่างมีปริมาณอนุภาคขนาดดินเหนียวเพิ่มขึ้นอย่างเด่นชัด

จังหวัดนครสวรรค์มีการแจกกระจายอนุภาคขนาดทรายอยู่ในช่วง 23.7-71.1 เปอร์เซ็นต์ การแจกกระจายอนุภาคขนาดทรายแป้งอยู่ในช่วง 0.9-47.3 เปอร์เซ็นต์ และการแจกกระจายอนุภาคขนาดดินเหนียวอยู่ในช่วง 6.7-48.8 เปอร์เซ็นต์ NS1-NS4 (อำเภอพยุหะคีรี) มีการแจกกระจายอนุภาคขนาดทรายอยู่ในช่วง 23.7-67.6 เปอร์เซ็นต์ การแจกกระจายอนุภาคขนาดทรายแป้งอยู่ในช่วง 0.9-44.7 เปอร์เซ็นต์ และการแจกกระจายอนุภาคขนาดดินเหนียวอยู่ในช่วง 6.7-48.8 เปอร์เซ็นต์ NS5-NS6 (อำเภอท่าตะโก) มีการแจกกระจายอนุภาคขนาดทรายอยู่ในช่วง 32.2-71.1 เปอร์เซ็นต์ การแจกกระจายอนุภาคขนาดทรายแป้งอยู่ในช่วง 2.1-47.3 เปอร์เซ็นต์ และการแจกกระจายอนุภาคขนาดดินเหนียวอยู่ในช่วง 14.5-48.8 เปอร์เซ็นต์ (ภาพที่ 29 และตารางผนวกที่ 16) และเมื่อเปรียบเทียบการแจกกระจายของอนุภาคขนาดทราย อนุภาคขนาดทรายแป้ง และอนุภาคขนาดดินเหนียว พบว่า ดินในชั้นดานเปราะมีปริมาณสัดส่วนของ อนุภาคขนาดทรายแป้งและอนุภาคขนาดดินเหนียวเพิ่มขึ้นตามความลึก และอนุภาคขนาดทรายมีแนวโน้มลดลงตามความลึกในทุกบริเวณ โดยเฉพาะในชั้นดานเปราะมีปริมาณอนุภาคขนาดดินเหนียวเพิ่มขึ้นอย่างเด่นชัด

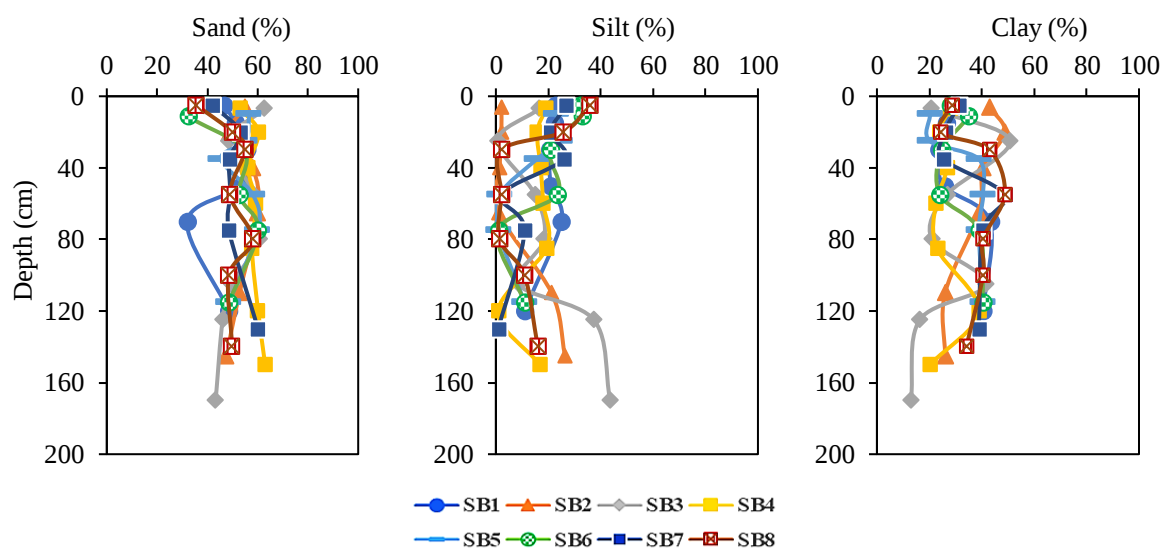
ลักษณะการแจกกระจายของอนุภาคขนาดต่างๆ ตามความลึกในพื้นที่ศึกษา โดยเฉพาะอนุภาคขนาดดินเหนียวและอนุภาคขนาดทรายแป้งมีลักษณะคล้ายคลึงกันเป็นส่วนใหญ่ คือ มีปริมาณอนุภาคดินเหนียวที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในชั้นดานเปราะตามความลึก เช่นเดียวกับการศึกษาของ Norfleet and Karathanasis (1996) ที่พบว่ามีปริมาณอนุภาคขนาดดินเหนียวสูงในชั้นดานเปราะ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าดินส่วนใหญ่เป็นดินที่มีพัฒนาการปานกลาง (เอิบ, 2533) โดยได้รับอิทธิพลจากการเคลื่อนย้ายเชิงกล (lessivage) ของอนุภาคขนาดเล็ก และกระบวนการเคลื่อนย้ายวัสดุจากชั้นดินบน (eluviation) ไปสะสมในดินล่างที่เป็นชั้นดานเปราะ ทำให้ชั้นดินตอนบนมีอนุภาคขนาดใหญ่เหลืออยู่มาก และดินในชั้นดานเปราะยังพบลักษณะผิวเคลือบดินเหนียวตามธรรมชาติ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการเคลื่อนย้ายมาสะสมของอนุภาคดินเหนียวกลายเป็นชั้นสะสมดินเหนียว (Buol *et al*, 2003) ซึ่งการเพิ่มขึ้นของอนุภาคขนาดดินเหนียวและอนุภาคขนาดทรายแป้งเป็นตัวชี้วัดที่สำคัญของชั้นดานเปราะ โดยที่การศึกษานี้ชั้นดานเปราะมีปริมาณ

อนุภาคขนาดดินเหนียวอยู่ในช่วง 7.5-48.8 เปอร์เซ็นต์ และมีปริมาณอนุภาคขนาดทรายแป้งอยู่ในช่วง 1.4-59.7 เปอร์เซ็นต์

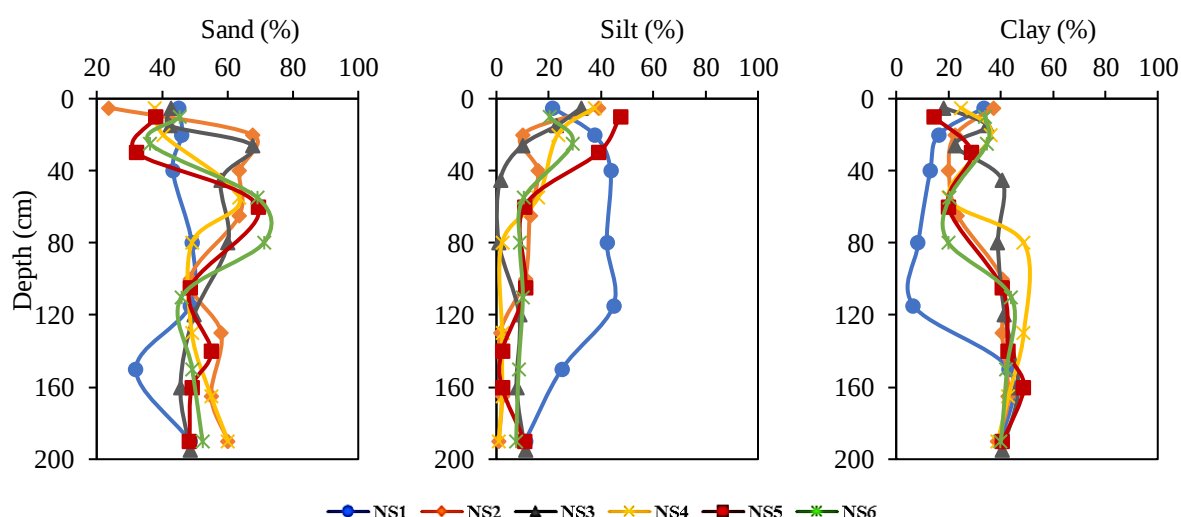
จากผลการวิเคราะห์เนื้อดิน พบว่า จังหวัดลพบุรีมีดินชั้นบนส่วนใหญ่เป็นดินร่วน ดินร่วนปนทราย ดินร่วนปนทรายแป้ง ขณะที่ดินชั้นดานเปราะมีเนื้อดินที่เป็นดินร่วนเหนียวปนทราย ดินร่วนปนดินเหนียว และดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง จังหวัดสระบุรีมีดินชั้นบนส่วนใหญ่เป็นดินร่วนปนดินเหนียว ดินชั้นดานเปราะมีเนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียวปนทรายและดินเหนียวปนทราย จังหวัดนครสวรรค์มีดินชั้นบนเป็นดินร่วนปนดินเหนียว ดินชั้นดานเปราะมีเนื้อดินเป็นดินเหนียวปนทรายปนก้อนกรวด จะเห็นได้ว่าในชั้นดานเปราะจะมีเนื้อดินเป็นกลุ่มดินเหนียวปนทรายแป้งและดินร่วนเหนียวปนทรายซึ่งเกิดจากวัตถุดิบกำเนิดที่มาจากหินแกรนิตและหินทรายแป้ง นอกจากนี้การเคลื่อนย้ายมาสะสมของอนุภาคดินเหนียวที่แสดงให้เห็นได้จากมีปริมาณอนุภาคขนาดดินเหนียวและอนุภาคขนาดทรายแป้งเพิ่มขึ้นในชั้นดานเปราะ (Lindbo and Veneman, 1989) (ตารางผนวกที่ 14, 15, 16) อาจเป็นผลทำให้ชั้นดานเปราะนี้มีความแน่นทึบ (Falsone and Bonifacio, 2009) และมีความแข็งมากซึ่งจะได้พิจารณาต่อไป



ภาพที่ 27 การแจกกระจายของอนุภาคขนาดต่างๆ ในจังหวัดลพบุรี



ภาพที่ 28 การแจกกระจายของอนุภาคขนาดต่างๆ ในจังหวัดสระบุรี



ภาพที่ 29 การแจกกระจายของอนุภาคขนาดต่างๆ ในจังหวัดนครศรีธรรมราช

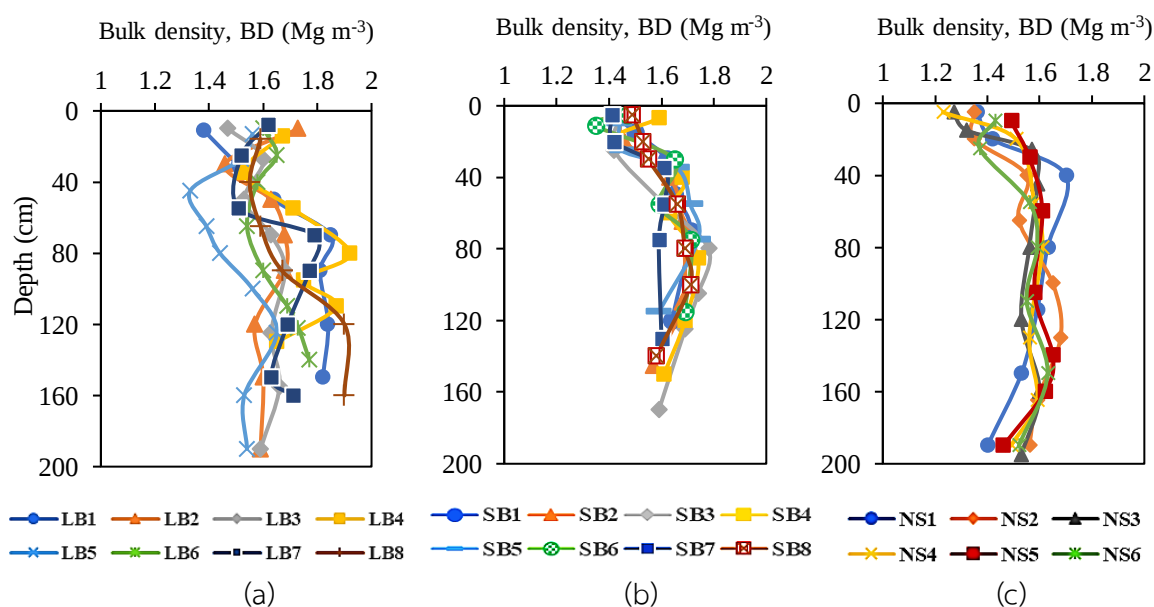
2. ความหนาแน่นรวมของดิน (Bulk density, BD)

ผลการศึกษาความหนาแน่นรวมของดิน (BD) ในบริเวณพื้นที่ที่ทำการศึกษากับความลึกของดินโดยวิธี core method แสดงไว้ในตารางผนวกที่ 14, 15 และ 16 และใช้เกณฑ์การประเมินความหนาแน่นรวม (Hazelton and Murphy, 2007; Hunt and Gilkes, 1992) ตามตารางผนวกที่ 8 และ 9

จังหวัดลพบุรี มีค่า BD ในดินชั้นบนอยู่ในระดับต่ำถึงสูง ($1.38-1.73 \text{ Mg m}^{-3}$) ในดินชั้นดานเปราะมีค่าอยู่ในระดับปานกลางถึงสูง ($1.58-1.92 \text{ Mg m}^{-3}$) จังหวัดสระบุรี มีค่า BD ในดินชั้นบนอยู่ในระดับปานกลาง ($1.42-1.59 \text{ Mg m}^{-3}$) ในดินชั้นดานเปราะมีค่าอยู่ในระดับปานกลางถึงสูง ($1.57-1.78 \text{ Mg m}^{-3}$) จังหวัดนครศรีธรรมราชมีค่า BD ในดินชั้นบนอยู่ในระดับต่ำถึงปานกลาง ($1.23-1.56 \text{ Mg m}^{-3}$) ในดินชั้นดาน

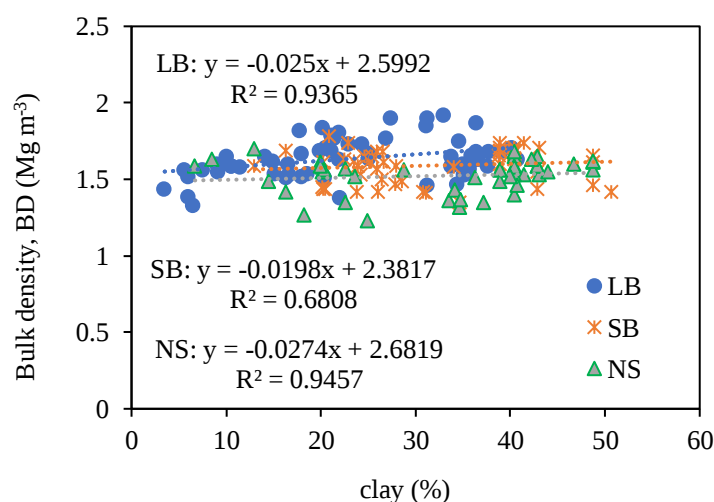
เปราะมีค่าอยู่ในระดับปานกลางถึงสูง ($1.57\text{--}1.78\text{ Mg m}^{-3}$) (ภาพที่ 30) จะเห็นได้ว่าโดยส่วนใหญ่แล้วค่า BD มีค่าสูงในชั้นดานเปราะ (Btx) ซึ่งมีค่าสูงกว่าในชั้นดินบน (A, Ap, Bt) ซึ่งพบได้ในทุกบริเวณที่มีชั้นดานเปราะ (Lindbo and Veneman, 1989, 1993; Rhoton and Tyler, 1990; Lindbo, 1990; Miller *et al.*, 1993, Graveel *et al.*, 2002; Certini *et al.*, 2007) และส่วนใหญ่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความลึกเนื่องจากดินบนมีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงกว่าในดินล่าง รวมถึงมีการเคลื่อนย้ายอนุภาคดินเหนียวลงไปสะสมในชั้นดินล่าง ซึ่งอนุภาคขนาดเล็กของดินเหนียวและทรายแป้งจะไปแทรกตามช่องว่างของดินทำให้ดินแน่นที่มากขึ้น (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548; James *et al.*, 1995; Nikorych *et al.*, 2014) และการที่ดินมีแนวโน้มอัดตัวกันแน่นมากขึ้นตามความลึกทำให้ช่องว่างขนาดใหญ่มีปริมาณลดลงซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Calvert *et al.* (1980) และ Falsone and Bonifacio (2009) ที่พบว่าการแทรกตัวของอนุภาคขนาดเล็กของดินเหนียวและทรายแป้งในช่องว่างทำให้เกิดการอัดตัวแน่นของดิน

ค่า BD ที่สูงในชั้นดานเปราะ (Btx) เป็นตัวชี้วัดที่สำคัญของชั้นดานเปราะรวมถึงความหนาของชั้นดานเปราะซึ่งในการศึกษานี้ชั้นดานเปราะมีค่า BD สูงอยู่ในช่วง $1.57\text{--}1.92\text{ Mg m}^{-3}$ ซึ่งมีค่าอยู่ในระดับไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของมันสำปะหลัง (Hunt and Gilkes, 1992) ทั้งนี้ต้องพิจารณาความหนาที่พบชั้นดานเปราะร่วมอีกด้วย ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Brady and Weil (2008) ที่แสดงให้เห็นว่าชั้นดานเปราะ (Btx) จะมีผลต่อการเจริญเติบโตของรากพืช หรือในทางอ้อมมีผลต่อการเคลื่อนย้ายของน้ำในดิน (Nikorych *et al.*, 2014) ส่งผลให้พืชเกิดการขาดธาตุอาหารและน้ำทำให้พืชเกิดการเหี่ยวเฉาได้



ภาพที่ 30 ค่า BD ในพื้นที่ (a) จังหวัดลพบุรี (b) จังหวัดสระบุรี และ (c) จังหวัดนครสวรรค์

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของค่า BD กับปริมาณดินเหนียว พบว่าค่า BD มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณดินเหนียว ($R^2=0.9, 0.6, 0.9$) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\text{-value} < 0.05$) (ภาพที่ 31) แสดงให้เห็นว่าดินในพื้นที่ที่มีความสัมพันธ์กับกระบวนการ pedogenic densification มากกว่ากระบวนการ lithologic factors (Lindbo *et al*, 1994) และบ่งชี้ได้ถึงว่ามีกระบวนการเคลื่อนย้ายของอนุภาคขนาดเล็ก และการเคลื่อนย้ายของวัสดุละเอียดจากดินชั้นบนลงไปที่สะสมและแทรกตัวในช่องว่างในชั้นดินล่าง ส่งผลให้เกิดการอัดตัวที่แน่นของดินและมีสารเชื่อมอย่างอ่อนจากอนุภาคดินเหนียวซึ่งเป็นสาเหตุให้ชั้นดานเปราะมีความแข็งและเปราะเมื่อขึ้น (Phunmuang, 2011; Calverts *et al*, 1980; Moniz and Buol, 1982)

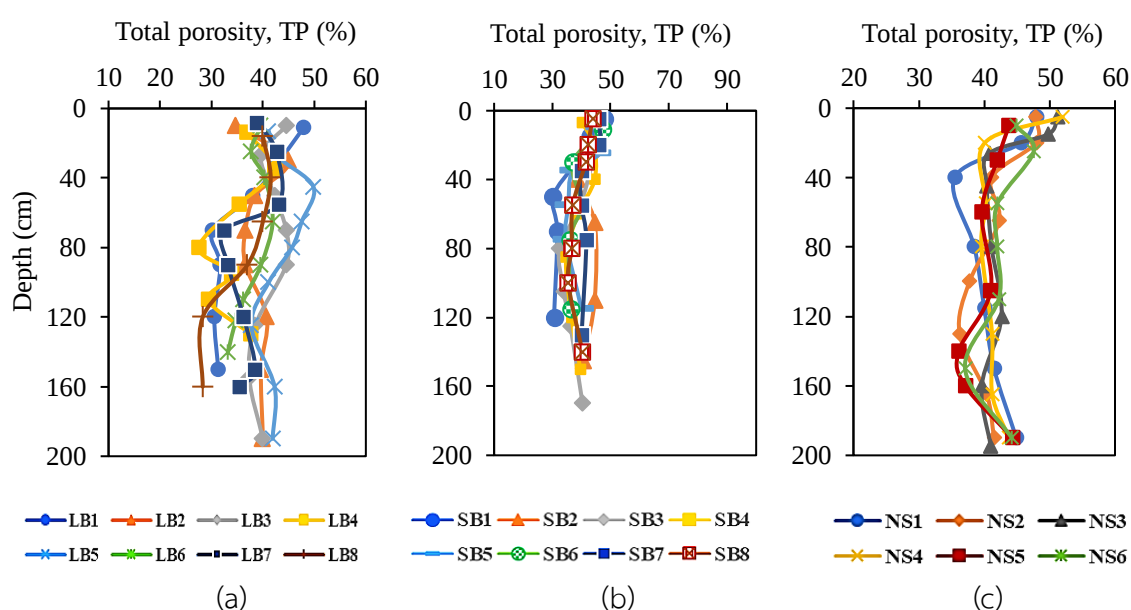


ภาพที่ 31 ความสัมพันธ์ของค่า BD กับ %clay ในพื้นที่จังหวัดลพบุรี (LB) จังหวัดสระบุรี (SB) และจังหวัดนครสวรรค์ (NS)

3. ความพรุนรวมของดิน (Total porosity, TP)

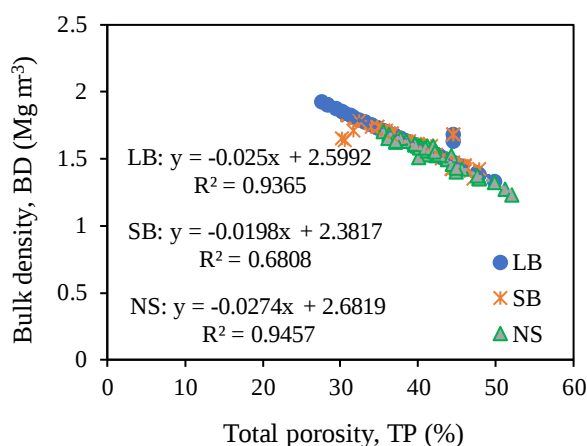
พื้นที่ศึกษาในจังหวัดลพบุรี มีค่า TP ในดินชั้นบนอยู่ในช่วง 36.98-49.81 เปอร์เซ็นต์ ในชั้นดานเปราะ (Btx) มีค่าอยู่ในช่วง 27.55-44.53 เปอร์เซ็นต์ จังหวัดสระบุรีมีค่า TP ในดินชั้นบน อยู่ในช่วง 40.35-47.92 เปอร์เซ็นต์ ในชั้นดานเปราะ (Btx) มีค่าอยู่ในช่วง 30.19-46.04 เปอร์เซ็นต์ และในพื้นที่จังหวัดนครสวรรค์มีค่า TP ในดินชั้นบนอยู่ในช่วง 40.08-52.01 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าในชั้นดานเปราะ (Btx) อยู่ในช่วง 35.47-42.64 เปอร์เซ็นต์ (ตารางผนวกที่ 14, 15, 16) ดินในชั้นดานเปราะมีค่า TP ต่ำกว่าดินชั้นบน และชั้นดานเปราะมีค่า TP ต่ำสุดในพื้นที่ศึกษาจังหวัดลพบุรีที่มีวัตถุต้นกำเนิดดินจาก (LB-4) ซึ่งมีวัตถุต้นกำเนิดเป็นตะกอนเศษหินเชิงเขาของหินทราย หินทรายแป้งและหินคองโกเมอเรที่เป็นต่าง ซึ่งมีค่าต่ำกว่าวัตถุต้นกำเนิดจากหินถ้ำภูเขาไฟในจังหวัดสระบุรีและจังหวัดนครสวรรค์ แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของวัตถุต้นกำเนิดดินต่อการกำเนิดของชั้นดานเปราะ (Phunmuang, 2011) (ภาพที่ 32)

จากการศึกษาจะเห็นได้ว่าพื้นที่ศึกษาทุกบริเวณมีค่า TP มีแนวโน้มลดลงตามความลึกของดินโดยในชั้นดานเปราะ (Btx) มีค่า TP ต่ำกว่าดินชั้นบน เนื่องมาจากการมีสมบัติ fragic ในชั้นดานเปราะโดยที่มีอนุภาคนาผลละเอียดและวัสดุขนาดละเอียดเข้าไปแทรกอยู่ในช่องว่างของดินมีผลทำให้ดินมี TP ลดต่ำลงสอดคล้องกับการศึกษาของ Szyman'ski and Skiba (2011) ที่พบว่าการมีอนุภาคและวัสดุขนาดละเอียดแทรกตามช่องว่างมีผลทำให้ชั้นดานเปราะมีความพรุนรวมลดต่ำลงและส่งผลให้ดินมีค่าการนำน้ำขณะดินอิ่มตัวลดต่ำลงอีกด้วย



ภาพที่ 32 ค่า TP ในพื้นที่ (a) จังหวัดลพบุรี (b) จังหวัดสระบุรี และ (c) จังหวัดนครสวรรค์

ค่า TP ที่ต่ำจะมีความสัมพันธ์เชิงลบกับค่า BD ที่สูง ($R^2=0.9, 0.6, 0.9$) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P -value < 0.05) อีกด้วย (Brouwer and Anderson, 2000; McNabb *et al.*, 2001) ซึ่งโดยทั่วไปจะมีความสัมพันธ์ย้อนกลับกับค่า BD (Bugbee and Frink, 1983) (ภาพที่ 33) ค่า TP เป็นตัวชี้วัดอีกค่าหนึ่งของชั้นดานเปราะโดยในพื้นที่ศึกษานี้ชั้นดานเปราะมีค่า TP อยู่ในช่วง 27.55-46.04 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งทำให้เป็นข้อจำกัดต่อการเจริญเติบโตของมันสำปะหลังและพืชชนิดอื่น

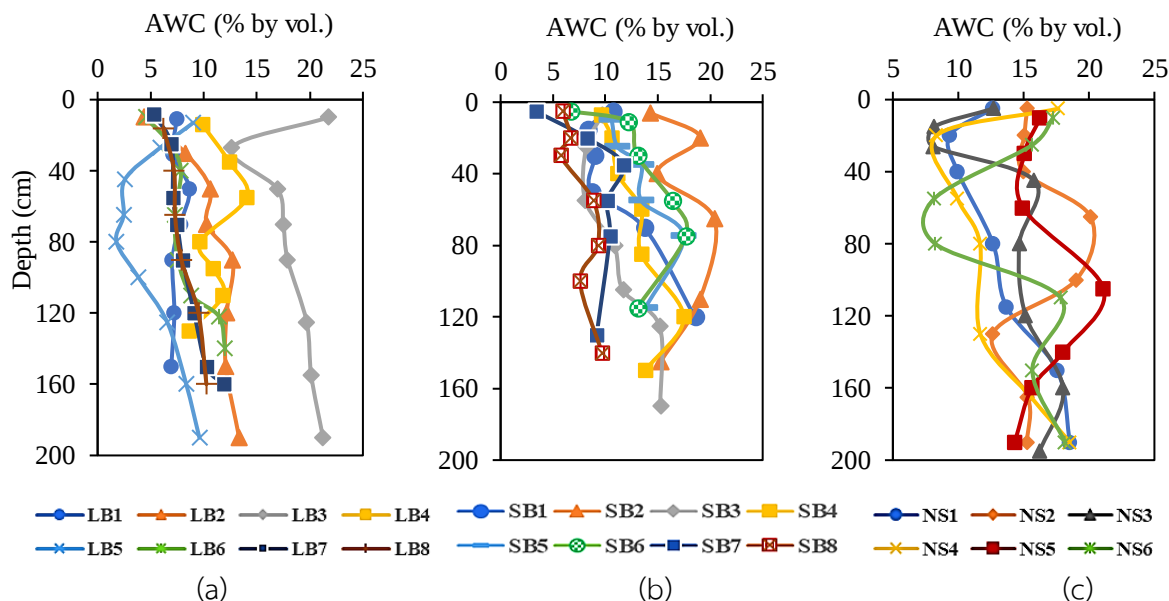


ภาพที่ 33 ความสัมพันธ์ของค่า TP และค่า BD ในพื้นที่จังหวัดลพบุรี (LB) จังหวัดสระบุรี (SB) และจังหวัดนครสวรรค์ (NS)

4. ความจุน้ำใช้ประโยชน์ได้ (Available water capacity, AWC)

ค่า AWC ในดินทุกพื้นที่ โดยคำนวณจากปริมาณน้ำที่ความจุความชื้นสนาม (field capacity, FC) ที่แรงดึงน้ำเท่ากับ 33 กิโลพาสคัลหักลบด้วยปริมาณน้ำที่จุดเหี่ยวถาวร (permanent wilting point, PWP) ที่แรงดึงน้ำเท่ากับ 1500 กิโลพาสคัล พบว่า พื้นที่ศึกษาในจังหวัดลพบุรีมีค่า AWC ในดินชั้นบนอยู่ในช่วงร้อยละ 1.78-21.76 โดยปริมาตร ส่วนในชั้นดานเปราะ (Btx) มีค่าอยู่ในช่วง 6.55-21.24 โดยปริมาตร พื้นที่ศึกษาจังหวัดสระบุรีมีค่า AWC ในดินชั้นบนอยู่ในช่วงร้อยละ 3.33-19.06 โดยปริมาตร ส่วนในชั้นดานเปราะ (Btx) มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 6.68-20.38 โดยปริมาตร และในพื้นที่ศึกษาจังหวัดนครสวรรค์มีค่า AWC ในดินชั้นบนอยู่ในช่วงร้อยละ 8.17-17.65 โดยปริมาตร ส่วนในชั้นดานเปราะ (Btx) มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 8.08-21.12 โดยปริมาตร (ตารางผนวกที่ 14, 15, 16 และ ภาพที่ 34)

จากการศึกษาจะเห็นได้ว่าค่า AWC ของชั้นดานเปราะ (Btx) ในจังหวัดลพบุรี มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตามความลึก ในจังหวัดสระบุรี มีค่า AWC สูงเล็กน้อยในชั้นดานเปราะ (Btx) ตอนกลาง และในจังหวัดนครสวรรค์มีค่า AWC ค่อนข้างแปรปรวนแต่มีค่าสูงในชั้นดานเปราะ (Btx) ตอนกลาง และลดลง จะเห็นได้ว่าพื้นที่ของการศึกษานี้ดินในชั้นดานเปราะมีค่า AWC สูงกว่าดินชั้นบน เนื่องจากชั้นดานเปราะยังคงเก็บกักความชื้นไว้ในช่องว่างขนาดเล็กซึ่งมีแรงยึดเหนี่ยวสูงไว้ได้มากกว่าในขณะที่ชั้นดินตอนบนจะสูญเสียความชื้นได้ง่ายอย่างรวดเร็วเนื่องจากมีช่องว่างระบายน้ำอยู่มากแต่น้ำในช่องว่างขนาดเล็กของชั้นดานเปราะนี้พืชใช้ประโยชน์ได้ยากโดยเฉพาะในช่วงฤดูแล้ง (Phunmuang, 2011) จากลักษณะดังกล่าว ทำให้น้ำที่นำจะนำไปใช้ประโยชน์ได้นี้ พืชไม่สามารถใช้ได้อีกต่อไป หรือสามารถเคลื่อนขึ้นมาที่ชั้นดินบนในลักษณะการเคลื่อนที่ตามท่อแคพิลลารีก็ลดน้อยลงด้วย (Nikorych *et al*, 2014) ค่า AWC ในชั้นดานเปราะของการศึกษานี้ เป็นตัวชี้วัดได้ของชั้นดานเปราะโดยมีค่าอยู่ในช่วง 6.55-21.24 โดยปริมาตร แต่ในบางบริเวณค่า AWC มีความแปรปรวนจึงควรพิจารณาพร้อมกับสมบัติอื่นๆ ของดินเพิ่มอีกด้วย



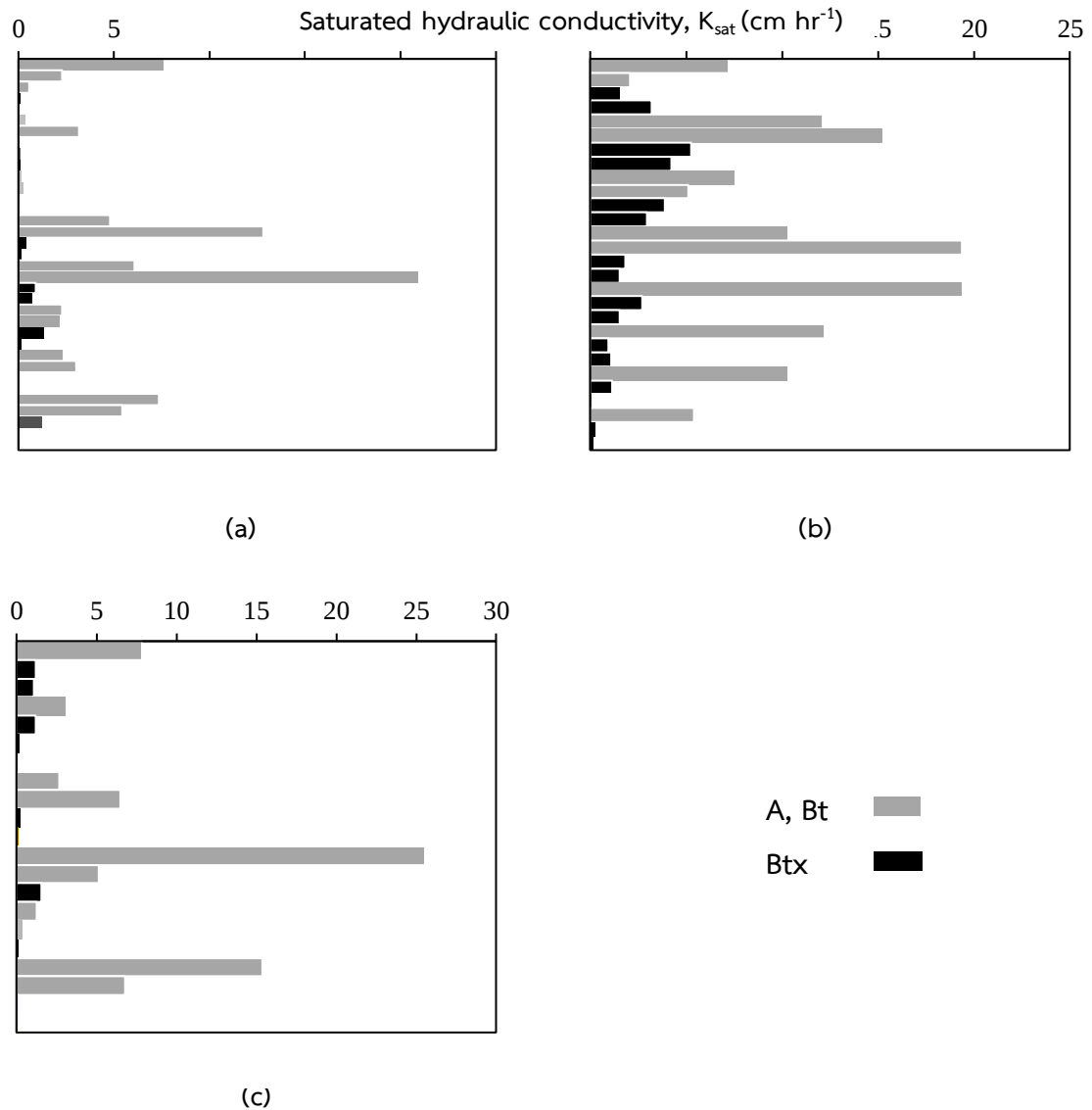
ภาพที่ 34 ค่า AWC ในพื้นที่ (a) จังหวัดลพบุรี (b) จังหวัดสระบุรี และ (c) จังหวัดนครศรีธรรมราช

