

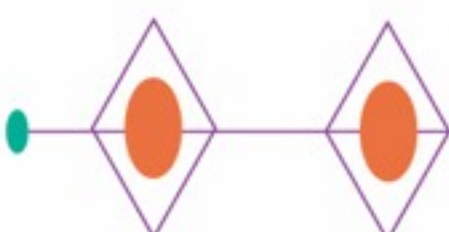
การแปลผล สมบัติทางกายภาพดิน ด้วยหลักสถิติ สำหรับพื้นที่สูงที่ปลูกยางพาราและข้าวโพด

Interpretation of Soil Physical Properties by Statistic
for High Land Planted Para-Rubber and Corn



นางสาวชนิดา จรรย์วรพรรณ
นายนิยม สุรักษ์
นายธนา สมบัติทัฬห
นางสาวชนิดา เกิดชนะ
กุมภาพันธ์ 2562

สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน
กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์



สารบัญ

เรื่อง	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(3)
สารบัญภาพ	(6)
บทที่ 1 บทนำ	1
ความเป็นมาของการศึกษาวิจัย	1
วัตถุประสงค์	2
บทที่ 2 การตรวจเอกสาร	3
ความหมายของพื้นที่สูง	3
พื้นที่ศึกษาวิจัย	4
การศึกษาสมบัติทางกายภาพบางประการของดินพื้นที่สูง	8
การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของดินบางประการ	10
สถิติที่ใช้ในงานวิจัย	18
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการ	34
อุปกรณ์	34
วิธีการ	35
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์	38
ตัวอย่างดินที่ใช้ในการศึกษาวิจัย	38
ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพของดินพื้นที่ปลูกยางพารา	40
ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพของดินพื้นที่ปลูกข้าวโพด	50
การคำนวณผลวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพดินทางสถิติสำหรับพื้นที่สูงที่ปลูกยางพาราและข้าวโพด	62
การคำนวณผลวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพดินทางสถิติของพื้นที่ปลูกยางพารา	71
การคำนวณผลวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพดินทางสถิติของพื้นที่ปลูกข้าวโพด	84
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	92
5.1 สรุปผลการทดลอง	92

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
บทที่ 5 (ต่อ)	
5.2 ข้อเสนอแนะ	95
เอกสารอ้างอิง	96
ภาคผนวก	102

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 1 การแบ่งอนุภาคดินขนาดต่าง ๆ ตามมาตรฐาน USDA	12
ตารางที่ 2 การวิเคราะห์ทางเดียว (Oneway descriptive)	25
ตารางที่ 3 การทดสอบความแปรปรวนของประชากรภายในสิ่งทดลองแต่ละกลุ่ม (Test of Homogeneity of Variances)	26
ตารางที่ 4 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance, ANOVA)	27
ตารางที่ 5 ตัวอย่างผลการเปรียบเทียบเชิงซ้อน (multiple comparisons) โดยวิธี Tukey และ Scheffe'	28
ตารางที่ 6 การจัดกลุ่มค่าเฉลี่ยประชากรในสิ่งทดลองด้วย Homogeneous subsets	30
ตารางที่ 7 ผลการคำนวณ group statistics และ independent samples test	32
ตารางที่ 8 จุดเก็บตัวอย่างดินจากพื้นที่ศึกษาแปลงยางพาราและข้าวโพด	38
ตารางที่ 9 ค่าเฉลี่ยผลวิเคราะห์ขนาดอนุภาคของตัวอย่างดินพื้นที่ปลูกยางพารา ในช่วงฤดูแล้งปี 2558	40
ตารางที่ 10 ค่าเฉลี่ยผลวิเคราะห์ขนาดอนุภาคของตัวอย่างดินพื้นที่ปลูกยางพารา ในช่วงฤดูแล้งปี 2559	41
ตารางที่ 11 ค่าเฉลี่ยผลวิเคราะห์ขนาดอนุภาคของตัวอย่างดินพื้นที่ปลูกยางพารา ในช่วงฤดูฝน 2559	42
ตารางที่ 12 ค่าเฉลี่ยผลวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพบางประการของดินที่ศึกษา ในพื้นที่ปลูกยางพารา ฤดูแล้งปี 2558	45
ตารางที่ 13 ค่าเฉลี่ยผลวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพบางประการของดินที่ศึกษา ในพื้นที่ปลูกยางพารา ฤดูแล้งปี 2559	46
ตารางที่ 14 ค่าเฉลี่ยผลวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพบางประการของดินที่ศึกษา ในพื้นที่ปลูกยางพารา ฤดูฝนปี 2559	47
ตารางที่ 15 ค่าเฉลี่ยผลวิเคราะห์ขนาดอนุภาคของตัวอย่างดินพื้นที่ปลูกข้าวโพด ในช่วงฤดูแล้งปี 2558	50
ตารางที่ 16 ค่าเฉลี่ยผลวิเคราะห์ขนาดอนุภาคของตัวอย่างดินพื้นที่ปลูกข้าวโพด ในช่วงฤดูแล้งปี 2559	51
ตารางที่ 17 ค่าเฉลี่ยผลวิเคราะห์ขนาดอนุภาคของตัวอย่างดินพื้นที่ปลูกข้าวโพด ในช่วงฤดูฝนปี 2559	52

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 18	ค่าเฉลี่ยผลวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพบางประการของดินที่ศึกษาในพื้นที่ปลูกข้าวโพดฤดูแล้งปี 2558
ตารางที่ 19	ค่าเฉลี่ยผลวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพบางประการของดินที่ศึกษาในพื้นที่ปลูกข้าวโพดฤดูแล้งปี 2559
ตารางที่ 20	ค่าเฉลี่ยผลวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพบางประการของดินที่ศึกษาในพื้นที่ปลูกข้าวโพดฤดูฝนปี 2559
ตารางที่ 21	ผลการคำนวณ T-test ของสมบัติทางกายภาพดินบนพื้นที่สูงที่ปลูกยางพาราและข้าวโพด
ตารางที่ 22	การเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของ FC, AWC, และ AFP ด้วยวิธี DMRT ของพื้นที่ปลูกยางพาราและพื้นที่ปลูกข้าวโพด
ตารางที่ 23	การทดสอบอิทธิพลระหว่างกลุ่มปัจจัย 3 กลุ่ม ต่อการเปลี่ยนแปลงค่า FC, AWC, และ AFP สำหรับพื้นที่ปลูกยางพาราและข้าวโพด
ตารางที่ 24	การเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของ %S, %Sand fraction, และ %Si ด้วยวิธี DMRT ของพื้นที่ปลูกยางพาราและพื้นที่ปลูกข้าวโพด
ตารางที่ 25	การทดสอบอิทธิพลระหว่างกลุ่มปัจจัย 3 กลุ่ม ต่อการเปลี่ยนแปลงค่า %S %Sand fraction และ %Si สำหรับพื้นที่ปลูกยางพาราและข้าวโพด
ตารางที่ 26	การทดสอบทางสถิติ F-test ของสมบัติทางกายภาพดินบนพื้นที่สูงที่ปลูกยางพาราและข้าวโพด
ตารางที่ 27	การเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของ ρ_b , ρ_s , TP และ K_{sat} ด้วยวิธี DMRT สำหรับพื้นที่ปลูกยางพารา
ตารางที่ 28	การทดสอบอิทธิพลระหว่างกลุ่มปัจจัย 3 กลุ่ม ต่อการเปลี่ยนแปลงค่า ρ_b , ρ_s , TP, และ K_{sat} สำหรับพื้นที่ปลูกยางพารา
ตารางที่ 29	การเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของ FC, AWC, และ MC ด้วยวิธี DMRT สำหรับพื้นที่ปลูกยางพารา
ตารางที่ 30	การทดสอบอิทธิพลระหว่างกลุ่มปัจจัย 3 กลุ่ม ต่อการเปลี่ยนแปลงค่า FC, AWC, และ MC สำหรับพื้นที่ปลูกยางพารา
ตารางที่ 31	การเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของ %S, %Si, และ %C ด้วยวิธี DMRT สำหรับพื้นที่ปลูกยางพารา

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 32 การทดสอบอิทธิพลระหว่างกลุ่มปัจจัย 3 กลุ่ม ต่อการเปลี่ยนแปลง ค่า %S, %Si, และ %C สำหรับพื้นที่ปลูกยางพารา	80
ตารางที่ 33 การเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของ %VCS, %MS, %FS, และ %VFS ด้วยวิธี DMRT สำหรับพื้นที่ปลูกยางพารา	81
ตารางที่ 34 การทดสอบอิทธิพลระหว่างกลุ่มปัจจัย 3 กลุ่ม ต่อการเปลี่ยนแปลง ค่า %VCS, %MS, %FS, และ %VFS สำหรับพื้นที่ปลูกยางพารา	83
ตารางที่ 35 การเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของ Ksat, FC, AWC, และ MC ด้วยวิธี DMRT สำหรับพื้นที่ปลูกข้าวโพด	85
ตารางที่ 36 การทดสอบอิทธิพลระหว่างกลุ่มปัจจัย 3 กลุ่ม ต่อการเปลี่ยนแปลง ค่า Ksat, FC, AWC, และ MC สำหรับพื้นที่ปลูกข้าวโพด	87
ตารางที่ 37 การเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของ %S, %C, %VCS, %FS, และ %VFS ด้วยวิธี DMRT สำหรับพื้นที่ปลูกข้าวโพด	88
ตารางที่ 38 การทดสอบอิทธิพลระหว่างกลุ่มปัจจัย 3 กลุ่ม ต่อการเปลี่ยนแปลง ค่า %S, %C, %VCS, %FS, และ %VFS สำหรับพื้นที่ปลูกข้าวโพด	90

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
ภาพที่ 1	แผนที่ตั้งแปลงทดลอง A และ B ภายในพื้นที่ของศูนย์พัฒนาโครงการหลวงห้วยแล้ง	5
ภาพที่ 2	เส้นชั้นความสูงของพื้นที่แปลงทดลอง A ภายในพื้นที่ของศูนย์พัฒนาโครงการหลวงห้วยแล้ง	6
ภาพที่ 3	เส้นชั้นความสูงของพื้นที่แปลงทดลอง B ภายในพื้นที่ของศูนย์พัฒนาโครงการหลวงห้วยแล้ง	7
ภาพที่ 4	การแปลผลสถานะทางกายภาพของดินจากความรู้ในการกักเก็บน้ำที่เป็นประโยชน์ต่อพืชทั้งหมดและอากาศในช่องว่างของดินที่เป็นประโยชน์ต่อพืช	16
ภาพที่ 5	ความผิดพลาดที่เกิดจากการตัดสินใจในการทดสอบสมมติฐานประเภทที่ 1 และ 2 (Type I and Type II Error)	19
ภาพที่ 6	ภาพแสดงลำดับภูมิประเทศตามความลาดชันของพื้นที่ 5 ระดับ	36
ภาพที่ 7	เปอร์เซ็นต์การแพร่กระจายของอนุภาคทรายขนาดต่าง ๆ ในพื้นที่ปลูกยางพาราช่วงฤดูแล้งปี 2558, 2559 และฤดูฝนปี 2559	44
ภาพที่ 8	เปอร์เซ็นต์การแพร่กระจายของอนุภาคทรายขนาดต่าง ๆ ในพื้นที่ปลูกข้าวโพดช่วงฤดูแล้งปี 2558, 2559 และฤดูฝนปี 2559	55

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาของการศึกษาวิจัย

พื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศไทยเป็นพื้นที่ทำการเกษตร โดยเฉพาะใน 12 จังหวัดทางภาคเหนือ เป็นพื้นที่ทำการเกษตรถึงร้อยละ 96.48 พื้นที่ดังกล่าวมีสภาพพื้นที่แตกต่างกันไป ทั้งที่มีความลาดชัน มากไปจนถึงความลาดชันน้อยหรือพื้นที่ราบ เช่น พื้นที่ลาดเอียง พื้นที่หุบเขา พื้นที่สูงชัน และพื้นที่ราบเชิงเขา เป็นต้น การทำการเกษตรบนพื้นที่สูงนิยมปลูกพืชไร่และไม้ยืนต้น เช่น การปลูกข้าวโพดและยางพารา จากความแตกต่างกันของสภาพพื้นที่ โดยเฉพาะพื้นที่ที่มีความลาดชันสูงจะเกิดปัญหาการชะล้างพังทลายหน้าดินมาก ในช่วงหน้าฝนช่วงที่ฝนตกหนักบนพื้นที่สูงที่มีความลาดชันและไม่มีพืชปกคลุม โดยเฉลี่ยในแต่ละปีจะมีการสูญเสียหน้าดินไป 1 - 2 ซม. หรือประมาณ 20 - 30 ตันในพื้นที่ 1 ไร่ (ไทยเกษตรศาสตร์, 2556) การชะล้างพังทลายของดินเกิดจาก 2 กระบวนการใหญ่ ๆ คือ เกิดจากฝนตกหนัก และเกิดจากน้ำที่เอ่อล้น เมื่อฝนตกหนักกระทบผิวดินที่ไม่มีสิ่งปกคลุมจะทำให้เม็ดดินใหญ่แตกกระจาย เป็นเม็ดดินเล็ก ๆ น้ำที่เอ่อล้นจากการรวมกันของน้ำฝนจะไหลลงตามที่ลาดเขานำเอาเม็ดดินเหล่านั้นลงสู่พื้นที่ต่ำด้วย ยิ่งพื้นที่ที่มีความลาดชันสูงและระยะไกล การไหลของน้ำที่เอ่อล้นจะยิ่งมีความเร็วมากขึ้นส่งผลให้เกิดการสูญเสียหน้าดินมากขึ้นด้วย การสูญเสียหน้าดินลักษณะนี้ต่อเนื่องหลาย ๆ ปี ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีและสมบัติทางกายภาพของดิน เช่น ทำให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์ลดลง และความสามารถในการเก็บกักน้ำและการซึมน้ำลดลง เป็นต้น

การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพของดินขึ้นกับอิทธิพลของปัจจัยหลาย ๆ ประการทั้งที่เกิดจากอิทธิพลของมนุษย์และอิทธิพลของธรรมชาติ เช่น การใช้ประโยชน์ที่ดิน การจัดการดิน พืชพรรณธรรมชาติ ลักษณะภูมิอากาศ และลักษณะภูมิประเทศ มักพบว่าสมบัติทางกายภาพของดินจะเปลี่ยนแปลงไปตามลำดับภูมิประเทศ (toposequence) ตั้งแต่บริเวณยอดเขาไปจนถึงที่ราบเชิงเขา เนื่องจากพื้นที่สูงมีความผันแปรจากความลาดเอียงหรือการเปลี่ยนแปลงความชัน (slope) ของพื้นที่ ทำให้รับน้ำฝนได้น้อยกว่าพื้นที่ราบและมีการรับน้ำฝนไม่สม่ำเสมอ รวมทั้งมีการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ต่างกัน เช่น การปลูกพืชไร่ หรือไม้ยืนต้น และยังรวมถึงการปล่อยหน้าดินโล่ง ปัจจัยเหล่านี้ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพของดินทั้งสิ้น อาทิเช่น การแพร่กระจายของอนุภาคดิน ความหนาแน่นรวมของดิน ความสามารถในการอุ้มน้ำและการระบายน้ำของดิน และความชื้นของดิน

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพของดิน ส่วนใหญ่เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (experimental research) เพื่อตอบคำถามเกี่ยวกับอิทธิพลของสิ่งทดลองต่าง ๆ (treatments) ว่ามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพของดินให้ดีขึ้นหรือไม่ ตัวอย่างเช่น การศึกษาอิทธิพลของการจัดการดินวิธีต่าง ๆ เพื่อประเมินว่าวิธีใดสามารถลดความแน่นทึบของดินได้ การรายงานผลการศึกษาวิจัยลักษณะนี้ นิยมใช้การอธิบายแนวโน้มความแตกต่างของแต่ละสิ่งทดลองเปรียบเทียบกับปัจจัยควบคุม (control factor) และใช้แผนภูมิแท่งหรือกราฟประกอบการอธิบาย เนื่องจากไม่มีตัวชี้วัดที่สามารถระบุ

ชัดเจนได้ว่าสิ่งทดลองใดให้ผลดีที่สุด ดังนั้น การใช้การคำนวณความแตกต่างทางสถิติเข้ามาเป็นตัวชี้วัด จะทำให้สามารถสรุปผลการศึกษาวิจัยได้ชัดเจนและน่าเชื่อถือยิ่งขึ้น เช่น การใช้ค่า t -test ในการเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยระหว่างปัจจัยศึกษา 2 กลุ่ม หรือการใช้ค่า F -test หรือ ANOVA ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนหรือการทดสอบสมมติฐานที่มีการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยมากกว่า 2 กลุ่มขึ้นไป

การศึกษาการแปลผลสมบัติทางกายภาพดินด้วยหลักสถิติสำหรับพื้นที่สูงที่ปลูกยางพาราและข้าวโพดในครั้งนี้ จะประเมินความผันแปรสมบัติทางกายภาพของดินพื้นที่สูงที่มีการใช้ประโยชน์ที่ดินต่างกัน (การปลูกยางพาราและข้าวโพด) โดยประเมินตามลำดับภูมิประเทศ 5 ลำดับ ได้แก่ ยอดเขา ไหล่เขา ลาดเขา เชิงเขา และที่ราบเชิงเขา ที่ 3 ระดับความลึกของดิน ได้แก่ 0 - 15, 15 - 30, และ 30 - 60 cm ข้อมูลที่ได้จะเป็นประโยชน์ต่อการแนะนำการจัดการดินพื้นที่สูงให้เหมาะสมตามลำดับภูมิประเทศ และมีผลกระทบต่อสมบัติทางกายภาพดินน้อย ทำให้การเลือกใช้ประโยชน์ที่ดินทางการเกษตรพื้นที่สูงมีความเหมาะสมยิ่งขึ้น นำไปสู่การลดการเกิดกษัยการของดิน (soil erosion) ได้ในอนาคต อีกทั้งข้อมูลที่ได้ยังสามารถใช้สำหรับการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อประเมินผลกระทบของการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำได้ และสามารถใช้เป็นข้อมูลในการต่อยอดงานวิจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องต่อไป

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาความผันแปรสมบัติทางกายภาพบางประการของดินชั้นไทรพรวน บนพื้นที่สูงที่มีลำดับภูมิประเทศต่าง ๆ กัน และมีการใช้ประโยชน์ที่ดินต่างกันด้วยการปลูกยางพาราและข้าวโพด
2. เพื่อใช้หลักการคำนวณทางสถิติมาประเมินผลการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพดินสำหรับพื้นที่สูงที่ใช้ประโยชน์ที่ดินต่างกัน โดยการปลูกยางพาราและข้าวโพด
3. เพื่อสร้างข้อมูลพื้นฐานด้านการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพของดินพื้นที่สูงตามลำดับภูมิประเทศ (toposequence) ที่มีการใช้ประโยชน์ที่ดินต่างกัน ซึ่งสามารถนำไปใช้สำหรับการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อประเมินผลกระทบของการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำได้ และใช้เป็นข้อมูลในการต่อยอดงานวิจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องต่อไปได้

บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

ความหมายของพื้นที่สูง

จากพระราชกฤษฎีกาจัดตั้งสถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) เมื่อวันที่ 14 ตุลาคม พ.ศ. 2548 ได้นิยามคำว่า พื้นที่สูง ดังนี้

“พื้นที่สูง” หมายความว่า พื้นที่ที่เป็นภูเขา หรือพื้นที่ที่มีความสูงกว่าระดับน้ำทะเลปานกลาง ห้าร้อยเมตรขึ้นไป หรือพื้นที่ที่อยู่ในระหว่างพื้นที่สูงตามที่คณะกรรมการสถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง กำหนด

พื้นที่สูงในประเทศไทยครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 67.22 ล้านไร่ คิดเป็นร้อยละ 53 ของพื้นที่ 20 จังหวัด ได้แก่ เชียงใหม่ เชียงราย แม่ฮ่องสอน พะเยา ลำพูน แพร่ น่าน ลำปาง ตาก เพชรบูรณ์ พิษณุโลก เลย สุโขทัย กำแพงเพชร กาญจนบุรี อุทัยธานี สุพรรณบุรี ราชบุรี ประจวบคีรีขันธ์ และเพชรบุรี สำหรับพื้นที่สูงใน 12 จังหวัดของภาคเหนือ ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ป่าต้นน้ำลำธารซึ่งใช้เป็นพื้นที่ทำการเกษตรร้อยละ 96.48 พื้นที่เหล่านี้เป็นพื้นที่ที่มีความลาดชันมาก ทำให้เกิดปัญหาการชะล้างพังทลายหน้าดิน โดยเฉพาะในระบบการทำการเกษตรแบบตัดและเผาที่เปิดหน้าดินโล่งรับแรงปะทะกับเม็ดฝนโดยตรง และไม่มีระบบชะลอการไหลของน้ำฝนที่ไหลบ่าไปตามความลาดชัน หน้าดินที่ถูกชะล้างไปทุกปีทำให้พื้นที่เกษตรเหลือแต่ดินชั้นล่างที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำและเป็นดินปนหิน (สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง, 2561) การชะล้างพังทลายของดินแบ่งเป็น 3 แบบ คือ 1) แบบกระเด็น (splash erosion) 2) แบบแผ่น (sheet หรือ inter-rill erosion) และ 3) แบบริ้ว (rill erosion) เมื่อเม็ดดินหลุดออกจากพื้นดินและกระเด็นไปอยู่ห่างออกไปจากที่เดิม พร้อมทั้งจะทำให้เกิดการพังทลายแบบแผ่น น้ำเป็นปัจจัยสำคัญในการพัดพาตะกอนดินลงสู่ที่ต่ำ เมื่อน้ำมีปริมาณและพลังงานมากพอก็จะกัดเซาะดินให้เป็นร่องน้ำตื้น ร่องลึก การชะล้างพังทลายแบบแผ่น และก่อให้เกิดดินถล่มต่อไปได้ (พิทยากร, 2551) ซึ่งการเกิดการชะล้างพังทลายแบบต่าง ๆ ล้วนมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพของดินพื้นที่สูงทั้งสิ้น

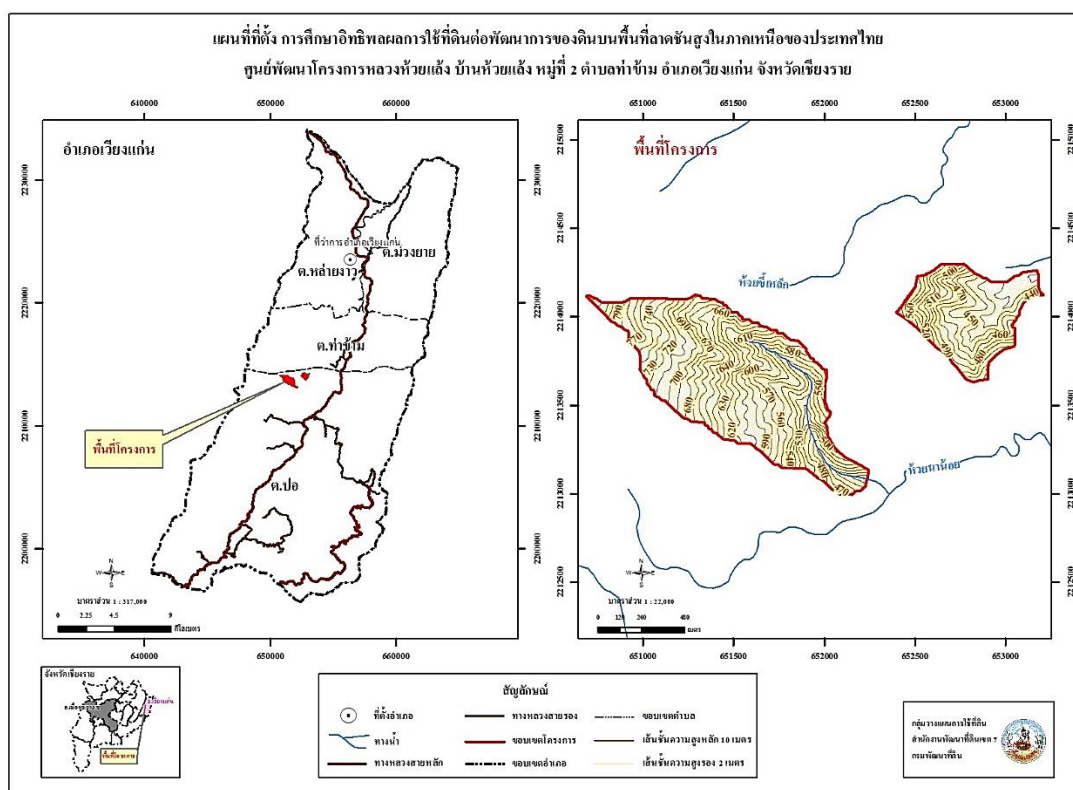
พิทยากร (2551) ได้อธิบายลักษณะของพื้นที่สูงไว้ว่า เป็นบริเวณพื้นที่ซึ่งมีความลาดชันโดยเฉลี่ยมากกว่าร้อยละ 35 สมบัติของดินพื้นที่สูงที่พบไม่แน่นอนมีทั้งดินลึกและดินตื้น ลักษณะของเนื้อดินและความอุดมสมบูรณ์ตามธรรมชาติแตกต่างกันไปแล้วแต่ชนิดของหินต้นกำเนิดในบริเวณนั้น มักมีเศษหินก้อนหิน หรือหินโผล่กระจัดกระจายทั่วไป พื้นที่สูงหลายแห่งมีการทำไร่เลื่อนลอยโดยปราศจากมาตรการในการอนุรักษ์ดินและน้ำ เป็นผลทำให้เกิดการชะล้างพังทลายของหน้าดิน จนบางแห่งเหลือแต่หินโผล่ การสูญเสียหน้าดินนี้ทำให้เกิดการสูญเสียธาตุอาหารพืชและอินทรีย์วัตถุในดิน ตลอดจนโครงสร้างของดินส่งผลให้ความอุดมสมบูรณ์ของดินลดลง อัตราการสูญเสียดินในพื้นที่เกษตรกรรมที่เกิดเนื่องจากการชะล้างพังทลายของหน้าดิน ซึ่งกรมพัฒนาที่ดินรายงานว่าอัตราการสูญเสียสูงสุด 20 – 40 ตันต่อไร่ต่อปี

และสรุปการสูญเสียดินที่เกิดขึ้นในพื้นที่ภาคเหนือว่ามีการสูญเสียระหว่าง 0 – 38 ตันต่อไร่ต่อปี แสดงให้เห็นว่าพื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่อการชะล้างพังทลายจะเกิดการสูญเสียดินที่รุนแรงทั้งอัตราและปริมาณ

สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (2557) ได้สรุปสภาพของดินพื้นที่สูงว่ามีสภาพพื้นที่หลายลักษณะ ได้แก่ 1) ที่นาบริเวณหุบเขา เป็นพื้นที่มีลักษณะเป็นคลื่นลอนราบต่ำใกล้ทางน้ำ ดินค่อนข้างมีความอุดมสมบูรณ์ 2) พื้นที่ลาดเอียงเหนือหุบเขา กลุ่มดินเป็นดินร่วนละเอียด ระบายน้ำได้ดีปานกลาง 3) พื้นที่ลาดเอียงและเนินเขา เป็นดินที่เกิดจากการกร่อนตัวของหินแกรนิต ดินจึงเป็นดินเหนียว ระบายน้ำได้ดีปานกลาง เป็นดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ตามธรรมชาติสูง และ 4) พื้นที่ลาดเอียงสูงชัน เป็นดินที่เกิดจากการกร่อนตัวของหินแกรนิต ระบายน้ำได้ดีปานกลาง มีความอุดมสมบูรณ์ตามธรรมชาติน้อยมาก และมีหินมากจึงเป็นอุปสรรคต่อการเกษตรกรรม สภาพปัญหาที่เกิดกับดินบนพื้นที่สูง คือ การใช้ดินไม่เหมาะสม เช่น การตัดไม้ทำลายป่า และการทำไร่เลื่อนลอย ซึ่งจะเกิดการชะล้างหน้าดินสูงทำให้ธาตุอาหารถูกชะล้างไปด้วยดินจึงขาดความอุดมสมบูรณ์ การแก้ไขจำเป็นต้องดำเนินการโดยการอนุรักษ์และการจัดการดินอย่างเหมาะสม เพื่อให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์และคงประโยชน์สูงสุด โดยแนะนำแนวทางในการอนุรักษ์และการจัดการดินบนพื้นที่สูง 3 วิธี ได้แก่ 1) การใช้ประโยชน์จากที่ดินอย่างเหมาะสม 2) การจัดการน้ำให้เหมาะสมพอเพียง และ 3) การจัดการอินทรีย์วัตถุอย่างเหมาะสม

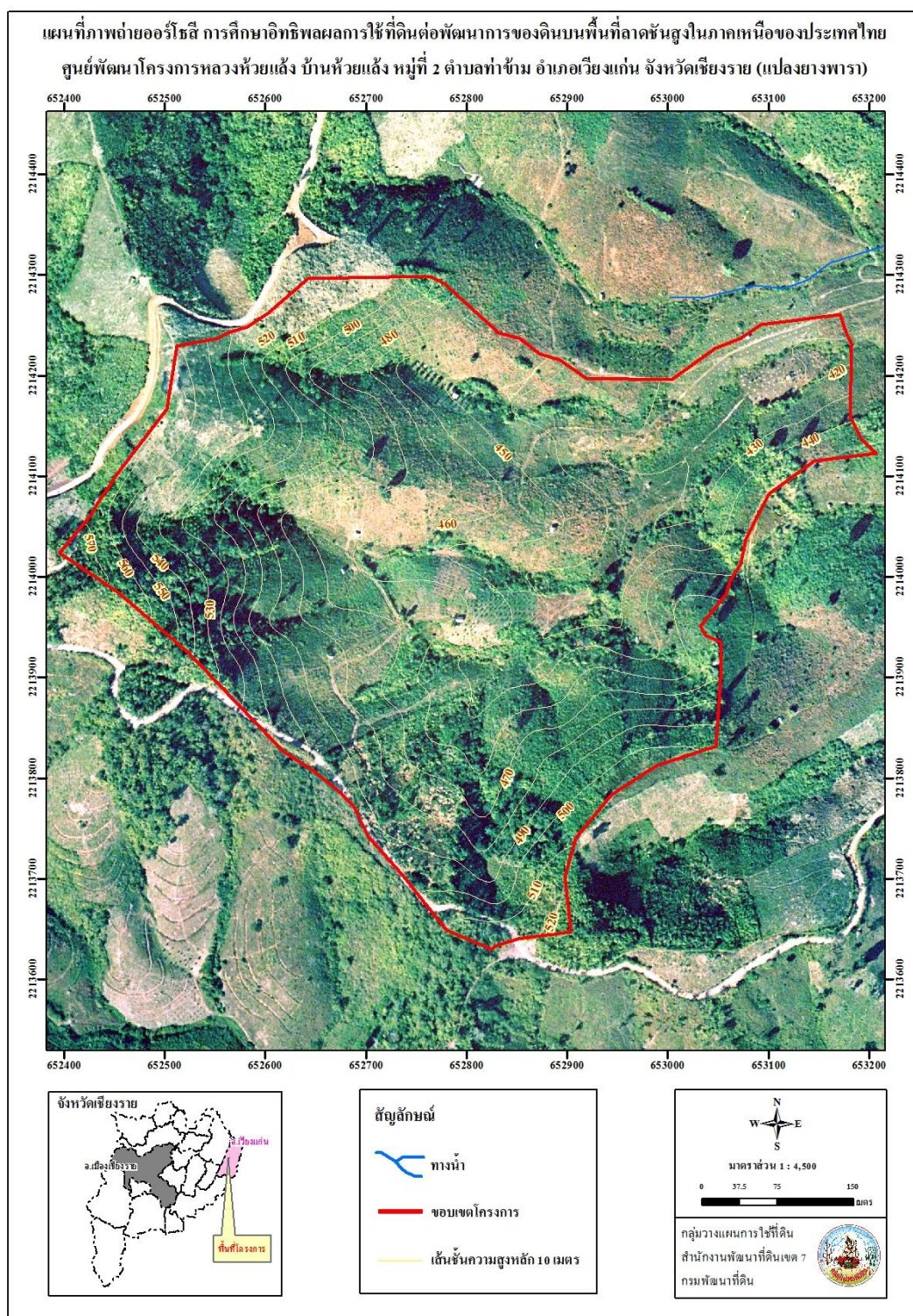
พื้นที่ศึกษาวิจัย

พื้นที่ลาดชันสูงภาคเหนือที่ใช้เป็นพื้นที่ศึกษาวิจัยนี้ เป็นพื้นที่ของศูนย์พัฒนาโครงการหลวงห้วยแล้ง ตั้งอยู่ในพื้นที่บ้านห้วยแล้ง หมู่ 2 ตำบลท่าข้าม อำเภอเวียงแก่น จังหวัดเชียงราย สภาพภูมิประเทศส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ลาดชันเชิงซ้อน มีความลาดชันมากกว่า 35 เปอร์เซ็นต์ อยู่สูงจากระดับทะเลปานกลางประมาณ 420-830 เมตร กันตถณ และคณะ (2558) ได้ทำการศึกษาลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงห้วยแล้ง 2 พื้นที่ ได้แก่ พื้นที่ A ตั้งอยู่ระหว่าง พิกัด UTM 2214035 N ถึง พิกัด UTM 2214130 N และระหว่าง พิกัด UTM 653203 E ถึง พิกัด UTM 653297 E พื้นที่ B ตั้งอยู่ระหว่าง พิกัด UTM 2213134 N ถึง พิกัด UTM 2214118 N และระหว่าง พิกัด UTM 650687 E ถึง พิกัด UTM 652243 E (ภาพที่ 1)

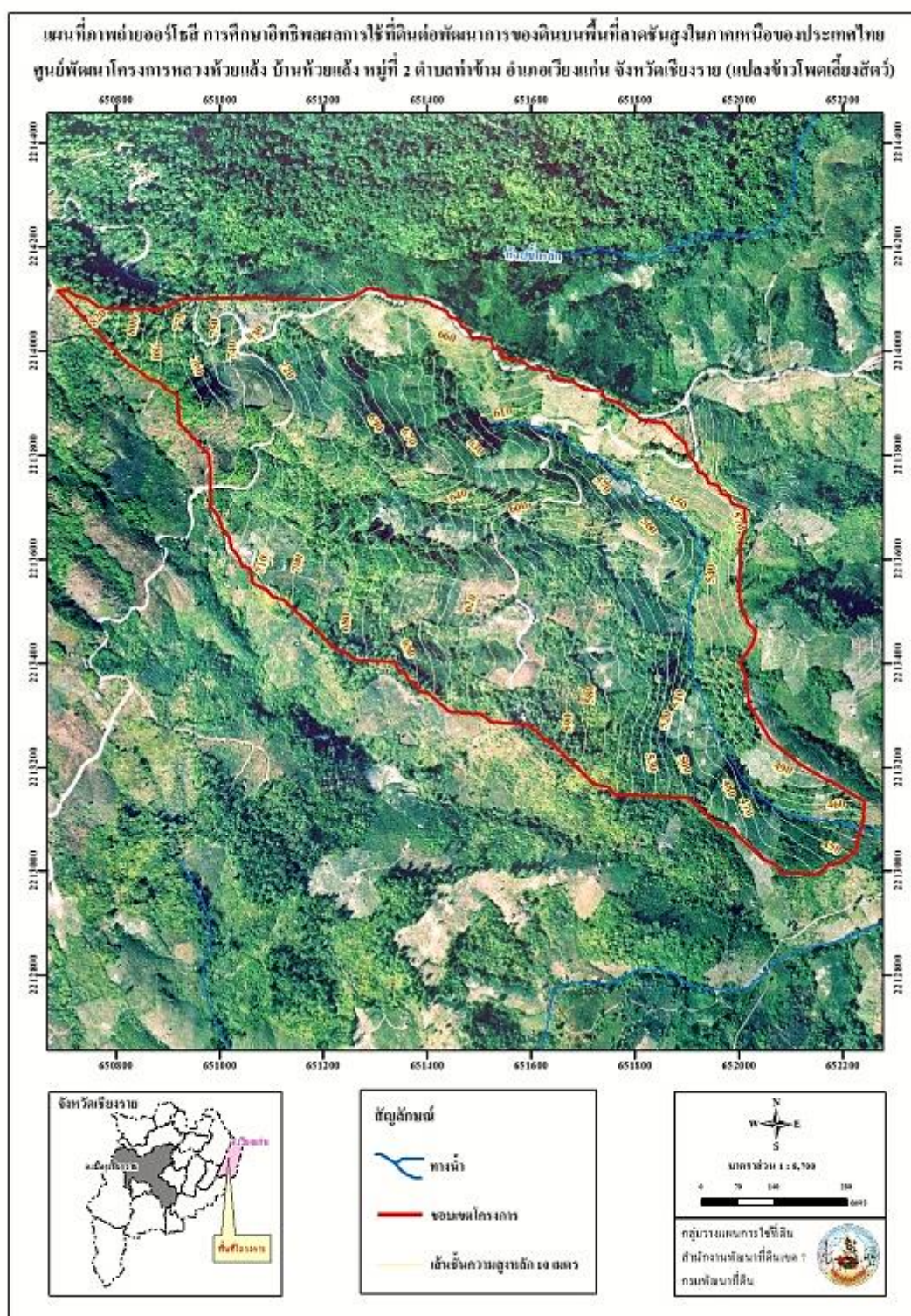


ภาพที่ 1 แผนที่ตั้งแปลงทดลอง A และ B ภายในพื้นที่ของศูนย์พัฒนาโครงการหลวงห้วยแล้ง
ที่มา: กันตภณ และคณะ (2558)

พื้นที่แปลง A ส่วนใหญ่มีความสูงชันมาก คิดเป็นร้อยละของความลาดชันอยู่ในช่วง 50 – 75 % และพื้นที่แปลง B ส่วนใหญ่เป็นเนินเขา คิดเป็นร้อยละของความลาดชันอยู่ในช่วง 20 – 35 % ลักษณะความลาดชันของพื้นที่แปลง A แสดงในภาพที่ 2 และพื้นที่แปลง B แสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 2 เส้นชั้นความสูงของพื้นที่แปลง A ภายในพื้นที่ของศูนย์พัฒนาโครงการหลวงห้วยแล้ง
ที่มา: กันตภณ และคณะ (2558)



ภาพที่ 3 เส้นชั้นความสูงของพื้นที่แปลง B ภายในพื้นที่ของศูนย์พัฒนาโครงการหลวงห้วยแล้ง
ที่มา: กันตภณ และคณะ (2558)

กันตภณ และคณะ (2558) ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของการใช้ที่ดินต่อพัฒนาการของดินบนพื้นที่ลาดชันสูง ได้แก่ พื้นที่แปลง A และแปลง B ผลการศึกษาพบว่า การใช้ประโยชน์ที่ดินของพื้นที่แปลง A ส่วนใหญ่ปลูกยางพารา มีเนื้อที่ 112.12 ไร่ หรือร้อยละ 60.28 ของพื้นที่แปลง A และการใช้ประโยชน์ที่ดินของพื้นที่แปลง B ส่วนใหญ่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ มีเนื้อที่ 282.68 ไร่ หรือร้อยละ 58.15 ของพื้นที่แปลง B นอกจากนี้ยังมีการสลับปลูกพืชไร่ในแต่ละปีไม่แน่นอน เช่น เปลี่ยนจากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เป็นข้าวไร่ หรือข้าวไร่เป็นข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ เป็นต้น ข้อมูลด้านทรัพยากรดินของพื้นที่แปลง A สามารถแบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ (1) ชุดดินวังสะพุงที่เป็นดินลึกปานกลาง มีเนื้อที่ 167.00 ไร่ หรือร้อยละ 89.79 ของพื้นที่แปลง A (2) ดินตะกอนน้ำพาเชิงซ้อน มีเนื้อที่ 112.12 ไร่ หรือร้อยละ 60.28 ของพื้นที่แปลง A และ (3) ชุดดินมวกเหล็ก มีเนื้อที่ 8.65 ไร่ หรือร้อยละ 4.65 ของพื้นที่แปลง A สำหรับพื้นที่แปลง B สามารถแบ่งได้เป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ (1) ชุดดินท่าลี่เป็นดินตื้นหรือตื้นมาก มีเนื้อที่ 358.47 ไร่ หรือร้อยละ 73.76 ของพื้นที่แปลง B (2) ชุดดินมวกเหล็ก มีเนื้อที่ 97.05 ไร่ หรือร้อยละ 19.97 ของพื้นที่แปลง B (3) ดินตะกอนน้ำพาเชิงซ้อนกับที่ดินหินพื้นโผล่ มีเนื้อที่ 23.03 ไร่ หรือร้อยละ 4.74 ของพื้นที่แปลง B และ (4) ที่ดินหินพื้นโผล่ มีเนื้อที่ 7.45 ไร่ หรือร้อยละ 1.53 ของพื้นที่แปลง B ดินส่วนใหญ่ของพื้นที่แปลง A และ B อยู่ในอันดับอัลฟิโซลส์ (Alfisol)