5. สภาพน้ำของดินขณะอิ่มตัว (Saturated hydraulic conductivity, K_{sat})

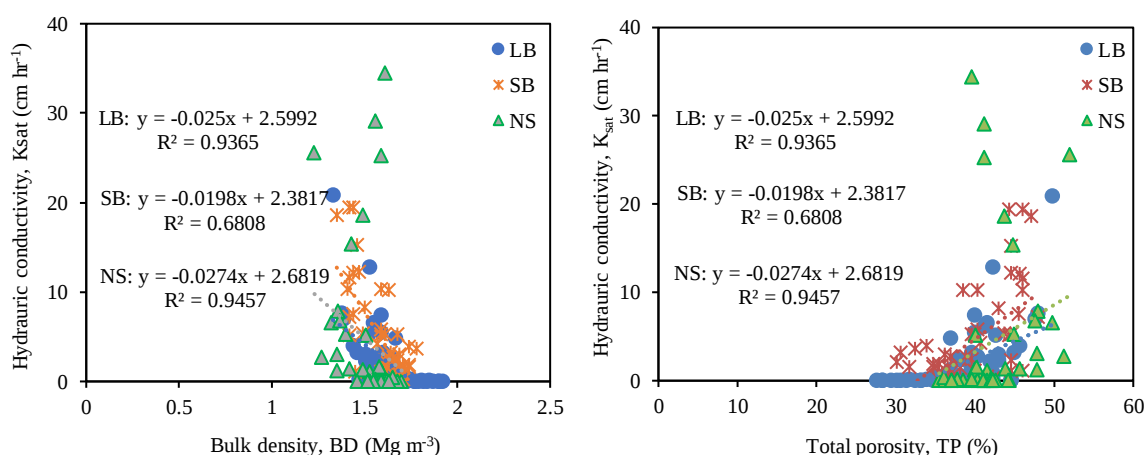
พื้นที่ศึกษาในจังหวัดลพบุรีมีค่า K_{sat} ในดินชั้นบนอยู่ในระดับช้าถึงเร็ว ($0.34-20.87 \text{ cm hr}^{-1}$) ชั้นดานเปรามีค่า K_{sat} โดยเฉลี่ยต่ำกว่ามากอยู่ในระดับช้าถึงช้ามาก ($0.03-0.007 \text{ cm hr}^{-1}$) จังหวัดสระบุรีมีค่า K_{sat} ในดินชั้นบนอยู่ในระดับช้าถึงเร็ว ($1.07-15.2 \text{ cm hr}^{-1}$) ชั้นดานเปรามีค่า K_{sat} โดยเฉลี่ยต่ำกว่ามากอยู่ในระดับช้ามากถึงปานกลาง ($0.03-10.23 \text{ cm hr}^{-1}$) และในจังหวัดนครศรีธรรมราชมีค่า K_{sat} ในดินชั้นบนอยู่ในระดับช้าถึงเร็ว ($1.35-25.57 \text{ cm hr}^{-1}$) ชั้นดานเปรามีค่า K_{sat} โดยเฉลี่ยต่ำกว่ามากอยู่ในระดับช้ามากถึงช้า ($0.03-1.57 \text{ cm hr}^{-1}$) (ภาพที่ 35) ค่า K_{sat} ในชั้นดานเปรามีค่าลดลงตามความลึกโดยมีค่าต่ำกว่าดินชั้นบนมาก ซึ่งสภาพน้ำของดินขณะอิ่มตัวจะขึ้นอยู่กับโครงสร้างของดิน ชนิดของเนื้อดิน ขนาด รูปร่าง การเชื่อมโยง ความต่อเนื่อง ความคงทน การแจกกระจายของช่องว่างในดิน และชนิดของไอออนที่จะทำให้ดินฟุ้งกระจาย (McDaniel *et al.*, 2008)

ค่า K_{sat} ที่ต่ำในชั้นดานเปร่าในพื้นที่ศึกษานี้เป็นตัวชี้วัดสำคัญของชั้นดานเปร่าโดยมีค่าต่ำกว่า 10.23 cm hr^{-1} ซึ่งเป็นผลมาจากดินมีค่าความหนาแน่นรวมสูงและมีความพรุนรวมต่ำ (Hillel, 1980a; Hillel, 1998; Juma, 2001; Aide, 2021) ซึ่งได้แสดงความสัมพันธ์เชิงบวกและความสัมพันธ์เชิงลบของค่า K_{sat} กับค่า BD และค่า TP อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\text{-value} < 0.05$) โดยที่ค่า K_{sat} มีความสัมพันธ์ย้อนกลับกับค่า BD ($R^2 = 0.93$) ในขณะที่ค่า K_{sat} มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับค่า TP ($R^2 = 0.93$) (ภาพที่ 36) สอดคล้องกับการศึกษาชั้นดานเปร่าของ Szyman'ski and Skiba (2011) ที่พบว่าชั้นดานเปร่ามีการนำน้ำขณะดินอิ่มตัวต่ำกว่าดินชั้นบนมากเนื่องจากดินชั้นดานเปร่ามีช่องว่างขนาดเล็กเนื่องจากมีค่า

ความพรุนรวมต่ำและมีค่าความหนาแน่นรวมสูง และดินชั้นบนในพื้นที่ศึกษานี้มีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูง ร่วมกับมีอนุภาคขนาดทรายทำให้โครงสร้างของดินมีช่องว่างขนาดใหญ่จึงทำให้ดินชั้นบนมีค่า K_{sat} สูงกว่า ชั้นดานเปราะ (McDaniel *et al.*, 2008)



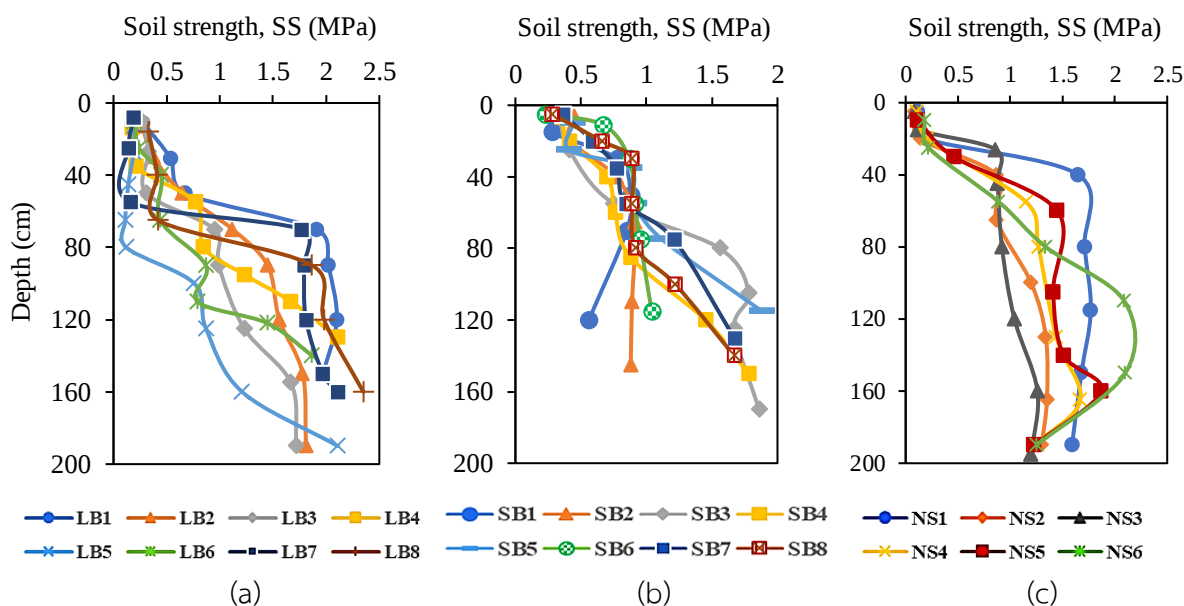
ภาพที่ 35 ค่า K_{sat} ในพื้นที่ (a) จังหวัดลพบุรี (b) จังหวัดสระบุรี และ (c) จังหวัดนครศรีธรรมราช



ภาพที่ 36 ความสัมพันธ์ของค่า K_{sat} กับค่า BD และค่า TP ในพื้นที่จังหวัดลพบุรี (LB) จังหวัดสระบุรี (SB) และจังหวัดนครสวรรค์ (NS)

6. ความแข็งของดิน (Soil strength, SS)

พื้นที่ศึกษาจังหวัดลพบุรี มีค่า SS ในดินชั้นบนอยู่ในช่วง 0.18-0.54 MPa และมีค่าสูงในชั้นดานเปราะ (Btx) อยู่ในช่วง 0.65-2.35 MPa จังหวัดสระบุรีมีค่า SS ในดินชั้นบนอยู่ในช่วง 0.28-0.44 MPa และมีค่าสูงในชั้นดานเปราะ (Btx) อยู่ในช่วง 0.59-0.78 MPa และในพื้นที่จังหวัดนครสวรรค์มีค่า SS ในดินชั้นบนอยู่ในช่วง 0.09-0.46 MPa และมีค่าสูงในชั้นดานเปราะ (Btx) อยู่ในช่วง 0.88-2.09 MPa และทุกพื้นที่ ค่า SS มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความลึกของดินในทุกบริเวณ (ภาพที่ 37) โดยมีค่า SS สูงมากในชั้นดานเปราะ (Btx) และมีค่าสูงกว่าชั้นดินตอนบน (Wells and Northey, 1985; Selim *et al.*, 1987; Habecker *et al.*, 1990; Norfleet and Karathanasis, 1996) ค่า SS ที่มากกว่า 0.5 MPa จะจำกัดการซอไนซของรากพืช ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาชั้นดานเปราะของ Passioura (1991) ซึ่งในชั้นดานเปราะที่ศึกษานี้มีค่า SS สูง และมีความอัดตัวแน่นอย่างมากจึงจำกัดการซอไนซของรากและการเจริญเติบโตของหัวมันสำปะหลัง ทำให้หัวมันสำปะหลังแคะแกนซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Iigima *et al.* (2003) ที่พบว่ารากข้าวโพดในพื้นที่ดินมีการอัดตัวแน่นทึบและมีค่า SS มากกว่า 1 MPa มีขนาดความยาวของรากเพียงครึ่งหนึ่งของรากข้าวโพดที่ปลูกในดินที่มีค่า SS น้อยกว่า 0.06 MPa เช่นเดียวกับการศึกษาที่ให้ผลสอดคล้องกันของ Taylor and Ratliff (1969) ที่พบว่ารากพืชของธัญพืชที่ปลูกในดินที่มีค่า SS มากกว่า 0.72 MPa ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ตามปกติ และไม่สามารถเจริญเติบโตได้เมื่อดินมีค่า SS มากกว่า 3.0 MPa (Taylor and Gardner, 1963) โดยทั่วไปแล้วดินที่มีค่า SS น้อยกว่า 0.5 MPa ซึ่งมีค่าการต้านทานการแทงทะลุต่ำจะไม่มีการเจริญเติบโตของรากพืช (Hunt and Gilkes, 1992)



ภาพที่ 37 ค่า SS ในพื้นที่ (a) จังหวัดลพบุรี (b) จังหวัดสระบุรี และ (c) จังหวัดนครสวรรค์

เมื่อพิจารณาค่า SS ของทุกพื้นที่ในการศึกษานี้แล้วจะเห็นได้ว่า พื้นที่ศึกษาในจังหวัดลพบุรีและนครสวรรค์ มีค่า SS สูงมากกว่าจังหวัดสระบุรี โดยมีค่าสูงที่สุดในพื้นที่ที่มีวัตถุต้นกำเนิดเป็นตะกอนน้ำพา หักถมบนหินตะกอนและหินแกรูเขาไฟในจังหวัดลพบุรี (LB5-LB8) และพื้นที่ที่มีวัตถุต้นกำเนิดเป็นตะกอนเศษหินเชิงเขาของหินตะกอน หินแกรูเขาไฟและศิลาแลงในจังหวัดนครสวรรค์ (NS1-NS6) ซึ่งสูงกว่าวัตถุต้นกำเนิดที่เป็นตะกอนเศษหินเชิงเขาของแกรูเขาไฟแอนดิซิติคส์ในจังหวัดสระบุรี ซึ่งจะเห็นได้ว่าวัตถุต้นกำเนิดดินมีอิทธิพลต่อค่าความแข็งของดิน ซึ่งเกี่ยวข้องกับสมบัติอื่นๆ ของดินอีกด้วย และค่า SS ที่สูงในชั้นดานเปราะเป็นตัวชี้วัดที่สำคัญของชั้นดานเปราะซึ่งในการศึกษานี้ชั้นดานเปราะมีค่า SS มากกว่า 0.5 MPa ซึ่งมีความต้านทานการแทงทะลุของรากพืชสูง (Passioura, 1991) จึงเป็นข้อจำกัดที่รุนแรงต่อการงอกของรากพืชและการเจริญเติบโตของหัวมันสำปะหลัง อย่างไรก็ตามระดับความลึกและความหนาของชั้นดานเปราะที่พบในพื้นที่ก็ต้องนำมาพิจารณาชนิดพืชที่จะปลูกและการวางแผนการจัดการพื้นที่ร่วมอีกด้วย

ประเด็นพิจารณา

การเกิดขึ้นและพัฒนาการของชั้นดานเปราะที่พบในพื้นที่ศึกษา มีสมบัติทางกายภาพและสัณฐานวิทยาของดินเป็นตัวชี้วัดที่สำคัญ ได้แก่ 1) การแจกกระจายของอนุภาคขนาดดินเหนียวอยู่ในช่วง 7.5-48.8 เปอร์เซ็นต์ และอนุภาคขนาดทรายแบ่งอยู่ในช่วง 1.4-59.7 เปอร์เซ็นต์ 2) ความหนาแน่นรวมสูงอยู่ในช่วง 1.57-1.92 Mg m^{-3} 3) ความพรุนรวมต่ำอยู่ในช่วง 27.55-46.04 เปอร์เซ็นต์ 4) การนำน้ำของดินขณะอิ่มตัวต่ำกว่า 10.23 cm hr^{-1} 5) ความจุน้ำใช้ประโยชน์ได้อยู่ในช่วงร้อยละ 6.55-21.24 โดยปริมาตร 6) ความแข็งของดินมีค่ามากกว่า 0.5 MPa 6) ผิวเคลือบดินเหนียวและสะพานดินเหนียว 7) โครงสร้างแบบก้อนเหลี่ยมมุมมนและก้อนเหลี่ยมมุมคม 8) เม็ดกลมของเหล็กและแมงกานีส และ 9) ชั้นส่วนของดินที่แข็ง

มากเมื่อแห้งและมีความเปราะเมื่อขึ้นและยุ่ยสลายเมื่อแช่น้ำ ซึ่งเป็นไปตามลักษณะการจำแนกชั้นดานเปราะของ Soil Survey Staff (1999, 2014) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาชั้นดานเปราะของ Aide (2021) และการศึกษาที่มีมาก่อนหน้านี้ (Harlan and Franzmeier, 1977; Franzmeier *et al.*, 1989 ; Smeck *et al.*, 1989) ที่มีสมบัติทางกายภาพเหล่านี้เป็นตัวชี้วัดที่สำคัญของชั้นดานเปราะ โดยมีกระบวนการต่างๆ ที่ทำให้ชั้นดานเปราะอัดตัวแน่นทึบและมีความแข็ง ได้แก่ 1) กระบวนการ alternative wet-dry condition 2) leaching soil environment 3) Lessivage 4) hydroconsolidation และ 5) mass wasting ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Karathanasis (1989); Smalley and Marković (2014); Smalley *et al.* (2016) และ Aide *et al.* (2006) ซึ่งกระบวนการเหล่านี้มีผลทำให้ชั้นดานเปราะมีค่าความหนาแน่นรวมสูง ความพรุนรวมต่ำ การนำน้ำของดินขณะอิ่มตัวต่ำและมีค่าความแข็งสูง

ชั้นดานเปราะมีความแตกต่างกับชั้นดินตอนบน โดยที่ชั้นดานเปราะในการศึกษานี้มีปริมาณดินเหนียวเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีการเคลื่อนย้ายวัสดุขนาดละเอียดลงไปที่สะสมและแทรกตามช่องว่างของดิน ทำให้ดินแน่นทึบขึ้นส่งผลให้ดินมีความหนาแน่นรวมสูง มีความพรุนรวมลดต่ำลง ทำให้ลดการเคลื่อนที่ของน้ำ มีการนำน้ำขณะอิ่มตัวของดินลดต่ำลงส่งผลให้ดินมีค่าความจุน้ำใช้ประโยชน์ได้ของดินยังมีอยู่และมีการต้านทานการแทงทะลุของรากพืชสูงเนื่องจากมีค่าความแข็งที่สูงมาก ซึ่งลักษณะและสมบัติทางกายภาพต่างๆ เหล่านี้เป็นตัวชี้วัดของชั้นดานเปราะและเป็นข้อจำกัดในการปลูกพืช การทำเกษตรกรรมในพื้นที่ศึกษานี้ นอกจากจะพิจารณาสมบัติทางกายภาพแล้วยังต้องพิจารณาระดับความลึกและความหนาของชั้นดานเปราะร่วมอีกด้วย ชั้นดานเปราะที่พบในระดับตื้นจะมีผลกระทบต่อการปลูกพืชเป็นอย่างมาก เช่น จำกัดการขนถ่ายของรากพืช การเกิดชั้นน้ำใต้ดินชั่วคราวในช่วงฤดูฝนทำให้เกิดการขังน้ำขึ้นเหนือชั้นดานเปราะ และดินขาดความชื้นอย่างรุนแรงในช่วงฤดูแล้งและการกร่อนดินที่จะชะล้างหน้าดินเมื่อมีฝนตกหนักในพื้นที่

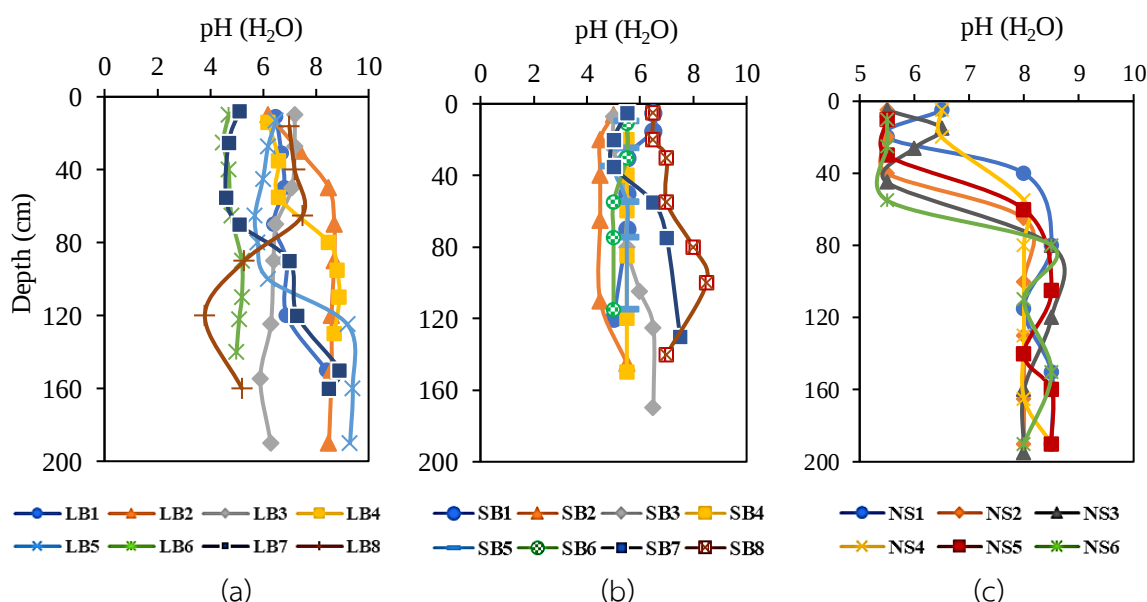
การจัดการดินเพื่อการปลูกมันสำปะหลังและพืชอื่นในพื้นที่ศึกษาที่พบชั้นดานเปราะนี้ ควรมีการจัดทำระบบอนุรักษ์ดินและน้ำ เช่น การคลุมดิน การปรับปรุงดินเพื่อเพิ่มอินทรีย์วัตถุ ลดการไถพรวน และปลูกพืช wind break trees เพื่อรักษาความชื้นโดยลดการระเหยของน้ำที่ผิวหน้าดิน และไม่แนะนำให้ไถระเบิดดานเนื่องชั้นดานเปราะมีความหนาตลอดชั้นหน้าดิน และชั้นดานเปราะสามารถกลับมาอีกได้จากกระบวนการเปียก-แห้ง ร่วมกับการเคลื่อนย้ายของอนุภาคขนาดละเอียดลงไปที่ดินชั้นล่าง นอกจากนี้การปรับเปลี่ยนพืชปลูกให้เหมาะสมกับศักยภาพของดินยังเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ลดต้นทุนการผลิตและรักษาดินไม่ให้เกิดความเสื่อมโทรม

สมบัติทางเคมีของดินที่พบชั้นดานเปราะ

ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดินในบริเวณที่ทำการศึกษา แสดงไว้ในตารางผนวกที่ 17, 18 และ 19 ผลการศึกษาในพื้นที่ศึกษาจังหวัดลพบุรี สระบุรี และนครสวรรค์ สรุปได้ดังนี้

1. ปฏิกริยาดิน (Soil pH)

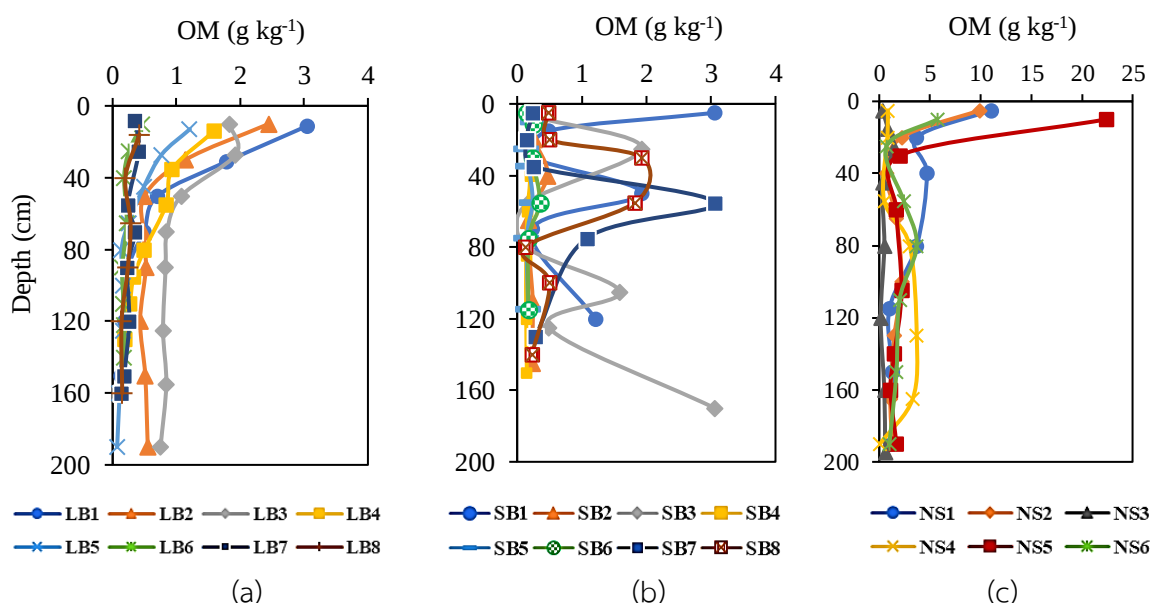
ค่า pH ของดินโดยใช้อัตราส่วนดินต่อน้ำในพื้นที่ศึกษาจังหวัดลพบุรีมีค่าอยู่ในช่วง 3.8-9.4 โดยในดินชั้นบนมีค่า pH อยู่ในช่วง 4.5-7.4 และในชั้นดานเปราะมีค่าอยู่ในช่วง 3.8-9.4 จังหวัดสระบุรีมีค่า pH อยู่ในช่วง 4.5-8.5 โดยในดินชั้นบนมีค่าอยู่ในช่วง 4.5-6.5 และในชั้นดานเปราะมีค่าอยู่ในช่วง 4.5-8.5 และในพื้นที่ศึกษาจังหวัดนครสวรรค์มีค่า pH อยู่ในช่วง 5.5-8.5 โดยในดินชั้นบนมีค่า pH อยู่ในช่วง 5.5-6.5 และในชั้นดานเปราะมีค่าอยู่ในช่วง 5.5-8.5 (ภาพที่ 38) จากผลการศึกษาจะเห็นได้ว่าในดินชั้นบนมีค่า pH เป็นกรดจัดถึงเป็นกลางแต่ในชั้นดานเปราะส่วนใหญ่แล้วมีค่า pH เป็นกรดจัดถึงเป็นด่างจัดและส่วนใหญ่มีค่าสูงกว่าในดินชั้นบน ซึ่งการที่ดินในชั้นดานเปราะมีค่า pH สูงอาจเนื่องมาจากมีปริมาณ Na ที่สูงกว่า (Seelig, 2000; Brady and Weil, 2007) และค่า pH ที่สูงนี้อาจเกี่ยวข้องกับค่าความแข็งของดินซึ่งมีความสัมพันธ์กันสูงกับค่า SS อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\text{-value} < 0.05$) สอดคล้องกับการศึกษาของ Wells and Northey (1985) ที่พบว่าการเพิ่มขึ้นของค่า pH เนื่องมาจากการสร้างความแข็งของดิน เช่นเดียวกับการศึกษาของ Rhoton *et al.* (2001) ที่พบว่าดินที่มีค่า pH สูงมากกว่า 10.5 จะทำให้เกิดการละลายของสารเชื่อมที่ทำให้เกิดความแข็งของดินมีค่าความแข็งลดลง



ภาพที่ 38 ค่า pH ในพื้นที่ (a) จังหวัดลพบุรี (b) จังหวัดสระบุรี และ (c) จังหวัดนครสวรรค์

2. อินทรีย์วัตถุ (Organic matter, OM)

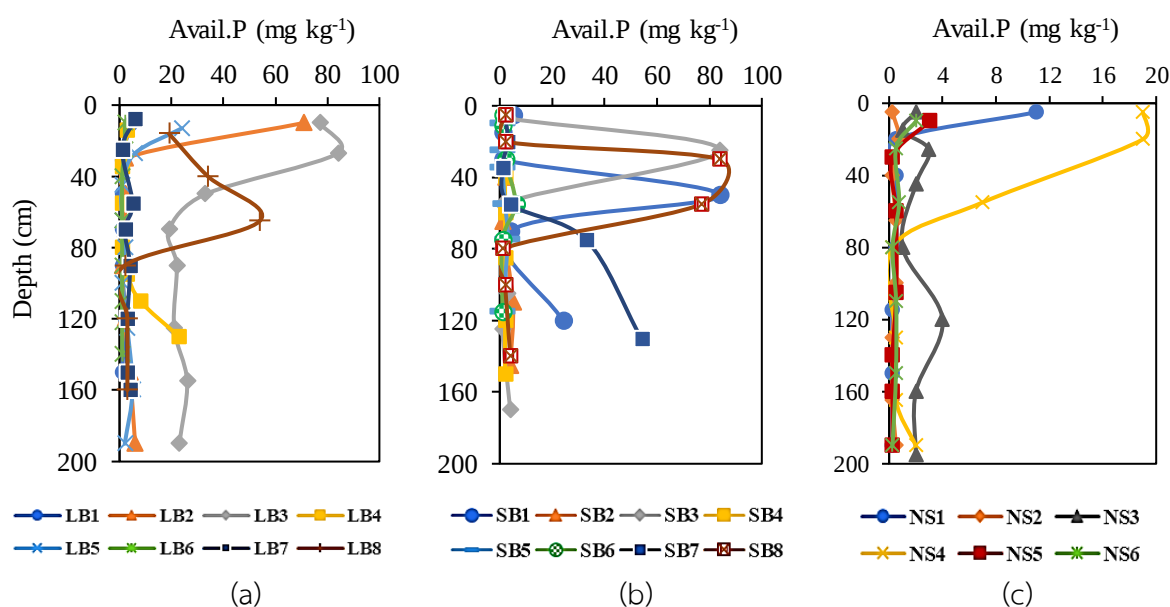
ปริมาณ OM ของดินในการศึกษานี้อยู่ในระดับต่ำถึงต่ำมากและในทุกบริเวณมีแนวโน้มลดลงตามความลึก พื้นที่ศึกษาในจังหวัดลพบุรีมีปริมาณ OM อยู่ในช่วง $0.07-3.06 \text{ g kg}^{-1}$ จังหวัดสระบุรีมีปริมาณ OM อยู่ในช่วง $0.17-3.06 \text{ g kg}^{-1}$ และในจังหวัดนครสวรรค์มีปริมาณ OM อยู่ในช่วง $0.33-11.0 \text{ g kg}^{-1}$ (ภาพที่ 39) และทุกพื้นที่ที่มีปริมาณ OM สูงในชั้นดินบนมากกว่าในชั้นดานเปราะ (Btx) ซึ่งการที่ชั้นดินบนมีปริมาณ OM สูงกว่าชั้นดินล่างเป็นผลมาจากการผุพังสลายตัวของเศษซากอินทรีย์ที่สะสมอยู่ในดินตามธรรมชาติ และชั้นส่วนที่สลายตัวหลงเหลือจากการเกษตรกรรม ตลอดจนรากพืชที่ขึ้นปกคลุมอยู่บนผิวดิน เมื่อสลายตัวจึงสะสมอยู่ในดินบนในปริมาณที่มากกว่า และสภาพแวดล้อมของดินที่อยู่ในเขตร้อน การย่อยสลายอินทรีย์วัตถุในดินบนจะเกิดขึ้นรวดเร็ว การชะละลายลงไปตามในดินล่างเกิดขึ้นน้อย ทำให้ปริมาณอินทรีย์วัตถุลดลงในดินล่างอย่างชัดเจน และในชั้นดานเปราะมีการอัดตัวกันแน่นที่บึงจึงมีผลทำให้ปริมาณ OM ไม่สามารถถูกชะละลายไปยังชั้นดินล่างได้อีกด้วย และจากผลการศึกษาจะเห็นได้ว่าพื้นที่ศึกษาในจังหวัดนครสวรรค์มีปริมาณ OM สูงกว่าพื้นที่อื่นเนื่องมาจากการปลูกพืชอื่นมาก่อนมันสำปะหลังจึงทำให้มีการย่อยสลายเศษซากพืชสะสมในดินมากซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Sanchez (1976) และ Brady and Weil (1999) ที่พบว่าระบบการปลูกพืชหมุนเวียนมีผลทำให้มีปริมาณ OM ตกค้างในดินสูงและยังทำให้ดินมีความชื้นเพิ่มขึ้นอีกด้วย



ภาพที่ 39 ปริมาณ OM ในพื้นที่ (a) จังหวัดลพบุรี (b) จังหวัดสระบุรี และ (c) จังหวัดนครสวรรค์

3. ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available phosphorus, Avail. P)

ปริมาณ Avail. P ในพื้นที่ศึกษาจังหวัดลพบุรี พบว่า มี Avail. P สะสมอยู่ในระดับต่ำมากถึงสูง ($1-84 \text{ mg kg}^{-1}$) และมีปริมาณค่อนข้างสูงในชั้นดินบน และมีแนวโน้มลดลงตามความลึก จังหวัดสระบุรีมี Avail. P สะสมอยู่ในระดับต่ำมากถึงสูง ($1-84 \text{ mg kg}^{-1}$) มีปริมาณค่อนข้างแปรปรวน และในพื้นที่ศึกษา จังหวัดนครสวรรค์มี Avail. P สะสมอยู่ในระดับต่ำมากถึงปานกลาง ($0.25-19 \text{ mg kg}^{-1}$) และมีแนวโน้มลดลงตามความลึก (ภาพที่ 40) จากผลการศึกษาจะเห็นได้ว่ามีปริมาณ Avail. P สูงในดินชั้นบนและมีปริมาณต่ำในชั้นดานเปราะแสดงว่าฟอสฟอรัสในชั้นดินบนส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปฟอสเฟตอินทรีย์ซึ่งมีแนวโน้มมากหรือน้อยตามปริมาณของอินทรีย์วัตถุในดิน (Thompson and Troeh, 1978; Mengel and Kirkby, 1987) และผลตกค้างจากปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ใส่ลงไป ซึ่งในพื้นที่ศึกษาของจังหวัดลพบุรีและสระบุรีมีปริมาณ Avail. P ในชั้นดินบนสะสมอยู่สูงกว่าพื้นที่ศึกษาของจังหวัดนครสวรรค์ ซึ่งน่าจะเกิดจากการสะสมของปุ๋ยฟอสฟอรัสในบริเวณจุดเก็บตัวอย่าง ส่วนในชั้นดานเปราะฟอสเฟตที่มีจะเป็นในรูปของฟอสเฟตอนินทรีย์ที่มาจากแร่ในดินที่ผุพัง และเนื่องจากพีเอชดินมีความเป็นด่างเพิ่มขึ้นตามความลึกซึ่งแคลเซียมจะทำปฏิกิริยากับฟอสเฟตทำให้ละลายได้ยากขึ้น นอกจากนี้ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารหลักที่จำเป็นต่อความต้องการของพืชทุกชนิด การจัดการปุ๋ยฟอสฟอรัสจึงเป็นสิ่งจำเป็น และจะต้องพิจารณาเลือกชนิดปุ๋ย และวิธีการใส่ที่เหมาะสม ควบคู่ไปกับการปรับปรุงค่าปฏิกิริยาดินที่ส่วนใหญ่ค่อนข้างเป็นด่างเพื่อลดปัญหาการตรึง (ยงยุทธ, 2543)

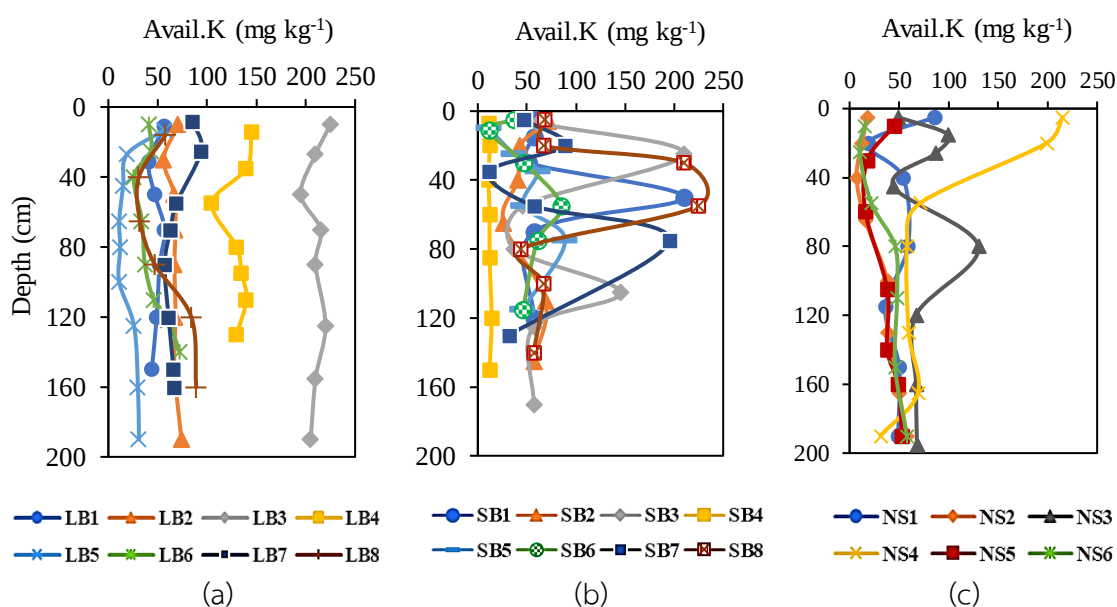


ภาพที่ 40 ปริมาณ Avail. P ในพื้นที่ (a) จังหวัดลพบุรี (b) จังหวัดสระบุรี และ (c) จังหวัดนครสวรรค์

4. โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (Available potassium, Avail. K)

ปริมาณ Avail. K ในพื้นที่ศึกษาจังหวัดลพบุรี พบว่ามีปริมาณ Avail. K อยู่ในระดับต่ำมากถึงสูงมาก ($11-225 \text{ mg kg}^{-1}$) โดยเฉพาะดินใน LB-3 และ LB-4 มีปริมาณ Avail. K อยู่ในระดับสูงมากในบางบริเวณมีแนวโน้มลดลงตามความลึกขณะที่ในบางบริเวณมีแนวโน้มลดลงในชั้นดานเปราะและเพิ่มขึ้นในชั้นถัดไป พื้นที่ศึกษาจังหวัดสระบุรี พบว่ามีปริมาณ Avail. K อยู่ในระดับต่ำมากถึงสูงมาก ($11-210 \text{ mg kg}^{-1}$) และมีค่าค่อนข้างแปรปรวน บางบริเวณมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในชั้นดานเปราะและลดลงในชั้นถัดไป และในพื้นที่ศึกษาจังหวัดนครสวรรค์ พบว่ามีปริมาณ Avail. K อยู่ในระดับต่ำมากถึงสูงมาก ($7-215 \text{ mg kg}^{-1}$) โดยเฉพาะดินใน NS-3 และ NS-4 มีปริมาณ Avail. K อยู่ในระดับสูงมากในชั้นดินบน ในบางบริเวณมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความลึกขณะที่ในบางบริเวณมีแนวโน้มลดลงในชั้นดานเปราะ (ภาพที่ 41)

การที่มีปริมาณ Avail. K สูงมากในชั้นดินบนและมีแนวโน้มลดลงตามความลึก เป็นผลมาจากการจัดการดินและปุ๋ยในการปลูกพืชและอิทธิพลของอินทรีย์วัตถุในดิน ซึ่งโดยทั่วไปจะมีการสะสมอยู่ในชั้นดินบนมากกว่าชั้นดินล่างที่พบชั้นดานเปราะ อินทรีย์วัตถุมีความสามารถในการดูดซับธาตุไอออนบวกได้สูงและชั้นตอนในการสลายตัวของอินทรีย์สารมีการปลดปล่อย Avail. K บางส่วนให้กับดิน จึงยังคงมี Avail. K อยู่ในระบบของดินได้มาก (Sanchez, 1976; Brady and Weil, 2008) ส่วนในบริเวณที่มีปริมาณ Avail. K สูงขึ้นในชั้นดานเปราะน่าจะเป็นผลมาจากประสิทธิภาพของการชะละลายยังไม่มากพอในชั้นดิน (เอิบ, 2533)



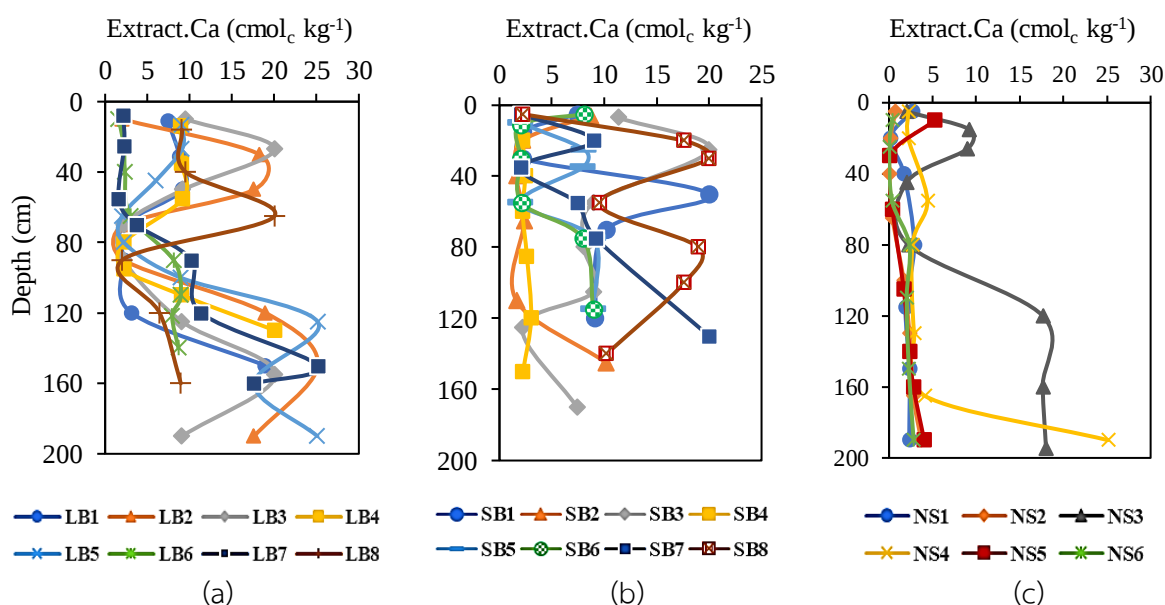
ภาพที่ 41 ปริมาณ Avail. K ในพื้นที่ (a) จังหวัดลพบุรี (b) จังหวัดสระบุรี และ (c) จังหวัดนครสวรรค์

5. เบสที่สกัดได้ (Extractable bases)

เบสที่สกัดได้ ได้แก่ธาตุประจุบวกที่เป็นเบสอยู่ในรูปที่สกัดได้ที่ทำการศึกษาวิเคราะห์ในการศึกษานี้ ได้แก่ แคลเซียม แมกนีเซียม โพแทสเซียม และโซเดียม

แคลเซียมที่สกัดได้ (Extract. Ca)

ปริมาณ Extract. Ca ในพื้นที่ศึกษา พบว่า จังหวัดลพบุรีมีปริมาณ Extract. Ca อยู่ในระดับต่ำถึงสูงมาก ($2.0-25.13 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) บางบริเวณมีค่าเพิ่มขึ้นในชั้นดานเปราะและลดลงในชั้นถัดลงไป และบางบริเวณมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความลึกใน LB-7 จังหวัดสระบุรีมีปริมาณ Extract. Ca อยู่ในระดับต่ำถึงสูงมาก ($1.62-20.02 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) และมีค่าค่อนข้างแปรปรวน แต่ใน SB-4 มีค่าค่อนข้างคงที่ จังหวัดนครสวรรค์มีปริมาณ Extract. Ca อยู่ในระดับต่ำถึงสูง ($0.04-18.01 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) และส่วนใหญ่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความลึก (ภาพที่ 42) จากผลการศึกษาจะเห็นได้ว่าดินส่วนใหญ่จะมีปริมาณ Extract. Ca สูงในชั้นดานเปราะเนื่องจากมีพีเอชสูงทำให้ละลายออกมาได้มากขึ้น

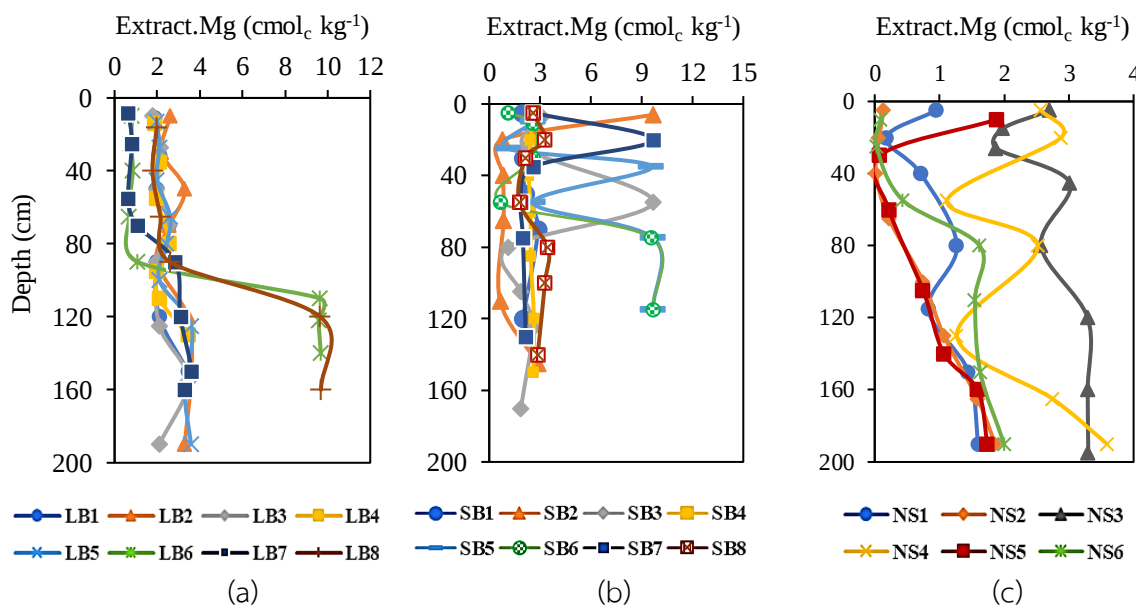


ภาพที่ 42 ปริมาณ Extract. Ca ในพื้นที่ (a) จังหวัดลพบุรี (b) จังหวัดสระบุรี และ (c) จังหวัดนครสวรรค์

แมกนีเซียมที่สกัดได้ (Extract. Mg)

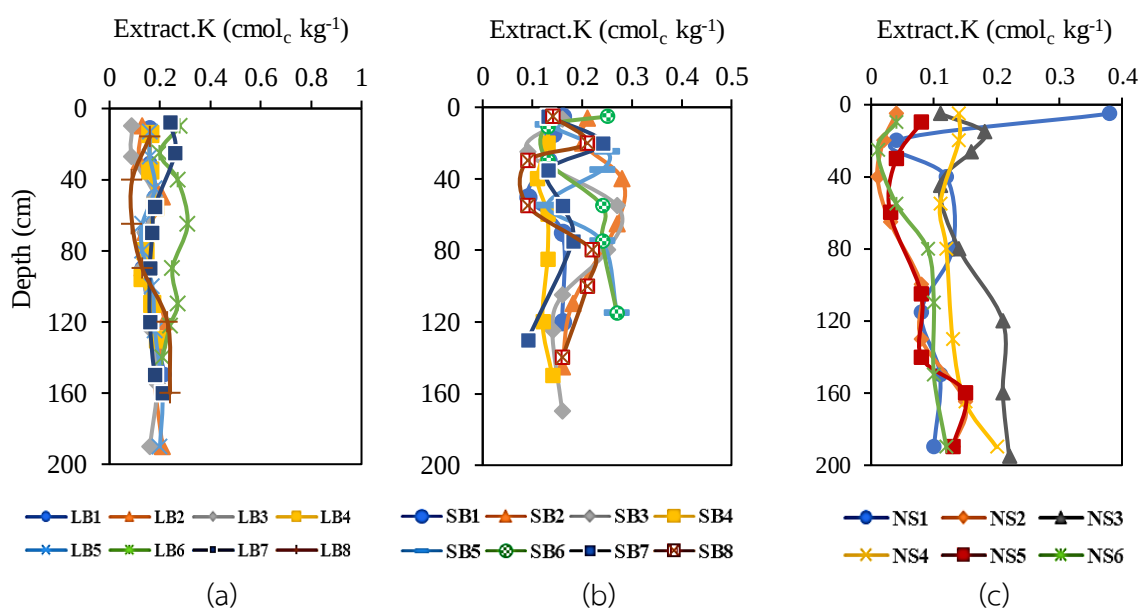
ปริมาณ Extract. Mg ในพื้นที่ศึกษา พบว่า จังหวัดลพบุรีมีปริมาณ Extract. Mg อยู่ในระดับปานกลางถึงสูงมาก ($1.1-9.69 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) โดยเฉพาะในดิน LB-6 และ LB-8 มีค่าสูง และทุกบริเวณมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความลึก จังหวัดสระบุรีมีปริมาณ Extract. Mg อยู่ในระดับต่ำถึงสูงมาก ($0.78-9.69 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) บางบริเวณมีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกันแต่บางบริเวณมีค่าค่อนข้างแปรปรวนในดิน SB-3, SB-5, SB-6 และ SB-7 จังหวัดนครสวรรค์มีปริมาณ Extract. Mg อยู่ในระดับต่ำถึงสูง ($0.02-3.59 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) มีค่า

แปรปรวนในบางบริเวณคือ NS-4 และส่วนใหญ่มีค่าเพิ่มขึ้นตามความลึก (ภาพที่ 43) จากผลการศึกษาจะเห็นว่าดินส่วนใหญ่มีปริมาณ Extract. Mg เพิ่มขึ้นตามความลึก เนื่องจากชั้นดินล่างและในชั้นดานเปราะ มีพีเอชสูง ทำให้ละลายออกมาได้มากขึ้นเช่นเดียวกับ Extract. Ca



ภาพที่ 43 ปริมาณ Extract. Mg ในพื้นที่ (a) จังหวัดลพบุรี (b) จังหวัดสระบุรี และ (c) จังหวัดนครสวรรค์
โพแทสเซียมที่สกัดได้ (Extract. K)

ปริมาณ Extract. K ในพื้นที่ศึกษา พบว่า จังหวัดลพบุรีมีปริมาณ Extract. K อยู่ในระดับต่ำมากถึงต่ำ (0.09-0.28 cmol_c kg⁻¹) โดยมีปริมาณค่อนข้างคงที่และใกล้เคียงกันในทุกบริเวณ จังหวัดสระบุรี มีปริมาณ Extract. K อยู่ในระดับต่ำมากถึงต่ำ (0.09-0.28 cmol_c kg⁻¹) โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความลึกในบางบริเวณและบางบริเวณมีค่าสูงในชั้นดานเปราะและลดลงในชั้นถัดลงมา และจังหวัดนครสวรรค์ มีปริมาณ Extract. K อยู่ในระดับต่ำมากถึงต่ำ (0.01-0.28 cmol_c kg⁻¹) บางบริเวณมีค่าสูงในดินชั้นบนและลดลงตามความลึกและบางบริเวณส่วนใหญ่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความลึก (ภาพที่ 44) จากผลการศึกษาจะเห็นว่าดินส่วนใหญ่มีปริมาณ Extract. K ต่ำทั้งในดินชั้นบนและดินชั้นดานเปราะแต่จะมีค่ามากขึ้นในชั้นดานเปราะตอนกลางและลดลงในชั้นดานเปราะตอนล่าง

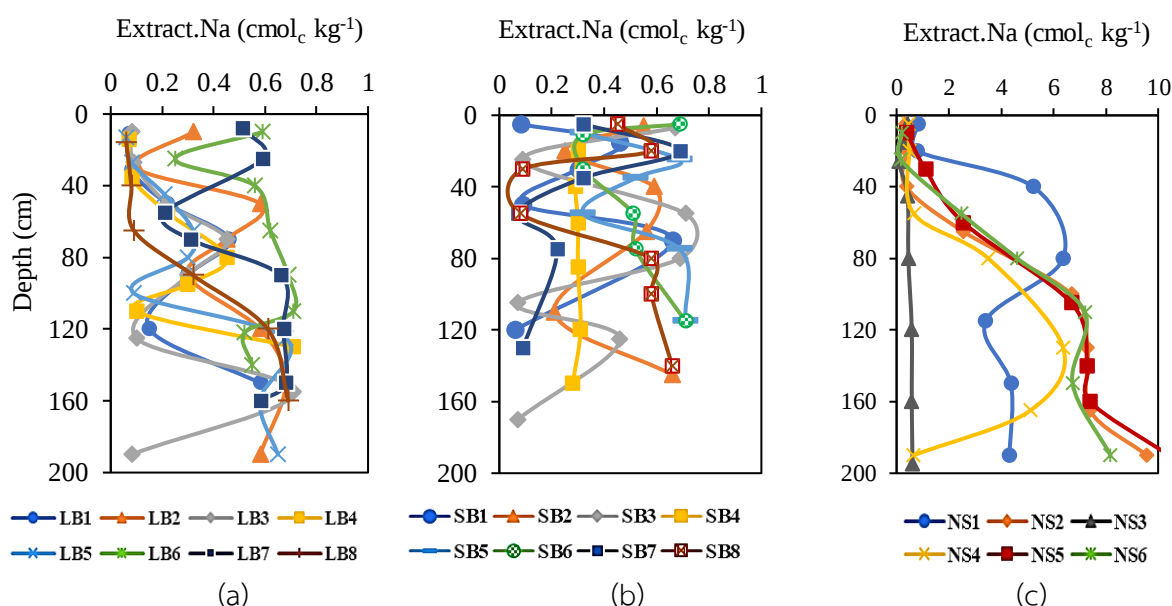


ภาพที่ 44 ปริมาณ Extract. K ในพื้นที่ (a) จังหวัดลพบุรี (b) จังหวัดสระบุรี และ (c) จังหวัดนครสวรรค์

โซเดียมที่สกัดได้ (Extract. Na)

ปริมาณ Extract. Na ในพื้นที่ศึกษา พบว่า จังหวัดลพบุรีมีปริมาณ Extract. Na อยู่ในระดับต่ำมากถึงสูง (0.07-0.71 cmol_c kg⁻¹) มีค่าค่อนข้างแปรปรวนในบางบริเวณและบางบริเวณมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความลึก จังหวัดสระบุรีมีปริมาณ Extract. Na อยู่ในระดับต่ำมากถึงสูง (0.07-0.71 cmol_c kg⁻¹) และส่วนใหญ่มีค่าแปรปรวนสูงในหลายบริเวณ และในจังหวัดนครสวรรค์ มีปริมาณ Extract. Na อยู่ในระดับปานกลางถึงสูงมาก (0.33-10.41 cmol_c kg⁻¹) และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความลึก (ภาพที่ 45) และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในชั้นดานเปราะตอนกลางและตอนล่างและในชั้นดานเปราะที่มีปริมาณ Na ที่สกัดได้สูงจะเกิดการฟุ้งกระจายในช่วงที่ดินเปียกชื้นจึงเป็นสาเหตุให้ดินในชั้นดานเปราะมีความแข็งมากเมื่อดินแห้ง (Phunmuang, 2011) และค่าความแข็งที่มีค่าสูงในชั้นดานเปราะจะเป็นข้อจำกัดในการเจริญเติบโตของพืช นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลต่อการเกิดข้อจำกัดซึ่งจะได้พิจารณาต่อไป

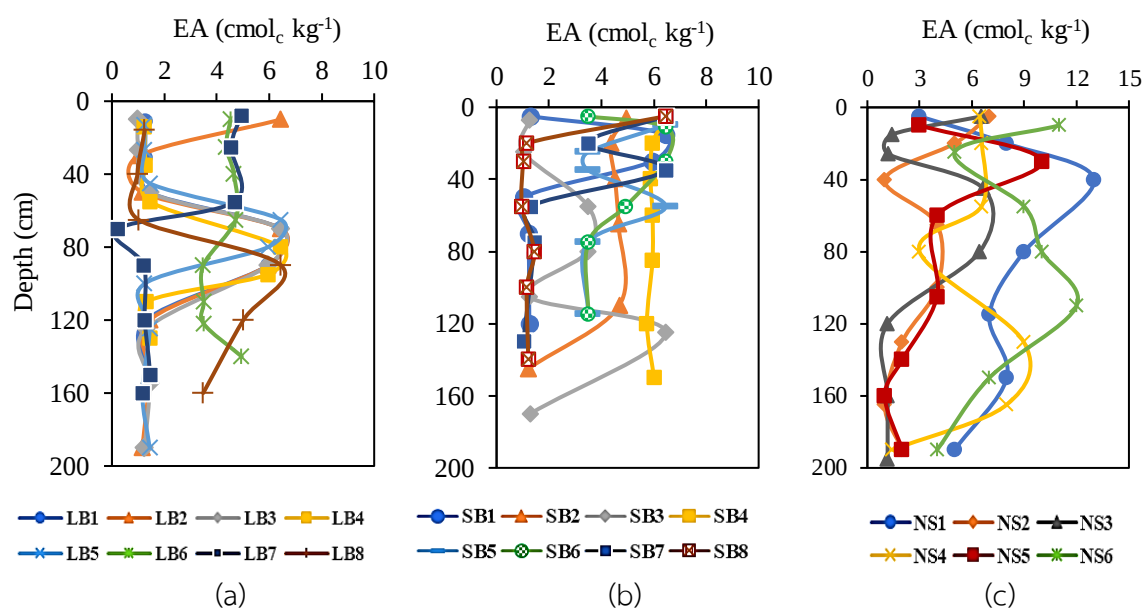
จากผลการศึกษาปริมาณแคลเซียม แมกนีเซียม โพแทสเซียมและโซเดียมที่สกัดได้ของดินในบริเวณพื้นที่ศึกษา ส่วนใหญ่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความลึกเนื่องจากชั้นดินล่างที่พบชั้นดานเปราะมีพีเอชสูง ทำให้ธาตุเหล่านี้อะลายออกมาได้มากขึ้น (Abreu *et al.*, 2003) และขึ้นอยู่กับตำแหน่งของสภาพธรณีสัณฐานซึ่งในตำแหน่งที่ต่ำจะได้รับอิทธิพลของความชื้นและจากอิทธิพลของวัตถุต้นกำเนิดดินที่ถูกชะละลายมาจากตำแหน่งด้านบน (Hikmatullah, 2003) นอกจากนี้ในแต่ละดินมีความแตกต่างกันและมีความแปรปรวนบ้างในหน้าตัดดินเป็นผลมาจากความไม่สม่ำเสมอของวัตถุต้นกำเนิดดินและ อัตราการชะละลายที่ไม่เท่ากันในแต่ละหน้าตัดดิน



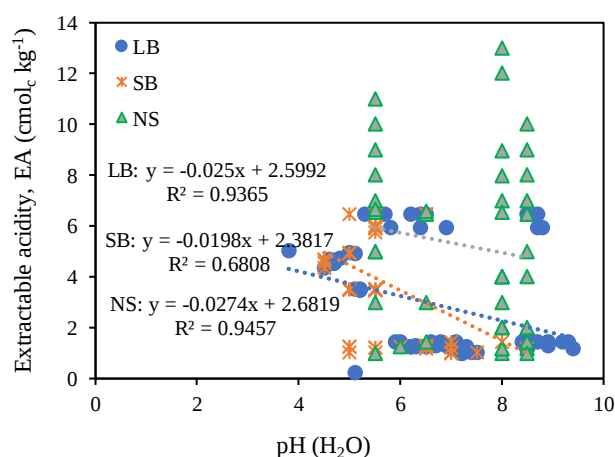
ภาพที่ 45 ปริมาณ Extract. Na ในพื้นที่ (a) จังหวัดลพบุรี (b) จังหวัดสระบุรี และ (c) จังหวัดนครสวรรค์

6. สภาพกรดที่สกัดได้ (Extractable acidity, EA)

ปริมาณ EA ในพื้นที่ศึกษาค่อนข้างมีความแปรปรวน พบว่า จังหวัดลพบุรีมีปริมาณ EA อยู่ในระดับต่ำมากถึงปานกลาง ($0.97\text{--}6.45\text{ cmol}_c\text{ kg}^{-1}$) และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในชั้นดินตอนกลางและลดลงในชั้นถัดไป (LB2, LB3, LB4, LB5, LB7 และ LB8) และบางบริเวณมีแนวโน้มลดลงตามความลึก จังหวัดสระบุรี มีปริมาณ EA อยู่ในระดับต่ำมากถึงปานกลาง ($0.97\text{--}6.45\text{ cmol}_c\text{ kg}^{-1}$) และมีค่าแปรปรวนในบางบริเวณ และบางบริเวณมีแนวโน้มลดลงตามความลึก (SB2, SB6 และ SB7) และจังหวัดนครสวรรค์ มีปริมาณ EA อยู่ในระดับต่ำถึงสูง ($1.0\text{--}13.0\text{ cmol}_c\text{ kg}^{-1}$) และมีความแปรปรวนในทุกบริเวณ (ภาพที่ 46) เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของปริมาณ EA กับความลึกแต่ละหน้าตัดดินพบว่า บริเวณที่ดินมีแนวโน้มลดลงตามความลึกแสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของการชะละลายที่ยังมีไม่มากนักยังคงมีแคตไอออนที่เป็นเบสเหลืออยู่ส่วนในบริเวณที่มีแนวโน้มของปริมาณ EA เพิ่มขึ้นตามความลึกนั้น แสดงว่าดินมีการชะละลายมากกว่าทำให้เกิดการแทนที่ของไอออนบวกต่างๆ ด้วยไฮโดรเจนไอออนได้มาก (Cahn *et al.*, 1993 and Buol *et al.*, 2003) ซึ่งจากผลการศึกษาของแนวโน้มจะเห็นได้ว่ามีปริมาณ EA สูงในชั้นดานเปราะตอนบนและลดลงในชั้นดานเปราะตอนล่าง และค่า EA มีความสัมพันธ์เชิงลบกับค่า pH ของดินในทุกบริเวณอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\text{-value} < 0.05$) ($R^2=0.93, 0.68, 0.94$) (ภาพที่ 47) แสดงให้เห็นถึงการชะละลายที่ลดลงเมื่อดินมีค่า pH เพิ่มขึ้น (Asio *et al.*, 1992)



ภาพที่ 46 ปริมาณ EA ในพื้นที่ (a) จังหวัดลพบุรี (b) จังหวัดสระบุรี และ (c) จังหวัดนครสวรรค์

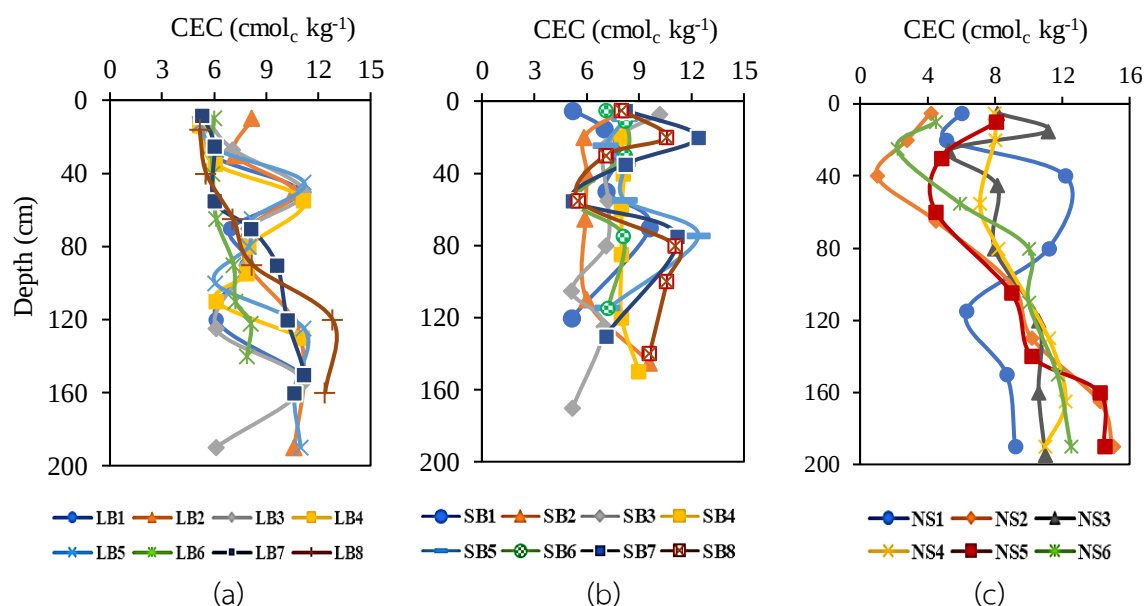


ภาพที่ 47 ความสัมพันธ์ของค่า EA กับค่า pH ในพื้นที่จังหวัดลพบุรี (LB) จังหวัดสระบุรี (SB) และจังหวัดนครสวรรค์ (NS)

7. ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (Cation exchange capacity, CEC)

ค่า CEC ในพื้นที่ศึกษา พบว่า จังหวัดลพบุรีมีค่า CEC อยู่ในระดับค่อนข้างต่ำถึงปานกลาง ($5.2-12.81 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) ในบางบริเวณมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความลึกและในบางบริเวณมีค่าเพิ่มขึ้นในชั้นดินตอนกลางและลดลงในชั้นถัดลงมา จังหวัดสระบุรี มีค่า CEC อยู่ในระดับค่อนข้างต่ำถึงปานกลาง ($5.16-12.39 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) มีค่าแปรปรวนแต่มีค่าเพิ่มขึ้นในชั้นดินตอนกลางและลดลงในชั้นดินถัดลงมา และ จังหวัดนครสวรรค์ มีค่า CEC อยู่ในระดับค่อนข้างต่ำถึงปานกลาง ($5.1-14.5 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความลึกของดิน (ภาพที่ 48) จากผลการศึกษาจะเห็นว่าในชั้นดานเปราะ (Btx) มีค่า CEC สูงกว่าชั้นดินบน บ่งชี้ได้ว่ามีสมบัติแลกเปลี่ยนสูงในชั้นดานเปราะเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณดินเหนียว

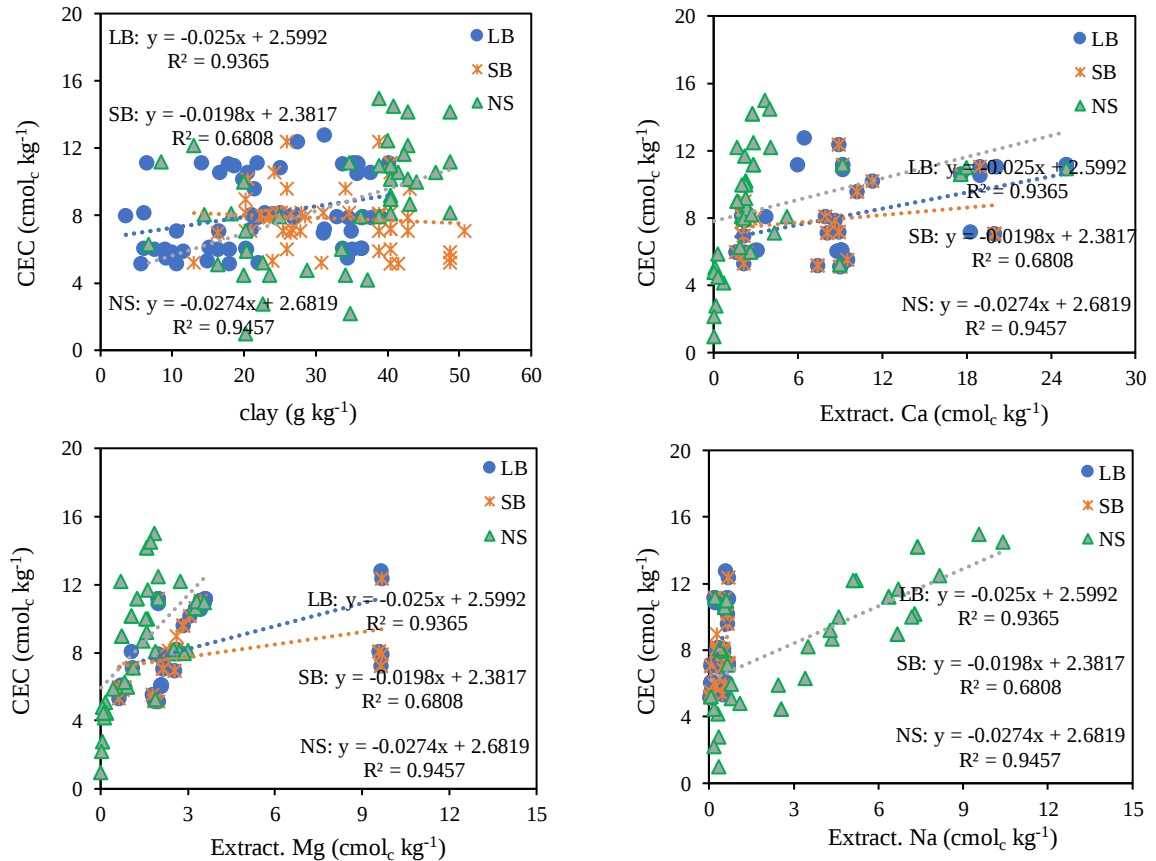
รวมถึงชนิดของแร่ดินเหนียว และการที่ชั้นดินบนในบางบริเวณมีค่า CEC อยู่ในระดับต่ำ เนื่องมาจากมีปริมาณอินทรีย์วัตถุในชั้นดินบนน้อย ส่วนในชั้นดินล่างมีค่า CEC สูงกว่าชั้นดินบน น่าจะเป็นผลจากอิทธิพลของการเพิ่มขึ้นของปริมาณอนุภาคดินเหนียวในชั้นดินล่าง (Sanchez, 1976; Young, 1976; Brady and Weil, 2008) เป็นไปตามหลักการที่ว่าค่า CEC มีความสัมพันธ์กับ pH ปริมาณ OM และปริมาณดินเหนียว และชนิดของแร่ดินเหนียว (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548; Sanchez, 1976; Young, 1976; Brady, 1990; Brady and Weil, 2008) สำหรับดินที่ทำการศึกษาคือเป็นกลุ่มดินร่วนถึงดินร่วนละเอียด จึงทำให้ค่า CEC ของดินส่วนใหญ่อยู่ในระดับต่ำถึงปานกลาง และค่า CEC ที่อยู่ในระดับต่ำนี้จะมีผลต่อความอุดมสมบูรณ์ของดิน ทำให้มีธาตุต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในรูปไอออนบวกในปริมาณต่ำด้วย (Foth and Schafer, 1980)



ภาพที่ 48 ค่า CEC ในพื้นที่ (a) จังหวัดลพบุรี (b) จังหวัดสระบุรี และ (c) จังหวัดนครสวรรค์

ค่า CEC ในการศึกษานี้มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณดินเหนียว ($R^2=0.9, 0.6, 0.9$) โดยที่เมื่อดินมีปริมาณอนุภาคดินเหนียวเพิ่มขึ้นในชั้นดินบนจะทำให้ดินมีพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้นจึงส่งผลให้ดินมีค่า CEC เพิ่มขึ้น ซึ่งความสัมพันธ์นี้พบได้ชัดเจนในการศึกษาก่อนหน้านี้ (Young, 1976; Buol, 2003; Culman *et al.*, 2019) นอกจากนี้อนุภาคดินเหนียวยังสามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับสารอินทรีย์และออกไซด์ต่างๆ ได้อีกด้วยซึ่งทำให้มี variable charge เพิ่มขึ้นอันส่งผลทำให้มีค่า CEC เพิ่มขึ้นด้วย (Spark, 2003) นอกจากนี้ค่า CEC ยังมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับเบสที่สกัดได้ ได้แก่ Ex.Ca ($R^2=0.9, 0.6, 0.9$) Ex.Mg ($R^2=0.9, 0.6, 0.9$) และ Ex.Na ($R^2=0.9, 0.6, 0.9$) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\text{-value} < 0.05$) (ภาพที่ 49) บ่งชี้ได้ว่าเบสเหล่านี้ถูกดูดซับไว้ที่ exchanged site ของดิน และเมื่อดินมีค่า CEC เพิ่มขึ้นส่งผลทำให้มีการ