เอิบ (2542) อธิบายว่า ดินในอันดับอัลฟิโซลส์ (Alfisol) มีอัตราเสี่ยงต่อการกร่อนดินสูง เนื่องจากพัฒนาการของดินสูงโครงสร้างดินในชั้นดินล่างวินิจัยอาร์จิลิก (Argillic horizon) มักจะยังไม่ดีพอเหมือนกับดินอันดับอุลติโซลส์ (Ultisol) ทำให้มีอัตราการซาบซึมน้ำระหว่างดินบนและดินล่างแตกต่างกัน ทำให้เกิดการกร่อนดินได้ง่าย ซึ่งการจัดการดินในอันดับนี้จำเป็นต้องคำนึงถึงอัตราการเสี่ยงต่อการกร่อนดินเสมอ กลุ่มอนุรักษ์ดินและน้ำ (2544) ให้คำแนะนำการจัดการดินพื้นที่ลาดชันเชิงซ้อนเพื่อใช้ทำการเกษตร จำเป็นต้องใช้มาตรการการอนุรักษ์ดินแบบเข้มงวด โดยใช้มาตรการวิธีกลร่วมกับมาตรการวิธีพืช เช่น การทำคูรับน้ำขอบเขาร่วมกับชั้นบันไดดินและปลูกพืชตามแนวระดับ การทำแนวคันดินร่วมกับหญ้าแฝก หรือการปลูกพืชคลุมดินโดยใช้พืชตระกูลถั่วเพื่อช่วยควบคุมการชะล้างพังทลายของดินและปรับปรุงบำรุงดิน คำแนะนำการจัดการดินนี้เหมาะสมต่อการนำมาใช้กับพื้นที่แปลง A และแปลง B ซึ่งเป็นพื้นที่ลาดชันที่เกษตรกรใช้ในการปลูกยางพาราและข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เป็นส่วนใหญ่

การศึกษาสมบัติทางกายภาพบางประการของดินพื้นที่สูง

สำนักงานราชบัณฑิตยสภา (2562) ให้คำจำกัดความคำต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาวิจัยนี้ ดังนี้ 1) ดินที่สูง (highland soil) หมายถึง ดินที่เกิดบนสภาพพื้นที่ที่มีความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลางมากกว่า 500 เมตร 2) สมบัติทางกายภาพของดิน (soil physical property) หมายถึง สมบัติที่เกี่ยวข้องกับลักษณะและสภาวะทางฟิสิกส์ของดินจากอิทธิพลของแรง พลังงาน อุณหภูมิ ความชื้น แสง คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า รวมถึงสถานะและพฤติกรรมเคลื่อนย้ายของมวลสารและพลังงานของดิน 3) ลำดับดิน (soil sequence) หมายถึง การเรียงลำดับหน่วยดินหรือชนิดของดินที่พบในพื้นที่ต่อเนื่องกัน ซึ่งมีลักษณะและสมบัติของดินแตกต่างกันตามความแตกต่างของปัจจัยที่ทำให้กำเนิดดิน รูปแบบของการเรียงลำดับนั้นจะต้องมีรูปแบบเดียวกันแม้ว่าจะพบในบริเวณต่างกัน เช่น ลำดับภูมิประเทศ

(toposequence) หมายถึง ดินที่สัมพันธ์กันและเกิดจากวัตถุดินกำเนิดชนิดเดียวกัน แต่มีความแตกต่างกันเนื่องจากสภาพภูมิประเทศ และลำดับความเอียง (clinosequence) หมายถึง ดินที่สัมพันธ์กันแต่มีลักษณะและสมบัติดินแตกต่างกันเนื่องจากความลาดชันของพื้นที่ เป็นต้น

Smyth and Montgomery (1990) พบว่า การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพของดิน จะเปลี่ยนแปลงไปตามลักษณะภูมิประเทศ (topography) เนื่องจากลักษณะภูมิประเทศที่ต่างกันจะมีปัจจัยในการสร้างตัวของดินที่ต่างกัน ส่งผลต่อความแตกต่างของการจัดเรียงตัวเป็นลำดับชั้นดิน Young (1976) และ Gerrard (1992) พบว่า ในพื้นที่เขตร้อนลักษณะภูมิประเทศเป็นปัจจัยหลักที่ควบคุมสมบัติของดิน โดยตำแหน่งของลักษณะภูมิประเทศโดยเฉพาะพื้นที่ลาดชันที่ประกอบด้วยที่ลาดเชิงเขา ลำดับต่าง ๆ จะมีผลต่อลักษณะการระบายน้ำของดินและการเคลื่อนย้ายของวัสดุดิน และสมบัติของดินจะเปลี่ยนแปลงไปตามลำดับภูมิประเทศจากบริเวณยอดเขาจนถึงก้นหุบเขา เนื่องจากความแตกต่างของชนิดดิน Odenerho (2000) ให้ความเห็นว่า ชุดดินชนิดหนึ่ง ๆ (Soil series) ที่กระจายตัวปกคลุมตามลำดับภูมิประเทศจะมีอิทธิพลต่อรูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่นั้น Bardy and Weil (2007) รายงานว่า ลักษณะภูมิประเทศ (topography) ที่ก่อให้เกิดการสร้างตัวของดินตามลำดับภูมิประเทศ (toposequence) โดยดินนี้มีวัตถุดินกำเนิดเดียวกัน มีอายุในการสร้างตัวเท่ากัน และอยู่ภายใต้สภาพดินฟ้าอากาศเดียวกัน แต่ก็ยังมีลักษณะของดินที่แตกต่างกันได้เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงความชันของพื้นที่

Buol *et al.* (1997) พบว่า ลำดับภูมิประเทศเป็นปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อธรรมชาติและการกระจายตัวของดิน รูปแบบของดินในแต่ละลำดับภูมิประเทศควรมีลักษณะพื้นฐานต่าง ๆ แตกต่างกัน Stoop (2000) พบว่า ลำดับภูมิประเทศมีอิทธิพลต่อสมบัติต่าง ๆ ของดินและผลผลิตพืช การแนะนำเกษตรกรในการจัดการดินโดยไม่คำนึงถึงสมบัติเฉพาะของดินในแต่ละลำดับภูมิประเทศอาจส่งผลการตัดสินใจเลือกชนิดและอัตราปุ๋ยในการปรับปรุงดินที่ไม่เหมาะสม ดังนั้น การใช้ประโยชน์ที่ดินอย่างเหมาะสมตามลำดับภูมิประเทศเพื่อให้ได้ผลผลิตสูง จะต้องใช้ความรู้ทั้งทางด้านสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีสำหรับดินที่อยู่ในตำแหน่งความชันต่าง ๆ กัน

Osuaku *et al.* (2014) ศึกษาความผันแปรของสมบัติทางกายภาพของดินตามลำดับภูมิประเทศ 3 ลำดับ คือ upper slope, mid slope, และ bottom slope พบว่า ลำดับภูมิประเทศมีอิทธิพลต่อสมบัติต่าง ๆ ของดิน เช่น ปริมาณของอนุภาคขนาดทราย (sand) จะลดลงตามความลึกของดินที่เพิ่มขึ้น และพบมากที่สุดบริเวณ upper slope อนุภาคขนาดทรายแป้ง (silt) จะเพิ่มขึ้นเมื่อความชันของพื้นที่ลดลง และปริมาณอนุภาคขนาดดินเหนียว (clay) จะเพิ่มขึ้นเมื่อความชันและความลึกของดินลดลง โดยปริมาณอนุภาคขนาดทรายแป้งและดินเหนียวจะพบมากที่สุดบริเวณ bottom slope สอดคล้องกับ Boling *et al.* (2008) ซึ่งพบว่า ตำแหน่งของลำดับภูมิประเทศจะมีอิทธิพลต่อความแตกต่างของปริมาณน้ำในสภาพสนาม, ปริมาณอนุภาคดินเหนียว ทรายแป้ง และทราย, และปริมาณความหนาแน่นรวมของดิน

การใช้ประโยชน์ที่ดินบนพื้นที่สูงที่มีอิทธิพลต่อความผันแปรของน้ำในดิน ศุภชาติ (2545) พบว่า รูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ต่างกันมีอิทธิพลต่อความแตกต่างของปริมาณความชื้นในดินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพื้นที่ไร่ร้างที่ปกคลุมด้วยหญ้ามีความชื้นในดินมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่ป่า

ดิบแล้ง สวนป่ายูคาลิปตัส และกระถินยักษ์ โดยสวนป่ายูคาลิปตัสมีความชื้นในดินต่ำที่สุด จากผล การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าปริมาณความชื้นในดินมีผลมาจากการใช้ประโยชน์ที่ดินที่แตกต่างกัน ได้แก่ ชั้นของไม้ยืนต้น (tree layer) ชั้นของไม้พุ่ม (shrub layer) ชั้นของพืชล้มลุก (herb layer) และชั้นของ หญ้า (grass layer) ความแตกต่างของการใช้ประโยชน์ที่ดินเหล่านี้ ส่งผลต่อองค์ประกอบทางลักษณะ โครงสร้างของดินบนพื้นที่นั้น ๆ ซึ่งจะมีความผันแปรไปตามพื้นที่ (space) และเวลา (time)

การใช้ประโยชน์ที่ดินไม่เหมาะสมทำให้สมบัติทางกายภาพของดินถูกทำลาย ได้แก่ เกิดแผ่นแข็ง ปิดหน้าดิน (surface crust) ดินแน่นทึบ (soil compaction) ดินมีการระบายน้ำเลว (poor drainage) และดินมีอัตราการแทรกซึมน้ำลดลง ปัจจัยเหล่านี้ส่งเสริมให้เกิดการไหลบ่าของน้ำผิวดิน (surface runoff) และเกิดกษัยการของดิน (soil erosion) Lujan (2003) พบว่า เมื่อเกิดการไหลบ่าของน้ำผิวดิน และเกิดกษัยการของดิน โครงสร้างของดินบนจะถูกทำลายและอนุภาคดินบางส่วนจะเคลื่อนลงไปปิด ช่องว่างของชั้นดิน ทำให้เกิดแผ่นแข็งปิดหน้าดินเพิ่มมากขึ้น จะเห็นว่าการเสื่อมสภาพทางกายภาพของ ดินเกิดจากปัญหาต่าง ๆ ที่มีความสัมพันธ์กันทั้งสิ้น สำหรับพื้นที่ลาดชันภาคเหนือตอนบนของไทย เกษตรกรปลูกข้าวโพดอย่างเดียวเป็นเวลานานต่อเนื่องกันทำให้เกิดปัญหาผลผลิตข้าวโพดตกต่ำเนื่องจาก ดินเสื่อมโทรม เกิดการสูญเสียหน้าดินจากการชะล้างพังทลายของดิน ปัจจุบันจึงได้มีการปรับเปลี่ยน ระบบการปลูกพืชเป็นระบบเกษตรผสมผสานทดแทนการปลูกพืชเชิงเดี่ยว บุญเทียม (2554) รายงานว่า การปลูกพืชระบบเกษตรผสมผสานแทนการปลูกข้าวโพดอย่างเดียว เช่น การปลูกยางพาราเป็นพืชหลัก ข้าวหรือพืชไร่เป็นพืชร่วม และปลูกถั่วเหลืองหลังนา สามารถช่วยเพิ่มรายได้ให้แก่เกษตรกร ทำให้ ปัจจุบันเกษตรกรหันมาสนใจมากขึ้น และมีการเพิ่มพื้นที่ปลูกยางพาราทดแทนพื้นที่ปลูกข้าวโพดในพื้นที่ ลาดชันลงได้

การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของดินบางประการ

การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของดิน สามารถวิเคราะห์ได้ทั้งวิธีในห้องปฏิบัติการและวิธี ภาคสนาม การจะเลือกใช้วิธีใดขึ้นอยู่กับรายการที่ต้องการวิเคราะห์ วัตถุประสงค์หลักของการวิเคราะห์ คือ การนำผลวิเคราะห์ที่ได้มาประเมินศักยภาพดินต่อการใช้ประโยชน์ที่ดินทำการเกษตร และใช้ในการ ตัดสินใจเลือกวิธีการจัดการดินที่เหมาะสมต่อสมบัติดิน การศึกษาวิจัยนี้ใช้เฉพาะการวิเคราะห์ใน ห้องปฏิบัติการ โดยมีรายการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพดินที่สำคัญ ได้แก่

- การวิเคราะห์ขนาดอนุภาคดิน (particle size analysis)
- การวิเคราะห์ทางกายภาพ (physical analysis) ประกอบด้วย ความหนาแน่นรวมของดิน (dry bulk density, ρ_b), ความหนาแน่นอนุภาคดิน (particle density, ρ_s), และความ พอร์รวมของดิน (total soil porosity, TP)
- การวิเคราะห์การนำน้ำของดินในสภาพที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (saturated hydraulic conductivity, K_{sat})
- การวิเคราะห์ความชื้นดินที่แรงดึงบรรยากาศต่าง ๆ (soil moisture retention, MR, or characterization curves)

การวิเคราะห์ขนาดอนุภาคดิน (particle size analysis)

การวิเคราะห์ขนาดอนุภาคดิน เป็นการวิเคราะห์การกระจายตัวของอนุภาคดินที่มีขนาดอนุภาคต่าง ๆ กัน 3 ขนาด ได้แก่ อนุภาคขนาดทราย (sand) อนุภาคขนาดทรายแป้ง (silt) และอนุภาคขนาดดินเหนียว (clay) ดังแสดงในตารางที่ 1 สัดส่วนของอนุภาคทั้ง 3 ขนาดสามารถนำมาประเมินประเภทเนื้อดินได้ เนื้อดินทั้งหมดตามมาตรฐาน USDA (USDA Soil Conservation Service, 1971) แบ่งเป็น 12 ประเภท ได้แก่ ดินทราย (sand, S), ดินทรายปนร่วน (loamy sand, LS), ดินร่วนปนทราย (sandy loam, SL), ดินร่วนเหนียวปนทราย (sandy clay loam, SCL), ดินร่วน (loam, L), ดินร่วนปนทรายแป้ง (silt loam, SiL), ดินทรายแป้ง (silt, Si), ดินเหนียว (clay, C), ดินเหนียวปนทรายแป้ง (silty clay, SiC), ดินเหนียวปนทราย (sandy clay, SC), ดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง (silty clay loam, SiCL)

ตารางที่ 1 การแบ่งอนุภาคดินขนาดต่าง ๆ ตามมาตรฐาน USDA

Textural name	Textural subclass	Particle-size range (nm)	U.S. standard (sieve number)	Sieve opening (nm)	Particles (g ⁻¹)	Typical settling velocity
Gravel	Gravel	>4.76	4	4.76	<2	20 cm s ⁻¹
	Fine Gravel	2.00 – 4.76	10	2.00	11	3 cm s ⁻¹
Sand	Very coarse sand	1.00 – 2.00	18	1.00	90	1 cm s ⁻¹
	Coarse sand	0.50 – 1.00	35	0.50	720	13 cm min ⁻¹
	Medium sand	0.25 – 0.50	60	0.25	5,700	3 cm min ⁻¹
	Fine sand	0.10 – 0.25	140	0.10	46,000	31 cm h ⁻¹
	Very fine sand	0.05 – 0.10	270	0.05	722,000	6 cm h ⁻¹
Silt	-	0.002 – 0.05	-	-	5,776,000	1.3 mm h ⁻¹
Clay	-	<0.002	-	-	90,260,853,000	<1.3 mm h ⁻¹

ที่มา: USDA Soil Conservation Service (1971)

วิธีวิเคราะห์ขนาดอนุภาคดินที่นิยมใช้มี 2 วิธี คือ วิธีที่ (1) วิธีร่อนผ่านตะแกรงและตกตะกอน (Sieving and sedimentation method) หรือบางครั้งเรียกว่า วิธีปิเปต (Pipette method) (McCarty *et al.*, 2016) อาศัยหลักการตกตะกอนของอนุภาคในสารแขวนลอย (suspension) ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่างกัน ได้แก่ อนุภาคขนาดทราย ทรายแป้ง และดินเหนียว และคำนวณเวลาในการตกตะกอนของอนุภาคแต่ละขนาดจากสมการที่ (1) สมการของสโตกส์ (Stokes equation)

$$\text{Stokes Equation: } V = \frac{g(d^1 - d)D^2}{18\eta} \quad (1)$$

เมื่อ V = ความเร็วในการตกตะกอนของอนุภาค (cm s^{-1})
 d^1 = ความหนาแน่นของอนุภาค (g cm^{-3}) (ดินแร่ส่วนใหญ่จะใช้ค่า 2.65 g cm^{-3})
 d = ความหนาแน่นของตัวกลาง (g cm^{-3}) (0.997 g cm^{-3} สำหรับน้ำที่อุณหภูมิ 25°C)
 g = ความเร่งตามแรงโน้มถ่วงของโลก (980 cm s^{-2})
 D = เส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาค (cm)
 η = ค่าสมบรูณ์ของความหนืดของตัวกลาง (dyne s cm^{-2})

จากสมการที่ (1) ที่คำนวณแล้ว พบว่า เมื่อทำการตกตะกอนอนุภาคขนาดต่าง ๆ ในสารแขวนลอยที่มีน้ำเป็นตัวกลาง ที่อุณหภูมิ 25°C โดยใช้ภาชนะกระบอกตวง (cylinder) ขนาด 1,000 ml ภายในเวลา 74 วินาที ที่ความสูงของสารแขวนลอยมากกว่า 18 cm จะไม่พบอนุภาคทราย นั่นคืออนุภาคทรายจะตกตะกอนหมดภายในเวลา 74 วินาที และพบว่าอนุภาคทรายแป้งจะตกตะกอนหมดภายในเวลา 2 ชั่วโมง ในขณะที่อนุภาคดินเหนียวจะใช้เวลาหลายวันในการตกตะกอนจนหมด โดยวิธีวิเคราะห์นี้มีข้อควรระวังคือ ต้องทำให้อนุภาคดินเหนียวแตกตัวออกอย่างสมบูรณ์ เพื่อไม่ให้เกิดการเกาะตัวกันกลายเป็นอนุภาคที่มีขนาดใหญ่และตกตะกอนออกมาก่อนเวลา ทำให้ผลวิเคราะห์คลาดเคลื่อนได้ ร้อยละของผลรวมของอนุภาคทั้ง 3 ขนาด สามารถนำมาประเมินประเภทเนื้อดินโดยเปรียบเทียบจากสามเหลี่ยมเนื้อดินได้

วิธีที่ (2) วิธีไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometer method) วิธีนี้จะวัดความหนาแน่นของอนุภาคในของเหลวโดยอาศัยหลักการลอยตัวของวัตถุ (Buoyant force) แทนที่การวัดโดยใช้เวลาในการตกตะกอนแบบวิธีปิเปต ของเหลวที่มีความหนาแน่นต่างกันจะแสดงค่าบนสเกลไฮโดรมิเตอร์ต่างกัน (Bouyoucos scale, g L^{-1}) นั่นคือ เมื่อเตรียมสารแขวนลอยดิน 50 g ในน้ำ อนุภาคทรายในสารแขวนลอยจะตกตะกอนที่ 40 วินาที จะทำให้ความหนาแน่นของสารแขวนลอยที่ประกอบด้วยอนุภาคทรายแป้งและดินเหนียวมีค่าเท่ากับ 31 g L^{-1} และอนุภาคทรายแป้งจะตกตะกอนหลังจากปล่อยทิ้งไว้ประมาณ 7 ชั่วโมง สารแขวนลอยของอนุภาคดินเหนียวมีค่าเท่ากับ 16 g L^{-1} ซึ่งจะสามารถคำนวณปริมาณอนุภาคทรายได้ และสามารถนำมาประเมินประเภทเนื้อดินโดยเปรียบเทียบจากสามเหลี่ยมเนื้อดินได้ อย่างไรก็ตาม การวิเคราะห์วิธีนี้อ่อนหภูมิมีอิทธิพลโดยตรงต่ออัตราการตกตะกอนของสารแขวนลอยดิน ดังนั้น ในการวิเคราะห์ต้องวัดอุณหภูมิที่แน่นอนของสารแขวนลอยเพื่อใช้ในการคำนวณด้วย (McCarty *et al.*, 2016)

การวิเคราะห์ทางกายภาพ (physical analysis)

การวิเคราะห์ทางกายภาพประกอบด้วย การวิเคราะห์ความหนาแน่นรวมของดิน, ความหนาแน่นอนุภาคดิน, และความพรุนรวมของดิน