ดูดซับเบสเพิ่มขึ้นอีกด้วย (Sonon *et al.*, 2017) ซึ่งค่า CEC และปริมาณเบสที่สกัดได้นี้เป็นตัวชี้วัดสำคัญในการกำหนดแนวทางการจัดการดินและปุ๋ยในพื้นที่เกษตรกรรม



ภาพที่ 49 ความสัมพันธ์ของค่า CEC กับปริมาณ clay และปริมาณเบสที่สกัดได้ในพื้นที่จังหวัดลพบุรี (LB) จังหวัดสระบุรี (SB) และจังหวัดนครศรีธรรมราช (NS)

ประเด็นพิจารณา

เมื่อพิจารณาค่าวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดินที่พบชั้นดานเปราะในพื้นที่ศึกษา พบว่า ดินในชั้นดานเปราะมีความแตกต่างกับชั้นดินบน โดยที่ ชั้นดานเปราะทุกบริเวณมีค่า pH สูงกว่าชั้นดินบน มีค่า OM, Avail.P และ Avail.K ต่ำ และมีค่า Extract.Ca, Mg, K, Na สูง และมีค่า EA และ ค่า CEC อยู่ในระดับปานกลางในบางชั้นของชั้นดานเปราะ ซึ่งในการศึกษานี้ มีปริมาณ EA สูงในชั้นดานเปราะตอนบน ซึ่งมีความสัมพันธ์เชิงลบกับค่า pH ของดิน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\text{-value} < 0.05$) โดยที่เมื่อดินมีค่า pH เพิ่มขึ้น มีผลทำให้มีปริมาณ EA ลดลงเนื่องจากการชะละลายที่ลดลง และในชั้นดานเปราะที่มีค่า CEC สูง จะมีความสัมพันธ์เชิงบวกสูงกับค่า Extract.Ca, Mg, Na และปริมาณ clay อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\text{-value} < 0.05$) โดยที่เมื่อดินมีปริมาณอนุภาคดินเหนียวเพิ่มขึ้น ทำให้ดินมีพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้นจึงส่งผลให้ดินมีค่า CEC เพิ่มขึ้น (Culman *et al.*, 2019) นอกจากนี้อนุภาคดินเหนียวยังสามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับสารอินทรีย์และออกไซด์ต่างๆ ได้อีกด้วยซึ่งทำให้มี variable charge เพิ่มขึ้นอันส่งผลทำให้มีค่า CEC

เพิ่มขึ้นด้วย (Spark, 2003) และส่งผลทำให้มีการดูดซับเบสเพิ่มขึ้นอีกด้วย (Sonon *et al.*, 2017) ซึ่งค่า CEC และปริมาณเบสที่สกัดได้นี้เป็นตัวชี้วัดสำคัญในการกำหนดแนวทางการจัดการดินและปุ๋ยในพื้นที่เกษตรกรรม และในชั้นดานเปราะที่มีปริมาณ Na ที่สกัดได้สูงจะเกิดการฟุ้งกระจายในช่วงที่ดินเปียกขึ้นจึงเป็นสาเหตุให้ดินในชั้นดานเปราะมีความแข็งมากเมื่อดินแห้ง (Phunmuang, 2011) และค่าความแข็งที่มีค่าสูงในชั้นดานเปราะจะเป็นข้อจำกัดในการเจริญเติบโตของพืช นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลต่อการเกิดข้อจำกัดซึ่งจะได้พิจารณาต่อไป

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของดินที่พบชั้นดานเปราะ

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของดินที่พบชั้นดานเปราะในพื้นที่ปลูกมันสำปะหลังของจังหวัดลพบุรี สระบุรีและจังหวัดนครสวรรค์ พบว่า ชั้นดานเปราะในพื้นที่ศึกษานี้เกิดจากกระบวนการทางกายภาพและเคมีซึ่งสมบัติทางกายภาพและเคมีบางประการมีความสัมพันธ์กับค่าความแข็งของชั้นดานเปราะซึ่งเป็นตัวชี้วัดสำคัญของชั้นดานเปราะในการต้านทานการแทงทะลุของรากพืช (Passioura, 1991) ในการศึกษาพบพบว่า ค่าความหนาแน่นรวมของดิน (BD), ความพรุนรวมของดิน (TP), การนำน้ำขณะดินอิ่มตัว (K_{sat}), ความจุน้ำใช้ประโยชน์ได้ (AWC), ปริมาณดินเหนียว (%clay) เบสที่สกัดได้ (Ca, Mg, Na), ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (CEC) และค่าปฏิกิริยาดิน (pH) มีผลต่อความแข็งของดินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\text{-value} < 0.05$) (ภาพที่ 50 และ ภาพที่ 51)

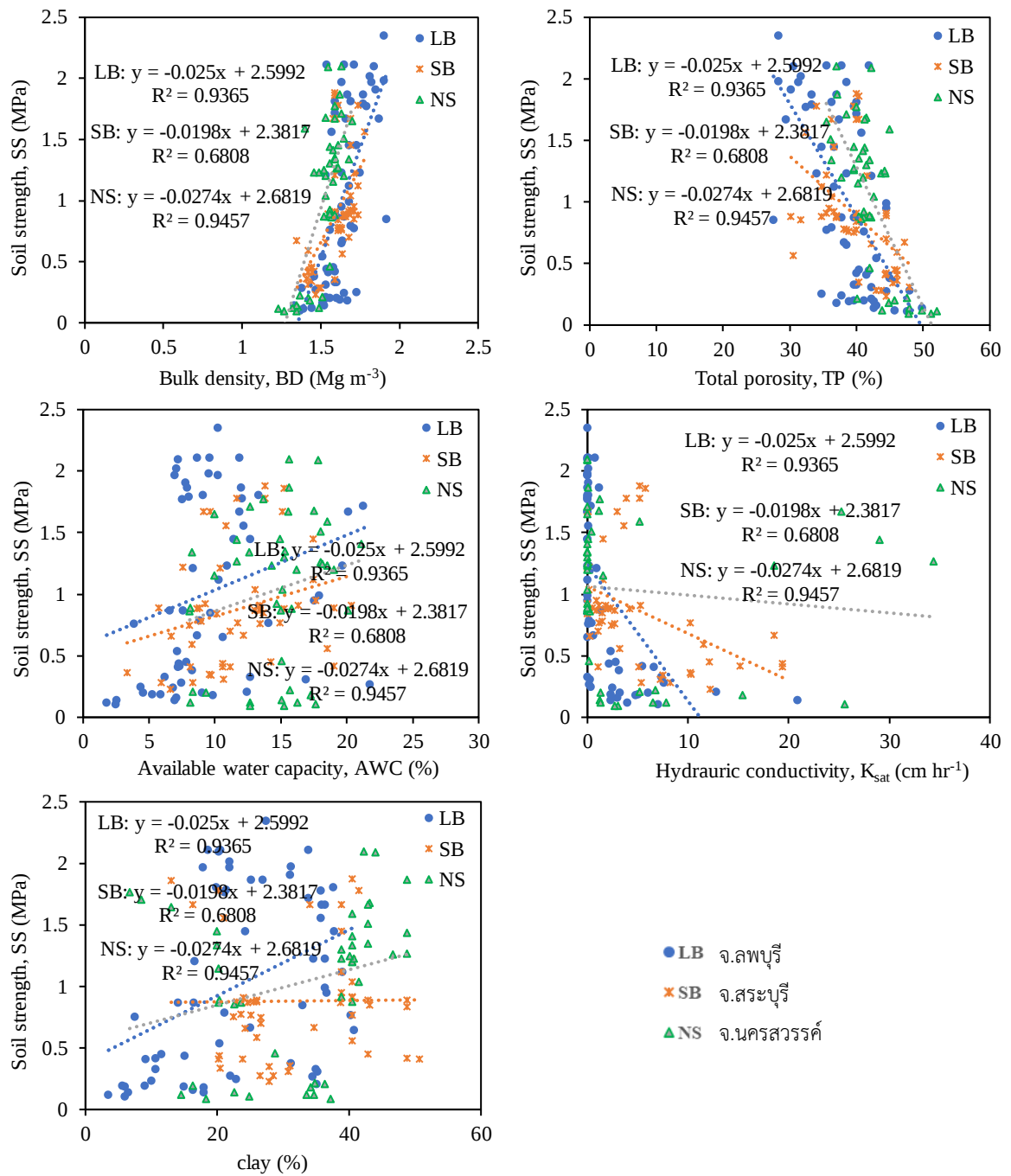
เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์จะเห็นได้ว่าค่า SS ในชั้นดานเปราะมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับค่า BD ($R^2=0.9, 0.6, 0.9$) เนื่องจากมี interlocking และมีค่ามุมเสียดทานภายใน (internal friction angle) ของอนุภาคดินมากขึ้น (McCormack and Wilding, 1979) โดยชั้นดานเปราะมีค่า BD สูง มีผลทำให้ชั้นดานเปราะมีค่า SS สูงเพิ่มขึ้นด้วย จึงเป็นเหตุให้ค่า SS มีความสัมพันธ์เชิงลบกับค่า TP และค่า K_{sat} ($R^2=0.9, 0.6, 0.9$ และ $R^2=0.9, 0.6, 0.9$ ตามลำดับ) โดยมีค่า TP และค่า K_{sat} ต่ำทำให้ชั้นดานเปราะมีข้อจำกัดในการแทงทะลุของรากพืชและการเคลื่อนที่ของน้ำและอากาศจึงทำให้เกิดผลเสียต่อการเจริญเติบโตของพืช

นอกจากนี้ค่า SS ในชั้นดานเปราะมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณ clay ($R^2=0.9, 0.6, 0.9$) ที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความลึก ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ดินส่วนใหญ่เป็นดินที่มีพัฒนาการปานกลาง โดยได้รับอิทธิพลจากการเคลื่อนย้ายเชิงกล (lessivage) ของอนุภาคขนาดละเอียด และกระบวนการเคลื่อนย้ายวัสดุจากชั้นดินบน (eluviation) ไปสะสมในชั้นดินล่างและอนุภาคละเอียดนี้เข้าไปแทรกตามช่องว่างส่งผลทำให้ดินอัดตัวแน่นที่บ สอดคล้องกับการศึกษาก่อนหน้านี้ที่พบความสัมพันธ์ของค่า SS กับ clay (Pickering and Veneman, 1984; Hallmark and Smeck, 1979) ซึ่งค่า SS ที่มีค่าสูงในชั้นดานเปราะจะมีปริมาณ clay ที่มากกว่า 40 g kg^{-1} เป็นส่วนมาก และในการศึกษานี้ค่า SS ในชั้นดานเปราะมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับ AWC เนื่องจากชั้นดานเปราะยังคงเก็บกักความชื้นไว้ในช่องว่างขนาดเล็กซึ่งมีแรงยึดเหนี่ยวสูงไว้ได้มาก

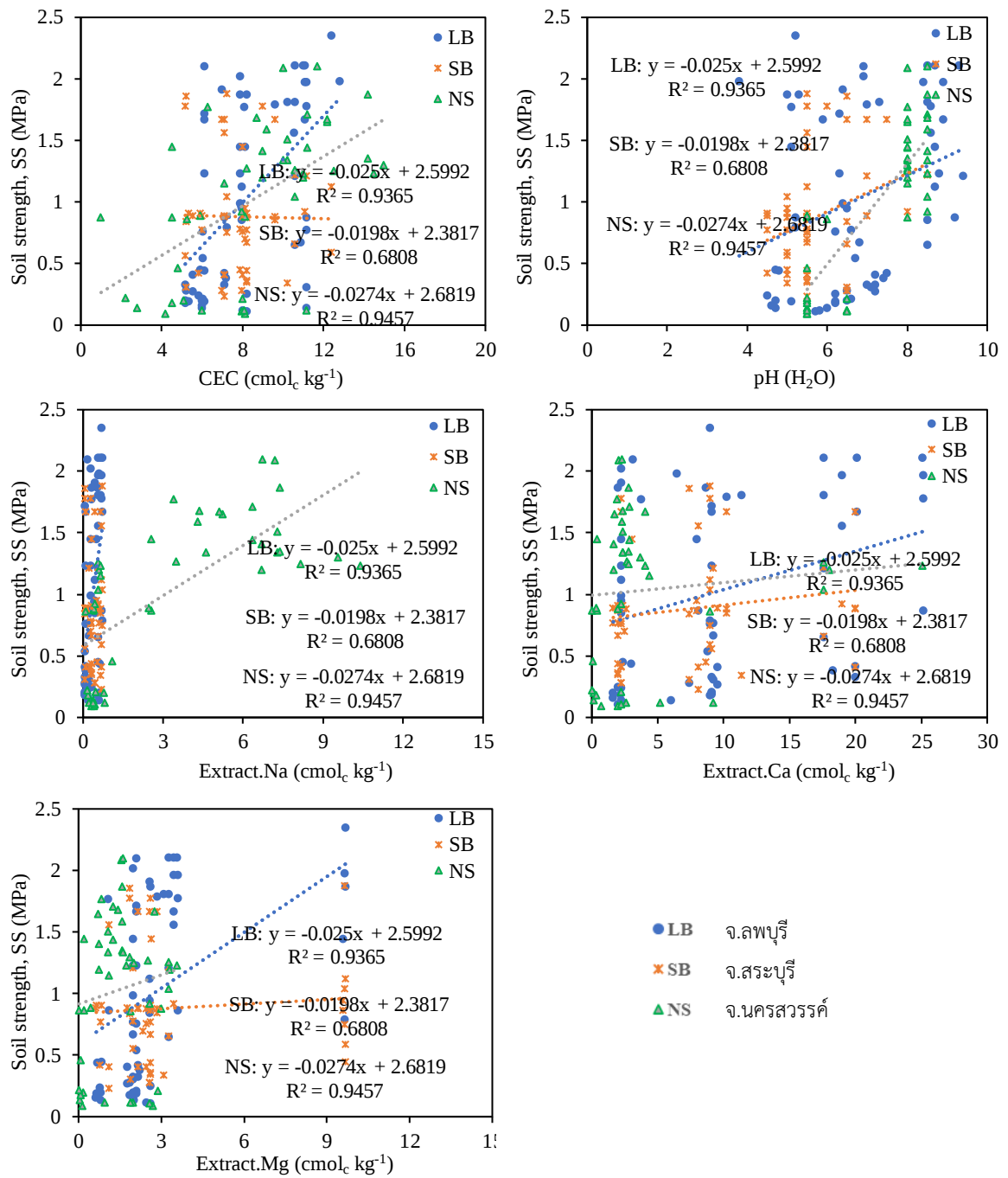
แต่น้ำในช่องว่างเหล่านี้พืชไม่สามารถใช้ได้อีกต่อไปหรือสามารถเคลื่อนขึ้นมาที่ชั้นดินบนในลักษณะการเคลื่อนที่ตามท่อแคพิลลารีก็ลดน้อยลงด้วย (Phunmuang, 2011)

ค่า SS ในชั้นดานเปราะมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับค่า CEC ($R^2=0.9, 0.6, 0.9$) โดยชั้นดานเปราะมีค่า CEC สูงเนื่องจากมีปริมาณดินเหนียวเพิ่มขึ้นในชั้นดินโดยเกิดการเคลื่อนย้ายอนุภาคละเอียดนี้ลงมาสะสมและแทรกอยู่ตามช่องว่างทำให้ดินอัดตัวแน่นและแข็ง นอกจากนี้ค่า SS ในชั้นดานเปราะยังมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับค่า Ex.Ca, Ex.Mg และ Ex.Na เนื่องด้วยเมื่อชั้นดานเปราะมีค่า CEC สูงแล้วจะส่งผลให้มีการดูดซับเบสเพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณเบสที่สกัดได้เพิ่มขึ้น ดังนั้นเมื่อชั้นดานเปราะมีค่า SS สูง ค่า CEC สูง จึงทำให้มีปริมาณเบสที่สกัดได้เพิ่มสูงอีกด้วย ซึ่งในการศึกษานี้ปริมาณ Na ที่สกัดได้นี้จะเกิดการฟุ้งกระจายในช่วงที่ดินเปียกชื้น (Ward and Carter, 2004) จึงเป็นสาเหตุให้ดินในชั้นดานเปราะมีความแข็งมากเมื่อดินแห้ง (Phunmuang, 2011) ซึ่งเป็นลักษณะของชั้นดานเปราะที่พบในพื้นที่ศึกษา และชั้นดานเปราะส่วนใหญ่มีค่า pH สูงและสูงกว่าดินชั้นบน ซึ่งค่า pH ที่สูงนี้อาจเกี่ยวข้องกับค่าความแข็งของดินซึ่งมีความสัมพันธ์กันสูงเชิงบวกกับค่า SS ($R^2=0.9, 0.6, 0.9$) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Wells and Northey (1985) ที่พบว่า การเพิ่มขึ้นของค่า pH เนื่องมาจากการสร้างความแข็งของดิน และการศึกษาของ Rhoton *et al.* (2001) ที่พบว่าดินที่มีค่า pH สูงมากกว่า 10.5 จะทำให้เกิดการละลายของสารเชื่อมที่ทำให้เกิดความแข็งของดินมีค่าความแข็งลดลงเนื่องจากดินมีปริมาณเบสที่สกัดได้สูง

นอกจากนี้การเกิดสะพานดินเหนียวอาจมีผลต่อความแข็งและการยึดตัวแบบคงทนของชั้นดานเปราะร่วมอีกด้วยและความเปราะที่ปรากฏในชั้นดานเปราะ (Btx) อาจเนื่องมาจากการเชื่อมตัวอย่างอ่อนของเหล็กเพราะพบจุดประที่มีสีแดงของเหล็กในชั้นดิน ร่วมกับแร่ดินเหนียวซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของความเปราะที่พบในชั้นดานของการศึกษานี้ (Phunmuang, 2011) จากความสัมพันธ์ จะเห็นได้ว่า ค่า SS, BD TP, และค่า K_{sat} ของดินเป็นตัวชี้วัดที่สำคัญของชั้นดานเปราะที่จะบอกได้ว่าชั้นดานเปราะเป็นข้อจำกัดในการปลูกพืชที่มีระดับความรุนแรงเท่าใดและยังมีความสัมพันธ์กันกับค่า AWC, %clay, CEC, Ext.Ca, Ext.Mg, Ext.Na และค่า pH ทั้งนี้ในการวางแผนการปลูกพืชจะต้องพิจารณาระดับความลึกและความหนาที่พบชั้นดานเปราะร่วมอีกด้วย



ภาพที่ 50 ความสัมพันธ์ของค่า SS กับสมบัติทางกายภาพบางประการของดินที่พบชั้นดานเปราะ ในพื้นที่ จังหวัดลพบุรี (LB) จังหวัดสระบุรี (SB) และจังหวัดนครสวรรค์ (NS)



ภาพที่ 51 ความสัมพันธ์ของค่า SS กับสมบัติทางเคมีบางประการของดินที่พบชั้นดานเปราะ ในพื้นที่
จังหวัดลพบุรี (LB) จังหวัดสระบุรี (SB) และจังหวัดนครสวรรค์ (NS)

ประเด็นพิจารณา

จากผลการศึกษาและการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีที่มีผลต่อค่าความแข็งของดินที่ส่งผลต่อการเกิดข้อจำกัดของชั้นดานเปราะในพื้นที่ปลูกมันสำปะหลัง ซึ่งจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ต่างๆ จะเห็นได้ว่า สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของดินบางประการมีผลต่อค่าความแข็งของดิน ได้แก่ ความหนาแน่นรวมของดิน (BD), ความพรุนรวมของดิน (TP), การนำน้ำขณะดินอิ่มตัว (K_{sat}), ความจุน้ำใช้ประโยชน์ได้ (AWC), ปริมาณดินเหนียว (%clay) เบสที่สกัดได้ (Ca, Mg, Na), ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (CEC) และค่าปฏิกิริยาดิน (pH) แต่การแปรผลการทดสอบข้างต้นนั้นใช้วิธีอธิบายแนวโน้มโดยใช้ค่าวิเคราะห์และกราฟประกอบซึ่งการแปลผลวิธีนี้ไม่มีตัวชี้วัดที่ชัดเจนที่สามารถบอกการเปลี่ยนแปลงและความสัมพันธ์ของสมบัติต่างๆ ของดินนั้นว่าความแข็งในชั้นดานเปราะมีความสัมพันธ์กับปัจจัยใด ดังนั้นการนำวิธีวิเคราะห์ทางสถิติมาทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยมาร่วมใช้ในการแปรผล การศึกษานี้ จะช่วยให้การแปลผลวิเคราะห์ชัดเจนและถูกต้องมากยิ่งขึ้นและสามารถระบุได้ว่าปัจจัยใดมีผลหรือมีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อความสัมพันธ์ดังกล่าวได้อย่างไร

การคำนวณการเปลี่ยนแปลงผลวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของดินที่มีอิทธิพลต่อค่าความแข็งของดิน (Shear strength, SS) และค่าความหนาแน่นรวมของดิน (BD) ทางสถิติ

การคำนวณการเปลี่ยนแปลงและวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของดินทางสถิติเพื่อประเมินปัจจัยที่มีผลต่อค่าความแข็งและความหนาแน่นรวมของดินบนพื้นที่ที่มีชั้นดานเปราะในพื้นที่ปลูกมันสำปะหลัง โดยคำนวณจากความแตกต่างค่าเฉลี่ยของค่าวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของดินในพื้นที่ศึกษาจังหวัดลพบุรี สระบุรีและจังหวัดนครสวรรค์ โดยวิธี Kruskal-wallis เพื่อทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยเปรียบเทียบกันในทุกพื้นที่ และประมวลผลโดยการทำ regression ด้วยวิธี stepwise เพื่อหาความสัมพันธ์ของปัจจัยที่มีอิทธิพล สรุปได้ดังนี้

1. การคำนวณความแตกต่างทางสถิติของสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของดินในพื้นที่ศึกษา จังหวัดลพบุรี นครสวรรค์ และจังหวัดสระบุรี

ผลการคำนวณโดยวิธี Kruskal-wallis ของผลวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของดินในพื้นที่ศึกษาจังหวัดลพบุรี สระบุรีและจังหวัดนครสวรรค์ พบว่า สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของดินในพื้นที่ศึกษามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P\text{-value} < 0.05$) ได้แก่ ค่า SS, BD, TP, Ksat, AWC, %sand, %silt, %clay, OM, avail.P, avail.K, EA, extract.Ca, extract.Mg, extracta.K, extract.Na, และ pH แสดงให้เห็นว่าพื้นที่ศึกษาที่พบชั้นดานเปราะที่มีวัตถุต้นกำเนิดดินต่างกันมีผลทำให้สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของดินที่พบชั้นดานเปราะมีความแตกต่างกัน (ตารางที่ 9)

ตารางที่ 9 ผลการคำนวณ Kruskal-wallis ของผลวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของดิน
ในพื้นที่ศึกษาจังหวัดลพบุรี นครสวรรค์ และจังหวัดสระบุรี

Variables	Lopburi	Nakhonsawan	Saraburi	p-value
SS	1.23 (0.65 - 1.81)	1.26 (0.87 - 1.51)	0.88 (0.70 - 1.12)	0.005*
BD	1.65 (1.59 - 1.73)	1.57 (1.53 - 1.61)	1.63 (1.57 - 1.69)	<0.001*
TP	37.74 (34.72 - 41.13)	41.13 (39.61 - 42.26)	40.00 (36.23 - 43.02)	<0.001*
Ksat	0.07 (0.03 - 0.89)	0.06 (0.03 - 1.57)	1.94 (0.89 - 5.23)	<0.001*
AWC	9.10 (7.30 - 12.01)	15.16 (12.63 - 17.56)	11.69 (9.16 - 14.94)	<0.001*
sand	49.80 (12.40 - 57.70)	49.10 (45.89 - 60.20)	52.88 (48.60 - 58.10)	0.030*
silt	27.80 (22.20 - 46.80)	10.50 (2.10 - 22.90)	16.70 (2.10 - 22.60)	<0.001*
clay	24.30 (18.00 - 35.10)	39.50 (20.40 - 42.90)	32.59 (24.64 - 40.50)	<0.001*
OM	0.33 (0.18 - 0.71)	1.50 (0.85 - 2.40)	0.24 (0.17 - 0.49)	<0.001*
P	3.00 (1.00 - 6.00)	0.52 (0.25 - 2.00)	2.00 (1.00 - 4.00)	<0.001*
K	66.00 (46.00 - 105.00)	49.00 (38.00 - 59.80)	57.00 (37.00 - 67.00)	<0.001*
Ex.Ca	8.95 (2.21 - 17.62)	2.33 (1.68 - 2.87)	7.95 (2.20 - 9.52)	<0.001*
Ex.Mg	2.57 (1.98 - 3.45)	1.50 (0.75 - 2.00)	2.57 (1.87 - 2.86)	<0.001*
Ex.Na	0.45 (0.22 - 0.61)	3.41 (0.58 - 6.69)	0.32 (0.25 - 0.59)	<0.001*
Ex.K	0.17 (0.14 - 0.21)	0.11 (0.08 - 0.14)	0.16 (0.13 - 0.24)	<0.001*
EA	1.44 (1.25 - 4.95)	5.00 (2.00 - 7.98)	3.50 (1.25 - 5.95)	<0.001*
CEC	7.98 (6.11 - 10.60)	9.00 (6.30 - 11.17)	8.00 (6.98 - 8.19)	0.057
pH	6.70 (5.80 - 8.50)	8.00 (6.50 - 8.50)	5.50 (5.00 - 6.50)	<0.001*

หมายเหตุ *Statistical significance at 0.05; p-value was conducted by Kaskal-Wallis test; Data were reported by median (Interquartile range).

2. ผลการทดสอบปัจจัยที่มีผลต่อค่าความแข็งของดิน (SS) และค่าความหนาแน่นรวมของดิน (BD) ในจังหวัดลพบุรี

ผลการทดสอบปัจจัยที่มีผลต่อค่าความแข็งของดิน (SS)

จากผลการทดสอบ พบว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่อค่า SS มีอยู่ทั้งหมด 7 ปัจจัย ได้แก่ ค่า BD, AWC, Avail.P, Avail.K, Extract.Na, Extract.K และ ค่า EA โดยสามารถเขียนสมการจากตารางผนวกที่ 23 ได้ดังนี้

$$SS = -3.63 + 3(BD) + 0.08(AWC) - 0.01(P) - 0.004(K) + 1.5(ExNa) - 5.36(ExK) - 0.08(EA) \quad (10)$$

สรุปผลได้ว่าเมื่อค่า BD เพิ่มขึ้น 1 หน่วย จะส่งผลให้ดินมีค่า SS เพิ่มขึ้น 3 หน่วย และเมื่อค่า AWC เพิ่มขึ้น 1 หน่วย จะส่งผลให้ดินมีค่า SS เพิ่มขึ้น 0.08 หน่วย และเมื่อค่า Extract.Na เพิ่มขึ้น 1 หน่วย จะ

ส่งผลให้ดินมีค่า SS เพิ่มขึ้น 1.5 หน่วย และเมื่อค่า Avail.P เพิ่มขึ้น 1 หน่วย จะส่งผลให้ดินมีค่า SS ลดลง 0.01 หน่วย และเมื่อค่า Avail.K เพิ่มขึ้น 1 หน่วย จะส่งผลให้ดินมีค่า SS ลดลง 0.004 หน่วย และเมื่อค่า Extract.K เพิ่มขึ้น 1 หน่วย จะส่งผลให้ดินมีค่า SS ลดลง 5.36 หน่วย และเมื่อค่า EA เพิ่มขึ้น 1 หน่วย จะส่งผลให้ดินมีค่า SS ลดลง 0.08 หน่วย ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P\text{-value} < 0.05$) โดยปัจจัยทั้งหมดนี้สามารถอธิบายค่า SS ได้ 72.4 %

ผลการทดสอบปัจจัยที่มีผลต่อค่าความหนาแน่นรวมของดิน (BD)

จากผลการทดสอบ พบว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่อค่า BD มีอยู่ทั้งหมด 4 ปัจจัย ได้แก่ ค่า SS, TP, %clay และ ค่า EA โดยสามารถเขียนสมการจากตารางผนวกที่ 24 ได้ดังนี้

$$BD = 2.523 - 0.025(TP) + 0.001(silt) + 0.006(EA) \quad (11)$$

สรุปผลได้ว่าเมื่อค่า SS เพิ่มขึ้น 1 หน่วย จะส่งผลให้ดินมีค่า BD เพิ่มขึ้น 0.013 หน่วย และเมื่อค่า %silt เพิ่มขึ้น 1 หน่วย จะส่งผลให้ดินมีค่า BD เพิ่มขึ้น 0.001 หน่วย และเมื่อค่า EA เพิ่มขึ้น 1 หน่วย จะส่งผลให้ดินมีค่า BD เพิ่มขึ้น 0.005 หน่วย และเมื่อค่า TP เพิ่มขึ้น 1 หน่วย จะส่งผลให้ดินมีค่า BD ลดลง 0.024 หน่วย ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P\text{-value} < 0.05$) โดยปัจจัยทั้งหมดนี้สามารถอธิบายค่า BD ได้ 95.1 %

จากสมการของความสัมพันธ์ จะเห็นได้ว่า พื้นที่ศึกษาที่พบชั้นดานเปราะในจังหวัดลพบุรีซึ่งมีวัตถุดิบกำเหนิดดินเป็นตะกอนเศษหินเชิงเขาของหินทรายแป้ง หินทราย และหินคองโกเมอเรทที่เป็นต่างและตะกอนน้ำพาที่ถมบนหินตะกอนและหินถ้ำภูเขาไฟ มีปัจจัยทางกายภาพและทางเคมีที่มีผลต่อค่าความแข็งของดินและค่าความหนาแน่นรวมของดิน โดยเฉพาะปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่สกัดได้ โดยที่เมื่อดินมีค่าปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่สกัดได้เพิ่มขึ้น จะมีผลทำให้ค่าความแข็งของดินลดลง ดังนั้นจึงควรมีมาตรการในการจัดการดินและการจัดการปุ๋ยที่พบชั้นดานเปราะที่เหมาะสมเพื่อลดค่าความแข็งและความหนาแน่นรวมของดิน

3. ผลการทดสอบตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อค่าความแข็งของดิน (SS) และค่าความหนาแน่นรวมของดิน (BD) ในจังหวัดสระบุรี

ผลการทดสอบปัจจัยที่มีผลต่อค่าความแข็งของดิน (SS)

จากผลการทดสอบ พบว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่อค่า SS มีอยู่ทั้งหมด 3 ปัจจัย ได้แก่ ค่า BD, AWC และ ค่า pH โดยสามารถเขียนสมการจากตารางผนวกที่ 25 ได้ดังนี้

$$SS = -3.63 + 1.75(BD) + 0.039(AWC) + 0.22(pH) \quad (12)$$

สรุปผลได้ว่าเมื่อค่า BD เพิ่มขึ้น 1 หน่วย จะส่งผลให้ดินมีค่า SS เพิ่มขึ้น 1.75 หน่วย และเมื่อค่า AWC เพิ่มขึ้น 1 หน่วย จะส่งผลให้ดินมีค่า SS เพิ่มขึ้น 0.039 หน่วย และเมื่อค่า pH เพิ่มขึ้น 1 หน่วย จะ

ส่งผลให้ดินมีค่า SS เพิ่มขึ้น 0.22 หน่วย ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (P -value < 0.05) โดยปัจจัยทั้งหมดนี้สามารถอธิบายค่า SS ได้ 46.2 %

ผลการทดสอบปัจจัยที่มีผลต่อค่าความหนาแน่นรวมของดิน (BD)

จากผลการทดสอบ พบว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่อค่า BD มีอยู่ทั้งหมด 4 ปัจจัย ได้แก่ ค่า TP, K_{sat} , AWC และ %sand โดยสามารถเขียนสมการจากตารางผนวกที่ 26 ได้ดังนี้

$$BD = 1.96 - 0.013(TP) - 0.008(K_{sat}) + 0.007(AWC) + 0.002(sand) \quad (13)$$

สรุปผลได้ว่าเมื่อค่า AWC เพิ่มขึ้น 1 หน่วย จะส่งผลให้ดินมีค่า BD เพิ่มขึ้น 0.007 หน่วย และเมื่อค่า %sand เพิ่มขึ้น 1 หน่วย จะส่งผลให้ดินมีค่า BD เพิ่มขึ้น 0.002 หน่วย และเมื่อค่า TP เพิ่มขึ้น 1 หน่วย จะส่งผลให้ดินมีค่า BD ลดลง 0.013 หน่วย และเมื่อค่า K_{sat} เพิ่มขึ้น 1 หน่วย จะส่งผลให้ดินมีค่า BD ลดลง 0.008 หน่วย ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (P -value < 0.05) โดยปัจจัยทั้งหมดนี้สามารถอธิบายค่า BD ได้ 82%

จากสมการของความสัมพันธ์ จะเห็นได้ว่า พื้นที่ศึกษาที่พบชั้นดานเปราะในจังหวัดสระบุรีซึ่งมีวัตถุต้นกำเนิดเป็นตะกอนเศษหินเชิงเขาของหินแกรูเขาไฟแอนดิซิดิกส์ มีปัจจัยทางกายภาพและทางเคมีที่มีผลต่อค่าความแข็งและค่าความหนาแน่นรวมของดินโดยเฉพาะค่าปฏิกิริยาดินและปริมาณอนุภาคขนาดทราย โดยที่ เมื่อดินมีปฏิกิริยาดินสูงจะส่งผลให้ดินมีค่าความแข็งสูง และเมื่อดินมีปริมาณอนุภาคทรายสูงจะส่งผลให้ดินมีความหนาแน่นรวมสูง ดังนั้นจึงควรมีมาตรการในการจัดการดินที่พบชั้นดานเปราะที่เหมาะสม เช่นมีการปรับปรุงดินเพื่อลดปฏิกิริยาดินให้ต่ำลงเพื่อลดค่าความแข็งของดิน

4. ผลการทดสอบตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อค่าความแข็งของดิน (SS) และค่าความหนาแน่นรวมของดิน (BD) ในจังหวัดนครสวรรค์

ผลการทดสอบปัจจัยที่มีผลต่อค่าความแข็งของดิน (SS)

จากผลการทดสอบ พบว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่อค่า SS มีอยู่ทั้งหมด 5 ปัจจัย ได้แก่ ค่า BD, OM, avail.P, Ex.Na และค่า pH โดยสามารถเขียนสมการจากตารางผนวกที่ 27 ได้ดังนี้

$$SS = -3.41 + 1.95(BD) - 0.02(OM) - 0.02(P) + 0.04(Ex.Na) + 0.20(pH) \quad (14)$$

สรุปผลได้ว่าเมื่อค่า BD เพิ่มขึ้น 1 หน่วย จะส่งผลให้ดินมีค่า SS เพิ่มขึ้น 1.95 หน่วย และเมื่อค่า Extract. Na เพิ่มขึ้น 1 หน่วย จะส่งผลให้ดินมีค่า SS เพิ่มขึ้น 0.04 หน่วย และเมื่อค่า pH เพิ่มขึ้น 1 หน่วย จะส่งผลให้ดินมีค่า SS เพิ่มขึ้น 0.20 หน่วย และเมื่อค่า OM เพิ่มขึ้น 1 หน่วย จะส่งผลให้ดินมีค่า SS ลดลง 0.02 หน่วย และเมื่อค่า Avail. P เพิ่มขึ้น 1 หน่วย จะส่งผลให้ดินมีค่า SS ลดลง 0.02 หน่วย ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (P -value < 0.05) โดยปัจจัยทั้งหมดนี้สามารถอธิบายค่า SS ได้ 80.5 %

ผลการทดสอบปัจจัยที่มีผลต่อค่าความหนาแน่นรวมของดิน (BD)