การวิเคราะห์ความหนาแน่นรวมของดิน (ρ_b) คำนวณจากสมการที่ (2) น้ำหนักดินแห้ง (dry soil, M_s) มีหน่วยเป็น g หารด้วยปริมาตรรวมของดินแห้ง (volume of dry soil, V_t) มีหน่วยเป็น cm^3 ซึ่งปริมาตรรวมประกอบด้วยปริมาตรของดินส่วนที่เป็นของแข็ง (V_s) ปริมาตรช่องบรรจุอากาศ (V_a) และปริมาตรช่องบรรจุน้ำ (V_w) ความหนาแน่นรวมของดินนิยมใช้เป็นตัวชี้วัดในการประเมินการอัดตัวแน่นของดิน ดินโดยทั่วไปมีค่าความหนาแน่นรวมอยู่ในช่วง $1.0 - 1.9 \text{ g cm}^{-3}$ ดินเหนียว ดินร่วนเหนียว และดินร่วนปนทรายแป้ง โดยทั่วไปมีค่าความหนาแน่นรวมอยู่ในช่วง $1.0 - 1.6 \text{ g cm}^{-3}$ ในขณะที่ดินทรายและดินร่วนปนทรายโดยทั่วไปมีค่าความหนาแน่นรวมอยู่ในช่วง $1.4 - 1.8 \text{ g cm}^{-3}$ และดินอินทรีย์ (organic soils) โดยทั่วไปมีค่าความหนาแน่นรวมอยู่ในช่วง $0.2 - 0.8 \text{ g cm}^{-3}$ (McCarty *et al.*, 2016)

$$\text{สูตรคำนวณ Bulk Density } (\rho_b) = \frac{M_s}{V_t} = \frac{M_s}{V_s + V_a + V_w} \quad (2)$$

การวิเคราะห์ความหนาแน่นอนุภาคดิน (ρ_s) คำนวณจากสมการที่ (3) น้ำหนักดินแห้ง (M_s) มีหน่วยเป็น g หารด้วยปริมาตรดินส่วนที่เป็นของแข็ง (volume of soil solid, V_s) มีหน่วยเป็น cm^3 ซึ่งปริมาตรนี้ไม่รวมปริมาตรช่องว่างของน้ำและอากาศในดิน ความหนาแน่นอนุภาคดินของดินแร่ (mineral soils) จะมีค่าอยู่ในช่วง $2.60 - 2.75 \text{ g cm}^{-3}$ ซึ่งมีความแปรปรวนไม่มาก ดังนั้นนักวิทยาศาสตร์ทางดินจึงนิยมใช้ค่าความหนาแน่นอนุภาคดิน 2.65 g cm^{-3} เป็นค่าคงที่หรือค่าสมมติฐานในการคำนวณต่าง ๆ (McCarty *et al.*, 2016)

$$\text{สูตรคำนวณ Particle Density } (\rho_s) = \frac{M_s}{V_s} \quad (3)$$

ความพรุนรวมของดิน (f_r) คือ ปริมาตรทั้งหมดของดินที่เป็นช่องบรรจุน้ำและอากาศ โดยประกอบด้วยช่องที่มีขนาดเล็กที่เรียกว่า capillary หรือ micropores ซึ่งเป็นช่องบรรจุน้ำตามความจุของดิน (water-holding capacity) และไม่สูญเสียน้ำไปตามแรงโน้มถ่วงของโลก และช่องขนาดใหญ่ที่เรียกว่า noncapillary หรือ macropores ซึ่งเป็นช่องขนาดใหญ่ที่บรรจุอากาศและสูญเสียน้ำอย่างรวดเร็วไปตามแรงโน้มถ่วงของโลก สัดส่วนของช่องว่างขนาดเล็กและขนาดใหญ่นี้จะสัมพันธ์โดยตรงกับประเภทเนื้อดินและโครงสร้างดิน ดินที่มีปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินมาก อินทรีย์วัตถุจะช่วยให้เกิดการสร้างเม็ดดินและปรับปรุงโครงสร้างดิน ทำให้ดินมีความพรุนรวมของดินมากขึ้น การคำนวณความพรุนรวมของดินตามสมการที่ (4) คำนวณจากสัดส่วนของความหนาแน่นรวมของดิน (ρ_b) ต่อความหนาแน่นอนุภาคดิน (ρ_s) โดยคำนวณเป็นร้อยละ ซึ่งโดยทั่วไปเมื่อกำหนดให้ค่าความหนาแน่นอนุภาคดินเป็นค่าสมมติหรือค่าคงที่มีค่าเท่ากับ 2.65 g cm^{-3} และความหนาแน่นรวมของดินได้จากค่าวิเคราะห์จากตัวอย่างดินที่ไม่ถูกรบกวนโครงสร้าง (core sampling) พบว่า ดินทรายจะมีค่าความพรุนรวมของดินอยู่

ในช่วง 32 – 47 % และดินที่มีเนื้อละเอียดกว่า (finer-textured soils) จะมีค่าความพรุนรวมของดินอยู่ในช่วง 42 - 62 % (McCarty *et al.*, 2016)

$$\text{สูตรคำนวณ Total Soil Porosity (f}_t\text{)} = \left(1 - \frac{\text{Bulk Density } (\rho_b)}{\text{Particle Density } (\rho_s)}\right) \times 100 \quad (4)$$

ความพรุนช่องบรรจุอากาศของดินที่ความจุความชื้นสนาม (air-filled porosity at field capacity, AFP) คือ ปริมาตรอากาศน้อยที่สุดที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในสภาพที่ดินมีความชื้นที่ความจุความชื้นสนาม ซึ่งค่า AFP นี้จะแปรผันตามปริมาณความชื้นในดิน โดยทั่วไป AFP ควรมีค่ามากกว่า 10% เพื่อให้มีอากาศเพียงพอสำหรับการเจริญเติบโตของพืชและการเกิดกิจกรรมของจุลินทรีย์ดิน พืชส่วนใหญ่จะหยุดการเจริญเติบโตเมื่อ AFP มีค่าต่ำกว่า 10% ดังนั้นจึงถือได้ว่า AFP ที่ 10% นี้เป็นค่าวิกฤต (Hazelton and Murphy, 2007; Cass, 1999; Hall *et al.*, 1977) การคำนวณค่า AFP ตามสมการที่ (5) คำนวณจากผลต่างระหว่างค่าความพรุนรวมของดิน (TP) และค่าความชื้นดิน (% by volume) ที่ความจุความชื้นสนาม (field capacity, FC) (Cass, 1999)

$$\text{สูตรคำนวณ AFP} = \text{TP} - \text{FC} \quad (5)$$

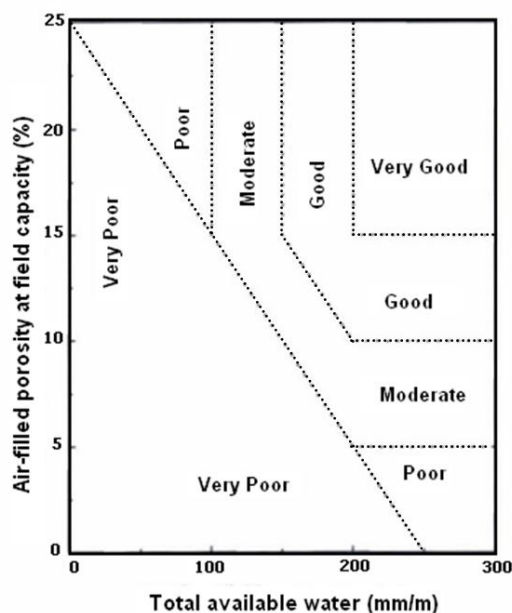
เมื่อ ค่าความพรุนรวมของดิน (TP) คือ ค่าปริมาตรอากาศต่อหน่วยปริมาตรดินรวม (ดินแห้งสนิท) มีหน่วยเป็น % by volume และค่า TP คำนวณจากค่าความหนาแน่นรวมของดิน (BD) ตามสมการที่ (6)

$$\text{สูตรคำนวณ TP} = 100 - 38 \text{ BD (g cm}^{-3} \text{ or Mg m}^{-3}\text{)} \quad (6)$$

Cass (1999) ได้เสนอวิธีประเมินความอุดมสมบูรณ์ทางกายภาพของดิน (soil physical fertility) โดยการพล็อตกราฟระหว่าง ความพรุนช่องบรรจุอากาศของดินที่สภาพความจุความชื้นสนาม และปริมาณน้ำทั้งหมดที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (total available water, AW) ดังแสดงในภาพที่ 4 การคำนวณค่า AW ตามสมการที่ (7) คำนวณจากผลต่างระหว่างค่าความชื้นดินที่ความจุความชื้นสนาม (FC) (% by volume) และค่าความชื้นดินที่จุดเหี่ยวถาวร (permanent wilting point, WP หรือ PWP)

$$\text{สูตรคำนวณ AW} = \text{FC} - \text{WP} \quad (7)$$

ตัวอย่างการแปลผลการวิเคราะห์ ได้แก่ ถ้าค่า AFP ที่คำนวณได้มีค่ามากกว่า 15% และความชื้นที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดินมีค่ามากกว่า 200 mm/m นั่นคือ ดินมีความอุดมสมบูรณ์ทางกายภาพอยู่ในเกณฑ์ดีมาก



ภาพที่ 4 การแปลผลสถานะทางกายภาพของดินจากความจุในการกักเก็บน้ำที่เป็นประโยชน์ต่อพืชทั้งหมดและอากาศในช่องว่างของดินที่เป็นประโยชน์ต่อพืช
ที่มา: Cass (1999)

การวิเคราะห์การนำน้ำของดินในสภาพที่ดินอิ่มตัวด้วยน้ำ (saturated hydraulic conductivity)

การวิเคราะห์การนำน้ำของดินในสภาพที่ดินอิ่มตัวด้วยน้ำ (K_{sat}) (cm h^{-1}) คือ การวัดสัดส่วนความสัมพันธ์ของอัตราการไหลของน้ำผ่านดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ การไหลของน้ำนี้เกิดจากทั้งการแทรกซึมน้ำผ่านผิวดิน (infiltration) และการซาบซึมน้ำในดิน (percolation) ดินที่มีช่องว่างขนาดใหญ่มากจะมีค่า K_{sat} มาก ได้แก่ ดินที่มีเนื้อดินประเภทดินทรายมาก ปกติจะมีค่า K_{sat} มากกว่าดินที่มีเนื้อดินประเภทดินเหนียว สมาคมกอล์ฟของสหรัฐอเมริกา (United States Golf Association, USGA) แนะนำค่า K_{sat} ที่เหมาะสมสำหรับเขตรากพืช เมื่อทดสอบโดยใช้วัสดุผสมที่ประกอบด้วยทราย ดิน และวัสดุอินทรีย์ที่อัตราส่วนต่าง ๆ พบว่า K_{sat} ที่เหมาะสมมีค่าอยู่ในช่วง 6 – 24 in h^{-1} หรือ 15 – 61 cm h^{-1} (McCarty *et al.*, 2016) อย่างไรก็ตาม K_{sat} ของดินจะลดลงเมื่อเวลาผ่านไปและดินเกิดการอัดตัวแน่น การวัดค่า K_{sat} สามารถทำในห้องปฏิบัติการได้โดยใช้ตัวอย่างดินที่เก็บแบบไม่รบกวนโครงสร้างด้วยกระบอกเก็บตัวอย่าง การคำนวณ K_{sat} สามารถคำนวณโดยสมการดาร์ซี (Darcy's equation) สมการที่ (8)

$$\text{สูตรคำนวณ } K_{sat} = \frac{Q}{AT} \times \frac{L}{dH} \quad (8)$$

เมื่อ Q = ปริมาณน้ำที่ไหลผ่าน soil core (cm^3)
 A = พื้นที่หน้าตัด soil core (cm^2)
 T = เวลาที่น้ำไหลผ่าน soil core (sec)

L = ความยาวของ soil core (cm)

dH = ความสูงของน้ำใน soil core (ความสูงของ soil core) + ความสูงของน้ำเหนือ soil core (cm)

การวิเคราะห์ความชื้นดินที่แรงดึงบรรยากาศต่าง ๆ (soil moisture retention)

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 ดังนั้น ที่จุด FC จะมีค่า Ψ_{soil} ประมาณ -0.1 ถึง -0.3 bars และที่จุด PWP จะมีค่า Ψ_{soil} ประมาณ -15 ถึง -20 bars แต่โดยทั่วไปจะยอมรับกันที่ -15 bars น้ำที่จุด PWP มีความสำคัญต่อพืชน้อยมาก เพราะฉะนั้นน้ำที่เป็นประโยชน์ต่อพืชประมาณร้อยละ 70 จะอยู่ระหว่าง FC และ -5 bars (เฉลิมพล, 2535)

จุดพิกัดบนของความชื้นของน้ำในดิน (Θ_{LL}) เดิมใช้คำว่า “ความชื้นที่ความจุสนาม” (FC) ซึ่งหมายถึงความชื้นที่เหลือในดินหลังจากให้น้ำแก่ดินจนเปียกแล้วปล่อยให้มีการระบายน้ำออกจากดิน จนการระบายน้ำนั้นช้ามากหรือแทบจะหยุด โดยทั่วไปเป็นเวลา 2-3 วัน หลังจากให้น้ำ ฉะนั้นค่าความชื้นที่ความจุสนามจึงเป็นค่าโดยประมาณจะกำหนดค่าแน่นอนเชิงปริมาณไม่ได้ ทั้งนี้ขึ้นกับชนิดดินและสภาพขอบเขตบนและขอบเขตล่างของดิน ในระยะแรกพบว่า เป็นค่าความชื้นที่ประมาณ -0.33×10^5 Pa แต่ในระยะหลังได้พยายามยกเลิกการใช้คำจำกัดความของคำว่า ความชื้นที่ความจุสนาม, ความชื้นที่ 1/3 บรรยากาศ, และความชื้นสมมูลย์ เพื่อลดความเข้าใจผิดว่าหมายถึงความชื้นที่จุดใดแน่ และผลการศึกษาดินในเขตร้อนพบว่าที่เรียกว่าความชื้นที่ความจุสนามนั้น ส่วนใหญ่มีค่าพลังงานก่อกับกอนดินที่ -0.1 ถึง -0.2×10^5 Pa แทนที่จะเป็น -0.33×10^5 Pa ดังนั้นเพื่อลดความสับสนจะต้องกำหนดว่า ความชื้นที่จุดพิกัดบนนั้นผู้ศึกษาหมายถึงความชื้นที่ค่าพลังงานเท่าใด (สุนทรี, 2529; สุนทรี, 2536)

ค่าความชื้นที่จุดพิกัดล่าง (Θ_{LL}) มักเรียกว่า “จุดเหี่ยวถาวร” (permanent wilting point, PWP) ซึ่งได้แก่ความชื้นของดินในบริเวณรากพืชที่หนาแน่นขณะที่พืชแสดงอาการเหี่ยวถาวร เป็นความชื้นขณะที่พืชได้น้ำจากดินไม่ทันกับอัตราที่พืชสูญเสียไปโดยกระบวนการคายน้ำ และมักกำหนดว่าเป็นความชื้นของดินที่พลังงานก่อกับกอนดินมีค่า -15×10^5 Pa ซึ่งการกำหนดจุดเหี่ยวถาวรเป็นค่าความชื้นที่พลังงานค่าหนึ่งนี้มีความเห็นคัดค้านมาก เพราะความจริงแล้วที่พลังงาน -15×10^5 Pa นั้นมิใช่ว่าพืชทุกชนิดจะเหี่ยวหมด ยังมีปัจจัยอื่นเกี่ยวข้องด้วย แต่การกำหนดค่าความชื้นที่จุดพิกัดล่างเป็นการกำหนดจากคุณสมบัติของดินอย่างเดียวซึ่งจะถูกต้อกว่า ดังนั้น จึงกำหนดให้ความชื้นที่พลังงานก่อกับกอนดินที่ -15×10^5 Pa เป็นจุดพิกัดล่างของความชื้นของน้ำในดิน

การคำนวณค่าความจุน้ำที่เป็นประโยชน์ต่อพืชของดิน (θ_{AWC}) สามารถคำนวณได้ดังสมการ

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

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

สถิติที่ใช้ในงานวิจัย

วิธีทางสถิติที่นำขบวนการที่ใช้หลักฐานจากตัวอย่างและทฤษฎีความน่าจะเป็น เข้ามาช่วยในการตัดสินใจเกี่ยวกับประชากรที่ต้องการศึกษาและมีข้อสงสัยบางประการอยู่ก่อนหน้าแล้ว ว่าข้อสมมติฐานนั้น ๆ มีเหตุผลพอจะเชื่อถือหรือไม่ 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 เป็นสมมติฐานที่อ้างว่าค่าพารามิเตอร์ของประชากรกลุ่มต่าง ๆ 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 นิยมใช้ในเรื่องเกี่ยวกับการประกันคุณภาพ (มีโอกาสเพียง 1 ใน 100 ที่ H_0 จะเป็นจริง), ระดับ .05 นิยมใช้ในโครงการวิจัยเกี่ยวกับผู้บริโภค (มีโอกาสเพียง 5 ใน 100 ที่ H_0 จะเป็นจริง), และระดับ .10 นิยมใช้ในการทำโพล (มีโอกาสเพียง 10 ใน 100 ที่ H_0 จะเป็นจริง) ทั้งนี้ การกำหนดระดับนัยสำคัญของการทดสอบ ผู้ศึกษาจะเป็นผู้กำหนดว่าควรเป็นเท่าใด (สมจิต, 2548)

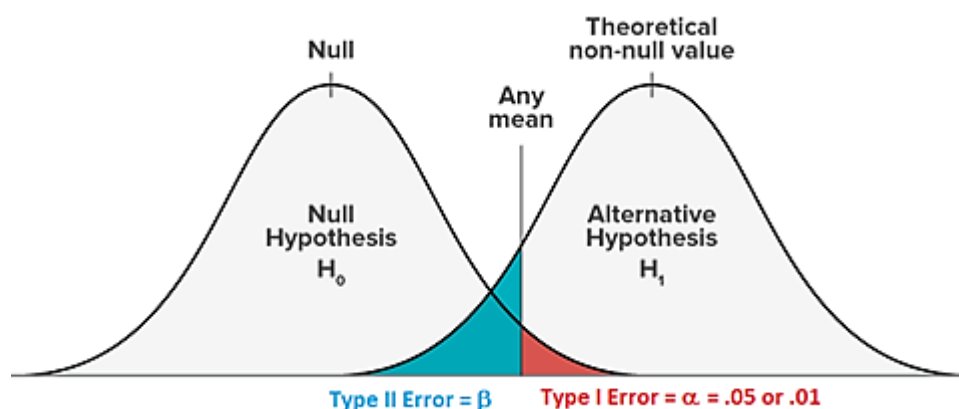
1. การเลือกตัวสถิติเพื่อใช้ในการทดสอบและคำนวณค่าสถิติ

สมจิต (2548) ได้นำเสนอการเลือกตัวสถิติเพื่อใช้ในการทดสอบและคำนวณค่าสถิติ สถิติที่จะนำมาใช้ในการทดสอบมีหลายตัว เช่น z , t , F หรือ χ^2 (ไคสแควร์) สำหรับการศึกษาทดลองด้านการเกษตรโดยทั่วไปนิยมใช้ตัวสถิติ 3 ตัว ได้แก่ z , t , และ F การจะใช้ตัวสถิติใดในการทดสอบขึ้นอยู่กับข้อมูลที่มีอยู่ซึ่งเกี่ยวข้องกับประชากรและตัวอย่างที่ศึกษา การคำนวณค่าสถิติของการทดสอบทำได้โดยแทนที่ค่าที่ได้จากตัวอย่างลงไปในตัวสถิติของการทดสอบ ค่าสถิติที่คำนวณได้จะนำมาหาความน่าจะเป็นในการตัดสินใจยอมรับหรือปฏิเสธ H_0 ค่าความน่าจะเป็นนี้เรียกว่า ค่า P (P value)

$$\text{เมื่อ } P \leq \alpha \quad \text{จะปฏิเสธ } H_0 \text{ และสรุปตาม } H_1$$

$P > \alpha$ จะไม่ปฏิเสธ H_0 และสรุปตาม H_0

ทั้งนี้ การตัดสินใจยอมรับหรือปฏิเสธ H_0 นั้นอาจเกิดความผิดพลาดได้ ซึ่งความผิดพลาดที่เกิดจากการตัดสินใจเกี่ยวกับการทดสอบสมมติฐานนี้แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ ประเภทที่ 1 (Type I Error): หมายถึงความผิดพลาดที่เกิดจากการปฏิเสธสมมติฐาน H_0 ทั้ง ๆ ที่ H_0 เป็นจริง ความน่าจะเป็นที่จะเกิดความผิดพลาดประเภทนี้เท่ากับ α (ระดับนัยสำคัญของการทดสอบ) (ภาพที่ 5) และประเภทที่ 2 (Type II Error): หมายถึงความผิดพลาดที่เกิดจากการยอมรับ H_0 ทั้ง ๆ ที่ H_0 ไม่จริง ความน่าจะเป็นที่จะเกิดความผิดพลาดประเภทนี้เท่ากับ β



ภาพที่ 5 ความผิดพลาดที่เกิดจากการตัดสินใจในการทดสอบสมมติฐานประเภทที่ 1 และ 2 (Type I and Type II Error)

ที่มา: สมจิต (2548)

ความน่าจะเป็นในการปฏิเสธสมมติฐานกลางเมื่อสมมติฐานกลางเป็นเท็จ เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ $(1-\beta)$ คือ อำนาจการทดสอบ ซึ่งเกี่ยวข้องกับความคลาดเคลื่อนทั้งประเภทที่ 1 (Type I Error) และประเภทที่ 2 (Type II Error) อำนาจการทดสอบใช้ประโยชน์สำหรับการวางแผนการวิจัย เช่น เป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจเลือกขนาดกลุ่มตัวอย่าง และกำหนดนัยสำคัญทางสถิติโดยอาศัยการประมาณ การประมาณค่าอำนาจการทดสอบ (power estimate) มี 2 ชนิด คือการประมาณค่าก่อนทำการทดลอง และการประมาณค่าหลังจากการทำการทดลองแล้ว การประมาณค่าอำนาจการทดสอบก่อนทำการทดลอง สามารถกระทำได้โดยการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และการประมาณค่าอำนาจการทดสอบภายหลังจากการทำการทดลองสามารถกระทำได้โดยการใช้โปรแกรมสำเร็จรูปต่าง ๆ ได้แก่ SYSTAT, SAS, SPSS, GPOWER, และ UCLA (สมจิต, 2548; นิภาพร, 2552; Myer and Well, 2003) โดยสรุปอำนาจการทดสอบขึ้นอยู่กับองค์ประกอบ 3 ประการ คือ ระดับนัยสำคัญทางสถิติ (α - Level) ขนาดกลุ่มตัวอย่าง และขนาดกลุ่มอิทธิพล

ตัวสถิติที่ใช้ในการทดสอบ z: การทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของประชากร 2 ชุด โดยสุ่มตัวอย่างจากประชากรทั้ง 2 ชุดอย่างเป็นอิสระต่อกัน เมื่อสุ่มตัวอย่างขนาด n จากประชากรที่แจกแจงปกติและ n มีขนาดมากกว่า 30 ($n > 30$) สามารถคำนวณค่า z จากสมการ (9) ความแปรปรวน

ของประชากร คือ σ^2 และค่าเฉลี่ยของประชากร คือ μ แต่โดยทั่วไปมักไม่ทราบค่าความแปรปรวน (σ^2) เราสามารถประมาณค่า σ^2 ด้วย S^2 และบริเวณวิกฤตของการทดสอบเปิดได้จากตาราง z

$$\text{ตัวสถิติที่ใช้ทดสอบคือ} \quad z = \frac{\bar{X} - \mu_0}{S/\sqrt{n}} \quad (9)$$

ตัวสถิติที่ใช้ในการทดสอบ t: การทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของประชากร 2 ชุด โดยสุ่มตัวอย่างจากประชากรทั้ง 2 ชุดอย่างเป็นอิสระต่อกันและตัวอย่างมีขนาดเล็ก ($n < 30$) และไม่ทราบค่าความแปรปรวน สามารถคำนวณค่า t จากสมการ (10) กำหนดให้ค่าความแปรปรวนของตัวอย่างคือ S^2 และบริเวณวิกฤตของการทดสอบเปิดได้จากตาราง t

$$\text{ตัวสถิติที่ใช้ทดสอบคือ} \quad t = \frac{\bar{X} - \mu_0}{S/\sqrt{n}} \quad (10)$$

การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของประชากร 2 ชุด เพื่อลดความผิดพลาดจากการสรุปผลการทดลองผิดพลาดว่าค่าเฉลี่ยของประชากร 2 ชุดต่างกัน ควรวางแผนการทดลองให้หน่วยทดลองแต่ละคู่มีความคล้ายคลึงกันมากที่สุด ในปัจจัยที่จะส่งผลกระทบต่อผลการทดลอง เช่น การเปรียบเทียบผลของปุ๋ย 2 ชนิดต่อผลผลิตข้าว ควรควบคุมให้ข้าวทั้ง 2 ชุดทดลองอยู่ภายใต้สภาวะแวดล้อมเดียวกัน ได้แก่ การให้น้ำเท่ากัน ดินที่ปลูกข้าวเป็นดินประเภทเดียวกัน สภาพภูมิอากาศเดียวกัน การควบคุมโรคและแมลงแบบเดียวกัน เป็นต้น

ตัวสถิติที่ใช้ในการทดสอบ F: การทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของประชากร r ชุดหรือกลุ่ม (เมื่อ $r > 2$ กลุ่ม) พร้อม ๆ กัน โดยสุ่มตัวอย่างจากประชากรทั้ง r กลุ่มอย่างเป็นอิสระต่อกัน ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มจะถูกวัดในรูปของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation, SD) หรือค่าเฉลี่ยของความแปรผัน (mean squares) หรือความแปรปรวน ดังนั้น การพิจารณาเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่ม (between group) กับความแตกต่างภายในกลุ่ม (within group) กรณีที่ประชากรมีมากกว่า 2 กลุ่ม จึงต้องพิจารณาจากค่าเฉลี่ยของความแปรผันหรือความแปรปรวน จึงเรียกการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของประชากรที่มากกว่า 2 กลุ่มว่า การวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance, ANOVA) (สมจิต, 2548) ซึ่งตัวสถิติที่ใช้ทดสอบการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) คือ F -test นิยมใช้ในการทดสอบทางวิทยาศาสตร์ เช่น การเปรียบเทียบผลผลิตต่อไร่ของข้าวพันธุ์ต่าง ๆ หรือ การเปรียบเทียบผลผลิตต่อไร่ของข้าวโพดที่ใช้ปุ๋ยชนิดและอัตราต่าง ๆ กัน เป็นต้น

ในการทดสอบด้วยสถิติวิเคราะห์แบบ ANOVA นี้ ปัจจัยที่ต้องการศึกษาจะมีปัจจัยเดียวหรือหลายปัจจัยก็ได้ โดยแต่ละปัจจัยยังแยกออกเป็นหลายระดับหรือหลายชนิด ซึ่งระดับหรือชนิดของปัจจัยจะเรียกว่า สิ่งทดลอง (treatment) การจำแนกข้อมูลด้วยคุณลักษณะอย่างใดอย่างหนึ่งเพียงอย่างเดียว เช่น จำแนกผลผลิตทางการเกษตร, จำแนกผลของวิธีการรักษาทางการแพทย์, หรือจำแนกรายได้ของประชากรแต่ละอาชีพ การจำแนกข้อมูลโดยอาศัยปัจจัยเพียงอย่างเดียวนี้เรียกว่า การจำแนกทางเดียว (one-way classification) และการวิเคราะห์โดยอาศัยปัจจัยเพียงอย่างเดียวนี้เรียกว่า การวิเคราะห์

ความแปรปรวนแบบมีปัจจัยเดียว (single-factor analysis of variance: one-way ANOVA) (สมจิต, 2548; จรัญ, 2523)

2. การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบมีปัจจัยเดียว (Single-Factor Analysis of Variance: One-Way ANOVA)

สมจิต (2548) จรัญ (2523) และ นิภาพร (2552) ได้นำเสนอการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบมีปัจจัยเดียว โดยอธิบายว่าการวิเคราะห์ทางเดียวเป็นวิธีทดสอบเพื่อเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้จากการทดลอง โดยปัจจัยที่นำมาศึกษามีเพียงปัจจัยเดียวแต่แยกออกเป็นหลายระดับหรือหลายชนิดชนิดหรือระดับของตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาเรียกว่า สิ่งทดลอง (treatment) เช่น การทดสอบความแตกต่างระหว่างผลผลิตที่ได้จากข้าวพันธุ์ต่าง ๆ ประชากรมีความต่างกันเนื่องจากลักษณะเดียวกันคือต่างพันธุ์กัน การวิเคราะห์ทางเดียว เราต้องการวิเคราะห์ว่าค่าเฉลี่ยที่ได้จากแต่ละสิ่งทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ ดังนั้น สมมติฐานเพื่อการทดสอบ คือ

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_r = \mu$$

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \dots = \mu_r = \mu$$

จากสมมติฐานนี้ เมื่อ μ_r คือ ค่าเฉลี่ยของประชากรหรือของสิ่งทดลองที่ r ถ้าผลการคำนวณแสดงว่าปฏิเสธ H_0 หรือยอมรับ H_1 หมายความว่าค่าเฉลี่ยของประชากรหรือสิ่งทดลองอย่างน้อย 1 ชุดที่แตกต่างจากค่าเฉลี่ยของประชากรหรือสิ่งทดลองชุดอื่น ๆ ที่เหลือ ทั้งนี้ ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของข้อมูลแต่ละค่า (แต่ละหน่วยทดลอง) กับค่าเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูลชุดนั้น ๆ หรือสิ่งทดลองนั้น ๆ เรียกว่า ความคลาดเคลื่อน (error หรือ residual)

การวิเคราะห์ทางเดียวความผันแปรทั้งหมดที่เกิดขึ้นในการทดลองเป็นผลมาจากสิ่งทดลองและหน่วยทดลอง ความแปรผันต่าง ๆ ประกอบด้วย ความแปรผันรวม (SS_T) ซึ่งคำนวณจากผลรวมของความแปรผันเนื่องจากสิ่งทดลอง (SS_{Tr}) และความแปรผันเนื่องจากหน่วยทดลอง (SS_w) เมื่อแทนสิ่งทดลองด้วย i และแทนหน่วยทดลองด้วย j สมการที่ใช้คำนวณ ได้แก่

$$SS_T = \sum_i \sum_j (x_{ij} - \bar{x})^2$$

$$SS_{Tr} = \sum_i \sum_j (\bar{x}_i - \bar{x})^2$$

$$SS_w = \sum_i \sum_j (x_{ij} - \bar{x}_i)^2$$

$$SS_T = SS_{Tr} + SS_w$$

ความแปรผันที่ได้จะนำมาคำนวณหาค่าเฉลี่ยของความแปรผันของสิ่งทดลอง (MS_{Tr}) และค่าเฉลี่ยความแปรผันภายในกลุ่ม (MS_w) โดยการหาร SS_{Tr} หรือ SS_w ด้วยระดับขั้นความเสรี (degree of freedom, d.f.) ที่สอดคล้องกันประกอบด้วย d.f. ของสิ่งทดลองจำนวน r สิ่ง, d.f. ของความคลาด

เคลื่อนสำหรับการวิเคราะห์ทางเดียวจำนวน r กลุ่ม, และ d.f. ของข้อมูลทั้งหมดหรือ d.f. รวม ของข้อมูล ที่เก็บทั้งหมด N ตัว

สูตรคำนวณ	d.f. ของสิ่งทดลอง	$= r - 1$
	d.f. ของความคลาดเคลื่อน	$= N - r$
	d.f. ของข้อมูลทั้งหมด	$= N - 1$
	$N - 1$	$= (r - 1) + (N - r)$

$$\text{สูตรคำนวณ} \quad MS_{Tr} = \frac{SS_{Tr}}{r-1}$$

$$MS_w = \frac{SS_w}{N-r}$$

ในการทดสอบสมมติฐานถ้า $H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_r$ เป็นจริง ค่า MS_{Tr} จะมีค่าใกล้เคียงกับ MS_w นั่นคือ ยอมรับ H_0 อย่างไรก็ตามถ้าค่า MS_{Tr} แตกต่างไปจาก MS_w แสดงว่าสมมติฐาน H_0 ไม่เป็นจริง นั่นคือ ยอมรับ H_1 ตัวสถิติที่ใช้ในการทดสอบกรณีนี้คือ ตัวสถิติ F ซึ่งมีค่า d.f. เท่ากับ $r - 1$ และ $N - r$ สูตรคำนวณตามสมการที่ (11)

$$\text{สูตรคำนวณ} \quad F = \frac{MS_{Tr}}{MS_w} \quad (11)$$

เมื่อพิจารณาจากตัวสถิติ F สมมติฐาน H_0 จะถูกปฏิเสธที่ระดับนัยสำคัญ α ถ้าค่า F ที่คำนวณได้มีค่ามากกว่า F ที่เปิดจากตารางที่ระดับนัยสำคัญและระดับ d.f. สอดคล้องกัน หรือนำค่า F ที่คำนวณได้ไปหาค่าความน่าจะเป็นที่เรียกว่าค่า P ถ้าค่า $P < \alpha$ จะปฏิเสธสมมติฐาน H_0

ในการวิเคราะห์ความแปรปรวน เมื่อสมมติฐาน H_0 ถูกปฏิเสธไป ผู้วิจัยจะทราบเพียงว่ามีสิ่งทดลองอย่างน้อยหนึ่งกลุ่มแตกต่างไปจากกลุ่มอื่น ๆ แต่ยังไม่สามารถบอกได้ว่าเป็นกลุ่มใดบ้าง การหาคำตอบว่ากลุ่มใดบ้างที่แตกต่างกัน กลุ่มใดบ้างที่ไม่แตกต่างกัน จะต้องทำการวิเคราะห์ต่อซึ่งการวิเคราะห์ดังกล่าวเรียกว่า การเปรียบเทียบเชิงซ้อน (multiple comparison)

3. การเปรียบเทียบเชิงซ้อน (multiple comparison)

การเปรียบเทียบเชิงซ้อน บางครั้งเรียกว่า Post Hoc comparison เป็นการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของประชากรของสิ่งทดลองต่าง ๆ เพื่อหาว่าสิ่งทดลองใดบ้างที่ให้ผลแตกต่างจากสิ่งทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญ การเปรียบเทียบเชิงซ้อนจะนำมาใช้หลังจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลแล้ว และพบว่าสมมติฐาน H_0 ถูกปฏิเสธ (ระวีวรรณ, 2540)

วิธีเปรียบเทียบเชิงซ้อนมีหลายวิธี ได้แก่ วิธีของ Tukey-Kramer, วิธีของ Scheffe', วิธีของ Student-Newman-Keuls (SNK), และวิธี Duncan's New Multiple Range Test (สมจิต, 2548;

นิภาพร, 2552) การใช้วิธีเปรียบเทียบเชิงซ้อนเหล่านี้กระทำภายใต้ข้อตกลงที่เหมือนกัน คือ มีความแปรปรวนที่เท่ากัน ขนาดกลุ่มตัวอย่างต่างกัน และทดสอบว่าให้ผลการทดสอบต่างกันหรือไม่

วิธี Tukey-Kramer: ใช้กับกลุ่มตัวอย่างที่มีขนาดเท่ากันหรือใกล้เคียงกันเปรียบเทียบทีละคู่เท่านั้น ภายใต้ความแปรปรวนที่เท่ากัน วิธีนี้สามารถตัดสินความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของประชากรคู่ต่าง ๆ ได้ โดยการใช้การเปรียบเทียบกับค่าเพียงค่าเดียวเท่านั้น คือ ค่าสถิติทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยวิธี Tukey – Kramer (T) เมื่อค่าความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของประชากรคู่ใดน้อยกว่าหรือเท่ากับค่า T แสดงว่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของประชากรคู่นั้น ไม่นับสำคัญที่ระดับนัยสำคัญ α วิธีการนี้ใช้ได้ดีเมื่อขนาดตัวอย่างหรือจำนวนซ้ำในแต่ละสิ่งทดลองเท่ากันเท่านั้น

วิธี Scheffe': ใช้กับกลุ่มตัวอย่างที่มีขนาดเท่ากันหรือใกล้เคียงกัน เปรียบเทียบหลายคู่พร้อมกัน ภายใต้ความแปรปรวนที่เท่ากัน วิธีนี้เป็นวิธีที่ใช้ได้กว้างขวางที่สุดสำหรับการเปรียบเทียบเชิงซ้อน เพราะเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยได้ทุกรูปแบบไม่เจาะจงเฉพาะการเปรียบเทียบทีละคู่ สามารถใช้ได้ ในกรณีที่ขนาดตัวอย่างหรือจำนวนซ้ำในแต่ละสิ่งทดลองไม่เท่ากัน หรือกรณีที่มีข้อสงสัยบางอย่างอยู่แล้ว เกี่ยวกับความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของประชากรต่าง ๆ โดยการนำข้อสงสัยเหล่านั้นมาตั้งเป็น contrast และเปรียบเทียบ contrast ของค่าเฉลี่ยจากประชากร r กลุ่ม ว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ โดยระดับนัยสำคัญของการทดสอบของทุก ๆ contrast จะไม่เกิน α วิธี Scheffe' มีข้อสังเกตคือ ถ้าความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยแต่ละคู่มีไม่มากนัก วิธี Scheffe' จะไม่ปฏิเสธ H_0 นั่นคือ ค่าวิกฤตตามวิธี Scheffe' จะมีค่ามากที่สุดเมื่อเปรียบกับค่าวิกฤตที่ได้จากวิธีการเปรียบเทียบเชิงซ้อนอื่น ๆ

วิธี Student-Newman-Keuls (SNK): ใช้กับกลุ่มตัวอย่างที่มีขนาดเท่ากันหรือจำนวนซ้ำเท่ากันในแต่ละสิ่งทดลอง เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยทีละคู่เท่านั้นเหมือนวิธีของ Tukey แต่วิธีนี้ใช้ค่าหลายค่าตัดสินความมีนัยสำคัญของความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของสิ่งทดลอง 2 ประชากรใด ๆ ภายใต้ความแปรปรวนที่เท่ากัน วิธีนี้ใช้หลักการคล้ายขั้นบันไดในการทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ย หรือเรียกว่าวิธีทดสอบนัยสำคัญโดยลำดับขั้น (stairstep approach) โดยการจัดเรียงค่าเฉลี่ยของแต่ละสิ่งทดลองจากน้อยไปมาก หรือจากมากไปน้อย คำนวณค่าสถิติทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยวิธี Newman Keuls (NK) จากค่าวิกฤตในตารางค่าวิกฤตของ Studentized Range และทำการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของประชากรคู่ใด ๆ กับค่า NK ถ้าค่าเฉลี่ยมากกว่าค่า NK แสดงว่า ค่าเฉลี่ยของประชากรคู่นั้น ๆ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับนัยสำคัญ α

วิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT): ใช้กับกลุ่มตัวอย่างที่มีขนาดเท่ากัน เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยทีละคู่ ภายใต้ความแปรปรวนที่เท่ากัน วิธีนี้นิยมใช้ในรายงานวิจัยทางด้านการแพทย์และทางด้านวิทยาศาสตร์ มีหลักการเดียวกับวิธี Student-Newman-Keuls (SNK) แต่การคำนวณค่าสถิติทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยวิธี Duncan (D) จะคำนวณโดยใช้ค่าวิกฤตที่เปิดตารางจาก Duncan's New Multiple Range Test แทน และทำการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของประชากรคู่ใด ๆ กับค่า D ถ้าค่าเฉลี่ยมากกว่าค่า D แสดงว่า ค่าเฉลี่ยของประชากรคู่นั้น ๆ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับนัยสำคัญ α

4. การแปลผลวิเคราะห์โดยการคำนวณทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS

ปัจจุบันนักวิจัยนิยมใช้โปรแกรมสำเร็จรูปในการวิเคราะห์ข้อมูลภายหลังจากการทำการทดลอง ซึ่งโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS ก็เป็นโปรแกรมหนึ่งที่นักวิจัยนิยมใช้เป็นจำนวนมาก การอ่านผลจากการใช้โปรแกรม SPSS วิเคราะห์ความแปรปรวน คือการอ่านผลวิเคราะห์จากตารางคำนวณผลวิเคราะห์ต่าง ๆ ดังตัวอย่างตารางการวิเคราะห์ทางเดียว แสดงในตารางที่ 2, 3, 4, 5, และ 6 เมื่อการทดลองประกอบด้วยสิ่งทดลอง 3 สิ่ง ได้แก่ P, F, และ C และมีการเก็บข้อมูลตัวอย่างจำนวน 15 ครั้งต่อสิ่งทดลอง (สมจิตร, 2548)