จากผลการทดสอบ พบว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่อค่า BD มีอยู่ทั้งหมด 3 ปัจจัย ได้แก่ ค่า TP, %sand และ avail.P โดยสามารถเขียนสมการจากตารางผนวกที่ 28 ได้ดังนี้

$$BD = 2.59 - 0.03(TP) + 0.0007(sand) - 0.002(P) \quad (15)$$

สรุปผลได้ว่าเมื่อ %sand เพิ่มขึ้น 1 หน่วย จะส่งผลให้ดินมีค่า BD เพิ่มขึ้น 0.0007 หน่วย และเมื่อค่า TP เพิ่มขึ้น 1 หน่วย จะส่งผลให้ดินมีค่า BD ลดลง 0.03 หน่วย และเมื่อ Avail. P เพิ่มขึ้น 1 หน่วย จะส่งผลให้ดินมีค่า BD ลดลง 0.002 หน่วยที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P\text{-value} < 0.05$) โดยปัจจัยทั้งหมดนี้สามารถอธิบายค่า BD ได้ 95.9 %

จากสมการของความสัมพันธ์ จะเห็นได้ว่า พื้นที่ศึกษาที่พบชั้นดานเปราะในจังหวัดนครสวรรค์ซึ่งมีวัตถุต้นกำเนิดเป็นตะกอนเศษหินเชิงเขาของหินตะกอน หินเถ้าภูเขาไฟและศิลาแลง มีปัจจัยทางกายภาพและทางเคมีที่มีผลต่อค่าความแข็งและค่าความหนาแน่นรวมของดิน โดยเฉพาะ ปฏิกริยาดิน อินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และโซเดียมที่สกัดได้ โดยที่ เมื่อดินมีปฏิกริยาดินสูงจะส่งผลให้ดินมีค่าความแข็งสูง แต่ถ้าดินมีปริมาณอินทรีย์วัตถุและปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เพิ่มขึ้นในดินจะมีผลทำให้ค่าความแข็งของดินลดลง ดังนั้นจึงควรมีมาตรการในการจัดการดินที่พบชั้นดานเปราะที่เหมาะสม เช่นมีการปรับปรุงดินโดยเพิ่มเติมอินทรีย์วัตถุ มีการจัดการปุ๋ยฟอสฟอรัส เพื่อลดค่าความแข็งและความหนาแน่นรวมของดิน

การประเมินปัจจัยที่ส่งผลต่อความหนาแน่นรวมของดินและความแข็งของดิน และการกำหนดตัวชี้วัดชั้นดานเปราะ

จากการทดสอบทางสถิติในการศึกษานี้ จะเห็นได้ว่า วัตถุต้นกำเนิดดินมีผลทำให้สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของดินที่พบชั้นดานเปราะมีความแตกต่างกัน และในแต่ละพื้นที่ศึกษามีสมการความสัมพันธ์กันระหว่างสมบัติทางกายภาพและทางเคมี ที่มีผลต่อความแข็งและความหนาแน่นรวมของดินที่พบในชั้นดานเปราะ (ตารางที่ 10) จากตารางได้แสดงสมการความสัมพันธ์โดยเรียงลำดับความสำคัญของสมการจากมากไปน้อยเพื่อใช้ประเมินปัจจัยซึ่งมีปัจจัยทางกายภาพและเคมีที่สำคัญที่ส่งผลต่อความหนาแน่นรวมและความแข็งของดินจนทำให้เกิดข้อจำกัดในการปลูกมันสำปะหลังหรือพืชชนิดอื่นๆ

จากกรณีแวดล้อมที่มีการวิจัยนี้ การประเมินชั้นดานเปราะในพื้นที่ศึกษาจังหวัดลพบุรี สระบุรีและนครสวรรค์ สมการความสัมพันธ์สมบัติดินทางกายภาพและเคมีที่มีผลต่อความหนาแน่นรวมของดินได้แก่ TP, AWC, K_{sat} , silt, sand, Avail.P, EA และสมบัติดินทางกายภาพและเคมีที่มีผลต่อความแข็งของดินได้แก่ BD, AWC, pH, OM, Avail.P, Avail.K, Ex.Na, Ex.K, EA และจากสมการความสัมพันธ์ของปัจจัยต่างๆ นี้ จะเห็นได้ว่าสมบัติทางกายภาพและเคมีของดินที่เป็นข้อจำกัด คือ ค่า BD, SS, TP, K_{sat} และ Ex.Na

สามารถใช้เป็นตัวชี้วัดชั้นดานเปราะที่ดีเนื่องจากมีสหสัมพันธ์สูงและมีวิธีวิเคราะห์ที่ง่ายจึงสามารถใช้ประเมินศักยภาพของดินที่พบชั้นดานเปราะได้อย่างชัดเจนและเพียงพอ สำหรับสมบัติทางเคมีอื่น ได้แก่ ค่า pH, OM, Avai.P, Avai.K, Ex.K, EA จะใช้ประเมินเพื่อการจัดการดินและปุ๋ยในการลดข้อจำกัดของชั้นดานเปราะและเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน

ตารางที่ 10 สมการความสัมพันธ์ของสมบัติทางกายภาพและเคมีของดินทางสถิติเพื่อประเมินปัจจัยที่มีผลต่อค่าความหนาแน่นรวมของดิน (BD) และค่าความแข็งของดิน (SS) บนพื้นที่ศึกษาที่พบชั้นดานเปราะในพื้นที่ปลูกมันสำปะหลัง จังหวัดลพบุรี สระบุรีและนครสวรรค์

ความหนาแน่นรวมของดิน (Bulk density, BD)	สมการความสัมพันธ์
ปัจจัยที่มีผลต่อความหนาแน่นรวมของดิน ได้แก่ TP, K _{sat} , silt, sand, AWC, EA	1. $BD = 1.96 - 0.013(TP) - 0.008(K_{sat}) + 0.007(AWC) + 0.002(sand)$
	2. $BD = 2.523 - 0.025(TP) + 0.001(silt) + 0.006(EA)$
	3. $BD = 2.59 - 0.03(TP) + 0.0007(sand) - 0.002(P)$
ความแข็งของดิน (Soil Strength, SS)	สมการความสัมพันธ์
ปัจจัยที่มีผลต่อค่าความแข็งของดิน ได้แก่ BD, AWC, pH, OM, Avai.P, Avai.K, Ex.Na, Ex.K, EA,	1. $SS = -3.63 + 3(BD) + 0.08(AWC) - 0.01(P) - 0.004(K) + 1.5(ExNa) - 5.36(ExK) - 0.08(EA)$
	2. $SS = -3.41 + 1.95(BD) - 0.02(OM) - 0.02(P) + 0.04(Ex.Na) + 0.20(pH)$
	3. $SS = -3.63 + 1.75(BD) + 0.039(AWC) + 0.22(pH)$

นอกจากนี้ปริมาณดินเหนียวยังสามารถใช้เป็นตัวชี้วัดชั้นดานเปราะได้แม้ว่าจะไม่ปรากฏในปัจจัยที่ส่งผลต่อความหนาแน่นรวมและความแข็งของดินตามสมการความสัมพันธ์ที่ทดสอบได้ ซึ่งในการศึกษานี้ชั้นดานเปราะมีปริมาณดินเหนียวและการเชื่อมตัวของสะพานดินเหนียวตลอดหน้าตัดดินซึ่งมีการศึกษาวิจัยก่อนหน้านี้ของข้อมูลข้างต้นว่าดินเหนียวมีความสัมพันธ์สูงกับความแข็งของดิน

การประเมินระดับปัญหาของชั้นดานเปราะ

การจัดการดินเพื่อลดข้อจำกัดที่ส่งผลเสียต่อการปลูกมันสำปะหลังและพืชอื่นต้องทราบถึงระดับความรุนแรงของปัญหาของชั้นดานเปราะเพื่อหาแนวทางจัดการดินที่เหมาะสม ดังข้อมูลในตารางที่ 11 แสดงค่าวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีของดินที่สัมพันธ์กับระดับปัญหา (degree) ของชั้นดานเปราะ

ต่อการทำเกษตร โดยกำหนดค่ามาตรฐานของค่าวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีที่ใช้เป็นตัวชี้วัดชั้น ดานเปราะได้แก่ ค่า BD, SS, TP, K_{sat} และ Ex.Na และแบ่งระดับปัญหาชั้นดานเปราะออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ ระดับปัญหาน้อย ปัญหาปานกลางและปัญหามาก ซึ่งค่ามาตรฐานที่กำหนดนี้ได้จากการประเมิน สมบัติดินที่สัมพันธ์กับระดับปัญหาร่วมกับการตรวจเอกสารงานวิจัยต่างๆ ที่ได้แสดงไว้ในผลการทดลองและ วิจัย

ตารางที่ 11 ค่าวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีของดินที่สัมพันธ์กับระดับปัญหา (degree) ของชั้น ดานเปราะในพื้นที่ศึกษาจังหวัดลพบุรี สระบุรีและนครสวรรค์

สมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน	ระดับปัญหา (degree) ของชั้นดานเปราะ		
	ปัญหาน้อย	ปัญหาปานกลาง	ปัญหามาก
ความหนาแน่นรวมของดิน ($g\ cm^{-3}$)	1.50-1.60	1.60-1.80	มากกว่า 1.80
ความแข็งของดิน (MPa)	0.5-1.25	1.25-1.80	มากกว่า 1.80
ความพรุนรวมของดิน (%)	40-45	30-40	น้อยกว่า 30
การนำน้ำของดินขณะอิ่มตัว ($cm\ hr^{-1}$)	0.5-2.0	0.125-0.5	น้อยกว่า 0.125
ปริมาณโซเดียมที่สกัดได้ ($cmol_c\ kg^{-1}$)	น้อยกว่า 0.5	0.5-0.7	มากกว่า 0.7

สรุประดับปัญหาของชั้นดานเปราะในพื้นที่ปลูกมันสำปะหลัง ดังนี้

1. ระดับปัญหาน้อยมีค่าความหนาแน่นรวมของดินช่วง $1.50-1.60\ g\ cm^{-3}$ ความแข็งของดินช่วง $0.5-1.25\ MPa$ ความพรุนรวมของดินช่วง 40-45 เปอร์เซ็นต์ การนำน้ำขณะดินอิ่มตัวช่วง $0.5-2.0\ cm\ hr^{-1}$ และปริมาณโซเดียมที่สกัดได้น้อยกว่า $0.5\ cmol_c\ kg^{-1}$ ซึ่งพื้นที่ที่มีปัญหาน้อยนี้สามารถจัดการดินเพื่อลด ข้อจำกัดที่เป็นปัญหาโดยปรับปรุงสมบัติทางกายภาพและความอุดมสมบูรณ์ของดินและมีความคุ้มค่าในการผลิตร่วมกับการอนุรักษ์ดินและน้ำเพื่อรักษาความชื้นจะทำให้ชั้นดานเปราะมีความแน่นที่ลดลงและ หมดไปในที่สุด อีกทั้งเพิ่มศักยภาพของดินให้เหมาะสมต่อการปลูกมันสำปะหลังและพืชอื่นๆ มากยิ่งขึ้น รวมถึงการป้องกันทรัพยากรดินในพื้นที่ไม่ให้เกิดความเสื่อมโทรมและมีความยั่งยืนทางการเกษตรได้ต่อไป

2. ระดับปัญหาปานกลางมีค่าความหนาแน่นรวมของดินช่วง $1.60-1.80\ g\ cm^{-3}$ ความแข็งของดิน ช่วง $1.25-1.80\ MPa$ ความพรุนรวมของดินช่วง 30-40 เปอร์เซ็นต์ การนำน้ำขณะดินอิ่มตัวช่วง $0.125-0.5\ cm\ hr^{-1}$ และปริมาณโซเดียมที่สกัดได้ช่วง $0.5-0.7\ cmol_c\ kg^{-1}$ ซึ่งพื้นที่ที่มีปัญหาปานกลางนี้ต้องมีการ จัดการดินอย่างเข้มข้นเพื่อลดข้อจำกัดที่เป็นปัญหา จึงควรมีการสนับสนุนพัฒนาศักยภาพของพื้นที่ให้มากขึ้นในเรื่องของคุณภาพดิน สร้างความรู้ความเข้าใจให้กับเกษตรกรในการจัดการพื้นที่ การปลูก การดูแล รักษา พัฒนาระบบน้ำในแปลงปลูกมันสำปะหลังเพื่อรักษาความชื้นจะทำให้ชั้นดานเปราะมีความแน่นที่ลดลงและหมดไปในที่สุดและการใช้น้ำจากแหล่งน้ำในพื้นที่ให้มีการใช้ประโยชน์กับมันสำปะหลังให้มากที่สุด

3. ระดับปัญหามากมีค่าความหนาแน่นรวมของดินมากกว่า 1.80 g cm^{-3} ความแข็งของดินมากกว่า 1.80 MPa ความพรุนรวมของดินน้อยกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ การนำน้ำขณะดินอิ่มตัวน้อยกว่า 0.125 cm hr^{-1} และปริมาณโซเดียมที่สกัดได้มากกว่า $0.7 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ซึ่งพื้นที่ที่มีปัญหามากนี้ต้องมีการจัดการดินอย่างเข้มข้นอย่างมากเพื่อลดข้อจำกัดที่เป็นปัญหาซึ่งอาจทำให้ต้องเพิ่มต้นทุนการผลิต จึงควรมีการสนับสนุนพัฒนาศักยภาพของพื้นที่ให้มากขึ้นในเรื่องของคุณภาพดิน สร้างความรู้ความเข้าใจให้กับเกษตรกรในการจัดการพื้นที่ การปลูก การดูแลรักษา พัฒนาระบบน้ำในแปลงปลูกมันสำปะหลังเพื่อรักษาความชื้นจะทำให้ชั้นดานเปรามีความแน่นที่ลดลงและหมดไปในที่สุดและการใช้น้ำจากแหล่งน้ำในพื้นที่ให้มีการใช้ประโยชน์กับมันสำปะหลังให้มากที่สุดเช่นเดียวกัน

การจัดการเพื่อใช้ประโยชน์ทางการเกษตรและเพิ่มผลผลิตมันสำปะหลังในพื้นที่ศึกษานี้ต้องพิจารณาถึงระดับความลึกและความหนาของชั้นดานเปราร่วมด้วย ซึ่งจำเป็นต้องมีการปรับปรุงสมบัติทางกายภาพร่วมกับการปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ของดินเนื่องจากดินขาดความชื้นได้ง่ายในฤดูเพาะปลูกและเกิดการกร่อนดินได้ง่ายอีกด้วย ในพื้นที่มีระดับปัญหาชั้นดานเปรามากแต่พบชั้นดานอยู่ในระดับลึกมากกว่า 100 เซนติเมตร ดินไม่มีข้อจำกัดทางกายภาพหรือมีเพียงเล็กน้อย อาจมีการปรับปรุงดินเพิ่มเติมและมีการจัดระบบการปลูกพืช พิจารณาพืชปลูกทำให้สามารถปลูกพืชได้ แต่ถ้าพื้นที่มีระดับปัญหาชั้นดานเปราน้อยแต่พบชั้นดานเปราระดับตื้นและมีความหนามาก ดินมีข้อจำกัดทางกายภาพจึงต้องมีมาตรการในการจัดการดินร่วมกับจัดทำระบบอนุรักษ์ดินและน้ำอีกทั้งต้องพิจารณาระบบการปลูกพืชให้มีความเหมาะสมกับศักยภาพของดินร่วมอีกด้วย สำหรับแนวทางทั่วไปในการเพิ่มผลผลิตพืชในพื้นที่ชั้นดานเปราระยะ ไม่ใช้วิธีการไถลึกหรือการไถเบียดดินดานเนื่องจากมีชั้นดานเปรารุนแรง ควรใช้วิธีการพัฒนาระบบน้ำในแปลงปลูก เช่น ทำระบบน้ำหยดและคลุมดินเพื่อรักษาความชื้นในดินร่วมกับการปลูกหญ้าแฝกเป็นแถวสลับกับพืชหลัก โดยมีระยะห่างขึ้นกับสภาพความลาดชันของพื้นที่ เช่น ถ้าระยะตามแนวตั้ง คือ 2 เมตร แนวรั้วหญ้าแฝก ณ ความลาดเอียง 5% 10% และ 15% จะอยู่ห่างกัน 40 เมตร 15 เมตร และ 10 เมตรตามลำดับ ควรระมัดระวังในการไถเตรียมดินโดยให้รักษาแนวหญ้าแฝกไว้ นอกจากนี้ควรตัดใบหญ้าแฝกให้อยู่ระดับ 30-50 เซนติเมตร และปลูกหญ้าแฝกซ่อมแซมให้หนาแน่นเป็นแนว ซึ่งข้อดีของการปลูกหญ้าแฝกคือ รากหญ้าแฝกจะซอนไซเข้าไปในชั้นดานและแทรกไปในชั้นดาน เป็นการป้องกันไม่ให้เกิดปัญหาดินดานขึ้นมาในพื้นที่ นอกจากทำให้ผลผลิตเพิ่มมากขึ้นแล้วยังเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายในการทำลายชั้นดานอีกด้วย (กรมพัฒนาที่ดิน, 2550)

สรุปผล

1. ศึกษาลักษณะ สมบัติและการแจกกระจายของชั้นดานเปราะบนพื้นที่ปลูกมันสำปะหลังในจังหวัด ลพบุรี สระบุรี และจังหวัดนครสวรรค์ พบว่า มีการแจกกระจายเป็นพื้นที่แคบโดยพบมากที่สุดที่จังหวัดสระบุรีมีพื้นที่รวม 27,122 ไร่ รองลงมาเป็นจังหวัดลพบุรี มีพื้นที่รวม 10,012 ไร่ และพบในจังหวัดนครสวรรค์เป็นพื้นที่เพียงเล็กน้อยมีพื้นที่รวม 637 ไร่ ดินที่พบชั้นดานเปราะทั้ง 3 จังหวัดมีพื้นที่รวมเท่ากับ 37,771 ไร่ ชั้นดานเปราะที่พบส่วนใหญ่พบอยู่ในระดับตื้นภายใน 50 เซนติเมตรจากชั้นผิวดิน มีความหนาและระดับความลึกของชั้นดานเปราะแตกต่างกันไปตามผิวหน้าของสภาพภูมิประเทศ โดยพบที่ระดับความลึกตั้งแต่ 10-120 เซนติเมตร และมีความหนา 61-150 เซนติเมตร ชั้นกำเนิดดินหลักประกอบด้วย A(p)-Bt (v, c)-Btx ดินในแต่ละบริเวณมีสมบัติทางกายภาพและเคมีแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุต้นกำเนิดดิน ชั้นดานเปราะที่พบในพื้นที่ศึกษาเกิดจากการอัดตัวแน่นที่บและพบการเชื่อมตัวกันของอนุภาคดินเหนียวร่วมกับเหล็ก ชั้นดานเปราะมีอนุภาคขนาดละเอียดมากกว่าชั้นดินบน มีเนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียวปนทรายถึงดินร่วนเหนียวและดินเหนียวปนทราย บางบริเวณมีเนื้อดินปนกรวด ชั้นดานเปราะมีสีแดงปนเหลือง สีนํ้าตาลปนแดงถึงสีนํ้าตาลและมีจุดประสีแดงและสีนํ้าตาลปนแดง พบเม็ดกลมของเหล็กและแมงกานีส เม็ดดินเชื่อมตัวกันด้วยเนื้อดินละเอียดติดกันเป็นกลุ่มๆ มีการระบายน้ำดีปานกลาง มีโครงสร้างแบบก้อนเหลี่ยมมุมมนและก้อนเหลี่ยมมุมคม มีการยึดตัวแบบคงทน แต่จะเปราะเมื่อสภาพความชื้นใกล้ความจุความชื้นสนาม และมักจะไม่นํ้าพบว่ามีรากพืชในชั้นนี้ มีค่าพีเอชเป็นกรดจัดมากถึงเป็นด่างปานกลางและชั้นส่วนของชั้นดานเปราะมีความแข็งแรงมากเมื่อแห้งแต่จะยุ่ยสลายง่ายเมื่อแช่นํ้า
2. ชั้นดานเปราะที่พบในการศึกษานี้มีเนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียว ดินร่วนเหนียวปนทรายแป้งและดินเหนียวปนทราย ความหนาแน่นรวมของดินสูง ($1.57-1.92 \text{ Mg m}^{-3}$) ความพรุนรวมต่ำ ($28.30-46.04 \%$) ลดการเคลื่อนที่ของน้ำทำให้มีค่าการนำน้ำขณะดินอิ่มตัวอยู่ในระดับต่ำมากถึงปานกลาง ($0.007-10.23 \text{ cm hr}^{-1}$) แต่มีค่าความจุน้ำใช้ประโยชน์ได้ของดินสูงกว่าดินชั้นบนเล็กน้อย ($6.55-21.24 \%$ by vol.) เนื่องจากการอัดตัวแน่นของดินทำให้นํ้าที่นำจะนำไปใช้ประโยชน์ได้น้พืชไม่สามารถใช้ได้อีกต่อไป หรือสามารถเคลื่อนขึ้นมาที่ชั้นดินบนในลักษณะการเคลื่อนที่ตามท่อแคพิลลารีกลดน้อยลงด้วย และดินในชั้นดานเปราะมีความแข็งแรงที่สูงมาก ($0.59-2.35 \text{ MPa}$) ส่งผลให้ดินมีความต้านทานการแทงทะลุของรากพืชสูงจนเป็นข้อจำกัดในการปลูกมันสำปะหลัง
3. ดินในชั้นดานเปราะทุกบริเวณมีปฏิกิริยาดินสูงกว่าชั้นดินบน มีอินทรีย์วัตถุ ปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่ำ มีปริมาณกรดที่สกัดได้และค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนอยู่ในระดับปานกลาง และมีเบสที่สกัดได้สูง (Ca, Mg, K, Na) ซึ่งการที่ดินมีปริมาณเบสที่สกัดได้สูงนี้เนื่องจากการชะละลายต่ำและวัตถุต้นกำเนิดที่เป็นหินแก้วภูเขาไฟ และในชั้นดานเปราะที่มีค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนสูง จะมีความสัมพันธ์เชิงบวกสูงกับค่าปริมาณเบสที่สกัดได้และปริมาณดินเหนียว โดยที่เมื่อดินมีปริมาณดินเหนียวเพิ่มขึ้นทำให้ดินมีพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้นจึงส่งผลให้ดินมีค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนเพิ่มขึ้น นอกจากนี้

อนุภาคดินเหนียวยังสามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับสารอินทรีย์และออกไซด์ต่างๆ ได้อีกด้วยซึ่งทำให้มี variable charge เพิ่มขึ้นส่งผลทำให้ดินมีค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนเพิ่มขึ้นและส่งผลให้มีการดูดซับเบสเพิ่มขึ้นอีกด้วย

4. เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ค่าความแข็งของชั้นดานเปราะกับสมบัติต่างๆ ของดิน พบว่า ความแข็งของชั้นดานเปราะมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับค่าความหนาแน่นรวมเนื่องจากมี interlocking และมีความสูญเสียทานภายใน (internal friction angle) ของอนุภาคดินมากขึ้น และความแข็งมีความสัมพันธ์เชิงลบกับค่าความพรุนรวมของดินและการนำน้ำขณะดินอิ่มตัว ทำให้ชั้นดานเปราะมีข้อจำกัดในการแทงทะลุของรากพืชและการเคลื่อนที่ของน้ำและอากาศจึงทำให้เกิดผลเสียต่อการเจริญเติบโตของพืช นอกจากนี้ค่าความแข็งของดินในชั้นดานเปราะยังมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณดินเหนียวที่เพิ่มขึ้นในชั้นดานเปราะตามความลึกซึ่งแสดงให้เห็นว่าดินส่วนใหญ่เป็นดินที่มีพัฒนาการปานกลาง โดยได้รับอิทธิพลจากการเคลื่อนย้ายเชิงกล (lessivage) ของอนุภาคขนาดละเอียดและกระบวนการเคลื่อนย้ายวัสดุจากชั้นดินบน (eluviation) ไปสะสมในชั้นดินล่างและเข้าไปแทรกตามช่องว่างส่งผลทำให้ดินอัดตัวแน่นทึบ สอดคล้องกับการมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนและปริมาณเบสที่สกัดได้เนื่องจากการมีปริมาณดินเหนียวเพิ่มขึ้นส่งผลให้มีการดูดซับเบสเพิ่มขึ้นอีกด้วยโดยเฉพาะปริมาณโซเดียมที่สกัดได้สูงจะเกิดการฟุ้งกระจายในช่วงที่ดินเปียกชื้นจึงเป็นสาเหตุให้ดินในชั้นดานเปราะมีความแข็งมากเมื่อดินแห้ง และในการศึกษานี้ค่าความแข็งของดินในชั้นดานเปราะยังมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความจุน้ำใช้ประโยชน์ได้เนื่องจากชั้นดานเปราะยังคงเก็บกักความชื้นไว้ในช่องว่างขนาดเล็กซึ่งมีแรงยึดเหนี่ยวสูงไว้ได้มากแต่น้ำในช่องว่างเหล่านี้พืชไม่สามารถใช้ได้อีกต่อไปหรือสามารถเคลื่อนขึ้นมาที่ชั้นดินบนในลักษณะการเคลื่อนที่ตามท่อแคพิลลารีก็ลดน้อยลงด้วย

5. จากการทดสอบทางสถิติในกรณีแวดล้อมที่มีการวิจัยนี้เพื่อการแปรผลดินที่พบชั้นดานเปราะในพื้นที่ศึกษาจังหวัดลพบุรี สระบุรีและนครสวรรค์ ได้สมการความสัมพันธ์ของสมบัติทางกายภาพและเคมีของดินทางสถิติเพื่อประเมินปัจจัยที่มีผลต่อค่าความหนาแน่นรวมของดิน (BD) และค่าความแข็งของดิน (SS) โดยปัจจัยที่มีผลต่อค่าความหนาแน่นรวมของดินได้แก่ ความพรุนรวม ความจุน้ำใช้ประโยชน์ได้ ค่าการนำน้ำขณะดินอิ่มตัว ปริมาณทรายแป้งและทราย ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และปริมาณกรดที่สกัดได้ (TP, AWC, K_{sat} , silt, sand, Avai.P, EA ตามลำดับ) และปัจจัยที่มีผลต่อความแข็งของดินได้แก่ ความหนาแน่นรวม ความจุน้ำใช้ประโยชน์ได้ ความเป็นกรดต่าง ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ ปริมาณโซเดียมและโพแทสเซียมที่สกัดได้และปริมาณกรดที่สกัดได้ (BD, AWC, pH, OM, Avai.P, Avai.K, Ex.Na, Ex.K, EA ตามลำดับ) และจากสมการความสัมพันธ์ของปัจจัยเหล่านี้ ค่าความหนาแน่นรวมของดิน ความแข็งของดิน ความพรุนรวมของดิน การนำน้ำขณะดินอิ่มตัวและปริมาณโซเดียมที่สกัดได้ (BD, SS, TP, K_{sat} , Ex.Na ตามลำดับ) เป็นตัวชี้วัดชั้นดานเปราะที่ดีเนื่องจากมีสหสัมพันธ์สูงและมีวิธีวิเคราะห์ที่ง่ายจึงสามารถใช้ประเมินศักยภาพของดินที่พบชั้นดานเปราะได้อย่างชัดเจนและเพียงพอ

สำหรับสมบัติทางเคมีอื่น ได้แก่ ความเป็นกรดต่าง ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ ปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้และปริมาณกรดที่สกัดได้ (pH, OM, Avai.P, Avai.K, Ex.K, EA ตามลำดับ) จะใช้ประเมินเพื่อการจัดการดินและปุ๋ยในการลดข้อจำกัดของชั้นดานเปราะและเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน

6. การประเมินระดับปัญหาชั้นดานเปราะต่อการปลูกมันสำปะหลังโดยการกำหนดค่ามาตรฐานของตัวชี้วัดชั้นดานเปราะในพื้นที่ศึกษา ได้แก่ ค่าความหนาแน่นรวมของดิน ความแข็งของดิน ความพรุนรวมของดิน การนำน้ำขณะดินอิ่มตัวและปริมาณโซเดียมที่สกัดได้ (BD, SS, TP, K_{sat} , Ex.Na) สามารถประเมินระดับปัญหาชั้นดานเปราะได้ดีและมีสหสัมพันธ์สูง แบ่งออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ ระดับปัญหาน้อย ปัญหาปานกลางและปัญหามาก ดังนี้

(1) ระดับปัญหาน้อยมีค่าความหนาแน่นรวมของดินอยู่ในช่วง $1.50-1.60 \text{ g cm}^{-3}$ ความแข็งของดินอยู่ในช่วง $0.5-1.25 \text{ MPa}$ ความพรุนรวมของดินอยู่ในช่วง $40-45 \text{ เปอร์เซ็นต์}$ การนำน้ำขณะดินอิ่มตัวอยู่ในช่วง $0.5-2.0 \text{ cm hr}^{-1}$ และมีปริมาณโซเดียมที่สกัดได้น้อยกว่า $0.5 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$

(2) ระดับปัญหาปานกลางมีค่าความหนาแน่นรวมของดินอยู่ในช่วง $1.60-1.80 \text{ g cm}^{-3}$ ความแข็งของดินอยู่ในช่วง $1.25-1.80 \text{ MPa}$ ความพรุนรวมของดินอยู่ในช่วง $30-40 \text{ เปอร์เซ็นต์}$ การนำน้ำขณะดินอิ่มตัวอยู่ในช่วง $0.125-0.5 \text{ cm hr}^{-1}$ และมีปริมาณโซเดียมที่สกัดได้อยู่ในช่วง $0.5-0.7 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$

(3) ระดับปัญหามากมีค่าความหนาแน่นรวมของดินมากกว่า 1.80 g cm^{-3} ความแข็งของดินมากกว่า 1.80 MPa ความพรุนรวมของดินน้อยกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ การนำน้ำขณะดินอิ่มตัวน้อยกว่า 0.125 cm hr^{-1} และมีปริมาณโซเดียมที่สกัดได้มากกว่า $0.7 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ซึ่งในการจัดการดินเพื่อลดระดับปัญหาเหล่านี้ ต้องพิจารณาถึงระดับความลึกและความหนาที่พบชั้นดานเปราะร่วมอีกด้วย

7. ผลกระทบของชั้นดานเปราะต่อการปลูกมันสำปะหลังโดยเฉพาะพื้นที่ที่พบภายในระดับความลึก 50 เซนติเมตรจากชั้นผิวดิน คือ ดินมีการอัดตัวแน่นในสภาพแห้งซึ่งจะมีผลต่อการแทงหัวของมันสำปะหลัง การขาดน้ำ การกร่อนดิน และปัญหาการเน่าเสียของหัวมันสำปะหลัง ทั้งนี้เนื่องจาก ดินตอนบนมักแข็งถึงแข็งมากเมื่อแห้ง ความชื้นบริเวณเขตรากพืชเหลือน้อย มันสำปะหลังจะชะงักการเจริญเติบโตได้ ชั้นดานเปราะจะชะลอการไหลของน้ำตามแนวตั้งในช่วงฤดูฝน ทำให้เกิดการสะสมน้ำที่ไหลไปตามผิวดินทำให้เกิดการกร่อนดินอย่างรุนแรง ขณะที่น้ำที่ขังอยู่บนชั้นดานเปราะซึ่งเป็นลักษณะของน้ำใต้ดินชั่วคราวจะทำให้เกิดปัญหาเน่าเสียของหัวมันสำปะหลังได้หากเป็นระยะที่หัวมันสำปะหลังเริ่มสะสมแป้ง แนวทางการแก้ไขเพื่อลดข้อจำกัดเหล่านี้ ประกอบด้วย

(1) การจัดการปุ๋ยไนโตรเจน และฟอสฟอรัสในอัตราอย่างน้อย 15 และ 7.5 กิโลกรัม $\text{N-P}_2\text{O}_5$ ต่อไร่ หากต้องการผลผลิตมันสำปะหลังในระดับที่น่าพึงพอใจ ซึ่งการจัดการปุ๋ยจะขึ้นอยู่กับสมบัติทางเคมีของดินที่พบซึ่งมีความแปรปรวนโดยเฉพาะในบางดินที่พบปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์สูง

(2) การเพิ่มเติมอินทรีย์วัตถุเพื่อปรับปรุงโครงสร้างดิน ลดการอัดตัวแน่นของดินและเพิ่มความสามารถในการกักเก็บความชื้นของดิน

(3) การทำคันดินร่วมกับการปลูกหญ้าแฝกขวางความลาดเท เพื่อลดปัญหาการกร่อนดิน

(4) การขุดคุ้ยระบายน้ำรอบแปลงปลูกให้ลึกกว่าระดับการแทงหัวของมันสำปะหลัง (ประมาณ 40-50 เซนติเมตร) เพื่อช่วยระบายน้ำที่ขังอยู่บนชั้นดานเปราะให้ระบายออกด้านข้าง ซึ่งจะช่วยลดปัญหาการกร่อนดิน และการเน่าเสียของมันสำปะหลัง

(5) ควรเลี่ยงการปลูกมันสำปะหลังในช่วงต้นฤดูฝน เนื่องจากเมื่อมันสำปะหลังเริ่มสะสมแป้งจะเป็นช่วงที่เกิดการสะสมน้ำใต้ดินชั่วคราวยกเว้นในกรณีที่มีการขุดคุ้ยระบายน้ำ การปลูกมันสำปะหลังในช่วงปลายฤดูฝนน่าจะเป็นทางเลือกที่เหมาะสมกว่า

(6) การจัดระบบชลประทานที่ดีหรือให้มีพืชคลุมตลอดเวลาเพื่อรักษาความชื้นไว้จะทำให้ชั้นดานเปราะมีความแน่นที่ลดลงและหมดไปในที่สุด ทั้งนี้ในการจัดการดินเพื่อใช้ประโยชน์ทางการเกษตรและเพิ่มผลผลิตในพื้นที่ปลูกมันสำปะหลังต้องพิจารณาถึงระดับความลึกและความหนาของชั้นดานเปราะร่วมด้วยเนื่องจากชั้นดานเปราะที่มีระดับความลึกและความหนาแตกต่างกันมีข้อจำกัดการใช้และระดับการจัดการเพื่อใช้ประโยชน์ทางการเกษตรแตกต่างกัน จึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงสมบัติทางกายภาพและความอุดมสมบูรณ์ของดินร่วมกับการจัดทำระบบอนุรักษ์ดินและน้ำอีกทั้งต้องพิจารณาระบบการปลูกพืชให้มีความเหมาะสมกับศักยภาพของดินร่วมอีกด้วย

8. การวางแผนการใช้ที่ดินในพื้นที่ปลูกมันสำปะหลังบนพื้นที่ปลูกศักยภาพ (S1 S2 S3 N) ของจังหวัดลพบุรี สระบุรี และนครสวรรค์เพื่อลดข้อจำกัดและเพิ่มผลผลิต สามารถวางแผนการใช้ที่ดินโดยพิจารณาระดับปัญหาของชั้นดานเปราะร่วมกับพื้นที่ปลูกศักยภาพของที่ดินได้ ดังนี้

(1) พื้นที่ที่มีความเหมาะสม (S1) ควรส่งเสริมการผลิตและสนับสนุนให้เกษตรกรปลูกมันสำปะหลังต่อไปเนื่องจากเป็นพื้นที่มีศักยภาพ สามารถช่วยลดต้นทุนการผลิตและได้ผลผลิตที่มีคุณภาพดี ซึ่งการปลูกมันสำปะหลังในพื้นที่ดังกล่าวข้างต้นสามารถนำไปสู่การต่อยอดโครงการที่สำคัญต่างๆ ได้ เช่น เกษตรอินทรีย์ ระบบการส่งเสริมการเกษตรแบบแปลงใหญ่ เกษตรแม่นยำ เป็นต้น พื้นที่ปลูกมันสำปะหลังในบริเวณที่มีความเหมาะสมสูง (S1) คือ พื้นที่ปลูกมันสำปะหลังในที่ดินที่ไม่มีข้อจำกัดทางกายภาพต่อการปลูกมันสำปะหลังซึ่งควรสงวนไว้เป็นแหล่งปลูกมันสำปะหลังที่สำคัญของจังหวัด