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์ทางเดียว (Oneway descriptive)

		Descriptives						
Average Rate		95% Confidence Interval for Mean						
	N	Mean	Std.Deviation	Std.Error	Lower Bound	Upper Bound	Minimum	Maximum
P	15	73.48307	9.96982	2.57420	67.96196	79.00417	58.692	97.538
F	15	91.32513	8.34113	2.15367	86.70597	95.94430	76.908	102.154
C	15	82.52407	9.24157	2.38616	77.40625	87.64188	62.646	99.046
Total	45	82.44409	11.62774	1.73336	78.95073	85.93745	58.692	102.154

ที่มา: สมจิตร (2548)

จากตารางที่ 2 ความหมายของค่าต่าง ๆ ที่ปรากฏในตารางคำนวณผลทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS มีดังนี้

- Oneway: คือ ผลของการวิเคราะห์ทางเดียวของสิ่งทดลอง สำหรับตาราง Descriptives การใช้ Oneway เป็นการสรุปลักษณะของสิ่งทดลองแต่ละสิ่ง ได้แก่ จำนวนซ้ำหรือจำนวนขนาดตัวอย่างในสิ่งทดลอง ในตัวอย่างนี้มีค่าเท่ากันหมดคือ 15
- Mean: คือ ค่าเฉลี่ยของแต่ละสิ่งทดลอง
- Std. Deviation: คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในแต่ละสิ่งทดลอง
- Std. Error: คือ ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของแต่ละสิ่งทดลอง
- 95% Confidence Interval for Mean: คือ ช่วงความเชื่อมั่น 95% ของค่าเฉลี่ยของแต่ละสิ่งทดลอง (สิ่งทดลอง P มีช่วงความเชื่อมั่น 95% คือ ช่วง 67.96 กับ 79.00)
- Minimum, Maximum: คือ ค่าต่ำสุดและสูงสุดของแต่ละสิ่งทดลอง

ตารางที่ 3 การทดสอบความแปรปรวนของประชากรภายในสิ่งทดลองแต่ละกลุ่ม (Test of Homogeneity of Variances)

Test of Homogeneity of Variances			
Average Rate			
Levene Statistic	df1	df2	Sig.
.059	2	42	.943

ที่มา: สมจิตร์ (2548)

จากตารางที่ 3 ความหมายของค่าต่าง ๆ ที่ปรากฏในตาราง Test of Homogeneity of Variances มีดังนี้

- Test of homogeneity of variances: คือ ตารางแสดงการทดสอบความแปรปรวนของประชากรภายในสิ่งทดลองแต่ละกลุ่ม
- Levene (Levene's Test): ตัวสถิติทดสอบความแปรปรวนสำหรับประชากรภายในสิ่งทดลองนั้น ๆ ที่มีตั้งแต่ 2 กลุ่มขึ้นไป
- df1, df2: คือ ระดับชั้นความเสรีของสิ่งทดลอง, และระดับชั้นความเสรีของความคลาดเคลื่อน

โดยตัวสถิติที่ใช้ทดสอบความแปรปรวนคือ Levene มีค่าสถิติของการทดสอบเท่ากับ .059 มี df1 ของสิ่งทดลองเท่ากับ 2 มี df2 ของความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 42 และมี P-Value เท่ากับ .943 ซึ่งมากกว่า .05 ดังนั้น จึงยอมรับสมมติฐาน H_0 คือ ประชากรภายในสิ่งทดลอง P F และ C มีความแปรปรวนเท่ากันหรือใกล้เคียงกัน

ทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนของสิ่งทดลองทั้ง 3 คือ P, F, และ C โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน ANOVA ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance, ANOVA)

ANOVA					
Average Rate	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2387.689	2	1193.844	14.080	.000
Within Groups	3561.299	42	84.793		
Total	5948.988	44			

ที่มา: สมจิตร (2548)

จากตารางที่ 4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของสิ่งทดลอง 3 สิ่ง คือ P, F, และ C โดยตัวสถิติทดสอบ คือ *F-test* เพื่อทดสอบความเท่ากันของค่าเฉลี่ยของประชากรทั้ง 3 กลุ่มนี้ มีค่าเท่ากับ 14.080 และมีค่า *P-Value* เท่ากับ .000 ซึ่งน้อยกว่า .05 ดังนั้น จึงปฏิเสธสมมติฐาน H_0 แสดงว่า ความแปรปรวนของสิ่งทดลองทั้ง 3 สิ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

เพื่อประเมินความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของสิ่งทดลองทั้ง 3 สิ่ง จึงต้องทำการเปรียบเทียบเชิงซ้อน โดยการทดสอบ Post Hoc Tests หรือ multiple comparisons ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ตัวอย่างผลการเปรียบเทียบเชิงซ้อน (multiple comparisons) โดยวิธี Tukey และ Scheffe'

Multiple Comparison							
Dependent Variable: Average Rate							
Mean Difference					95% Confidence Interval		
	(I) F	(J) F	(I - J)	Std. Error	Sig.	Lower Bound	Upper Bound
Tukey HSD	P	F	-17.84207*	3.36240	.000	-26.01101	-9.67312
		C	-9.04100*	3.36240	.027	-17.20995	-.87205
	F	P	17.84207*	3.36240	.000	9.67312	26.01101
		C	8.80107*	3.36240	.032	.63212	16.97001
	C	P	9.04100*	3.36240	.027	.87205	17.20995
		F	-8.80107*	3.36240	.032	-16.97001	-.63212
Scheffe'	P	F	-17.84207	3.36240	.000	-26.37480	-9.30934
		C	-9.04100*	3.36240	.036	-17.57373	-.50827
	F	P	17.84207*	3.36240	.000	9.30934	26.37480
		C	8.80107*	3.36240	.042	.26834	17.33380
	C	P	9.04100*	3.36240	.036	.50827	17.57373
		F	-8.80107*	3.36240	.042	-17.33380	-.26834

หมายเหตุ *ความแตกต่างค่าเฉลี่ยที่ระดับนัยสำคัญ .05

ที่มา: สมจิตร (2548)

จากตารางที่ 5 เป็นการแสดงตัวอย่างการเปรียบเทียบเชิงซ้อนโดยวิธีของ Turkey และ Scheffe' การเปรียบเทียบนี้เป็นการเปรียบเทียบทีละคู่ ความหมายของค่าต่าง ๆ ที่ปรากฏในตาราง multiple comparisons มีดังนี้

- Mean Difference: คือ ค่าความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยแต่ละคู่
- Std. Error: คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ย
- Sig. : คือ ค่า *P*-Value สำหรับทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยระหว่างค่าเฉลี่ยแต่ละคู่
- 95% Confidence Interval: คือ ช่วงความเชื่อมั่น 95% ของผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยแต่ละคู่

การอ่านความหมายความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยแต่ละคู่ เช่น คู่ P กับ F เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี Turkey ความแตกต่างค่าเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ -17.84 มีเครื่องหมาย * แสดงว่า P กับ F มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% หรือ α เท่ากับ .05 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard error) ของผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 3.36 มีช่วงความเชื่อมั่น 95% ของผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยคู่ P กับ F อยู่ระหว่าง -26.01 กับ -9.67 ซึ่งค่าช่วงความเชื่อมั่นนี้ไม่คลุม 0 แสดงว่า P กับ F มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดย F มีค่ามากกว่า P ซึ่งการอ่านความหมายความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยคู่อื่น ๆ ก็อ่านในลักษณะเดียวกัน สำหรับการเปรียบเทียบเชิงซ้อนนอกจากวิธี Turkey แล้ว ยังสามารถเลือกใช้วิธีเชิงซ้อนอื่น ๆ จากโปรแกรม SPSS ได้อีก ได้แก่ วิธี Scheffe', วิธี Student-Newman-Keuls (SNK), และวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ทั้งนี้ขึ้นกับความเหมาะสมของข้อมูลที่น่ามาวิเคราะห์ ทั้งนี้จากการศึกษาเปรียบเทียบอำนาจการทดสอบด้วยสถิติทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของ นิภาพร (2552) พบว่า วิธี DMRT มีอำนาจการทดสอบมากกว่า วิธี Scheffe' รองลงมาคือ วิธี SNK และวิธี Tukey-Kramer ให้ค่าอำนาจการทดสอบน้อยที่สุด โดยอำนาจการทดสอบของทุกวิธีจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อกลุ่มตัวอย่างมีขนาดใหญ่ขึ้น

เมื่อทราบผลวิเคราะห์ทางสถิติของความแตกต่างค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มแล้ว สามารถทำการจัดกลุ่มค่าเฉลี่ยสำหรับประชากรภายในสิ่งทดลองนั้น ๆ โดยการทำให้ Homogeneous subsets โดยเลือกใช้วิธีเชิงซ้อนต่าง ๆ ในที่นี้จะยกตัวอย่าง 2 วิธี คือ Turkey และ Scheffe' ดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 การจัดกลุ่มค่าเฉลี่ยประชากรในสิ่งทดลองด้วย Homogeneous subsets

		Average Rate			
		Subsets for Alpha = .05			
Tukey HSD ^a	F	N	1	2	3
	P	15	73.48307		
	C	15		82.52407	
	F	15			91.32513
	Sig.		1.000	1.000	1.000
Scheffe ^a	P	15	73.48307		
	C	15		82.52407	
	F	15			91.32513
	Sig.		1.000	1.000	1.000

หมายเหตุ a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 15.00

ที่มา: สมจิตร (2548)

ผลของการจัดกลุ่มของค่าเฉลี่ยประชากร ค่าเฉลี่ยที่ไม่แตกต่างกันจะอยู่กลุ่มเดียวกันจากการเปรียบเทียบเชิงซ้อนวิธี Turkey และ Scheffe' จะเห็นว่าแต่ละกลุ่มมีค่าเฉลี่ยเพียงค่าเดียว แสดงว่า ค่าเฉลี่ยประชากรแต่ละกลุ่มแตกต่างกันหมด โดยกลุ่มที่ 3 มีค่าสูงสุด และกลุ่มที่ 1 มีค่าต่ำสุด

การจัดกลุ่มค่าเฉลี่ยสำหรับประชากรภายในสิ่งทดลองนั้น ๆ ยังสามารถทำได้โดยใช้วิธีอื่น ๆ ได้แก่ วิธี SNK และวิธี DMRT ซึ่งวิธี DMRT เป็นวิธีที่นิยมใช้ในการศึกษาวิจัยทางวิทยาศาสตร์เกษตร

การทดสอบสมมติฐานกรณีมีกลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่มที่เป็นอิสระต่อกัน (independent samples test)

เมื่อต้องการทดสอบสมมติฐานหาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่มว่าแตกต่างกันหรือไม่ โดยตัวอย่างทั้ง 2 กลุ่มเป็นอิสระต่อกัน เช่น ต้องการทดสอบตัวแปรตามคือ Score ของตัวอย่างกลุ่มที่ 1 และ 2 โดยตัวอย่างกลุ่มที่ 1 และ 2 (Group 1 และ Group 2) นี้คือตัวแปรอิสระ การทดสอบทางสถิติจะต้องดำเนินการ 3 ขั้นตอน ได้แก่ (1) คำนวณว่า Group 1 และ 2 มีความแปรปรวนของ Score หรือไม่โดยใช้ตัวสถิติ F -test (2) พิจารณา F -test ที่คำนวณได้ ถ้ามีค่ามากกว่าค่า F ที่เปิดจากตารางซึ่งถือเป็นค่าวิกฤต ($F_{cal} > F_{cri}$) แสดงว่าปฏิเสธสมมติฐาน H_0 และยอมรับสมมติฐาน H_1 นั่นคือ ความแปรปรวนของ Score จาก Group 1 และ 2 ไม่เท่ากัน การคำนวณ t -test จะคำนวณโดยใช้สูตรแบบ separate variance หรือ ถ้าความแปรปรวนของ Score จาก Group 1 และ

2 เท่ากัน การคำนวณ t-test จะคำนวณโดยใช้สูตรแบบ pooled variance (3) เลือกใช้สูตร t-test ให้เหมาะสมตามผลของ *F-test* (ฉัตรศิริ, 2548) ตัวอย่างผลการคำนวณ Output ของ Independent Samples Test ดังแสดงในตารางที่ 7

จากตารางที่ 7 การทดสอบ Levene's เพื่อประเมินว่าข้อมูล Score จาก Group 1 และ 2 มีความแปรปรวนต่างกันอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ โดยดูที่ค่า Sig. ของ *F-test* ในที่นี้มีค่า .419 ซึ่งมากกว่า .05 เมื่อระดับนัยสำคัญ α เท่ากับ .05 แสดงว่าข้อมูล Score จาก Group 1 และ 2 มีความแปรปรวนแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% หรืออธิบายง่าย ๆ คือ Score จาก Group 1 และ 2 มีความแปรปรวนใกล้เคียงกัน การอ่านค่าทดสอบ t-test ให้อ่านจากแถวแรกคือ equal variances assumed ซึ่งเป็นการคำนวณ t-test แบบ pooled variance estimate

ตารางที่ 7 ผลการคำนวณ group statistics และ independent samples test

Group Statistics					
	Group	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error
SCORE	1	9	5.1111	1.6159	.5386
	2	8	7.5000	2.0000	.7071

		Levene's for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
									95% Confidence Interval of the Difference	
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
SCORE	Equal Variances Assumed	.689	.419	2.723	15	.016	-2.3889	.8772	-4.2587	-.5191
	Equal Variances not Assumed			-						
				2.688	13.502	.018	-2.3889	.8889	-4.3020	-.4758

ที่มา: ผู้ตรศิริ (2548)

ในส่วนของการทดสอบความเท่าเทียมกันของค่าเฉลี่ยด้วย t-test (t-test of equality of means) แสดงค่าในการคำนวณทางสถิติ 7 คอลัมน์ แต่ที่จำเป็นต้องใช้ในการแปลผลทางสถิติมี 3 คอลัมน์ ได้แก่ ค่าสถิติ t, ค่า df, และค่าคำนวณ Sig. (2-tailed) ซึ่งค่าสถิติทั้ง 3 มีความหมายดังนี้

ค่าสถิติ t: คือค่าคำนวณทางสถิติ t ที่โปรแกรม SPSS คำนวณให้ ซึ่งถ้าค่า t ยิ่งมีค่ามากจะทำโอกาสความเป็นไปได้ของผลลัพธ์ยิ่งน้อยลง ในตัวอย่างนี้ t มีค่าเท่ากับ -2.72

ค่า df: คือค่าที่ใช้เป็นตัวแทนขนาดตัวอย่างหรือจำนวนตัวอย่างที่ถูกใช้ในการทดสอบทางสถิติ และเป็นค่าที่ต้องแสดงให้เห็นทุกครั้งในการรายงานผลการคำนวณทางสถิติ ในตัวอย่างนี้ df มีค่าเท่ากับ 15

ค่า Sig. (2-tailed): คือระดับนัยสำคัญ หรือบางครั้งเรียกว่าความน่าจะเป็น (*P-Value*) ที่บอกให้เราทราบความเป็นไปได้ที่ผลลัพธ์ที่เราต้องการศึกษามีโอกาสเกิดขึ้นมากน้อยเท่าไร ถ้าค่า Sig. $< .05$ แสดงว่ายอมรับสมมติฐาน H_1 นั่นคือ สนับสนุนผลลัพธ์ที่เราศึกษา แต่ถ้าค่า Sig. $> .05$ แสดงว่าปฏิเสธสมมติฐาน H_1 นั่นคือ ไม่สนับสนุนผลลัพธ์ที่เราต้องการศึกษา หรือแสดงว่าปัจจัยที่เราต้องการศึกษา 2 กลุ่มไม่แตกต่างกันทางสถิติ การรายงานผลการคำนวณ Independent t-test ของโปรแกรม SPSS จะเป็นแบบ 2-tailed Significance Level ในตัวอย่างนี้ Sig. (2-tailed) มีค่าเท่ากับ 0.016 ถ้าต้องการผลแบบ 1-tailed Significance Level ให้นำค่า *P-Value* หรือค่า Sig. (2-tailed) ในตารางมาหารด้วย 2 ในตัวอย่างนี้ Sig. (1-tailed) มีค่าเท่ากับ $0.016/2$ หรือเท่ากับ 0.008 (Anonymous, 2018)

การเขียนรายงานผลการทดสอบ t-test จากตารางที่ 7 สามารถเขียนได้ว่า ในการทดสอบสถิติ t-test พบว่า Score ของ Group 1 และ 2 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $t(15) = -2.723, P = .016$ เมื่อ $\alpha = .05$ โดย Score ของ Group 2 (mean = 7.50) มีค่าเฉลี่ยสูงกว่า Group 1 (mean = 5.11)

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

อุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่างภาคสนามและอุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์ตัวอย่างในห้องปฏิบัติการ ประกอบด้วย

อุปกรณ์เก็บตัวอย่างภาคสนาม

1. อุปกรณ์เก็บตัวอย่างดินที่เปลี่ยนสภาพ (disturbed soil samples) ได้แก่ ถุงเก็บตัวอย่างดินพลาสติก ปากกา marker เชือกสำหรับมัดปากถุง กระบะพลาสติกสำหรับเรียงตัวอย่าง เป็นต้น
2. อุปกรณ์เก็บตัวอย่างดินสภาพธรรมชาติ (undisturbed soil samples) ได้แก่ กระบอกเก็บตัวอย่างดินแบบกลม (core) อุปกรณ์ตอก core ค้อนยาง เทปพัน core มีดปาดดิน (soil spatula) ปากกา marker กระบะสำหรับเรียงตัวอย่าง เป็นต้น

อุปกรณ์สำหรับวิเคราะห์ตัวอย่างดินในห้องปฏิบัติการ

1. ชุดอุปกรณ์วิเคราะห์ค่าการนำน้ำของดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (saturated hydraulic conductivity) ได้แก่ หลอดแก้วรูปตัวยูและขวดแก้ว buchner funnel ผ้าขาวบาง มีดปาดดิน ปีกเกอร์ กระบอกฉีดยา cylinder ขนาด 500 ml เป็นต้น
2. อุปกรณ์วิเคราะห์ความหนาแน่นของอนุภาคดิน (particle density) ได้แก่ volumetric flask ขนาด 50 ml hot plate และภาชนะใส่น้ำ (water bath)
3. ชุดอุปกรณ์วิเคราะห์ความชื้นดินที่แรงดึงบรรยากาศต่าง ๆ ได้แก่ pressure plate apparatus
4. ชุดอุปกรณ์วิเคราะห์เนื้อดินโดยวิธีบีบอัด ได้แก่ ปีกเกอร์แก้วทนไฟ ขนาด 600 ml ปีกเกอร์พลาสติก ขนาด 500 ml cylinder ขนาด 1,000 ml high speed stirrer เครื่องหมุนเหวี่ยง (centrifuge) hot plate และภาชนะใส่น้ำ เป็นต้น
5. กระป๋องใส่ตัวอย่างดิน (can)
6. โถดูดความชื้น (desiccator)
7. ตู้อบ (hot air oven)
8. เครื่องชั่ง (balance) ทศนิยม 2 ตำแหน่ง และ 3 ตำแหน่ง
9. vernier caliper

วิธีการ

วิธีการสำรวจและคัดเลือกพื้นที่ศึกษาวิจัย กำหนดวิธีเก็บตัวอย่างดินตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการศึกษา กำหนดรายการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพดิน รวมทั้งกำหนดรูปแบบการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

สำรวจและคัดเลือกพื้นที่ศึกษาวิจัย

ทำการสำรวจและคัดเลือกพื้นที่ศึกษาวิจัยร่วมกับเจ้าหน้าที่สำนักงานพัฒนาที่ดินเขต 6 เขต 7 และเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้อง ซึ่งเป็นพื้นที่ภายใต้ความรับผิดชอบของโครงการหลวงห้วยแล้ง ลุ่มน้ำแกว อำเภอยางชุมน้อย จังหวัดศรีสะเกษ หรือพื้นที่ทำการเกษตรบริเวณใกล้เคียง

การศึกษาทดลองดำเนินการบนพื้นที่ที่ใช้ประโยชน์ที่ดินต่างกัน 2 พื้นที่ ได้แก่

- (1) พื้นที่ปลูกยางพารา (Para-Rubber, P)
- (2) พื้นที่ปลูกข้าวโพด (Corn, C)