(2) พื้นที่ที่มีความเหมาะสมที่ควรส่งเสริมการผลิต (S2) พื้นที่ปลูกมันสำปะหลังในบริเวณที่มีความเหมาะสมปานกลาง คือ พื้นที่ปลูกมันสำปะหลังในที่ดินที่มีข้อจำกัดทางกายภาพบางประการต่อการปลูกมันสำปะหลัง เช่น ชั้นดานเปราะ ความอุดมสมบูรณ์ของดิน ความปนกรดปนด่าง ความชื้น ควรมีมาตรการปรับปรุงสมบัติทางกายภาพและการปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ของดินเพื่อลดข้อจำกัดของชั้นดานเปราะ

ตามผลการประเมินระดับความรุนแรงของชั้นดานเปราะที่ได้จากการศึกษานี้ร่วมกับการจัดทำระบบอนุรักษ์ดินและน้ำเพื่อไม่ให้เกิดความเสื่อมโทรมของทรัพยากรดิน

(3) พื้นที่เหมาะสมเล็กน้อยและไม่เหมาะสม (S3 และ N) พื้นที่ปลูกมันสำปะหลังในที่ดินที่มีข้อจำกัดทางกายภาพมาก คือ การพบชั้นดานเปราะในระดับตื้นน้อยกว่า 50 เซนติเมตรจากผิวดิน ซึ่งเป็นข้อจำกัดทางกายภาพมากต่อการปลูกมันสำปะหลัง ควรมาตรการที่เข้มข้นในการแก้ปัญหา จำเป็นต้องมีการปรับปรุงสมบัติทางกายภาพและการปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ของดินตามผลการประเมินระดับความรุนแรงของชั้นดานเปราะที่ได้จากการศึกษานี้ร่วมกับการจัดทำระบบอนุรักษ์ดินและน้ำ อีกทั้งต้องพิจารณาระบบการปลูกให้มีความเหมาะสมกับศักยภาพของดินร่วมอีกด้วย

(4) หน่วยงานภาครัฐควรมีการสนับสนุนพัฒนาศักยภาพของพื้นที่ให้มากขึ้นในเรื่องของคุณภาพดิน และทำการตรวจวิเคราะห์คุณภาพดินอยู่เสมอ ส่งเสริมให้มีการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน สร้างความรู้ความเข้าใจให้กับเกษตรกรในการจัดการพื้นที่ การปลูก การดูแลรักษา การป้องกันโรคแมลงศัตรูพืชและการเก็บเกี่ยว ส่งเสริมการใช้ท่อนพันธุ์ที่ต้านทานโรค และให้ผลผลิตสูง พัฒนาระบบน้ำหยดและการใช้น้ำจากแหล่งน้ำในพื้นที่ ให้มีการใช้ประโยชน์กับมันสำปะหลังให้มากที่สุด ส่งเสริมเกษตรกรแปรรูปมันสำปะหลังเบื้องต้นเพื่อเพิ่มมูลค่า เช่น การแปรรูปมันเส้นสะอาด ประชาสัมพันธ์ให้เกษตรกรเก็บเกี่ยวในช่วงอายุและระยะเวลาที่เหมาะสม หรือสนับสนุนให้เข้าโครงการบริหารจัดการพื้นที่เกษตรกรรม (Zoning by Agri-Map) เช่น เปลี่ยนชนิดพืชที่มีความเหมาะสมกว่าการปลูกมันสำปะหลัง มีต้นทุนที่ต่ำ และให้ผลตอบแทนที่ดีกว่า เป็นต้น แต่ทั้งนี้ต้องพิจารณาแหล่งรับซื้อรวมด้วย และสร้างความเข้าใจให้กับเกษตรกรในการบริหารจัดการพื้นที่และการปรับปรุงบำรุงดินไม่ให้เกิดความเสื่อมโทรมเกิดการพัฒนาที่ดินให้ยั่งยืนได้ต่อไป

ข้อเสนอแนะ

1. การนำงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

1) จากการศึกษานี้ได้ทราบถึงกระบวนการเกิดชั้นดานเปราะ ผลกระทบต่อการปลูกมันสำปะหลัง ขอบเขตการแจกกระจายของชั้นดานเปราะในพื้นที่ปลูกมันสำปะหลัง และปัจจัยที่ทำให้เกิดข้อจำกัดของชั้นดานเปราะ รวมถึงการกำหนดตัวชี้วัดและค่ามาตรฐานของค่าวิเคราะห์สมบัติดิน เพื่อประโยชน์ในการนำไปประเมินระดับปัญหาของชั้นดานเปราะและศักยภาพของดินในการกำหนดแนวทางจัดระบบการปลูกพืช มาตรการระบบอนุรักษ์ดินและน้ำ มาตรการจัดการดินและปุ๋ยที่เหมาะสม และวางแผนการใช้ที่ดินในพื้นที่ปลูกมันสำปะหลังบนพื้นที่ปลูกศักยภาพซึ่งสามารถนำไปปรับใช้กับพื้นที่ของเกษตรกรผู้ปลูกมันสำปะหลังที่พบชั้นดานเปราะในพื้นที่อื่นๆ ได้อย่างเหมาะสมเพื่อเพิ่มผลผลิต มีความคุ้มค่าและรักษาทรัพยากรดินสู่การพัฒนาที่ยั่งยืนต่อไป

2) สร้างความเข้าใจคำจำกัดความที่ชัดเจนของชั้นดานเปราะเพื่อลดความสับสนของปัญหาชั้นดานในพื้นที่ปลูกมันสำปะหลังของประเทศไทย

3) องค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับชั้นดานเปราะ เพื่อประโยชน์ในการแปลความหมายสำหรับการแก้ปัญหา รวมถึงขอบเขตของปัญหาที่มีผลต่อการเกษตรกรรม

4) เป็นพื้นที่ต้นแบบของการประเมินระดับปัญหาชั้นดานเปราะเพื่อนำไปสู่การจัดการระดับพื้นที่

5) เพื่อการถ่ายทอดองค์ความรู้สู่การเสริมสร้างการมีส่วนร่วมของประชาชนให้มีความตระหนักรู้ ความเข้าใจ และผลักดันสู่การจัดการพื้นที่เพื่อให้เกิดการพัฒนาที่ดินอย่างยั่งยืน

2. การประยุกต์พัฒนางานวิจัยในอนาคตเพื่อประโยชน์ในการพัฒนาที่ดินอย่างยั่งยืน

ควรมีการศึกษาเพิ่ม ดังนี้

1) การศึกษาความสัมพันธ์ของชั้นดานเปราะกับสภาพภูมิประเทศเพิ่มเติมเพื่อจำแนกการเกิดขึ้นและพัฒนาการของชั้นดานเปราะ

2) การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีเพิ่มเติม เช่น เหล็ก ซิลิกา อลูมินัม เพื่อศึกษาสารเชื่อมต่างๆ ที่มีผลต่อค่าความแข็งของชั้นดานเปราะ

3) การศึกษาสมบัติทางแร่วิทยาและสมบัติทางจุลสัณฐานวิทยาเพิ่มเติมเพื่อศึกษาสมบัติ fragic ในกระบวนการเกิดขึ้นและพัฒนาการของชั้นดานเปราะ

4) การศึกษาอิทธิพลของชั้นดานเปราะที่มีผลต่อความสัมพันธ์ของน้ำในดินและระบบรากพืช

5) การจำแนกและประเมินอิทธิพลของชั้นดานเปราะต่อระบบนิเวศวิทยา

6) ควรมีการทดสอบเพิ่มเติมในระบบการปลูกพืชชนิดอื่น

7) พัฒนาเทคโนโลยีเครื่องมือและนวัตกรรมในการตรวจสอบและประเมินปัญหาชั้นดานเปราะ

เอกสารอ้างอิง

- กรมพัฒนาที่ดิน. 2550. การเพิ่มผลผลิตพืชปลูกในพื้นที่มีชั้นดาน. ชุดความรู้และเทคโนโลยีการพัฒนาที่ดิน. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- กรมพัฒนาที่ดิน. 2564. แนวทางการส่งเสริมการเกษตรที่เหมาะสมตามฐานข้อมูลแผนที่เกษตรเชิงรุก จังหวัดลพบุรี. กระทรวง เกษตรและสหกรณ์.
- กรมพัฒนาที่ดิน. 2564. แนวทางการส่งเสริมการเกษตรที่เหมาะสมตามฐานข้อมูลแผนที่เกษตรเชิงรุก จังหวัดสระบุรี. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- กรมพัฒนาที่ดิน. 2564. แนวทางการส่งเสริมการเกษตรที่เหมาะสมตามฐานข้อมูลแผนที่เกษตรเชิงรุก จังหวัดนครสวรรค์. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- กรมแผนที่ทหาร. 2542. แผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วน 1:50,000. กระทรวงกลาโหม, กรุงเทพฯ.
- กรมอุตุนิยมวิทยา. 2561. สถิติภูมิอากาศของประเทศไทยในคาบ 10 ปี (พ.ศ. 2550-2560). กระทรวง คมนาคม, กรุงเทพฯ
- กลุ่มมาตรฐาน. 2544. ชั้นดาน. เอกสารวิชาการฉบับที่ 481. กองสำรวจและจำแนกดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- กองนโยบายและแผนการใช้ที่ดิน. 2564. แผนที่พื้นที่ปลูกมันสำปะหลังจังหวัดลพบุรี. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- กองนโยบายและแผนการใช้ที่ดิน. 2564. แผนที่พื้นที่ปลูกมันสำปะหลังจังหวัดสระบุรี. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- กองนโยบายและแผนการใช้ที่ดิน. 2564. แผนที่พื้นที่ปลูกมันสำปะหลังจังหวัดนครสวรรค์. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2548. **ปฐพีวิทยาเบื้องต้น**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ปรีชา พรหมมณีย์. 2542. **การจัดการดินและการใช้ปุ๋ยในไร่อ้อย**. เอกสารประกอบการฝึกอบรม. สำนักวิจัยและพัฒนาเกษตรเขต 5 ศูนย์วิจัยพืชไร่สุพรรณบุรี, สุพรรณบุรี.
- นิภาพร ขำสอาด. 2552. **อำนาจการทดสอบของการใช้สถิติการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย**. ปรินิพนธ์ กศ.ม. (การวัดผลการศึกษา). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัย ศรีนครินทรวิโรฒ.

- ยงยุทธ โอสดสภา. 2543. **ธาตุอาหารพืช**. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- สมจิต วัฒนาชยากุล. 2548. **สถิติพื้นฐานสำหรับนักวิทยาศาสตร์**. ภาควิชาคณิตศาสตร์และสถิติ, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- สถิระ อุดมศรี. 2544. **ชั้นดิน**. เอกสารวิชาการฉบับที่ 481. กองสำรวจจำแนกดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- สุนทรี ยิ่งชัชวาล. 2536. **บทปฏิบัติการปฐพีวิทยามูลฐาน**. ภาควิชาปฐพีวิทยา, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม.
- สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน. 2548. **คู่มือการวิเคราะห์ตัวอย่างดิน น้ำ ปุ๋ย พืช วัสดุปรับปรุงดิน และการวิเคราะห์เพื่อตรวจรับรองมาตรฐานสินค้า, เล่มที่ 1**. สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน, กรมพัฒนาที่ดิน.
- สำนักวิจัยและพัฒนากิจการที่ดิน. 2550. เอกสารเพื่อการถ่ายทอดเทคโนโลยี ชุดความรู้และเทคโนโลยี เพื่อการพัฒนาที่ดิน. กรมพัฒนาที่ดิน. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- สำนักวิจัยและพัฒนากิจการที่ดิน. 2550. ข้อมูลการจัดการดิน. กรมพัฒนาที่ดิน. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- สำนักสำรวจดินและวางแผนการใช้ที่ดิน. 2543ก. แผนที่กลุ่มชุดดินประเทศไทย (เชิงเลข) มาตรฐาน 1:50,000. กรมพัฒนาที่ดิน. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- สำนักสำรวจดินและวางแผนการใช้ที่ดิน. 2551. รายงานสำรวจดินเพื่อการเกษตร จังหวัดลพบุรีมาตรฐาน 1:25,000. เอกสารวิชาการฉบับที่ 137/02/50. กรมพัฒนาที่ดิน. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- สำนักสำรวจและวิจัยทรัพยากรดิน. 2553. รายงานสำรวจดินเพื่อการเกษตร จังหวัด นครสวรรค์ มาตรฐาน 1:25,000. เอกสารวิชาการฉบับที่ 278/05/52. กรมพัฒนาที่ดิน. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- สำนักสำรวจและวิจัยทรัพยากรดิน. 2553. รายงานสำรวจดินเพื่อการเกษตร จังหวัดสระบุรี มาตรฐาน 1:25,000. เอกสารวิชาการฉบับที่ 285/05/52. กรมพัฒนาที่ดิน. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2555. มั่นสำปะหลังโรงงานรายจังหวัด. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

- อุมาพร จันทศร. 2542. การทดสอบของครัสคาลและวอลลิส (The Kruskal-Wallis One-Way Analysis of Variance by Ranks Test). สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- เอิบ เขียวรีนนมณ. 2533. **ดินของประเทศไทย**. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- เอิบ เขียวรีนนมณ. 2542(ข). คู่มือปฏิบัติการการสำรวจดิน. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ
- Abreu, C.H., Muraoka, T., Lavorante, A.F. 2003. RELATIONSHIP BETWEEN ACIDITY AND CHEMICAL PROPERTIES OF BRAZILIAN SOILS. **Scientia Agricola**, v.60, n.2, p.337-343, Abr./Jun. 2003.
- Aide, M. and A. Marshaus. 2002. Fragipan genesis in two Alfisols in East Central Missouri. **J. Soil Sci.** 167: 453-464.
- Aide, M.T., Dunn, D. and Stevens, G. 2006. Fragiudults Genesis Involving Multiple Parent Materials in the Eastern Ozarks of Missouri. **Soil Science**, 171, 1-9.
- Aide, M. 2021. Fragipan Horizons: Definition, Properties, Genesis, and Influence on Soil Behavior. **Agricultural Sciences**, 2021, 12, 1490-1507.
- Asio, V.B., Armechin, R.B. and Bautista, A.T. 1992. Relationship between exchangeable aluminum and pH in some acidic Philippine soils. **Phillippine Journal of Science**. January 1992.
- Assallay, A.M., Roger, C.D.F. and Smalley, I.J. 1997. Formation and collapse of metastable particle packings and open structures in loess deposits. **Eng. Geol.** 48: 101-115.
- Ball, B.C. and Sullivan, M.F. 1982. Soil strength and crop emergence in direct drilled and ploughed cereal seedbeds in seven field experiments. **J. Soil Sci.** 33: 609-622.
- Bockheim, J.G. and Hartemink A.E. 2013. Soils with Fragipans in the USA. **Catena**, 104, 251-256.
- Boer, M.M. 1999. **Assessment of Dryland Degradation: Linking Theory and Practice Through Site Water Balance Modelling**. Ph.D. Thesis, Universiteit Utrecht.
- Brady, N.C. 1990. **The nature and properties of soils**. 10th Edition, Macmillan Publishing Company, Cranbury.

- Brady, N.C. and Weil, R.R. 2008. **The Nature and Properties of Soils**. 14th ed. Prentice-Hall, Inc., New Jersey, USA.
- Brady, N.C. and Weil, R.R. 2007. **The Nature and Properties of Soils**. 14th ed. Prentice-Hall, Inc., New Jersey, USA.
- Brady, N.C. and Weil, R.R. 1999. **The Nature and Properties of Soils**. 12th ed. Prentice Hall, Inc., New Jersey.
- Bray, R.H. and Kurtz, L.T. 1945. Determination of total, organic, and available forms of phosphorus in soils. **Soil Sci.** 59: 39-45.
- Bresson, L.M. and Boiffin, J. 1990. Morphological characterization of soil crust development stages on an experimental field. **Geoderma**. 47: 301-325.
- Breuer, J. and Schwertmann, U. 1999. Changes to hardsetting properties of soil by addition of metal hydroxides. **European Journal of Soil Science**. 50 Issue 4. P. 657-664.
- Brouwer, J. and Anderson, H. 2000. Water holding capacity of ironstone gravel in a typic Plinthoxeralf in southeast Australia. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 64: 1603-1608.
- Bryant, R.B. 1989. Physical processes of fragipan forma- Special Publications 24. **Soil Science Society America**, Madison, Wisconsin, 141–150.
- Bugbee, G.J. and Frink, C.R. 1983. Aeration of Potting Media and Plant Growth. **Soil Science**. 141 Issue 6.
- Buol, S.W., Hole, F.D. and McCracken, R.J. 2003. **Soil Genesis and Classification**. 5th ed. The Iowa State Univ. Press, Ames.
- Cahn, M.D., Bouldin, D.R., Cravo, M.S. and Bowen, W.T. 1993. Cation and nitrate leaching in an Oxisol of the Brazilian Amazon. **Agron. J.** 85: 334-340.
- Calmon, M.A., Day, R.L., Ciolkosz, E.J. and Petersen, G.W. 1998. Soil morphology as an indicator of soil hydrology on a hillslope underlain by a fragipan, pp. 129-150. *In* M.C. Rabenhorst, J.C. Bell and P. A. McDaniel, eds. Quantifying soil hydrology. **Soil Soc. Soc. Am. Spec. Publ.** No. 54.

- Calvert, C.S., Buol, S.W. and Weed, S.B. 1980. Mineralogical characteristics and transformation of a vertical rock saprolite-soil sequence in the North Carolina piedmont. **Soil Soc. Soc. Amer. Proc.** 44: 1096-1103.
- Cass, A. 1999. Interpretation of some soil physical indicators for assessing soil physical fertility. Pp. 95-102. *In* **Soil analysis: An Interpretation Manual**. 2nd edn. (Eds K.I. Peverill, L.A. Sparrow and D.J. Reuter) (CSIRO Publishing: Melbourne).
- Certini, G., Ugolini, F.C., Taina, I., Bolla, G. Corti, G. and Tescari, F. 2007. Clue to the genesis of a discontinuously distributed fragipan in the northern Apennines, Italy. **Catena** 69: 161-169.
- Chartres, C.J. and Norton, L.D. 1994. Micromorphological and chemical properties of Australian soils with hardsetting and duric horizon, pp. 825-834. *In* A.J. Ringrose-Voase and G.S. Humphreys, eds. **Soil Micromorphology**. Developments in Soil Science. Elsevier, Amsterdam.
- Chen, Y., Tarchitzky, J., Brouwer, J. Morin, J. and Banin, A 1980. Scanning electron microscope observations on soil crusts and their formation. **Soil Sci.** 130: 49-55.
- Ciolkosz, E.J. and Waltman, W.J. 2000. **Pennsylvania's Fragipans**. Agronomy Series Number 147. Penn. State Univ. Agronomy Dep., University Park, PA.
- Coelho, M.B., Mateos, L. and Villalobos, F.J. 2000. Influence of a compacted loam subsoil on growth and yield of irrigated cotton in southern Spain. **Soil Till. Res.** 57: 129-142.
- Culley, J.L.B. 1993. Density and compressibility, pp. 529-539. *In* M.R. Carter. ed. **Soil sampling and methods of analysis, Part 3**. Canadian Society of Soil Science. Lewis Publishers.
- Culman.S., Mann.M and Brown.C. 2019. **Calculating Cation Exchange Capacity, Base Saturation, and Calcium Saturatio**. Ohio Agronomy Guide. Ohio State University Extension Bulletin 472.
- Daniels, M.B. and Fritton. D.D. 1994. Groundwater mounding below a surface line source in a Typic Fragiudalf. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 58: 77-85.

- Day, D.R. 1965. Particle fraction and particle size analysis, pp. 546-566. *In* C.A. Black, ed. **Methods of Soil Analysis. Part I: Physical Method.** Agronomy No. 9. Amer. Soc. of Agron. Inc., Madison, Wisconsin.
- Duley, F.L. 1939. Surface factors affecting the rate of intake of water by soils. **Soil Sci. Soc.Am. Proc.** 3: 60-64.
- Etchevers, J.D., Claudia H.; Prat, C., Quantin,P. 2006. Tepetates of Mexico. **Encycopedia of Soil Science.** DOI: 10.1081/E-ESS-120017323.
- Falsone, G. and Bonifacio, E. 2009. Pore- Size Distribution and Particle Arrangement in Fragipan and Nonfragipan Horizons. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science.** 172, 696-703.
- Foth, G.D. and Schafer, J.W. 1980. **Soil Geography and Land Use.** John Wiley and Sons, Inc., New York.
- Franzmeier, D.P., Norton, L.D. and Steinhardt, G.C. 1989. Fragipan Formation in Loess of the Midwestern United States. *In*: Smeck, N.E. and Ciolkosz, E.J., Eds.,Fragipans : Their Occurrence , Classification, and Genesis : Soil Science Society of America, Special Publication 24, **Soil Science Society of America Journal.** Madison, 69-97.
- Franzmeier, D.P., Norton, L.D. and Steinhardt, G.C. 1996. Fragipan formation in loess of the midwestern United States, pp. 69-97. *In* N.E. Smeck and E.J. Chiolkosz, eds. Fragipans; Their Occurrence, Classification and Genesis. **Soil Sci. Soc. Am. Spec. Publ. No. 24,** Madison, Wisconsin.
- Graveel, J.G., Tyler, D.D., Jones, J.R. and McFee, W.W. 2002. Crop yield rooting as affected by fragipan depth in loess soils in the southeast USA. **Soil & Tillage Research.** 68: 153-161.
- Glocker, C. L. and Quandt, L.A. 1993. **What's up in Fragipans.** 2nd ed. Soil Surv. Qual. Assurance. USDA-SCS Natl. Soil Surv. Center, Lincoln, NE.
- Habecker, M.A., McSweeney, K. and Madison, F.W. 1990. Identification and genesis of fragipans in Ochrepts of north central Wisconsin. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 54: 139-146.

- Hallmark, C.T. and Smeck, N.E. 1979. The effect of extractable aluminum, iron, and silicon on strength and bonding of fragipans of northeastern Ohio. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 43: 145-150.
- Hamilton, C., Abreu Jr., Muraoka André, T. and Fernando Lavorante, F. 2003. Relationship between acidity and chemical properties of Brazilian soils. *Soils and Plant Nutrition. Sci. agric.* (Piracicaba, Braz) 60 (2).
- Hammer, R.D. 1997. Missouri Ozark Forest Soils: Perspectives and Realities. Proceedings of the Missouri Ozark Forest Ecosystem Project Symposium: **An Experimental Approach to Landscape Research**, St. Louis, 3-5 June 1997, 106-121.
- Handreck, K.A., and Black, N.D. 1984. **Growing media for ornamental plants and turf.** NSW University Press: Kensington, NSW.
- Harlan, P.W. and Franzmeier, D.P. 1977. Soil Formation on Loess in Southwestern Indiana: I. Loess Stratigraphy and Soil Morphology. **Soil Science Society of America Journal.** 41, 93-98.
- Hazelton, P., and Murphy, B. 2007. **Interpreting soil test results: what do all the numbers mean 2nd ed.** NSW Department of Natural Resources. CSIRO: Australia. 152 p.
- Hikmatullah, H., Subagyo and Prasetyo, B.H. 2003. Soil properties of the Eastern toposequence of Mount Kelimutu, Flores Island, East Nusa Tenggara and their potential for agriculture use. **J. Agric. Sci.** 4(1): 1-11.
- Hillel, D. 1980a. **Fundamentals of Soil Physic.** Academic Press, New York. 413p.
- Hillel, D. 1998. **Environmental Soil Physics.** Academic Press, San Diego, CA.
- Hunt, N. and Gilkes, R. 1992. **Farm Monitoring Handbook-A Practical down-to-earth Manual for Farmers and Other Land Users.** (University of Western Australia: Nedlands, W.A., and Land Management Society: Como, W.A.
- James, H.R., Ransom, M. and Miles, R. 1995. Fragipan Genesis in Polygenetic Soils on the Springfield Plateau of Missouri. **Soil Science Society of America Journal.** 59, 151-160.
- Juma, N.G. 2001. **The Pedosphere and Its Dynamics: A Systems Approach to Soil Science.** Salman Productions Inc., Edmonton, Alberta, Canada.

- Karathanasis, A.D. 1989. Solution chemistry of fragipan-thermodynamic approach to understanding fragipan formation, pp. 113-139. *In* N.E. Smeck and E.J. Ciolkosz, eds. **Fragipans: Their Occurrence, Classification and Genesis**. SSSA Spec. Publ. 24. SSSA, Madison, WI.
- Kilmer, V.J. and Alexander, L.T. 1949. Method of making mechanical analysis of soils. **Soil Sci.** 68: 15-24.
- Iigima, M., Higuchi, T., Barlow, P.W. and Bengough, A.G. 2003. Root cap removal increases root penetration resistance in maize (*Zea mays* L.). **J. Exp. Bot.** 54 (390). 2105-2109.
- Lindbo, D.L. and Veneman, P.L.M. 1989. Fragipans in the Northeastern United States. *In*: Smeck, N.E. and Ciolkosz, E.J., Eds., **Fragipans : Their Occurrence , Classification, and Genesis**, Soil Sci. Soc. Am. Special Publication 24, **Soil Science Society America**. Madison, 11-31.
- Lindbo, D.L. 1990. **Characterization of Selected Tills in Massachusetts**. M.S. Thesis. Univ. of Massachusetts, Amherst.
- Lindbo, D.L. and Veneman, P.L.M. 1993. Morphological and physical properties of selected soils in Massachusetts. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 57: 429-436.
- Lindbo, D.L., F.E. Rhoton., J.M. Bigham., W.H. Hundnall., F.S. Jones., N.E. Smeck and D.D. Tyler. 1994. Bulk Density and Fragipan Identification in Loess Soils of the Lower Mississippi River Valley. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 58: 884-891.
- Lindbo, D.L., Rhoton, F.E., Bigham, J.M., Hudnall, W.H., Jones, F.S., Smeck, N.E. and Tyler, D.D. 1995. Loess Toposequences in the Lower Mississippi River Valley:I. Fragipan Morphology and Identification. **Soil Science Society of America Journal**. 59, 487-500.
- Marshall, T.J. and Holmes, J.W. 1979. **Soil Physics**. Camcridge University Press, London.
- McCarty, L.B., Hubbard, L.R. and Quisenberry, Jr.V. 2016. **Applied soil physical properties, drainage, and irrigation strategies**. Springer International Publishing Switzerland. DOI 10.1007/978-3-319-24226-2.

- McCormack, D.E. and Wilding, L.P. 1979. Soil properties influencing strength of Canfield and Geeburg soils. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 43: 167-173.
- McDaniel, P.A., Regan, M.P., Brooks, E., Boll, J., Barndt, S., Falen, A., Young, S.K. and Hammel, J.E. 2008. Linking fragipans, perched water tables, and catchment-scale hydrological processes. **Catena**. 73: 166-173.
- McNabb, D.H., Startsev, A.D., and Nguyen, H. 2001. Soil wetness and traffic level effects on bulk density and air-filled porosity of compacted boreal forest soils. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 65: 1238-1247.
- Mehuys, G.R. and C.R. De Kimpe. 1976. Saturated hydraulic conductivity in pedogenetic characterization of Podzols with fragipans in Quebec. **Geoderma** 15: 371-380.
- Mengel, K. and Kirkby, E.A. 1987. **Principles of Plant Nutrition**. 4th eds. International Potash Institute Bern, Switzerland.
- Miller, M.B., Cooper, T.H. and Rust, R.H. 1993. Differentiation of an eluvial fragipan from dense glacial till in northern Minnesota. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 57: 787-796.
- Mullins, C.E. 1989. Hardsetting, pp. 109-128. *In* R. Lal, W.H. Blum, C. Valentine and B.A. Stewart, eds. **Methods for Assessment of Soil Degradation**. Adv. Soil Sci. CRC Press, New York.
- Murdock, M., Karathanasis, A.D. Matocha, C. Grove, J. and Call, D. 2020. **Plant and Soil Sciences. Remediation of the Fragipan Using Annual Ryegrass**. University of Kentucky College of Agriculture, Food and Environment.
- National Soil Survey Center. 1995. **Soil Survey Laboratory Information Manual**. United States Dept. of Agriculture, Natl. Soil Surv. Cent, Soil Surv. Lab., Soil Survey Investigation Reports No 45, Version 3.0.
- Nettleton, W.D., Brasher, B.R., Baumer, O.W. and Darmody, R.G. 1994. Silt flow in soils. pp. 361-375. *In* A.J. Ringrose-voase and G.S. Humphreys, eds. **Soil Micromorphology: Studies in Management and Genesis**. Proc. IX Int. Working Meeting on Soil Micromorphology, July 1992. Townsville, Australia. Elsevier Publ., New York.

- Nelson, D.W. and Sommers, L.E. 1996. Total carbon, and organic matter, pp. 961-1010. *In* D.L. Sparks, A.L. Page, P.A. Helmke and R.H. Loeppert, eds. **Methods of Soil Analysis. Part III. Chemical Method**. Amer. Soc. Agron. Inc., Madison, Wisconsin, USA.
- Neyde, F., Giarola, B., Silva, A.P., Imhoff, S. and Dexter, A.R. 2002. Contribution of natural soil compaction on hardsetting behavior. **Geoderma**. 114: 1-14.
- Nikorych, S. V., Polchyna, W., and Skiba, S.M. 2014. Genesis and Evolution of the Fragipan in Albeluvisols in the Precarpathians in Ukraine. **Catena**. 119, 154-165.
- Norfleet, M.L. and Karathanasis, A.D. 1996. Some physical and chemical factors contributing to fragipan strength in Kentucky soils. **Geoderma**. 71: 289-301.
- Northey, R.D. and Schafer, G.J. 1974. Lime stabilization of New Zealand soils. 1. Method and preliminary results for an allophonic soils. **N.Z. J. Sci.** 17: 131-150.
- Norton, L.D., Hall, G.F., Smeck, N.E. and Bigham, J.M. 1984. Fragipan bonding in a late-Wisconsinan loess-derived soil, East-central Ohio. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 48: 1360-1366.
- O'Neal, A.M. 1952. A key for evaluating soil permeability by means of certain field clues. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.** 16: 312-315.
- Passioura, J.B. 1991. Soil structure and plant growth. **Australian Journal of Soil Research** 29: 717-728.
- Phunmuang, C. 2011. **Pedogenesis and Characteristics of Fragipan in Soil on Footslope of a Sandstone Mountain**. Graduate School, Kasetsart University, Thailand.
- Pickering, E.W. and Veneman, P.L.M. 1984. Strength characteristic of three indurated horizons in Massachusetts. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 48: 133-137.
- Prudat, F.B., Bloemertz, W., Krenz.J.L and Kuhn.N.J 2022. The potential of fragipans in sustaining pearl millet during drought periods in north-central Namibia. **Geogr. Helv.** 77, 39-51.
- Radcliff, D.E., West, L.T., Hubbard, R.K. and Asmussen, L.E. 1991. Surface sealing in coastal plains loamy sands. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 53: 223-227.

- Reynolds, W.D. 1993. Hydraulic conductivity: laboratory measurement, pp. 589-598. *In* M.R. Carter, ed. **Soil Sampling and Methods of Analysis, Part 3**. Canadian Society of Soil Science. Lewis Publishers.
- Rhoton, F. E. and Tyler, D.D. 1990. Erosion-induced changes in the properties of a fragipan soil. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 54: 223-228.
- Rhoton, F.E., Meyer, L.D and Tyler, D.D. 1990. Effects of past erosion on the interrill erodibility of a fragipan soil. **Journal of Soil and Water Conservation November 1990**. 45 (6) 660-663.
- Rhoton, F.E., Edwards, J.H. and Norton, L.D. 2001. Physical and Chemical Properties of Fragipan Horizon Materials Amended with Fluidized Bed Combustion Ash. **J. Soil Sci.** 166(7): 465-474.
- Sanchez, P.A. 1976. **Properties and Management of Soils in the Tropics**. John Wiley and Sons, New-York.
- Sandoval, O.A.A. and Román, D.F. 2000. Genesis of white fragipans of volcanic origin. **Revista Mexicana de Ciencias Geológicas**, volumen 17, número 2, 2000, p. 152- 162.
- Seelig, B.D. 2000. **Salinity and Sodicty in North Dakota soil**. NdSU Extension Service. Available Source: [http://www. ext. nodak.edu/extpubs/plantsci/ soilfert/eb57-1. Htm](http://www.ext.nodak.edu/extpubs/plantsci/soilfert/eb57-1.Htm), May 1, 2003.
- Selim, H.M., Davidoff, B., Fluhler, H. and Schulin, R. 1987. Variability of in situ measured mechanical impedance for fragipan soil. **J. Soil Sci.** 144: 442-452.
- Singer, M.J. 1987. **Soil: An Introduction**. Macmillan Publishing Company, a Division of Macmillan, Inc., New York.
- Smalley, I.J. and Marković, S.B. 2014. Loessification and Hydroconsolidation: There Is a Connection. **Catena**. 117, 94-99.
- Smalley, I.J., Bentley, S.P. and Markovic, S.B. 2016. Loess and Fragipans: Development of Polygonal- Crack- Network Structures in Fragipan Horizons in Loess Ground. **Quaternary International**. 399, 228-233.

- Smeck, N.E., Thompson, M.L., Norton, L.D. and Shipitalo. 1989. Weathering Discontinuities: A Key to Fragipan Formation. In: Smeck, N.E. and Ciolkosz, E.J., Eds., *Fragipans : Their Occurrence, Classification, and Genesis*, Soil Science Society of America Special Publication 24, **Soil Science Society America**. Madison, 99-112.
- Soil Survey Division Staff. 1993. **Soil Survey Manual**. United States Dep. of Agriculture, Washington, DC.
- Soil Survey Staff. 1999. **Soil Taxonomy: A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys**. 2nd ed. Natural Resource Conservation Service, United States Department of Agriculture, Agricultural Handbook No. 436. U.S. Govt. Printing Office, Washington, D.C.
- Soil Survey Staff. 2006. **Soil Taxonomy: A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys**. 10th ed. Natural Resource Conservation Service. United States Department of Agriculture, Agricultural Handbook No. 436. U.S. Govt. Printing Office, Washington, D.C.
- Soil Survey Staff. 2014. **Keys to Soil Taxonomy**. 12th Edition, USDA- Natural Resources Conservation Service, Washington DC.
- Sonon, L.S., Kissel, D.E. and Saha, U. 2017. **Cation Exchange Capacity and Base Saturation**. University of Georgia. Cooperative Extension Circular 1040.
- Sparks, D.L. 2003. **Environmental Soil Chemistry**. 2nd ed. Academic Press, Amsterdam.
- Stirzaker, R.J., Passioura, J.B., Sutton, B.G. and Collis-George, N. 1993. **J. Agric. Res.** 44(4): 831-844.
- Szymański, W. and Skiba, S. 2011. Micromorphological Properties of the Fragipan Horizon in Albeluvisols of the Carpathian Foothills. **Polish Journal of Soil Science**. 44, 193-200.
- Taylor, H.M. and Gardner, H.R. 1963. Penetration of cotton seedling taproots as influenced by bulk density, moisture content and strength of the soil. **Soil Sci.** 99: 153-156.
- Taylor, H.M. and Ratliff, L.F. 1969. Root Elongation Rates of cotton and peanuts as a Function of Soil Strength and Soil Water content. **Soil Sci.** 108(2): 113-119.