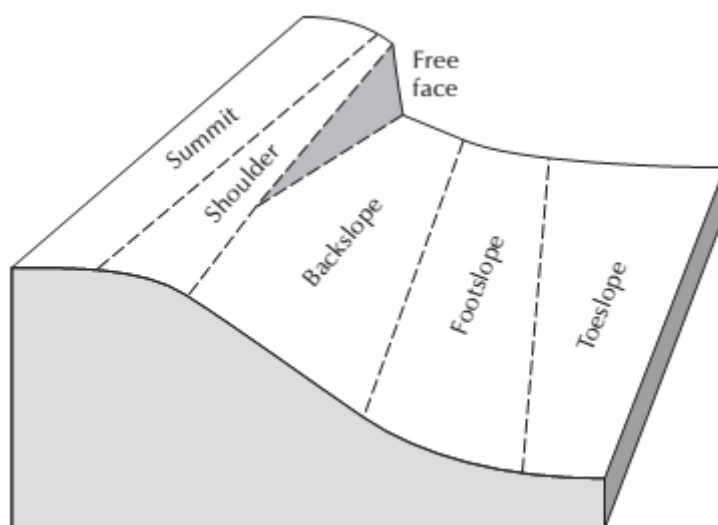
การเก็บตัวอย่างดิน

การศึกษานี้ต้องการศึกษา ติดตาม การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพดินพื้นที่สูง ซึ่งได้รับอิทธิพลจากการใช้ประโยชน์ที่ดินต่างกัน ได้แก่ การปลูกยางพารา (ไม้ยืนต้น) และข้าวโพด (พืชไร่) โดยมีสมมติฐานว่าการใช้ประโยชน์ที่ดินต่างกันจะมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพดิน โดยเฉพาะเมื่อลำดับภูมิประเทศต่างกัน จึงกำหนดการเก็บตัวอย่างดินตามลำดับภูมิประเทศ ดังนี้

เก็บตัวอย่างดินตามลำดับภูมิประเทศ (toposequence) 5 ระดับ (ภาพที่ 6) คือ

- (1) ยอดเขา (submit, Su)
- (2) ไหล่เขา (shoulder, Sh)
- (3) ลาดเขา (backslope, BS)
- (4) เชิงเขา (footslope, FT)
- (5) ที่ราบเชิงเขา (toeslope, TS)

เก็บตัวอย่างดิน 3 ความลึก ได้แก่ 0 – 15, 15 – 30, และ 30 – 60 ซม. และเก็บตัวอย่างดินความลึกละ 3 ซ้ำ โดยเก็บตัวอย่างดินทั้งแบบรบกวนและไม่รบกวนโครงสร้างดิน



ภาพที่ 6 ภาพแสดงลำดับภูมิประเทศตามความลาดชันของพื้นที่ 5 ระดับ
ที่มา: Ruhe (1960)

จำนวนตัวอย่างดินที่เก็บ

จำนวนตัวอย่างดินที่เก็บจาก 2 พื้นที่ (พื้นที่ปลูกยางพารา และพื้นที่ปลูกข้าวโพด) ที่ลำดับภูมิประเทศ 5 ระดับ แต่ละระดับเก็บตัวอย่างดินที่ 3 ความลึก ความลึกละ 3 ซ้ำ รวมเก็บตัวอย่างทั้งหมด $2 \times 5 \times 3 \times 3$ เท่ากับ 90 ตัวอย่าง/ครั้ง สำหรับการเก็บแบบไม่รบกวนโครงสร้าง และ 90 ตัวอย่าง/ครั้ง สำหรับการเก็บแบบรบกวนโครงสร้าง

ระยะเวลาที่เก็บตัวอย่างดิน

เก็บตัวอย่างช่วงฤดูแล้ง (ดินแห้ง) 2 ครั้ง และช่วงหลังฤดูฝน (ดินมีความชื้นสูงสุด) 1 ครั้ง คิดเป็นการเก็บตัวอย่างสำหรับพื้นที่ปลูกข้าวโพดจำนวน 90×3 เท่ากับ 270 ตัวอย่าง/ปี สำหรับดินไม่รบกวนโครงสร้าง และ 270 ตัวอย่าง/ปี สำหรับดินที่ถูกรบกวนโครงสร้าง และคิดเป็นการเก็บตัวอย่างต่อปี สำหรับพื้นที่ปลูกยางพารา จำนวน 90×3 เท่ากับ 270 ตัวอย่าง/ปี สำหรับดินไม่รบกวนโครงสร้าง และ 270 ตัวอย่าง/ปี สำหรับดินที่ถูกรบกวนโครงสร้าง

การเก็บข้อมูล

การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของดิน

- (1) เนื้อดิน (soil texture) หรือขนาดอนุภาคดิน (soil particle size analysis) ด้วยวิธีปิเปต (pipette method) (Kilmer and Alexander, 1949)
- (2) ความหนาแน่นรวมของดิน (bulk and particle density) (สุนทรี, 2536; Culley, 1993)
- (3) ความหนาแน่นอนุภาคดิน (particle density) (Blake, 1965; สุนทรี, 2536)
- (4) ความชื้นในดิน (soil water content) (สุนทรี, 2536; Topp, 1993)
- (5) การนำน้ำของดินในสภาพที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (hydraulic conductivity of saturated soil) (สุนทรี, 2536; Reynolds, 1993)

(6) ความชื้นของดินที่แรงดึงบรรยากาศต่าง ๆ (soil water retention) (สุนทรี, 2536; Topp *et. al.*, 1993) ได้แก่ ที่แรงดึง 1/3 และ 15 bar

(7) คำนวณปริมาณความชื้นในดินที่เป็นประโยชน์ (available water capacity, AWC) จากค่าปริมาณความจุความชื้นสนาม (field capacity, FC), และความชื้นที่จุดเหี่ยวถาวร (permanent wilting point, PWP)

(8) คำนวณ soil moisture content (% by volume)

(9) การคำนวณความพรุนรวมของดิน (total porosity)

(10) การคำนวณความพรุนช่องบรรจุอากาศของดินที่ความจุความชื้นสนาม (air-filled porosity at field capacity, AFP) (Cass, 1999)

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

(1) วางแผนการทดลองแบบ Experimental design แบบ Factorial 2x5x3x3 (จากการเก็บข้อมูลพืช 2 ชนิด 5 ลำดับภูมิประเทศ 3 ระดับความลึกของดิน 3 ช่วงเวลา และเก็บข้อมูล 3 ซ้ำ)

(2) วิเคราะห์ความแตกต่างของปัจจัย 2 กลุ่มด้วย t-test ในที่นี้ปัจจัย 2 กลุ่ม คือ พื้นที่ปลูกยางพารา และพื้นที่ปลูกข้าวโพด

(3) วิเคราะห์ความแตกต่างของปัจจัยตั้งแต่ 3 กลุ่มขึ้นไปด้วย *F-test* หรือ ANOVA ในที่นี้ปัจจัยตั้งแต่ 3 กลุ่มขึ้นไป ได้แก่ ลำดับภูมิประเทศ 5 ระดับ, ความลึกดินในการเก็บตัวอย่างดิน 3 ระดับ, และช่วงเวลาในการเก็บข้อมูล 3 ช่วงเวลา

(4) การวิเคราะห์ความแตกต่างรายคู่ (Paire-wise) ด้วย Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ในที่นี้จะทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยผลวิเคราะห์รายคู่ ตัวอย่างเช่น เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความหนาแน่นรวมของดิน (ρ_b) คู่อำดับภูมิประเทศ Su กับ Sh หรือ คู่ความลึก 0 – 15 ซม. กับ 15 – 30 ซม. เป็นต้น

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

ตัวอย่างดินที่ใช้ในการศึกษาวิจัย

พื้นที่ศึกษาอยู่ภายในพื้นที่ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงห้วยแล้ง บ้านห้วยแล้ง หมู่ 2 ตำบลท่าข้าม อำเภอเวียงแก่น จังหวัดเชียงราย

ทำการเก็บตัวอย่างดินในพื้นที่ปลูกยางพารา (P) และพื้นที่ปลูกข้าวโพด (C) ตามลำดับภูมิประเทศ 5 ระดับ ได้แก่ ยอดเขา (Su) ไหล่เขา (Sh) ลาดเขา (BS), เHING (FT) และที่ราบเชิงเขา (TS) เก็บตัวอย่างดินที่ 3 ระดับความลึก ได้แก่ 0 - 15, 15 - 30, และ 30 - 60 cm และเก็บตัวอย่างดินตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

รายละเอียดการเก็บตัวอย่างดิน ได้แก่ พื้นที่เก็บตัวอย่าง ช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่าง ลำดับภูมิประเทศ จุดพิกัดในการเก็บตัวอย่าง และความสูงของพื้นที่เก็บตัวอย่างจากระดับน้ำทะเลแสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 จุดเก็บตัวอย่างดินจากพื้นที่ศึกษาแปลงยางพาราและข้าวโพด

ช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่าง	ลำดับภูมิประเทศ	จุดพิกัด (GPS)		ความสูงจากระดับน้ำทะเล (m)
Para-Rubber Field (P)				
ฤดูแล้ง (2558)	ยอดเขา (P-Su)	47Q 653222 E	2214121 N	492
	ไหล่เขา (P-Sh)	47Q 653200 E	2214136 N	451
	ลาดเขา (P-BS)	47Q 653198 E	2214165 N	447
	เชิงเขา (P-FS)	47Q 653180 E	2214212 N	437
	ที่ราบเชิงเขา (P-TS)	47Q 653443 E	2214322 N	416
Corn Field (C) ¹⁴				
ฤดูแล้ง (2558)	ยอดเขา (C-Su)	47Q 652857 E	2214514 N	523
	ไหล่เขา (C-Sh)	47Q 652876 E	2214484 N	506
	ลาดเขา (C-BS)	47Q 652912 E	2214416 N	477

ตารางที่ 8 (ต่อ)

ช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่าง	ลำดับภูมิประเทศ	จุดพิกัด (GPS)		ความสูงจากระดับน้ำทะเล (m)
Para-Rubber Field (P)				
ฤดูแล้ง (2559)	ยอดเขา (P-Su)	47Q 653208 E	2214122 N	485
	ไหล่เขา (P-Sh)	47Q 653212 E	2214145 N	459
	ลาดเขา (P-BS)	47Q 653240 E	2214185 N	449
	เชิงเขา (P-FS)	47Q 653169 E	2214202 N	420
	ที่ราบเชิงเขา (P-TS)	47Q 653409 E	2214315 N	417
Corn Field (C)				
ฤดูแล้ง (2559)	ยอดเขา (C-Su)	47Q 652149 E	2213174 N	490
	ไหล่เขา (C-Sh)	47Q 652181 E	2213159 N	484
	ลาดเขา (C-BS)	47Q 652249 E	2213121 N	468
	เชิงเขา (C-FS)	47Q 652305 E	2213111 N	442
	ที่ราบเชิงเขา (C-TS)	47Q 652320 E	2213082 N	439
Para-Rubber Field (P)				
ฤดูฝน (2559)	ยอดเขา (P-Su)	47Q 653209 E	2214124 N	491
	ไหล่เขา (P-Sh)	47Q 653219 E	2214142 N	453
	ลาดเขา (P-BS)	47Q 653213 E	2214167 N	448
	เชิงเขา (P-FS)	47Q 653197 E	2214192 N	437
	ที่ราบเชิงเขา (P-TS)	47Q 653296 E	2214322 N	423
Corn Field (C)				
ฤดูฝน (2559)	ยอดเขา (C-Su)	47Q 652222 E	2213147 N	494
	ไหล่เขา (C-Sh)	47Q 652231 E	2213143 N	480
	ลาดเขา (C-BS)	47Q 652253 E	2213128 N	468
	เชิงเขา (C-FS)	47Q 652252 E	2213128 N	440
	ที่ราบเชิงเขา (C-TS)	47Q 652344 E	2213107 N	338

หมายเหตุ ^{1/}ปี 2558 เกษตรกรใช้พื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เฉพาะลำดับ Su, Sh, และ BS

ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพของดินพื้นที่ปลูกยางพารา

1. อนุภาคขนาดดินเหนียว (Clay, %C)

การวิเคราะห์อนุภาคขนาดดินเหนียว (%C) ในพื้นที่ปลูกยางพารา พบว่า การสะสม %C ของพื้นที่ปลูกยางพาราเมื่อดินมีความชื้นต่ำ ในฤดูแล้งปี 2558 (ตารางที่ 9) และฤดูแล้งปี 2559 (ตารางที่ 10) %C จะสะสมในปริมาณใกล้เคียงกันที่ลำดับ Su, Sh, และ BS ที่ระดับความลึก 0 - 15 cm มีค่าอยู่ในช่วง 33.0 – 48.5% และการสะสม %C มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความลึกของดินเพิ่มขึ้น ที่ระดับความลึก 15 - 30 cm มีค่าอยู่ในช่วง 45.5 – 55.2% และที่ระดับความลึก 30 - 60 cm มีค่าอยู่ในช่วง 47.6 – 65.7% และการสะสมของ %C จะลดลงที่ลำดับ FS และ TS ที่ระดับความลึก 0 - 15 cm มีค่าอยู่ในช่วง 17.8 – 44.4% ที่ระดับความลึก 15 - 30 cm มีค่าอยู่ในช่วง 22.4 – 32.5%

ตารางที่ 9 ค่าเฉลี่ยผลวิเคราะห์ขนาดอนุภาคของตัวอย่างดินพื้นที่ปลูกยางพาราในช่วงฤดูแล้งปี 2558

Code	Depth cm	%S ^{1/}	Sand Fraction ^{2/} (%)					%Si ^{3/}	%C ^{4/}	Texture
			%VCS	%CS	%MS	%FS	%VFS			
P-Su	0-15	28.5	0.19	0.4	2.0	11.9	14.0	27.8	43.8	C
	15-30	24.0	0.38	0.4	1.6	9.7	11.9	26.8	49.3	C
	30-60	20.5	0.23	0.4	1.3	8.2	10.4	25.7	53.8	C
P-Sh	0-15	18.1	0.56	0.6	1.8	7.7	7.4	33.4	48.5	C
	15-30	13.5	0.40	0.5	1.6	5.9	5.1	31.3	55.2	C
	30-60	7.4	0.37	0.4	0.8	3.0	2.8	26.9	65.7	C
P-Bs	0-15	32.9	0.68	0.9	4.0	16.1	11.3	28.9	38.2	CL
	15-30	22.2	0.43	0.5	2.4	10.4	8.4	30.0	47.9	C
	30-60	18.1	1.73	1.8	2.3	6.1	6.2	34.3	47.6	C
P-FS	0-15	18.5	0.34	0.7	1.8	7.7	8.0	37.1	44.4	C
	15-30	40.4	0.19	0.7	4.8	20.0	14.8	27.5	32.1	CL
	30-60	40.0	0.11	0.5	4.9	20.3	14.2	25.7	34.3	CL
P-TS	0-15	32.3	0.10	0.3	1.6	12.8	17.6	41.2	26.5	L
	15-30	29.7	0.14	0.4	1.8	12.8	14.7	40.7	29.6	CL
	30-60	38.3	0.25	1.0	2.8	16.7	17.6	37.1	24.6	L

หมายเหตุ ^{1/}%Sand (%S); ^{2/}%Sand fraction; very coarse sand (VCS), coarse sand (CS), medium sand (MS), fine sand (FS), very fine sand (VFS); ^{3/}%Silt (%Si); ^{4/}%Clay (%C)

ตารางที่ 10 ค่าเฉลี่ยผลวิเคราะห์ขนาดอนุภาคของตัวอย่างดินพื้นที่ปลูกยางพาราในช่วงฤดูแล้งปี 2559

Code	Depth cm	%S	Sand Fraction (%)					%Si	%C	Texture
			%VCS	%CS	%MS	%FS	%VFS			
P-Su	0-15	32.8	0.5	0.6	3.0	14.7	13.9	34.3	33.0	CL
	15-30	26.6	0.3	0.6	2.4	11.4	11.9	27.9	45.6	C
	30-60	22.0	0.4	0.5	1.8	9.3	10.1	27.7	50.3	C
P-Sh	0-15	25.0	0.3	0.6	2.4	11.2	10.5	32.0	43.1	C
	15-30	23.6	0.3	0.6	2.2	10.5	10.0	30.9	45.5	C
	30-60	21.6	0.7	0.8	1.9	9.3	8.8	29.7	48.7	C
P-BS	0-15	25.7	0.5	0.7	2.6	11.9	10.1	30.9	43.4	C
	15-30	22.1	0.6	0.5	1.9	9.8	9.3	28.1	49.8	C
	30-60	19.7	0.5	0.6	1.7	9.0	7.7	27.5	52.8	C
P-FS	0-15	42.8	0.2	0.6	4.9	20.5	16.6	26.9	30.4	CL
	15-30	41.5	0.3	0.6	4.8	19.7	16.1	26.0	32.5	CL
	30-60	39.9	0.3	0.4	3.9	18.9	16.4	24.5	35.6	CL
P-TS	0-15	54.2	0.3	0.6	4.9	25.1	23.4	28.0	17.8	SL
	15-30	47.2	0.3	0.6	4.1	21.9	20.3	30.4	22.4	L
	30-60	47.3	0.2	0.6	4.1	22.4	20.0	29.8	22.9	L

ที่ระดับความลึก 30 - 60 cm มีค่าอยู่ในช่วง 22.9 – 35.6% เมื่อดินมีความชื้นสูงขึ้น (ฤดูฝน) การสะสม %C มีลักษณะเช่นเดียวกับเมื่อดินมีความชื้นต่ำ แต่ปริมาณการสะสม %C มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นที่ลำดับ FS และ TS (ตารางที่ 11) โดยที่ลำดับ Su, Sh, และ BS ที่ระดับความลึก 0 – 15, 15 – 30, และ 30 - 60 cm มีค่าอยู่ในช่วง 37.3 – 50.0, 44.3 – 54.9, และ 49.1 – 58.2% ตามลำดับ และที่ลำดับ FS และ TS ที่ระดับความลึก 0 – 15, 15 – 30, และ 30 - 60 cm มีค่าอยู่ในช่วง 30.0 – 46.3, 45.5 – 48.3, และ 50.6 – 51.3% ตามลำดับ สอดคล้องกับการรายงานของ Oku *et al.* (2010) และ Osuaku *et al.* (2014) ที่พบว่า การสะสมอนุภาคเหนียวจะได้รับอิทธิพลจากลำดับภูมิประเทศ โดยลำดับภูมิประเทศต่างกันจะพบการสะสมของอนุภาคดินเหนียวต่างกัน

ตารางที่ 11 ค่าเฉลี่ยผลวิเคราะห์ขนาดอนุภาคของตัวอย่างดินพื้นที่ปลูกยางพาราในช่วงฤดูฝน 2559

Code	Depth cm	%S	Sand Fraction (%)					%Si	%C	Texture
			%VCS	%CS	%MS	%FS	%VFS			
P-Su	0-15	35.1	0.3	0.7	3.1	15.5	15.5	27.6	37.3	CL
	15-30	28.4	0.3	0.6	2.3	11.9	13.4	27.3	44.3	C
	30-60	23.8	0.1	0.5	1.8	10.1	11.4	27.1	49.1	C
P-Sh	0-15	22.7	0.2	0.4	1.7	9.5	11.0	33.4	43.9	C
	15-30	18.0	0.4	0.5	1.2	7.0	8.9	31.7	50.2	C
	30-60	14.6	0.7	0.8	1.2	5.9	6.0	29.6	55.8	C
P-BS	0-15	15.6	0.4	0.4	1.4	6.3	7.0	34.4	50.0	C
	15-30	12.4	0.5	0.4	1.1	4.9	5.5	32.8	54.9	C
	30-60	11.1	0.4	0.4	1.0	4.6	4.8	30.6	58.2	C
P-FS	0-15	23.8	0.2	0.4	1.7	10.1	11.5	30.0	46.3	C
	15-30	23.6	0.2	0.4	1.6	10.2	11.1	28.2	48.3	C
	30-60	21.4	0.1	0.3	1.5	9.5	9.9	27.3	51.3	C
P-TS	0-15	30.6	0.1	0.5	2.1	11.4	16.4	39.4	30.0	CL
	15-30	17.8	0.2	0.4	1.3	8.0	7.9	36.7	45.5	C
	30-60	12.9	0.2	0.4	1.5	9.0	4.8	36.5	50.6	C

2. อนุภาคขนาดทรายแป้ง (Silt, %Si)