- Thomas, G.W. 1987a. Exchangeable cations, pp. 159-161. *In* C.A. Black, ed. **Methods of Soil Analysis. Part II. Chemical and Microbiological Properties**. Amer. Soc. Agron. Inc., Madison, Wisconsin, USA.
- Thomas, G.W. 1987b. Exchangeable acidity, pp. 161-163. *In* C.A. Black, ed. **Methods of Soil Analysis. Part II. Chemical and Microbiological Properties**. Amer. Soc. Agron. Inc., Madison, Wisconsin, USA.
- Thompson, L.M. and Troeh, F.R. 1978. **Soil and Soil Fertility**. 4th ed. McGraw-Hill Inc., New York.
- van Breemen, N. and Buurman, P. 2003. **Soil Formation**. 2nd ed. Kluwer Academic Publishers, The Netherlands.
- Voorhees, W.B. 1992. Wheel-induced soil physical limitation to root growth, pp. 73-95. *In* J.L. Hatfield and B. Stewart, eds. **Advances in Soil Science** Vol. 19. Springer-Verlag, New York.
- Wang, C., Nowland, J.L. and Kodama, H. 1974. Properties of two fragipan soils in Nova Scotia including scanning electron micrographs. **Can. J. Soil Sci.** 54: 159-170.
- Ward, P.A. and Carter, B.J. 2004. Dispersion of saline and non-saline nitric Mollisols and Alfisols. **Soil Sci.** 169: 554-566.
- Weisenborn, B.N. and Schaetzl, R.J. 2005. Range of fragipan expression in some Michigan soils. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 69: 178-187.
- Wells, N. and Northey, R.D. 1985. Strengths of a densipan, humus-pan and clay-pan in a Spodosols developed under Kauri (*Agathis Australis*) and the implications for soil classification. **Geoderma**. 35: 1-13.
- West, L.T., Bradford, J.M. and Norton, L.D. 1990. Crust morphology and infiltrability insurance soils from the southeast and midwest USA, pp. 107-113. *In* L.A. Douglas, ed. **Soil Micromorphology: A Basic and Applied Science**. Proc. VIII Int. Working Meeting on Soil Micromorphology, San Antonio, Texas, July 1988. Developments in Soil Science 19, Elsevier, Amsterdam.
- Young, A. 1976. **Tropical Soils and Soil Survey**. Cambridge Univ. Press, Cambridge.

ภาคผนวก

ตารางผนวกที่ 1 ปฏิกริยาของดิน (soil reaction), pH (ดิน : น้ำ = 1:1)

Rating	Range
Ultra acid	<3.5
Extremely acid	3.5-4.4
Very strongly acid	4.5-5.0
Strongly acid	5.1-5.5
Moderately acid	5.6-6.0
Slightly acid	6.1-6.5
Neutral	6.6-7.3
Slightly alkaline	7.4-7.8
Moderately alkaline	7.9-8.4
Strongly alkaline	8.5-9.0
Very strongy alkaline	>9.0

ตารางผนวกที่ 2 อีพริยวัตถุ (Organic matter content) (%organic carbon x 1.724).

Rating	Range (g kg ⁻¹)
Very low	<5
Low	5-10
Moderately low	10-15
Medium	15-25
Moderately high	25-35
High	35-45
Very high	>45

ตารางผนวกที่ 3 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available P) (Bray II)

Rating	Range (mg kg ⁻¹)
Very low	<3
Low	3-6
Moderately low	6-10
Medium	10-15
Moderately high	15-25
High	25-45
Very high	>45

ตารางผนวกที่ 4 ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (available K) (NH₄OAc)

Rating	Range (mg kg ⁻¹)
Very low	<30
Low	30-60
Medium	60-90
High	90-120
Very high	>120

ตารางผนวกที่ 5 ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (CEC)

Rating	Range (cmol kg ⁻¹)
Very low	<3
Low	3-5
Moderately low	5-10
Medium	10-15
Moderately high	15-20
High	20-30
Very high	>30

ตารางผนวกที่ 6 ระดับปริมาณสภาพกรดที่สกัดได้ (EA)

Rating	Range (cmol kg ⁻¹)
Very low	<1.0
Low	1.0-2.0
Medium	2.0-5.0
Moderately high	5.0-10.0
High	10.0-20.0
Very high	>20.0

ตารางผนวกที่ 7 ปริมาณเบสรวมที่สกัดได้ (extractable bases) (NH₄OAc) (cmol_c kg⁻¹)

Cation	Very low	Low	Moderate	High	Very high
Na	0-0.1	0.1-0.3	0.3-0.7	0.7-2.0	>2
K	0-0.2	0.2-0.3	0.3-0.7	0.7-2.0	>2
Ca	0-2	2-5	5-10	10-20	>20
Mg	0-0.3	0.3-1.0	1-3	3-8	>8

ตารางผนวกที่ 8 สเกลทั่วไปของค่าความหนาแน่นรวมของดิน

Bulk Density (g cm ⁻³)	Rating
< 1.0	Very low
1.0-1.3	Low
1.3-1.6	Moderate
1.6-1.9	High
> 1.9	Very high

ที่มา: Hazelton and Murphy (2007)

ตารางผนวกที่ 9 อิทธิพลของค่าความหนาแน่นรวมต่อสภาพของดิน

Bulk Density (g cm ⁻³)	Sandy Soils	Loams	Clay Soils
< 1.0	-	Satisfactory	Satisfactory
1.0-1.2	-	Satisfactory	Satisfactory
1.2-1.4	Very open	Satisfactory	Some too compact
1.4-1.6	Satisfactory	Some too compact	Very compact
1.6-1.8	Mostly too compact	Very compact	Highly compact
> 1.8	Very compact	Extremely compact	Excessively compact

ที่มา: Handreck and Black (1984); Hunt and Gilkes (1992)

ตารางผนวกที่ 10 ชั้นสภาพน้ำขณะอิ่มตัวด้วยน้ำของดิน

Class	Hydraulic Conductivity (cm hr ⁻¹)
Very slow	< 0.125
Slow	0.125-0.5
Moderately slow	0.5-2.0
Moderate	2.0-6.25
Moderately rapid	6.25-12.5
Rapid	12.5-25.0
Very rapid	> 25.0

ที่มา: สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน (2548); O'Neal (1952)

ตารางผนวกที่ 11 การจำแนกกลุ่มขนาดอนุภาคดิน (Soil Separate) เส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 2 mm

ขนาดอนุภาค	เส้นผ่านศูนย์กลาง ^{1/} (mm)	เส้นผ่านศูนย์กลาง ^{2/} (mm)
ทราย (Sand, S)	0.05 – 2.00	0.02 – 2.00
ทรายหยาบมาก (Very Coarse Sand, VCS)	1.00 – 2.00	-
ทรายหยาบ (Coarse Sand, CS)	0.50 – 1.00	0.20 – 2.00
ทรายปานกลาง (Medium Sand, MS)	0.25 – 0.50	-
ทรายละเอียด (Fine Sand, FS)	0.10 – 0.25	0.02 – 0.20
ทรายละเอียดมาก (Very Fine Sand, VFS)	0.05 – 0.10	-
ทรายแป้ง (Silt, Si)		
ดินเหนียว (Clay, C)		

ที่มา: สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน (2548)

^{1/}แบ่งตามระบบของ United States Department of Agriculture System

^{2/}แบ่งตามระบบ International Society of Soil Science System

ตารางผนวกที่ 12 Rating of result for determining water stable aggregates using wet sieving

1-2 mm stable aggregates (%)	Rating
<10	Very low
10-20	low
20-30	moderate
>30	high

ที่มา: สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน (2548)

ตารางผนวกที่ 13 Penetration resistance and Effect on root growth.

Penetration resistance (MPa)	Degree of soil consolidation	Effect on root growth
<0.50	Loose	Not affected
0.50-1.25	Medium	Root growth of some cereal plants may be restricted
1.25-2.00	Dense	Cereal root growth badly restricted
2.00-3.00	Very dense	Very few plant roots penetrate
>3.00	Extreamly dense	Root growth virtually ceases

Adapted from Marshall and Holmes (1979); Ball and Sullivan (1982); Passioura (1991); Hunt and Gilkes (1992) and Cass (1999).

ตารางผนวกที่ 14 สมบัติทางกายภาพของดินในพื้นที่ศึกษาจังหวัดลพบุรี

Code	Horizon	Depth	Particle size distribution (.....g kg ⁻¹)			B.D ^{1/}	TP ^{2/}	K _{sat} ^{3/}	AWC ^{4/}	SS ^{5/}	Texture
		cm	sand	silt	clay	g cm ⁻³	%	cm hr ⁻¹	%by vol.	MPa	
LB-1	Ap1	0-25	6.6	71.4	22	1.38	47.92	7.59	7.45	0.28	SiL
	Ap2	25-35	40.4	39.2	20.4	1.51	43.02	2.27	7.12	0.54	L
	Btx1	35-58	40.7	34.3	25	1.64	38.11	0.57	8.66	0.67	L
	Btx2	58-75	44.8	24.1	31.1	1.85	30.19	0.05	7.79	1.91	CL
	Btx3	75-100	57.4	20.7	21.9	1.81	31.7	0.08	7.05	2.02	SCL
	Btx4	100-135	60.8	19	20.2	1.84	30.57	0.005	7.23	2.1	SCL
	Btx5	135-150	66.3	15.9	17.8	1.82	31.32	0.03	6.94	1.97	SL
LB-2	A1	0-20	35.8	41.3	22.9	1.73	34.72	0.34	4.36	0.25	L
	A2	20-32	23.9	44.9	31.2	1.46	44.91	3.16	8.27	0.38	CL
	Bt	32-55	12.4	46.8	40.8	1.63	38.49	0.03	10.62	0.65	SiCL
	Btx1	55-83	11.9	49.1	39	1.68	36.6	0.03	10.27	1.12	SiCL
	Btx2	83-112	10.2	52.1	37.7	1.68	36.6	0.03	12.71	1.45	SiCL
	Btx3	112-141	10.7	53.6	35.7	1.57	40.75	0.08	12.16	1.56	SiCL
	Btx4	141-172	11.5	52.8	35.7	1.6	39.62	0.03	12.08	1.78	SiCL
	Btx5	172-200	11.8	50.6	37.6	1.59	40	0.07	13.34	1.81	SiCL

ตารางผนวกที่ 14 (ต่อ)

Code	Horizon	Depth	Particle size distribution (.....g kg ⁻¹)			B.D ^{1/}	TP ^{2/}	K _{sat} ^{3/}	AWC ^{4/}	SS ^{5/}	Texture
		cm	sand	silt	clay	g cm ⁻³	%	cm hr ⁻¹	%by vol.	MPa	
LB-3	A1	0-20	12.1	53.5	34.4	1.47	44.53	0.16	21.76	0.27	SiCL
	A2	20-35	10.9	54.1	35	1.6	39.62	0.03	12.66	0.33	SiCL
	Bt	35-63	9.1	55.7	35.2	1.53	42.26	0.26	16.92	0.31	SiCL
	Btx1	63-85	5.6	57.8	36.6	1.63	44.53	0.03	17.5	0.95	SiCL
	Btx2	85-105	5.1	58.5	36.4	1.68	44.53	0.007	17.91	0.99	SiCL
	Btx3	105-140	4.8	58.9	36.3	1.63	38.49	0.007	19.7	1.23	SiCL
	Btx4	140-170	6	58.1	35.9	1.66	37.36	0.007	20.13	1.67	SiCL
	Btx5	170-200	6.5	59.7	33.8	1.59	40	0.31	21.24	1.72	SiCL
LB-4	A1	0-18	61.8	20.2	18	1.67	36.98	4.77	9.87	0.18	SL
	A2	18-32	43.5	21.4	35.1	1.53	42.26	12.8	12.41	0.21	CL
	Btx1	32-68	38.3	21.5	40.2	1.71	35.47	0.43	14.07	0.77	C
	Btx2	68-88	40.9	26.1	33	1.92	27.55	0.03	9.66	0.85	CL
	Btx3	88-103	37.3	28.1	34.6	1.75	33.96	0.16	10.92	1.23	CL
	Btx4	103-115	33.8	29.5	36.4	1.87	29.43	0.007	11.84	1.67	CL

ตารางผนวกที่ 14 (ต่อ)

Code	Horizon	Depth	Particle size distribution (.....g kg ⁻¹)			B.D ^{1/}	TP ^{2/}	K _{sat} ^{3/}	AWC ^{4/}	SS ^{5/}	Texture
		cm	sand	silt	clay	g cm ⁻³	%	cm hr ⁻¹	%by vol.	MPa	
LB-4	Btx5	115-130	37.2	29	33.8	1.65	37.74	0.07	8.62	2.11	CL
LB-5	A1	0-15	70.6	23.8	5.6	1.56	41.13	6.05	9.01	0.2	SL
	A2	15-30	73.8	20.2	6	1.52	42.64	5.07	5.9	0.19	SL
	Bt1	30-56	73.8	19.7	6.5	1.33	49.81	20.87	2.56	0.14	SL
	Bt2	56-70	74.2	19.8	6	1.39	47.55	7.01	2.45	0.11	SL
	Bt3	70-90	76.3	20.2	3.5	1.44	45.66	3.96	1.78	0.12	LS
	Btx1	90-115	70.3	22.2	7.5	1.56	41.13	0.06	3.86	0.76	SL
	Btx2	115-136	62.8	23.1	14.1	1.65	37.74	0.05	6.55	0.87	SL
	Btx3	136-170	57.7	25.7	16.6	1.53	42.26	0.89	8.35	1.21	SL
	Btx4	170-200	52.9	28.5	18.6	1.54	41.89	0.7	9.59	2.11	SL
LB-6	A1	0-15	59.7	31.3	9	1.6	39.62	3.2	4.55	0.2	SL
	A2	15-30	60.3	29.7	10	1.65	37.74	2.44	6.8	0.24	SL
	Bv1	30-55	60.7	27.8	11.5	1.58	40.38	2.76	7.86	0.45	SL
	Bv2	55-76	57.3	27.6	15.1	1.54	41.89	2.15	7.28	0.44	SL
	Btx1	76-105	54.5	29	16.5	1.6	39.62	1.32	7.56	0.87	SL

ตารางผนวกที่ 14 (ต่อ)

Code	Horizon	Depth	Particle size distribution (.....g kg ⁻¹)			B.D ^{1/}	TP ^{2/}	K _{sat} ^{3/}	AWC ^{4/}	SS ^{5/}	Texture
		cm	sand	silt	clay	g cm ⁻³	%	cm hr ⁻¹	%by vol.	MPa	
LB-6	Btx2	105-120	52.1	26.8	21.1	1.69	36.23	0.13	8.86	0.79	SCL
	Btx3	120-140	42.7	33	24.3	1.73	34.72	0.03	11.45	1.45	L
	Btx4	140-168	40.5	32.6	26.9	1.77	33.21	0.03	12.01	1.87	L
LB-7	A1	0-15	59.8	25.3	14.9	1.62	38.87	2.29	5.26	0.19	SL
	A2	15-32	59.6	22.4	18.0	1.52	42.64	2.32	6.95	0.14	SL
	Btv	32-62	57.7	26	16.3	1.51	43.02	3.00	7.1	0.16	SL
	Btx1	62-80	54.4	24.5	21.1	1.79	32.45	0.03	7.5	1.77	SCL
	Btx2	80-105	54.7	23.9	21.4	1.77	33.21	0.03	8	1.79	SCL
	Btx3	105-135	53	37.1	19.9	1.69	36.23	0.03	9.1	1.81	SL
	Btx4	135-160	53.7	24.4	21.9	1.63	38.49	0.03	10.25	1.97	SCL
	Btx5	160-180	60.3	19.2	20.5	1.71	35.47	0.03	11.89	2.11	SCL
LB-8	A	0-25	74.9	14.5	10.6	1.59	40	7.37	6.2	0.33	SL
	Bt1	25-50	78.4	12.5	9.1	1.55	41.51	6.57	7.2	0.41	SL
	Bt2	50-75	72	17.4	10.6	1.59	40	5.43	7.3	0.42	SL
	Btx1	75-100	55.5	19.4	25.1	1.67	36.98	1.18	7.89	1.87	SCL

ตารางผนวกที่ 14 (ต่อ)

Code	Horizon	Depth	Particle size distribution (.....g kg ⁻¹)			B.D ^{1/}	TP ^{2/}	K _{sat} ^{3/}	AWC ^{4/}	SS ^{5/}	Texture
		cm	sand	silt	clay	g cm ⁻³	%	cm hr ⁻¹	%by vol.	MPa	
LB-8	Btx2	100-128	50.2	18.6	31.2	1.9	28.3	0.03	9.5	1.98	SCL
	Btx3	128-160	49.8	22.8	27.4	1.9	28.3	0.03	10.25	2.35	SCL

หมายเหตุ ^{1/}bulk density (BD), ^{2/} total porosity (TP), ^{3/}saturated hydraulic conductivity (K_{sat}), ^{4/}available water capacity (AWC); ^{5/} soil strength (SS)

ตารางผนวกที่ 15 สมบัติทางกายภาพของดินในพื้นที่ศึกษาจังหวัดสระบุรี

Code	Horizon	Depth	Particle size distribution (.....g kg ⁻¹)			B.D ^{1/}	TP ^{2/}	K _{sat} ^{3/}	AWC ^{4/}	SS ^{5/}	Texture
		cm	sand	silt	clay	g cm ⁻³	%	cm hr ⁻¹	%by vol.	MPa	
SB-1	A1	0-10	46.6	22.6	30.8	1.42	47.92	7.22	10.65	0.31	sgSCL
	A2	10-20	51.3	22.2	26.5	1.5	43.02	8.21	8.34	0.28	sgSCL
	Btx1	20-42	55.9	20.5	23.6	1.62	38.11	1.44	8.96	0.78	gSCL
	Btx2	42-60	53.5	21.0	25.5	1.65	30.19	2.06	8.67	0.88	gSCL
	Btx3	60-81	32.0	25.0	43.1	1.71	31.7	1.52	13.69	0.85	gSC
	Btc	81-120	48.6	10.9	40.5	1.64	30.57	3.21	18.54	0.56	gSC
SB-2	A1	0-12	55	2.1	42.9	1.44	45.66	12.12	14.28	0.45	gSC
	A2	12-30	49.1	2.1	48.8	1.46	44.53	15.2	19.06	0.42	gSC
	Btx1	30-55	58.1	1.4	40.5	1.63	38.49	10.23	14.94	0.77	gSC
	Btx2	55-80	60.2	0.9	38.9	1.68	44.53	5.26	20.38	0.91	gSC
	Btx3	80-122	52.7	21.3	26.0	1.68	44.53	2.32	19.01	0.89	gSCL
	Btc	122-145	47.6	26.4	26.0	1.57	40.75	4.21	15.26	0.88	gSCL
SB-3	A1	0-15	62.9	16.6	20.5	1.44	45.5	7.53	9.69	0.34	sgSCL
	A2	15-33	48.6	0.7	50.7	1.42	44.34	5.11	8.17	0.41	gSC
	Btx1	33-72	58.3	15.0	26.7	1.61	39.57	2.4	8.08	0.75	gSCL

ตารางผนวกที่ 15 (ต่อ)

Code	Horizon	Depth	Particle size distribution (.....g kg ⁻¹)			B.D ^{1/}	TP ^{2/}	K _{sat} ^{3/}	AWC ^{4/}	SS ^{5/}	Texture
		cm	sand	silt	clay	g cm ⁻³	%	cm hr ⁻¹	%by vol.	MPa	
SB-3	Btx2	72-96	60.7	18.4	20.9	1.78	32.45	3.6	10.83	1.56	gSCL
	Btx3	96-115	49.8	8.7	41.5	1.74	33.96	3.89	11.67	1.78	gSC
	Btx4	115-135	46.1	37.4	16.3	1.69	36.23	2.98	15.16	1.67	gSC
	Btc	135-170	43.3	43.6	13	1.59	40.38	5.74	15.24	1.86	gSC
SB-4	A1	0-13	53.0	19.1	27.9	1.59	40.35	10.28	9.57	0.35	sgSCL
	A2	13-32	60.3	15.8	23.9	1.42	44.3	19.39	10.6	0.41	sgSCL
	Btx1	32-48	56.3	17.1	26.6	1.68	44.53	1.07	11.16	0.7	sgSCL
	Btx2	48-79	59.4	18.1	22.5	1.63	38.87	2.71	13.41	0.76	gSCL
	Btx3	79-95	57.8	19.3	22.9	1.74	34.72	1.81	13.41	0.88	gSCL
	Btx4	95-130	60.2	0.9	38.9	1.69	36.6	1.56	17.46	1.45	gSC
	Btc	130-150	63.0	16.8	20.2	1.61	39.62	5.23	13.8	1.78	vgSCL
SB-5	A1	0-20	56.7	23.0	20.3	1.44	46.04	19.39	10.6	0.44	sgSCL
	A2	20-30	55.2	24.6	20.2	1.45	46.04	1.07	11.16	0.41	sgSCL
	Btx1	30-46	45.4	15.8	38.8	1.66	36.98	2.71	13.41	0.87	sgSC
	Btx2	46-68	58.1	1.4	40.5	1.71	35.47	1.81	13.41	0.91	gSC

ตารางผนวกที่ 15 (ต่อ)

Code	Horizon	Depth	Particle size distribution (.....g kg ⁻¹)			B.D ^{1/}	TP ^{2/}	K _{sat} ^{3/}	AWC ^{4/}	SS ^{5/}	Texture
		cm	sand	silt	clay	g cm ⁻³	%	cm hr ⁻¹	%by vol.	MPa	
SB-5	Btx3	68-88	60.2	0.9	38.9	1.74	34.72	1.56	17.46	1.12	gSC
	Btc	88-115	48.6	10.9	40.5	1.59	40.00	5.23	13.8	1.88	vgSC
SB-6	A1	0-10	39.8	32.3	27.9	1.47	44.53	12.23	6.62	0.23	CL
	Btx1	10-22	32.5	32.8	34.7	1.35	47.17	18.56	12.17	0.67	CL
	Btx2	22-41	54.7	20.7	24.6	1.65	36.98	0.93	13.03	0.87	SCL
	Btx3	41-68	52.6	23.4	24.0	1.59	40.00	1.11	16.36	0.91	SCL
	Btx4	68-86	60.2	0.9	38.9	1.71	35.85	0.89	17.64	0.95	SC
	Btx5	86-115	48.6	10.9	40.5	1.69	36.23	0.12	13.03	1.04	SC
SB-7	A1	0-10	42.0	26.9	31.1	1.41	46.04	1026	3.33	0.36	CL
	Btx1	10-28	53.0	21.0	26.0	1.42	46.04	11.59	8.25	0.59	SCL
	Btx2	28-46	48.8	26.0	25.2	1.61	40.00	1.15	11.71	0.77	gSCL
	Btx3	46-66	49.1	2.1	48.8	1.61	40.00	1.15	11.71	0.84	gSC
	Btx4	66-82	48.6	10.9	40.5	1.59	41.66	0.03	10.41	1.21	gSC
	Btx5	82-130	60.2	0.9	38.9	1.6	40.05	0.03	9.16	1.67	gSC

ตารางผนวกที่ 15 (ต่อ)

Code	Horizon	Depth	Particle size distribution (.....g kg ⁻¹)			B.D ^{1/}	TP ^{2/}	K _{sat} ^{3/}	AWC ^{4/}	SS ^{5/}	Texture
		cm	sand	silt	clay	g cm ⁻³	%	cm hr ⁻¹	%by vol.	MPa	
SB-8	A1	0-10	35.6	35.8	28.6	1.49	43.77	5.39	5.91	0.28	CL
	Btx1	10-28	50.1	25.7	24.2	1.53	42.26	0.26	6.68	0.66	sgSCL
	Btx2	28-35	55	2.1	42.9	1.55	41.51	0.5	5.74	0.89	gSC
	Btx3	35-70	49.1	2.1	48.8	1.66	36.98	0.03	8.85	0.89	gSC
	Btx4	70-90	58.1	1.4	40.5	1.69	36.60	0.03	9.29	0.92	gSC
	Btx5	90-112	48.6	10.9	40.5	1.71	35.47	0.15	7.59	1.22	gSC
	Btx6	112-140	49.9	16.0	34.1	1.58	40.38	0.06	9.66	1.67	gSCL

หมายเหตุ ^{1/}bulk density (BD), ^{2/} total porosity (TP), ^{3/}saturated hydraulic conductivity (K_{sat}), ^{4/}available water capacity (AWC); ^{5/} soil strength (SS)

ตารางผนวกที่ 16 สมบัติทางกายภาพของดินในพื้นที่ศึกษาจังหวัดนครสวรรค์

Code	Horizon	Depth	Particle size distribution (.....g kg ⁻¹)			B.D ^{1/}	TP ^{2/}	K _{sat} ^{3/}	AWC ^{4/}	SS ^{5/}	Texture
		cm	sand	silt	clay	g cm ⁻³	%	cm hr ⁻¹	%by vol.	MPa	
NS-1	A1	0-10	45	21.4	33.6	1.36	47.92	7.83	12.65	0.12	SCL
	A2	10-30	46.1	37.4	16.3	1.42	45.66	1.35	9.34	0.2	gSC
	Btx1	30-55	43.3	43.6	13	1.7	35.47	0.03	9.96	1.65	gSC
	Btx2	55-90	49.1	42.2	8.5	1.63	38.49	0.03	12.67	1.71	gSC
	Btx3	90-132	48.5	44.7	6.7	1.59	40	1.2	13.69	1.77	gSC
	Btx4	132-170	32.0	25.0	43.1	1.53	41.51	1.11	17.56	1.68	gSC
	Btc	170-200	48.6	10.9	40.5	1.4	44.91	5.21	18.54	1.59	gSC
NS-2	A1	0-10	23.7	39.1	37.2	1.35	47.88	3.02	15.28	1.35	CL
	A2	10-29	67.6	9.8	22.6	1.35	47.91	1.2	15.06	1.35	gSCL
	Btx1	29-51	63.7	15.9	20.2	1.55	41.13	0.03	14.98	1.55	gSCL
	Btx2	51-82	63.6	12.8	23.6	1.52	42.26	0.03	20.12	1.52	gSCL
	Btx3	82-113	48.6	10.9	40.5	1.65	37.74	0.14	19.01	1.65	gSC
	Btx4	113-150	58.1	1.4	40.5	1.68	36.23	0.03	12.63	1.68	gSC
	Btx5	150-181	55	2.1	42.9	1.59	40.38	0.03	15.32	1.59	gSC

ตารางผนวกที่ 16 (ต่อ)

Code	Horizon	Depth	Particle size distribution (.....g kg ⁻¹)			B.D ^{1/}	TP ^{2/}	K _{sat} ^{3/}	AWC ^{4/}	SS ^{5/}	Texture
		cm	sand	silt	clay	g cm ⁻³	%	cm hr ⁻¹	%by vol.	MPa	
NS-2	Btc	181-200	60.2	0.9	38.9	1.56	41.51	0.03	15.26	1.56	gSC
NS-3	A1	0-10	42.9	32.5	18.3	1.27	51.23	2.69	12.69	0.09	L
	A2	10-21	42.4	22.9	34.7	1.32	49.81	6.49	8.17	0.12	CL
	Btx1	21-32	67.6	9.8	22.6	1.57	40.75	0.23	8.08	0.86	gSCL
	Btx2	32-60	58.1	1.4	40.5	1.59	40.38	0.06	15.83	0.88	gSC
	Btx3	60-95	60.2	0.9	38.9	1.56	41.13	0	14.67	0.92	gSC
	Btx4	95-132	49.8	8.7	41.5	1.53	42.64	0.03	15.16	1.04	gSC
	Btx5	132-190	45.6	7.7	46.7	1.6	39.62	0.06	18.02	1.26	gSC
	Btc	190-200	48.6	10.9	40.5	1.53	41	0	16.23	1.2	gSC
NS-4	A1	0-10	37.7	37.4	24.9	1.23	52.01	25.57	17.65	0.11	L
	A2	10-30	40.3	23.4	36.3	1.51	40.08	5.16	8.34	0.21	gCL
	Btx1	30-73	63.7	15.9	20.2	1.58	40.22	1.57	9.96	1.15	gSCL
	Btx2	73-110	49.1	2.1	48.8	1.56	41.2	29.04	11.69	1.27	gSC
	Btx3	110-155	49.1	2.1	48.8	1.56	41.2	29.04	11.69	1.44	gSC
	Btx4	155-180	55	2.1	42.9	1.59	41.23	25.23	15.56	1.67	gSC

ตารางผนวกที่ 16 (ต่อ)

Code	Horizon	Depth	Particle size distribution (.....g kg ⁻¹)			B.D ^{1/}	TP ^{2/}	K _{sat} ^{3/}	AWC ^{4/}	SS ^{5/}	Texture
		cm	sand	silt	clay	g cm ⁻³	%	cm hr ⁻¹	%by vol.	MPa	
NS-4	Btc	180-200	60.2	0.9	38.9	1.49	43.77	18.6	18.54	1.23	gSC
NS-5	A1	0-22	38.2	47.3	14.5	1.49	43.79	1.28	16.28	0.12	sgL
	A2	22-40	32.2	39	28.8	1.56	42	0.2	15.07	0.46	gCL
	Btx1	40-80	69.4	10.6	20	1.61	39.61	0.08	14.95	1.45	gSCL
	Btx2	80-130	48.6	10.9	40.5	1.58	41	0.03	21.12	1.41	gSC
	Btx3	130-145	55	2.1	42.9	1.65	36.11	0.39	18.01	1.51	gSC
	Btx4	145-180	49.1	2.1	48.8	1.62	37.11	0.06	15.63	1.87	gSC
	Btc	180-200	48.4	10.8	40.8	1.46	44.35	0.03	14.32	1.23	gSC
NS-6	A1	0-14	45.5	20.3	34.2	1.43	44.87	15.39	17.26	0.18	gCL
	A2	14-35	36.3	29	34.8	1.37	47.56	6.79	15.69	0.22	gCL
	Btx1	35-66	69.2	10.4	20.4	1.56	42.02	0.03	8.16	0.89	gSCL
	Btx2	66-91	71.1	8.9	20	1.59	41.98	0.03	8.25	1.34	gSCL
	Btx3	91-120	45.89	10.09	44.02	1.55	42.21	0.03	17.83	2.09	gSC

ตารางผนวกที่ 16 (ต่อ)

Code	Horizon	Depth	Particle size distribution (.....g kg ⁻¹)			B.D ^{1/}	TP ^{2/}	K _{sat} ^{3/}	AWC ^{4/}	SS ^{5/}	Texture
		cm	sand	silt	clay	g cm ⁻³	%	cm hr ⁻¹	%by vol.	MPa	
NS-6	Btx4	120-160	49.23	8.45	42.32	1.63	37.06	0.03	15.67	2.1	gSC
	Btc	160-200	52.36	7.54	40.1	1.52	44.23	0.03	18.16	1.25	gSC

หมายเหตุ ^{1/}bulk density (BD), ^{2/} total porosity (TP), ^{3/}saturated hydraulic conductivity (K_{sat}), ^{4/}available water capacity (AWC); ^{5/} soil strength (SS)

ตารางผนวกที่ 17 สมบัติทางเคมีของดินในพื้นที่ศึกษาจังหวัดลพบุรี

Code	Horizon	Depth cm	pH ^{1/}	OM ^{2/} g kg ⁻¹	P ^{3/} (...mg kg ⁻¹ ...)	K ^{4/}	Ca ^{5/} (.....cmol _c kg ⁻¹)	Mg ^{6/}	Na ^{7/}	K ^{8/}	EA ^{9/}	CEC ^{10/}
LB-1	Ap1	0-25	6.5	3.06	4	57	7.42	1.87	0.07	0.16	1.28	5.2
	Ap2	25-35	6.7	1.79	1	41	8.8	2.1	0.08	0.16	1.28	6.05
	Btx1	35-58	6.8	0.71	1	47	9.21	1.99	0.22	0.18	1.44	10.88
	Btx2	58-75	6.4	0.49	1	57	2.2	2.57	0.46	0.14	6.45	6.98
	Btx3	75-100	6.9	0.25	1	52	2.21	1.98	0.3	0.13	5.95	7.89
	Btx4	100-135	6.9	0.2	2	49	3.12	2.1	0.15	0.17	1.3	6.1
	Btx5	135-150	8.4	0.13	1	44	18.98	3.45	0.58	0.22	1.44	11.1
LB-2	A1	0-20	6.2	2.45	71	71	2	2.61	0.32	0.13	6.45	8.19
	A2	20-32	7.4	1.14	2	56	18.26	2.22	0.1	0.12	1.02	7.2
	Bt	32-55	8.5	0.5	2	67	17.62	3.29	0.58	0.21	1.16	10.6
	Btx1	55-83	8.7	0.48	2	68	2.2	2.57	0.45	0.14	6.45	7.98
	Btx2	83-112	8.7	0.52	1	67	2.21	1.98	0.3	0.13	5.95	7.89
	Btx3	112-141	8.6	0.43	2	68	18.98	3.45	0.58	0.22	1.44	10.56
	Btx4	141-172	8.6	0.51	4	67	25.13	3.61	0.68	0.18	1.44	11.18
	Btx5	163-190	8.5	0.55	6	74	17.62	3.29	0.58	0.21	1.16	10.6

ตารางผนวกที่ 17 (ต่อ)

Code	Horizon	Depth cm	pH ^{1/}	OM ^{2/} g kg ⁻¹	P ^{3/} (...mg kg ⁻¹ ...)	K ^{4/}	Ca ^{5/} (.....cmol _c kg ⁻¹)	Mg ^{6/}	Na ^{7/}	K ^{8/}	EA ^{9/}	CEC ^{10/}
LB-3	A1	0-20	7.2	1.83	77	225	9.52	1.78	0.08	0.09	0.97	5.54
	A2	20-35	7.2	1.93	84	210	20.02	2.15	0.09	0.09	1.02	7.09
	Bt	35-63	7.1	1.08	33	195	9.21	1.99	0.22	0.18	1.44	11.18
	Btx1	63-85	6.5	0.85	19	215	2.2	2.57	0.45	0.14	6.45	7.98
	Btx2	85-105	6.4	0.83	22	210	2.21	1.98	0.3	0.13	5.95	7.89
	Btx3	105-140	6.3	0.79	21	220	9.11	2.1	0.1	0.17	1.3	6.1
	Btx4	140-170	5.9	0.84	26	210	20.11	3.45	0.71	0.19	1.44	11.1
	Btx5	170-200	6.3	0.75	23	205	9.1	2.1	0.08	0.16	1.25	6.11
LB-4	A1	0-18	6.2	1.59	3	145	8.98	1.87	0.07	0.16	1.25	5.16
	A2	18-32	6.6	0.94	1	140	9.1	2.1	0.08	0.16	1.28	6.05
	Btx1	32-68	6.6	0.84	1	105	9.21	1.99	0.22	0.18	1.44	11.18
	Btx2	68-88	8.5	0.5	1	130	2.2	2.57	0.45	0.14	6.45	7.98
	Btx3	88-103	8.8	0.33	3	135	2.21	1.98	0.3	0.13	5.95	7.89
	Btx4	103-115	8.9	0.27	8	140	9.11	2.1	0.1	0.17	1.3	6.1
	Btx5	115-130	8.7	0.2	23	130	20.11	3.45	0.71	0.19	1.44	11.1

ตารางผนวกที่ 17 (ต่อ)

Code	Horizon	Depth cm	pH ^{1/}	OM ^{2/} g kg ⁻¹	P ^{3/} (...mg kg ⁻¹ ...)	K ^{4/}	Ca ^{5/} (.....cmol _c kg ⁻¹)	Mg ^{6/}	Na ^{7/}	K ^{8/}	EA ^{9/}	CEC ^{10/}
LB-5	A1		6.5	1.21	24	57	9.08	1.98	0.06	0.16	1.25	5.16
	A2		6.2	0.77	6	19	9.1	2.1	0.08	0.16	1.25	6.11
	Bt1		6	0.49	1	15	5.98	2	0.21	0.18	1.44	11.18
	Bt2		5.7	0.25	1	11	2	2.61	0.32	0.13	6.45	8.19
	Bt3		5.8	0.14	2	12	2.21	2.45	0.3	0.13	5.95	8
	Btx1		6.2	0.16	1	11	8.95	2.1	0.09	0.17	1.25	6.05
	Btx2		9.2	0.16	3	26	25.13	3.61	0.68	0.18	1.44	11.18
	Btx3		9.4	0.11	5	30	17.62	3.29	0.58	0.21	1.16	10.6
	Btx4		9.3	0.07	2	31	25.1	3.59	0.65	0.2	1.44	10.98
LB-6	A1		4.7	0.47	2	41	1.62	0.82	0.59	0.28	4.52	6
	A2		4.5	0.26	2	43	2.2	0.78	0.25	0.2	4.36	5.85
	Bv1		4.7	0.18	1	26	2.35	0.85	0.56	0.27	4.65	5.92
	Bv2		4.8	0.22	1	34	3	0.69	0.62	0.31	4.72	6.12
	Btx1		5.2	0.15	1	37	8.1	1.1	0.69	0.25	3.48	7.12
	Btx2		5.2	0.17	1	46	8.95	9.66	0.71	0.27	3.5	7.22

ตารางผนวกที่ 17 (ต่อ)

Code	Horizon	Depth cm	pH ^{1/}	OM ^{2/} g kg ⁻¹	P ^{3/} (...mg kg ⁻¹ ...)	K ^{4/}	Ca ^{5/} (.....cmol _c kg ⁻¹)	Mg ^{6/}	Na ^{7/}	K ^{8/}	EA ^{9/}	CEC ^{10/}
LB-6	Btx3		5.1	0.18	1	61	7.95	9.58	0.52	0.24	3.5	8.11
	Btx4		5.0	0.18	1	72	8.67	9.68	0.55	0.21	4.95	7.89
LB-7	A1		5.1	0.35	6	85	2.15	0.65	0.51	0.24	4.92	5.32
	A2		4.7	0.41	1	94	2.26	0.81	0.59	0.26	4.55	6
	Btv		4.6	0.24	5	69	1.62	0.64	0.21	0.18	4.68	6
	Btx1		5.1	0.35	2	63	3.74	1.08	0.31	0.17	0.23	8.09
	Btx2		7	0.23	4	57	10.21	2.86	0.66	0.16	1.21	9.6
	Btx3		7.3	0.26	3	61	11.34	3.09	0.67	0.16	1.25	10.2
	Btx4		8.9	0.18	3	66	25.13	3.61	0.68	0.18	1.44	11.18
	Btx5		8.5	0.14	4	67	17.62	3.29	0.58	0.21	1.16	10.6
LB-8	A		7	0.42	19	58	9.08	1.98	0.06	0.16	1.25	5.16
	Bt1		7.2	0.2	34	31	9.52	1.78	0.08	0.09	0.97	5.54
	Bt2		7.5	0.28	54	32	20.02	2.15	0.09	0.09	1.02	7.09
	Btx1		5.3	0.24	2	47	2	2.61	0.32	0.13	6.45	8.19
	Btx2		3.8	0.14	3	84	6.44	9.66	0.61	0.23	5.01	12.81

ตารางผนวกที่ 17 (ต่อ)

Code	Horizon	Depth cm	pH ^{1/}	OM ^{2/} g kg ⁻¹	P ^{3/} (...mg kg ⁻¹ ...)	K ^{4/}	Ca ^{5/} (.....cmol _c kg ⁻¹)	Mg ^{6/}	Na ^{7/}	K ^{8/}	EA ^{9/}	CEC ^{10/}
LB-8	Btx3		5.2	0.15	3	89	8.95	9.69	0.69	0.24	3.48	12.39

หมายเหตุ ^{1/} pH (H₂O), ^{2/} organic matter (OM), ^{3/} available phosphorus (P_t), ^{4/} available potassium (K), ^{5/} extractable calcium (Ca), ^{6/} extractable magnesium (Mg); ^{7/} extractable sodium (Na), ^{8/} extractable potassium (K), ^{9/} extractable acidity (EA), ^{10/} cation exchange capacity (CEC)

ตารางผนวกที่ 18 สมบัติทางเคมีของดินในพื้นที่ศึกษาจังหวัดสระบุรี

Code	Horizon	Depth cm	pH ^{1/}	OM ^{2/} g kg ⁻¹	P ^{3/} (.....mg kg ⁻¹)	K ^{4/}	Ca ^{5/} (.....cmol _c kg ⁻¹)	Mg ^{6/}	Na ^{7/}	K ^{8/}	EA ^{9/}	CEC ^{10/}
SB-1	A1		6.5	3.06	5	58	7.4	1.9	0.08	0.16	1.28	5.20
	A2		6.5	0.49	1	57	2.2	2.57	0.46	0.14	6.45	6.98
	Btx1		5.5	0.25	1	52	2.21	1.98	0.3	0.13	5.95	7.89
	Btx2		5.5	1.93	84	210	20.02	2.15	0.09	0.09	1.02	7.09
	Btx3		5.5	0.23	4	57	10.21	2.86	0.66	0.16	1.21	9.6
	Btc		5	1.21	24	57	9.08	1.98	0.06	0.16	1.25	5.16
SB-2	A1		5	0.18	1	72	8.67	9.68	0.55	0.21	4.95	7.89
	A2		4.5	0.26	2	43	2.2	0.78	0.25	0.2	4.36	5.85
	Btx1		4.5	0.47	2	41	1.62	0.82	0.59	0.28	4.52	6.00
	Btx2		4.5	0.18	1	26	2.35	0.85	0.56	0.27	4.65	5.92
	Btx3		4.5	0.24	5	69	1.62	0.64	0.21	0.18	4.68	6
	Btx4		5.5	0.23	4	57	10.21	2.86	0.66	0.16	1.21	9.6
SB-3	A1		5	0.26	3	61	11.34	3.09	0.67	0.16	1.25	10.20
	A2		5	1.93	84	210	20.02	2.15	0.09	0.09	1.02	7.09
	Btx1		5.5	0.17	1	46	8.95	9.66	0.71	0.27	3.5	7.22

ตารางผนวกที่ 18 (ต่อ)

Code	Horizon	Depth cm	pH ^{1/}	OM ^{2/} g kg ⁻¹	P ^{3/} (.....mg kg ⁻¹)	K ^{4/}	Ca ^{5/} (.....cmol _c kg ⁻¹)	Mg ^{6/}	Na ^{7/}	K ^{8/}	EA ^{9/}	CEC ^{10/}
SB-3	Btx2		5.5	0.15	1	37	8.1	1.1	0.69	0.25	3.48	7.12
	Btx3		6	1.59	3	145	8.98	1.87	0.07	0.16	1.25	5.16
	Btx4		6.5	0.49	1	57	2.2	2.57	0.46	0.14	6.45	6.98
	Btx5		6.5	3.06	4	57	7.42	1.87	0.07	0.16	1.28	5.20
SB-4	A1		5.5	0.25	1	11	2	2.61	0.32	0.13	6.45	8.19
	A2		5.5	0.14	2	12	2.21	2.45	0.3	0.13	5.95	8
	Btx1		5.5	0.2	2	11	2.45	2.34	0.29	0.11	5.88	8.12
	Btx2		5.5	0.16	2	12	2.21	2.45	0.3	0.13	5.95	8
	Btx3		5.5	0.14	2	12	2.62	2.45	0.3	0.13	5.95	8
	Btx4		5.5	0.14	2	14	3.02	2.64	0.31	0.12	5.74	8
	Btc		5.5	0.15	2	12	2.24	2.61	0.28	0.14	6.01	9
SB-5	A1		5.5	0.25	1	11	2	2.61	0.32	0.13	6.45	8.19
	A2		5.5	0.15	1	37	8.1	1.1	0.69	0.25	3.48	7.12
	Btx1		5	0.18	1	61	7.95	9.58	0.52	0.24	3.5	8.11
	Btx2		5.5	0.24	2	47	2	2.61	0.32	0.13	6.45	8.19

ตารางผนวกที่ 18 (ต่อ)

Code	Horizon	Depth cm	pH ^{1/}	OM ^{2/} g kg ⁻¹	P ^{3/} (.....mg kg ⁻¹)	K ^{4/}	Ca ^{5/} (.....cmol _c kg ⁻¹)	Mg ^{6/}	Na ^{7/}	K ^{8/}	EA ^{9/}	CEC ^{10/}
SB-5	Btx3		5.5	0.15	3	89	8.95	9.69	0.69	0.24	3.48	12.39
	Btc		5.5	0.17	1	46	8.95	9.66	0.71	0.27	3.5	7.22
SB-6	A		5.5	0.15	1	37	8.1	1.1	0.69	0.25	3.48	7.12
	Btx1		5.5	0.25	1	11	2	2.61	0.32	0.13	6.45	8.19
	Btx2		5.5	0.24	2	47	2	2.61	0.32	0.13	6.45	8.19
	Btx3		5	0.35	6	85	2.15	0.65	0.51	0.24	4.92	5.32
	Btx4		5	0.18	1	61	7.95	9.58	0.52	0.24	3.5	8.11
	Btx5		5	0.17	1	46	8.95	9.66	0.71	0.27	3.5	7.22
SB-7	A		5.5	0.24	2	47	2	2.61	0.32	0.13	6.45	8.19
	Btx1		5	0.15	3	89	8.95	9.69	0.69	0.24	3.48	12.39
	Btx2		5	0.25	1	11	2	2.61	0.32	0.13	6.45	8.19
	Btx3		6.5	3.06	4	57	7.42	1.87	0.07	0.16	1.28	5.20
	Btx4		7	1.08	33	195	9.21	1.99	0.22	0.18	1.44	11.18
	Btx5		7.5	0.28	54	32	20.02	2.15	0.09	0.09	1.02	7.09

ตารางผนวกที่ 18 (ต่อ)

Code	Horizon	Depth cm	pH ^{1/}	OM ^{2/} g kg ⁻¹	P ^{3/} (.....mg kg ⁻¹)	K ^{4/}	Ca ^{5/} (.....cmol _c kg ⁻¹)	Mg ^{6/}	Na ^{7/}	K ^{8/}	EA ^{9/}	CEC ^{10/}
SB-8	A		6.5	0.48	2	68	2.2	2.57	0.45	0.14	6.45	7.98
	Btx1		6.5	0.5	2	67	17.62	3.29	0.58	0.21	1.16	10.6
	Btx2		7	1.93	84	210	20.02	2.15	0.09	0.09	1.02	7.09
	Btx3		7	1.83	77	225	9.52	1.78	0.08	0.09	0.97	5.54
	Btx4		8	0.13	1	44	18.98	3.45	0.58	0.22	1.44	11.1
	Btx5		8.5	0.5	2	67	17.62	3.29	0.58	0.21	1.16	10.6
	Btx6		7	0.23	4	57	10.21	2.86	0.66	0.16	1.21	9.6

หมายเหตุ ^{1/} pH (H₂O), ^{2/} organic matter (OM), ^{3/} available phosphorus (P_t), ^{4/} available potassium (K), ^{5/} extractable calcium (Ca), ^{6/} extractable magnesium (Mg); ^{7/} extractable sodium (Na), ^{8/} extractable potassium (K), ^{9/} extractable acidity (EA), ^{10/} cation exchange capacity (CEC)

ตารางผนวกที่ 19 สมบัติทางเคมีของดินในพื้นที่ศึกษาจังหวัดนครสวรรค์

Code	Horizon	Depth cm	pH ^{1/}	OM ^{2/} g kg ⁻¹	P ^{3/} (.....mg kg ⁻¹)	K ^{4/}	Ca ^{5/} (.....cmol _c kg ⁻¹)	Mg ^{6/}	Na ^{7/}	K ^{8/}	EA ^{9/}	CEC ^{10/}
NS-1	A1		6.5	11	11	86	2.63	0.95	0.82	0.38	3	6
	A2		5.5	3.7	0.52	19	0.15	0.18	0.8	0.04	8	5.1
	Btx1		8	4.7	0.51	54	1.7	0.71	5.23	0.12	13	12.2
	Btx2		8.5	3.7	0.54	59	2.87	1.27	6.37	0.13	9	11.2
	Btx3		8	1	0.25	36	1.9	0.83	3.41	0.08	7	6.3
	Btx4		8.5	1.3	0.25	50	2.35	1.45	4.37	0.11	8	8.7
	Btc		8.5	1.3	0.25	49	2.31	1.6	4.32	0.1	5	9.2
NS-2	A1		5.5	9.9	0.25	18	0.74	0.14	0.33	0.04	7	4.2
	A2		5.5	2.2	0.75	12.5	0.16	0.07	0.38	0.02	5	2.8
	Btx1		5.5	0.7	0.25	7	0.04	0.02	0.37	0.01	1	1
	Btx2		8	1.7	0.51	16	0.4	0.22	2.56	0.03	4	4.5
	Btx3		8	2.2	0.53	38	1.68	0.75	6.69	0.08	4	9
	Btx4		8	1.5	0.25	38	2.34	1.07	7.3	0.08	2	10.2
	Btx5		8	1.1	0.25	50	2.79	1.59	7.4	0.15	1	14.2
	Btc		8	1.3	0.51	58	3.68	1.86	9.57	0.13	2	15

ตารางผนวกที่ 19 (ต่อ)

Code	Horizon	Depth cm	pH ^{1/}	OM ^{2/} g kg ⁻¹	P ^{3/} (.....mg kg ⁻¹)	K ^{4/}	Ca ^{5/} (.....cmol _c kg ⁻¹)	Mg ^{6/}	Na ^{7/}	K ^{8/}	EA ^{9/}	CEC ^{10/}
NS-3	A1		5.5	0.34	2	49	2	2.71	0.42	0.11	6.55	8.11
	A2		6.5	0.85	1	99	9.21	1.98	0.22	0.18	1.44	11.17
	Btx1		6	1.44	3	87	8.98	1.88	0.09	0.16	1.23	5.25
	Btx2		5.5	0.33	2	44	2	3.01	0.42	0.11	6.65	8.12
	Btx3		8.5	0.5	1	130	2.2	2.57	0.45	0.14	6.45	7.98
	Btx4		8.5	0.14	4	67	17.62	3.29	0.58	0.21	1.16	10.6
	Btx5		8	0.5	2	67	17.62	3.29	0.58	0.21	1.16	10.6
	Btc		8	0.58	2	68	18.01	3.3	0.61	0.22	1.16	11
NS-4	A1		6.5	0.85	19	215	2.2	2.57	0.45	0.14	6.45	7.98
	A2		6.5	0.81	19	199	2.2	2.88	0.48	0.14	6.57	7.99
	Btx1		8	0.48	7	71	4.39	1.12	0.66	0.11	6.54	7.12
	Btx2		8	3	0.25	58	2.69	2.52	3.51	0.12	2.99	8.2
	Btx3		8	3.7	0.54	59.8	2.87	1.27	6.37	0.13	8.96	11.2
	Btx4		8	3.3	0.51	69	4.07	2.75	5.11	0.15	7.98	12.2
	Btc		8.5	0.07	2	31	25.1	3.59	0.65	0.2	1.44	10.98

ตารางผนวกที่ 19 (ต่อ)

Code	Horizon	Depth cm	pH ^{1/}	OM ^{2/} g kg ⁻¹	P ^{3/} (.....mg kg ⁻¹)	K ^{4/}	Ca ^{5/} (.....cmol _c kg ⁻¹)	Mg ^{6/}	Na ^{7/}	K ^{8/}	EA ^{9/}	CEC ^{10/}
NS-5	A1		5.5	22.4	3.01	45	5.22	1.89	0.39	0.08	3	8.1
	A2		5.5	2	0.25	18	0.06	0.08	1.1	0.04	10	4.8
	Btx1		8	1.7	0.51	16	0.4	0.22	2.56	0.03	4	4.5
	Btx2		8.5	2.2	0.53	38	1.68	0.75	6.69	0.08	4	9
	Btx3		8	1.5	0.25	38	2.34	1.07	7.3	0.08	2	10.2
	Btx4		8.5	1.1	0.25	49	2.79	1.59	7.4	0.15	1	14.2
	Btc		8.5	1.7	0.25	53	4.03	1.74	10.41	0.13	2	14.5
NS-6	A1		5.5	5.7	2.01	15	0.35	0.1	0.2	0.04	11	4.5
	A2		5.5	0.7	0.51	10	0.02	0.03	0.18	0.01	5	2.2
	Btx1		5.5	2.4	0.75	22	0.33	0.44	2.48	0.04	9	5.9
	Btx2		8.5	3.7	0.25	46	2.33	1.62	4.62	0.09	10	10
	Btx3		8	2	0.52	47.9	2.02	1.55	7.2	0.1	12	10
	Btx4		8.5	1.7	0.51	46	2.27	1.63	6.73	0.1	7	11.7
	Btc		8	1	0.25	58	2.82	2	8.18	0.12	4	12.5

หมายเหตุ ^{1/} pH (H₂O), ^{2/} organic matter (OM), ^{3/} available phosphorus (P_t), ^{4/} available potassium (K), ^{5/} extractable calcium (Ca), ^{6/} extractable magnesium (Mg); ^{7/} extractable sodium (Na), ^{8/} extractable potassium (K), ^{9/} extractable acidity (EA), ^{10/} cation exchange capacity (CEC)

ตารางผนวกที่ 20 Correlation coefficient which is statistical significance in Lopburi

	SS	BD	TP	Ksat	AWC	sand	silt	clay	OM	P	K	Ca	Mg	ExNa	ExK	EA	CEC	pH
SS	1																	
BD	0.6413	1																
TP	-0.6288	-0.9677	1															
Ksat	-0.5436	-0.5829	0.5438	1														
AWC	0.2708			-0.378	1													
sand				0.3851	-0.7741	1												
silt			0.2803	-0.2693	0.6628	-0.9265	1											
clay	0.3976	0.3534	-0.2898	-0.4635	0.7485	-0.8684	0.6229	1										
OM	-0.4218	-0.299	0.3115			-0.454	0.55		1									
Avail.P	-0.2536				0.3417	-0.2756	0.3207		0.5168	1								
Avail.K				-0.2545	0.8475	-0.6907	0.5821	0.677	0.3761	0.4972	1							
Ex.Ca	0.3065											1						
Ex.Mg	0.4565	0.4024	-0.4056										1					
Ex.Na	0.4888	0.2976	-0.2924	-0.4041					-0.4941	-0.3361		0.2792	0.4258	1				
Ex.K									-0.3765	-0.4861	-0.2532		0.2767	0.625	1			
EA												-0.6823				1		
CEC	0.5391							0.3089	-0.2929			0.513	0.4423	0.5973			1	
pH	0.3123					-0.2706		0.3504				0.6048			-0.3414	-0.3383	0.3595	1

ตารางผนวกที่ 21 Correlation coefficient which is statistical significance in Saraburi.

	SS	BD	TP	Ksat	AWC	sand	silt	clay	OM	P	K	Ca	Mg	ExNa	ExK	EA	CEC	pH
SS	1																	
BD	0.5257	1																
TP	-0.4423	-0.7983	1															
Ksat	-0.3896	-0.6728	0.5308	1														
AWC	0.2241	0.3664			1													
sand		0.3152				1												
silt		-0.3051		0.2464		-0.5496	1											
clay							-0.7723	1										
OM						-0.24			1									
Avail.P				-0.2177	-0.3445		-0.2767	0.3108	0.4814	1								
Avail.K				-0.2548	-0.3045		-0.2231	0.3531	0.5433	0.7967	1							
Ex.Ca				-0.3426	-0.4727		-0.265	0.3174	0.2986	0.5882	0.5266	1						
Ex.Mg									-0.2693				1					
Ex.Na									-0.6543	-0.5247	-0.3523		0.4885	1				
Ex.K					0.2747				-0.3152	-0.4894	-0.2161		0.468	0.7383	1			
EA	-0.2422			0.3448	0.2604		0.2266	-0.3837	-0.5277	-0.4748	-0.5674	-0.8298				1		
CEC					-0.2348				-0.4573			0.2654	0.4021	0.4938			1	
pH	0.3354			-0.3446	-0.5386				0.3216	0.2802	0.2663	0.5662			-0.283	-0.4846	0.225	1

ตารางผนวกที่ 22 Correlation coefficient which is statistical significance in Nakhonsawan.

	SS	BD	TP	Ksat	AWC	sand	silt	clay	OM	P	K	Ca	Mg	ExNa	ExK	EA	CEC	pH
SS	1																	
BD	0.7443	1																
TP	-0.7292	-0.9725	1															
Ksat				1														
AWC					1													
sand		0.3713	-0.3046			1												
silt	-0.4176	-0.3621	0.336			-0.6059	1											
clay					0.3948		-0.6738	1										
OM	-0.3273					-0.3088	0.4399		1									
Avail.P	-0.4276	-0.3762								1								
Avail.K										0.8124	1							
Ex.Ca												1						
Ex.Mg							-0.3221	0.3872		0.2974	0.5616	0.6864	1					
Ex.Na	0.7034	0.4898	-0.4704				-0.3476	0.3397		-0.3645				1				
Ex.K								0.3205		0.3727	0.5029	0.5874	0.6441		1			
EA							0.409	-0.3144				-0.4694	-0.3022		-0.3323	1		
CEC	0.5626	0.3388	-0.327				-0.3555	0.4542				0.3379	0.5579	0.6892	0.4876		1	
pH	0.8165	0.5356	-0.5306				-0.4408	0.3696	-0.3156				0.3214	0.6339	0.3188		0.6746	1

ตารางผนวกที่ 23 Factors associated with shear strength (SS) in Lopburi using linear regression model.

Variables	Univariable analysis		Multivariable analysis	
	Coefficients (95%CI)	p	Coefficients (95%CI)	p
BD ^{1/}	0.64 (0.54-0.75)	<0.01	3 (2.09-3.9)	<0.01
TP ^{2/}	0.02 (0.02-0.03)	<0.01		
Ksat ^{3/}	0.04 (-0.04-0.11)	0.37		
AWC ^{4/}	0.09 (0.08-0.11)	<0.01	0.08 (0.03-0.13)	<0.01
sand ^{5/}	0.02 (0.01-0.02)	<0.01		
silt ^{6/}	0.03 (0.02-0.03)	<0.01		
clay ^{7/}	0.04 (0.03-0.05)	<0.01		
pH ^{8/}	0.15 (0.13-0.18)	<0.01		
OM ^{9/}	0.6 (0.24-0.95)	<0.01		
P ^{10/}	0.02 (0-0.03)	0.03	-0.01 (-0.02--0.002)	0.02
K ^{11/}	0.01 (0.01-0.01)	<0.01	-0.004 (-0.01--0.0003)	0.04
ex.Ca ^{12/}	0.08 (0.06-0.1)	<0.01		
ex.Mg ^{13/}	0.28 (0.23-0.33)	<0.01		
ex.Na ^{14/}	2.39 (2-2.79)	<0.01	1.5 (0.86-2.14)	<0.01
ex.K ^{15/}	5.47 (4.43-6.51)	<0.01	-5.36 (-8.44--2.28)	<0.01
EA ^{16/}	0.23 (0.16-0.3)	<0.01	-0.08 (-0.13--0.02)	<0.01
CEC ^{17/}	0.13 (0.11-0.15)	<0.01		

หมายเหตุ ^{1/}bulk density (BD), ^{2/}total porosity (TP), ^{3/}saturated hydraulic conductivity (K_{sat}), ^{4/}available water capacity (AWC), ^{5/}%sand, ^{6/}%silt, ^{7/}%clay, ^{8/}pH (H₂O), ^{9/}organic matter (OM), ^{10/}available phosphorus (P), ^{11/}available potassium (K), ^{12/}extractable calcium (Ca), ^{13/}extractable magnesium (Mg), ^{14/}extractable sodium (Na), ^{15/}extractable potassium (K), ^{16/}extractable acidity (EA), ^{17/}cation exchange capacity (CEC)

ตารางผนวกที่ 24 Factors associated with bulk density (BD) in Lopburi using linear regression model.

Variables	Univariable analysis		Multivariable analysis	
	Coefficients (95%CI)	p	Coefficients (95%CI)	p
SS ^{1/}	0.09 (0.02-0.16)	0.01		
TP ^{2/}	-0.02 (-0.03--0.02)	<0.01	-0.025 (-0.026--0.023)	<0.01
Ksat ^{3/}	-0.13 (-0.23--0.02)	0.02		
AWC ^{4/}	-0.006 (-0.015-0.003)	0.19		
sand ^{5/}	0.001 (-0.0003-0.003)	0.1		
silt ^{6/}	-0.004 (-0.0058--0.001)	<0.01	0.001 (0.0002-0.001)	<0.01
clay ^{7/}	0.001 (-0.0033-0.005)	0.61		
pH ^{8/}	-0.02 (-0.0426-0.003)	0.09		
OM ^{9/}	-0.08 (-0.22-0.07)	0.29		
P ^{10/}	-0.004 (-0.0084-0.001)	0.12		
K ^{11/}	0.00004 (-0.0006-0.001)	0.9		
ex.Ca ^{12/}	-0.007 (-0.0109--0.002)	<0.01		
ex.Mg ^{13/}	0.012 (-0.0024-0.026)	0.1		
ex.Na ^{14/}	-0.04 (-0.22-0.13)	0.62		
ex.K ^{15/}	-0.22 (-1.21-0.76)	0.65		
EA ^{16/}	0.017 (0.0006-0.033)	0.04	0.006 (0.003-0.009)	<0.01
CEC ^{17/}	-0.003 (-0.0221-0.015)	0.71		

หมายเหตุ ^{1/}soil strength (SS), ^{2/}total porosity (TP), ^{3/}saturated hydraulic conductivity (K_{sat}), ^{4/}available water capacity (AWC), ^{5/}%sand, ^{6/}%silt, ^{7/}%clay, ^{8/}pH (H₂O), ^{9/}organic matter (OM), ^{10/}available phosphorus (P), ^{11/} available potassium (K), ^{12/}extractable calcium (Ca), ^{13/}extractable magnesium (Mg); ^{14/}extractable sodium (Na), ^{15/}extractable potassium (K), ^{16/}extractable acidity (EA), ^{17/}cation exchange capacity (CEC)

ตารางผนวกที่ 25 Factor associated with shear strength (SS) in Saraburi using linear regression model

Variables	Univariable analysis		Multivariable analysis	
	Coefficients (95%CI)	p	Coefficients (95%CI)	p
BD ^{1/}	2.45 (1.48-3.43)	<0.01	1.75 (0.7-2.8)	<0.01
TP ^{2/}	-0.05 (-0.07--0.02)	<0.01		
Ksat ^{3/}	-0.04 (-0.06--0.02)	<0.01		
AWC ^{4/}	0.0323 (-0.0004-0.065)	0.05	0.039 (0.005-0.073)	0.03
sand ^{5/}	0.01 (-0.01-0.03)	0.31		
silt ^{6/}	-0.004 (-0.016-0.007)	0.46		
clay ^{7/}	0.001 (-0.013-0.014)	0.94		
pH ^{8/}	0.15 (0.01-0.3)	0.03	0.22 (0.08-0.36)	<0.01
OM ^{9/}	0.04 (-0.12-0.2)	0.63		
P ^{10/}	0.0004 (-0.0053-0.0061)	0.89		
K ^{11/}	0.0004 (-0.002-0.0028)	0.74		
ex.Ca ^{12/}	0.01 (-0.01-0.03)	0.29		
ex.Mg ^{13/}	0.01 (-0.03-0.06)	0.59		
ex.Na ^{14/}	-0.07 (-0.66-0.52)	0.82		
ex.K ^{15/}	0.42 (-1.88-2.71)	0.72		
EA ^{16/}	-0.05 (-0.11-0.01)	0.13		
CEC ^{17/}	-0.004 (-0.077-0.069)	0.91		

หมายเหตุ ^{1/}bulk density (BD), ^{2/}total porosity (TP), ^{3/}saturated hydraulic conductivity (K_{sat}), ^{4/}available water capacity (AWC), ^{5/}%sand, ^{6/}%silt, ^{7/}%clay, ^{8/}pH (H₂O), ^{9/}organic matter (OM), ^{10/}available phosphorus (P), ^{11/} available potassium (K), ^{12/}extractable calcium (Ca), ^{13/}extractable magnesium (Mg); ^{14/}extractable sodium (Na), ^{15/}extractable potassium (K), ^{16/}extractable acidity (EA), ^{17/}cation exchange capacity (CEC)

ตารางผนวกที่ 26 Factor associated with bulk density (BD) in Saraburi using linear regression model

Variables	Univariable analysis		Multivariable analysis	
	Coefficients (95%CI)	p	Coefficients (95%CI)	p
SS ^{1/}	0.13 (0.08-0.17)	<0.01		
TP ^{2/}	-0.02 (-0.02--0.02)	<0.01	-0.013 (-0.016--0.01)	<0.01
Ksat ^{3/}	-0.01 (-0.02--0.01)	<0.01	-0.008 (-0.01--0.005)	<0.01
AWC ^{4/}	0.01 (0-0.02)	<0.01	0.007 (0.005-0.01)	<0.01
sand ^{5/}	0.005 (0.002-0.007)	<0.01	0.002 (0.001-0.003)	<0.01
silt ^{6/}	-0.003 (-0.005--0.001)	<0.01		
clay ^{7/}	0.001 (-0.001-0.004)	0.26		
pH ^{8/}	-0.01 (-0.04-0.02)	0.42		
OM ^{9/}	-0.0003 (-0.0012-0.0007)	0.56		
P ^{10/}	-0.000002 (-0.000402-0.000397)	0.99		
K ^{11/}	0.0001 (-0.0037-0.0039)	0.96		
ex.Ca ^{12/}	0.001 (-0.007-0.009)	0.78		
ex.Mg ^{13/}	0.02 (-0.08-0.12)	0.66		
ex.Na ^{14/}	0.22 (-0.16-0.6)	0.26		
ex.K ^{15/}	-0.003 (-0.013-0.008)	0.63		
EA ^{16/}	-0.003 (-0.015-0.009)	0.58		
CEC ^{17/}	0.01 (-0.02-0.03)	0.57		

หมายเหตุ ^{1/}soil strength (SS), ^{2/}total porosity (TP), ^{3/}saturated hydraulic conductivity (K_{sat}), ^{4/}available water capacity (AWC), ^{5/}%sand, ^{6/}%silt, ^{7/}%clay, ^{8/}pH (H₂O), ^{9/}organic matter (OM), ^{10/}available phosphorus (P), ^{11/}available potassium (K), ^{12/}extractable calcium (Ca), ^{13/}extractable magnesium (Mg); ^{14/}extractable sodium (Na), ^{15/}extractable potassium (K), ^{16/}extractable acidity (EA), ^{17/}cation exchange capacity (CEC)

ตารางผนวกที่ 27 Factor associated with shear strength (SS) in Nakhonsawan using linear regression model

Variables	Univariable analysis		Multivariable analysis	
	Coefficients (95%CI)	p	Coefficients (95%CI)	p
BD ^{1/}	4.11 (3.15-5.07)	<0.01	1.95 (1.16-2.73)	<0.01
TP ^{2/}	-0.11 (-0.14--0.08)	<0.01		
Ksat ^{3/}	-0.004 (-0.02-0.01)	0.61		
AWC ^{4/}	0.03 (-0.01-0.07)	0.13		
sand ^{5/}	0.0006 (-0.002-0.003)	0.69		
silt ^{6/}	-0.01 (-0.02-0)	0.06		
clay ^{7/}	0.0007 (-0.002-0.003)	0.57		
pH ^{8/}	0.37 (0.3-0.45)	<0.01	0.2 (0.12-0.27)	<0.01
OM ^{9/}	-0.05 (-0.09--0.01)	0.02	-0.02 (-0.04-0.002)	0.07
P ^{10/}	-0.07 (-0.1--0.03)	<0.01	-0.02 (-0.04-0.0001)	0.05
K ^{11/}	-0.0025 (-0.006-0.001)	0.18		
ex.Ca ^{12/}	0.002 (-0.02-0.03)	0.86		
ex.Mg ^{13/}	0.05 (-0.09-0.18)	0.50		
ex.Na ^{14/}	0.13 (0.1-0.16)	<0.01	0.04 (0.02-0.07)	<0.01
ex.K ^{15/}	0.57 (-1.61-2.74)	0.60		
EA ^{16/}	0.02 (-0.02-0.06)	0.24		
CEC ^{17/}	0.09 (0.06-0.13)	<0.01		

หมายเหตุ ^{1/}bulk density (BD), ^{2/}total porosity (TP), ^{3/}saturated hydraulic conductivity (K_{sat}), ^{4/}available water capacity (AWC), ^{5/}%sand, ^{6/}%silt, ^{7/}%clay, ^{8/}pH (H₂O), ^{9/}organic matter (OM), ^{10/}available phosphorus (P), ^{11/} available potassium (K), ^{12/}extractable calcium (Ca), ^{13/}extractable magnesium (Mg); ^{14/}extractable sodium (Na), ^{15/}extractable potassium (K), ^{16/}extractable acidity (EA), ^{17/}cation exchange capacity (CEC)

ตารางผนวกที่ 28 Factor associated with bulk density (BD) in Nakhonsawan using linear regression model

Variables	Univariable analysis		Multivariable analysis	
	Coefficients (95%CI)	p	Coefficients (95%CI)	p
SS ^{1/}	0.13 (0.1-0.17)	<0.01		
TP ^{2/}	-0.03 (-0.03--0.03)	<0.01	-0.03 (-0.03--0.02)	<0.01
Ksat ^{3/}	-0.003 (-0.01-0.001)	0.13		
AWC ^{4/}	-0.0004 (-0.0103-0.0095)	0.94		
sand ^{5/}	0.0038 (0.001-0.007)	0.01	0.0007 (0.00004-0.0014)	0.04
silt ^{6/}	-0.003 (-0.005--0.001)	0.02		
clay ^{7/}	0.001 (-0.002-0.004)	0.42		
pH ^{8/}	0.048 (0.02-0.07)	<0.01		
OM ^{9/}	-0.004 (-0.013-0.005)	0.36		
P ^{10/}	-0.01 (-0.017--0.0023)	0.01	-0.002 (-0.004--0.0005)	0.01
K ^{11/}	-0.0006 (-0.0014-0.0002)	0.16		
ex.Ca ^{12/}	0.0005 (-0.006-0.0068)	0.88		
ex.Mg ^{13/}	0.0005 (-0.032-0.033)	0.98		
ex.Na ^{14/}	0.02 (0.01-0.03)	<0.01		
ex.K ^{15/}	-0.09 (-0.59-0.41)	0.72		
EA ^{16/}	0.0007 (-0.01-0.011)	0.89		
CEC ^{17/}	0.01 (0.001-0.02)	0.02		

หมายเหตุ ^{1/}soil strength (SS), ^{2/}total porosity (TP), ^{3/}saturated hydraulic conductivity (K_{sat}), ^{4/}available water capacity (AWC), ^{5/}%sand, ^{6/}%silt, ^{7/}%clay, ^{8/}pH (H_2O), ^{9/}organic matter (OM), ^{10/}available phosphorus (P), ^{11/}available potassium (K), ^{12/}extractable calcium (Ca), ^{13/}extractable magnesium (Mg); ^{14/}extractable sodium (Na), ^{15/}extractable potassium (K), ^{16/}extractable acidity (EA), ^{17/}cation exchange capacity (CEC)