การวิเคราะห์อนุภาคขนาดทรายแป้ง (%Si) ในพื้นที่ปลูกยางพารา พบว่า การสะสม %Si ของพื้นที่ปลูกยางพาราเมื่อดินมีความชื้นต่ำในฤดูแล้งปี 2558 (ตารางที่ 9) และฤดูแล้งปี 2559 (ตารางที่ 10) จะสะสมในปริมาณใกล้เคียงกันที่ลำดับ Su, Sh, BS, และ FS ที่ระดับความลึก 0 – 15, 15 – 30, และ 30 – 60 cm มีค่าอยู่ในช่วง 26.9 – 37.1%, 26.0 – 30.9%, และ 24.5 – 34.3% ตามลำดับ และการสะสมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นที่ลำดับ TS ที่ระดับความลึก 0 – 15, 15 – 30, และ 30 – 60 cm มีค่าอยู่ในช่วง 28.0 – 41.2%, 30.4 – 40.7%, และ 29.8 – 37.1% ตามลำดับ สอดคล้องกับการศึกษาของ Osuaku *et al.* (2014) และ Boling *et al.* (2008) ที่พบว่า ตำแหน่งลำดับภูมิประเทศมีอิทธิพลต่อการสะสมของอนุภาคทรายแป้ง และอนุภาคทรายแป้งจะสะสมมากบริเวณ Bottom Slope เมื่อดินมีความชื้นสูงขึ้นในฤดูฝน 2559 (ตารางที่ 11) การสะสม %Si มีลักษณะเช่นเดียวกับเมื่อดินมีความชื้นต่ำ แต่มีแนวโน้มจะสะสมมากกว่าเมื่อดินมีความชื้นต่ำเป็นบางช่วง ที่ลำดับ Su, Sh, BS, และ FS ที่ระดับความลึก 0 – 15, 15 – 30, และ 30 – 60 cm มีค่าอยู่ในช่วง 27.6 – 34.4%, 27.3 – 32.8%, และ 27.1 – 30.6% ตามลำดับ และที่ลำดับ TS ที่ระดับความลึก 0 – 15, 15 – 30, และ 30 – 60 cm มีค่า 39.4%, 36.7%, และ 36.5% ตามลำดับ

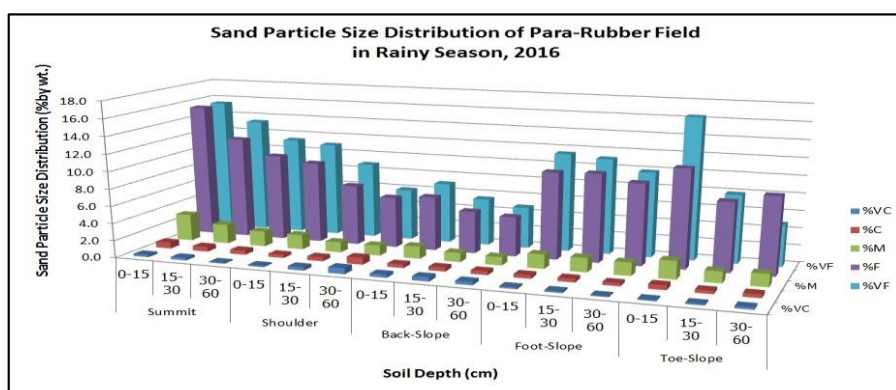
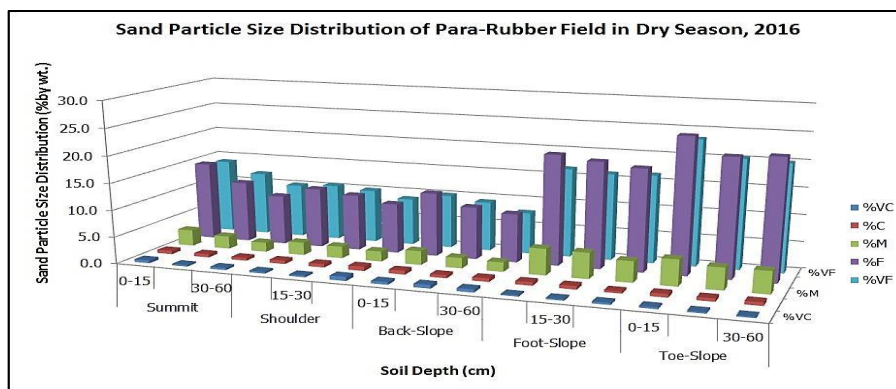
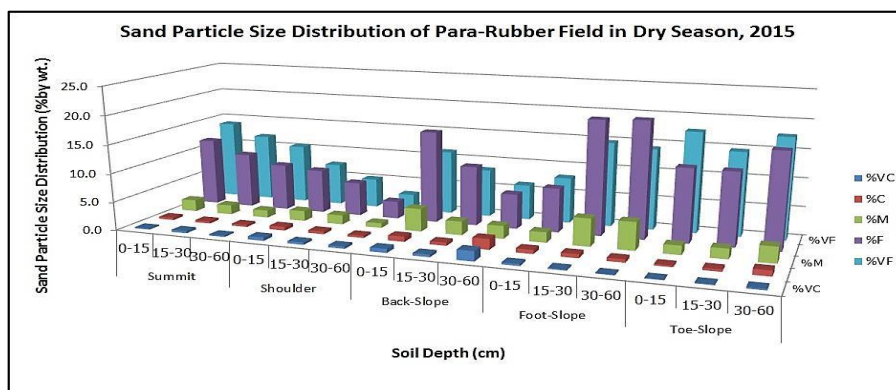
3. อนุภาคน้ำทราย (Sand, %S)

การวิเคราะห์อนุภาคน้ำทราย (%S) ในพื้นที่ปลูกยางพารา พบว่า การสะสม %S ของพื้นที่ปลูกยางพาราเมื่อดินมีความชื้นต่ำในฤดูแล้งปี 2558 (ตารางที่ 9) และฤดูแล้งปี 2559 (ตารางที่ 10) และเมื่อดินมีความชื้นสูงขึ้นในฤดูฝน 2559 (ตารางที่ 11) การสะสม %S จะสะสมในลักษณะเดียวกันคือ การสะสมจะลดลงจากลำดับ Su, Sh, และ BS ที่ระดับความลึก 0 – 15, 15 – 30, และ 30 – 60 cm มีค่าอยู่ในช่วง 15.6 – 35.1%, 12.4 – 28.4%, และ 7.4 – 23.8% ตามลำดับ และการสะสม %S จะเพิ่มขึ้นที่ลำดับ FS และ TS ที่ระดับความลึก 0 – 15, 15 – 30, และ 30 – 60 cm มีค่าอยู่ในช่วง 23.8 – 54.2%, 17.8 – 47.2%, และ 12.9 – 47.3% ตามลำดับ โดยการสะสม %S จะมากที่สุดบริเวณดินบนที่ความลึก 0 – 15 cm และจะสะสมลดลงที่ความลึก 15 – 30 และ 30 – 60 cm ตามลำดับ นั่นคือ พื้นที่ปลูกยางพารามีการสูญเสีย %S จากลำดับ Sh และ BS มาสะสมที่ลำดับ FS และ TS บริเวณดินบน (0 – 15 cm) มากที่สุด และเกิดขึ้นในลักษณะเดียวกันทั้งเมื่อดินมีความชื้นต่ำ (ฤดูแล้ง) และเมื่อดินมีความชื้นสูงขึ้น (ฤดูฝน) การเปลี่ยนแปลงการสะสม %S เนื่องจากอิทธิพลของลำดับภูมิประเทศที่ศึกษานี้สอดคล้องกับการศึกษาของ Boling *et al.* (2008) ซึ่งพบว่า ลำดับภูมิประเทศที่เปลี่ยนไปจะมีผลต่อการสะสมของ %S ที่เปลี่ยนไปเช่นกัน อย่างไรก็ตาม การศึกษานี้พบความแตกต่างจากการศึกษาของ Boling *et al.* (2008) คือ %S จะสะสมลดลงเมื่อความชื้นเพิ่มขึ้น และพบการสะสม %S มากที่ลำดับ FS และ TS

4. อนุภาคน้ำทรายขนาดต่าง ๆ (% Sand fraction)

การวิเคราะห์อนุภาคน้ำทรายขนาดต่าง ๆ ในพื้นที่ปลูกยางพารา และนำผลวิเคราะห์อนุภาคน้ำทรายขนาดต่าง ๆ มาพล็อตกราฟเปอร์เซ็นต์การแพร่กระจายของอนุภาคน้ำทรายขนาดต่าง ๆ เพื่อให้เห็นการเปลี่ยนแปลงการสะสมอนุภาคน้ำทรายขนาดต่าง ๆ ตามลำดับภูมิประเทศ จะทำให้เห็นลักษณะการสูญเสียอนุภาคน้ำทรายได้ชัดเจนยิ่งขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 7

ผลการศึกษา (ภาพที่ 7) พบว่า ปริมาณอนุภาคน้ำทรายละเอียด (%FS) และทรายละเอียดมาก (%VFS) เปลี่ยนแปลงมากที่สุด เมื่อดินมีความชื้นต่ำ (ฤดูแล้ง 2558 และ 2559) การสะสมของ %FS และ %VFS จะเคลื่อนลงมาสะสมตามลำดับภูมิประเทศ และสะสมมากที่สุดที่ลำดับ FS และ TS เมื่อดินมีความชื้นสูงขึ้น (ฤดูฝน 2559) การสะสมของ %FS และ %VFS ที่ลำดับ Su, Sh, และ BS มีปริมาณใกล้เคียงกับเมื่อดินมีความชื้นต่ำ (ฤดูแล้ง) แต่การสะสมที่ลำดับ FS และ TS มีแนวโน้มลดลงสำหรับการเคลื่อนตัวตามระดับความลึกของดิน พบว่า %FS และ %VFS จะสะสมมากที่สุดที่ระดับความลึก 0 – 15 cm และจะลดลงที่ระดับความลึก 15 – 30 และ 30 – 60 cm ดังนั้น เมื่อพิจารณาการสูญเสีย %FS และ %VFS ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ในพื้นที่ปลูกยางพาราอนุภาคน้ำทรายขนาด %FS และ %VFS สะสมในดินบนมาก (0 – 15 cm) จึงเกิดการเคลื่อนตัวไปสะสมตามลำดับภูมิประเทศจาก Su จนถึง TS ได้ง่ายกว่าอนุภาคน้ำทรายขนาดอื่น ๆ



ภาพที่ 7 เปอร์เซนต์การแพร่กระจายของอนุภาคทรายขนาดต่าง ๆ ในพื้นที่ปลูกยางพาราช่วงฤดูแล้งปี 2558, 2559 และฤดูฝนปี 2559

5. ความหนาแน่นรวมของดิน (Bulk density, ρ_b)

การวิเคราะห์ความหนาแน่นรวมของดิน (ρ_b) ในพื้นที่ปลูกยางพารา พบว่า ค่า ρ_b ของพื้นที่ปลูกยางพาราเมื่อดินมีความชื้นต่ำในฤดูแล้งปี 2558 (ตารางที่ 12) มีค่าสอดคล้องกับฤดูแล้งปี 2559 (ตารางที่ 13) ค่า ρ_b ที่ลำดับ Su, Sh, BS, และ FS มีค่าใกล้เคียงกัน โดยที่ระดับความลึก 0 – 15, 15 – 30, และ 30 – 60 cm มีค่าอยู่ในช่วง 1.11 – 1.30, 1.05 – 1.43, และ 1.19 – 1.46 g cm⁻³ ตามลำดับ และค่า ρ_b มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นที่ลำดับ TS มีค่าอยู่ในช่วง 1.43 – 1.65 g cm⁻³ เมื่อดินมีความชื้นสูงขึ้นใน

ตารางที่ 12 ค่าเฉลี่ยผลวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพบางประการของดินที่ศึกษาในพื้นที่ปลูกยางพารา ฤดูแล้งปี 2558

Code	Depth cm	$\rho_b^{1/}$ g cm ⁻³	MC ^{2/} %by wt	$K_{sat}^{3/}$ cm hr ⁻¹	FC ^{4/} ← %by wt →	PWP ^{5/} ← %by wt →	AWC ^{6/} ← %by wt →	$\rho_s^{7/}$ g cm ⁻³	TP ^{8/} ← % →	AFP ^{9/} ← % →
P-Su	0-15	1.18	16.12	9.80	30.85	19.49	11.36	2.65	55	24
	15-30	1.37	23.19	1.98	31.38	21.10	10.27	2.56	48	16
	30-60	1.33	24.43	12.15	33.77	23.25	10.51	2.59	49	16
P-Sh	0-15	1.26	25.01	83.75	32.68	21.24	11.44	2.56	52	19
	15-30	1.14	28.89	23.99	34.00	23.30	10.70	2.45	56	22
	30-60	1.25	28.04	17.97	37.55	26.83	10.71	2.48	52	15
P-BS	0-15	1.12	26.73	49.10	27.78	17.65	10.13	2.67	57	30
	15-30	1.24	27.99	90.09	32.37	21.14	11.23	2.58	53	20
	30-60	1.21	28.70	89.06	34.32	22.25	12.07	2.63	54	20
P-FS	0-15	1.26	23.64	28.82	33.42	21.08	12.34	2.61	52	19
	15-30	1.40	18.81	8.13	23.80	13.67	10.13	2.66	47	23
	30-60	1.46	19.72	5.31	23.57	14.16	9.41	2.60	45	21
P-TS	0-15	1.62	16.35	0.00	25.25	12.39	12.86	2.58	38	13
	15-30	1.65	17.98	0.03	25.62	13.88	11.73	2.64	37	12
	30-60	1.63	19.81	0.07	23.49	12.58	10.92	2.61	38	15

หมายเหตุ ^{1/}bulk density (ρ_b), ^{2/}field moisture content (MC), ^{3/}saturated hydraulic conductivity (K_{sat}); ^{4/}moisture at field capacity (FC) (moisture retention at 1/3 bar), ^{5/}permanent wilting point (PWP) (moisture retention at 15 bar), ^{6/}available water capacity (AWC); ^{7/}particle density (ρ_s), ^{8/}total porosity (TP); ^{9/}air-filled porosity at field capacity (AFP)

ตารางที่ 13 ค่าเฉลี่ยผลวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพบางประการของดินที่ศึกษาในพื้นที่ปลูกยางพารา
ฤดูแล้งปี 2559

Code	Depth	$\rho_b^{1/}$	MC ^{2/}	Ksat ^{3/}	FC ^{4/}	PWP ^{5/}	AWC ^{6/}	$\rho_s^{7/}$	TP ^{8/}	AFP ^{9/}
	cm	g cm ⁻³	%by wt	cm hr ⁻¹	← %by wt →			g cm ⁻³	← % →	
P-Su	0-15	1.28	18.67	9.39	28.92	16.89	12.02	2.57	51	22
	15-30	1.33	22.87	3.66	31.74	20.17	11.58	2.58	49	18
	30-60	1.25	25.31	5.33	34.07	22.57	11.50	2.61	53	19
P-Sh	0-15	1.11	25.78	71.49	32.50	19.37	13.13	2.59	58	25
	15-30	1.22	26.13	26.11	31.99	20.27	11.73	2.61	54	22
	30-60	1.24	26.54	25.22	33.00	21.40	11.60	2.62	53	20
P-BS	0-15	1.14	26.36	56.56	32.95	19.15	13.80	2.55	57	24
	15-30	1.05	28.13	98.17	34.87	21.51	13.36	2.65	60	25
	30-60	1.19	27.26	49.39	34.56	22.13	12.42	2.67	55	20
P-FS	0-15	1.30	18.87	55.37	24.19	13.96	10.23	2.53	51	26
	15-30	1.43	18.55	21.51	23.80	14.45	9.36	2.65	46	22
	30-60	1.44	18.68	35.28	24.64	15.31	9.33	2.61	45	21
P-TS	0-15	1.43	9.56	2.62	18.57	9.00	9.57	2.60	46	27
	15-30	1.49	13.46	2.24	21.12	11.40	9.72	2.60	43	22
	30-60	1.50	14.41	16.22	21.16	11.66	9.50	2.54	43	22

ฤดูฝนปี 2559 (ตารางที่ 14) ค่า ρ_b สอดคล้องกับเมื่อดินมีความชื้นต่ำ คือ ที่ลำดับ Su, Sh, BS, และ FS มีค่าใกล้เคียงกัน ที่ระดับความลึก 0 – 15, 15 – 30, และ 30 – 60 cm มีค่าอยู่ในช่วง 1.12 – 1.21, 1.22 – 1.33, และ 1.23 – 1.31 g cm⁻³ ตามลำดับ และค่า ρ_b มีค่าเพิ่มขึ้นที่ลำดับ TS คือ ที่ระดับความลึก 0 – 15, 15 – 30, และ 30 – 60 cm มีค่า 1.40, 1.45, 1.41 g cm⁻³ ตามลำดับ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า พื้นที่ปลูกยางพาราที่ลำดับ Su, Sh, BS, และ FS มีค่า ρ_b อยู่ในระดับ ต่ำ – ปานกลาง ในทุกระดับความลึกของดิน (0 - 15, 15 - 30, 30 - 60 cm) และที่ลำดับ TS มีค่า ρ_b อยู่ในระดับ ปานกลาง – สูง ในทุกระดับความลึกของดิน (0 - 15, 15 - 30, 30 - 60 cm) ตามการแปลผลวิเคราะห์ของ Hazelton and Murphy (2007) การเปลี่ยนแปลงค่า ρ_b ของดินตามลำดับภูมิประเทศนี้สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Oku *et al.* (2010) ที่พบว่า ลำดับภูมิประเทศมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า ρ_b ของดินแต่อิทธิพลนี้ไม่รุนแรงมากนัก

ตารางที่ 14 ค่าเฉลี่ยผลวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพบางประการของดินที่ศึกษาในพื้นที่ปลูกยางพารา ฤดูฝนปี 2559

Code	Depth	$\rho_b^{1/}$	MC ^{2/}	$K_{sat}^{3/}$	FC ^{4/}	PWP ^{5/}	AWC ^{6/}	$\rho_s^{7/}$	TP ^{8/}	AFP ^{9/}
	cm	g cm ⁻³	%by wt	cm hr ⁻¹	← %by wt →			g cm ⁻³	← % →	
P-Su	0-15	1.20	29.33	13.75	29.63	17.10	12.53	2.56	54	25
	15-30	1.33	24.58	9.87	31.51	19.83	11.68	2.53	49	18
	30-60	1.30	27.19	5.91	33.76	21.52	12.24	2.64	50	17
P-Sh	0-15	1.18	33.78	2.90	34.95	21.37	13.58	2.48	55	20
	15-30	1.27	31.03	17.10	35.40	23.12	12.28	2.69	52	17
	30-60	1.23	32.93	15.62	38.63	25.46	13.17	2.56	53	15
P-BS	0-15	1.12	37.81	10.75	37.36	25.13	12.23	2.59	57	20
	15-30	1.22	34.86	12.86	37.27	25.76	11.51	2.55	54	16
	30-60	1.31	34.10	0.01	38.12	26.93	11.19	2.65	50	12
P-FS	0-15	1.21	35.36	14.57	34.70	22.60	12.09	2.61	54	20
	15-30	1.27	33.84	1.30	33.70	22.53	11.17	2.74	52	18
	30-60	1.31	31.76	0.62	33.28	23.10	10.18	2.64	50	17
P-TS	0-15	1.40	26.93	8.50	27.28	14.79	12.49	2.68	47	20
	15-30	1.45	26.71	4.31	29.60	20.06	9.53	2.77	45	15
	30-60	1.41	28.02	1.18	33.27	22.63	10.64	2.70	46	13

6. ความหนาแน่นอนุภาคดิน (Particle density, ρ_s)

การวิเคราะห์ความหนาแน่นอนุภาคดิน (ρ_s) ในพื้นที่ปลูกยางพารา พบว่า ค่า ρ_s ของพื้นที่ปลูกยางพาราเมื่อดินมีความชื้นต่ำในฤดูแล้งปี 2558 (ตารางที่ 12) และฤดูแล้งปี 2559 (ตารางที่ 13) ค่า ρ_s ที่ลำดับ Su, Sh, BS, FS, และ TS มีค่าใกล้เคียงกัน โดยที่ระดับความลึก 0 – 15, 15 – 30, และ 30 – 60 cm มีค่าอยู่ในช่วง 2.53 – 2.67, 2.45 – 2.66, และ 2.48 – 2.67 g cm⁻³ ตามลำดับ เมื่อดินมีความชื้นสูงในฤดูฝนปี 2559 (ตารางที่ 14) ค่า ρ_s มีค่าใกล้เคียงกับเมื่อดินมีความชื้นต่ำ โดยค่า ρ_s ที่ลำดับ Su, Sh, BS, FS, และ TS ที่ระดับความลึก 0 – 15, 15 – 30, และ 30 – 60 cm มีค่าอยู่ในช่วง 2.48 – 2.68, 2.53 – 2.77, และ 2.56 – 2.70 g cm⁻³ ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าลำดับภูมิประเทศ ความลึกของดิน และความชื้นของดิน มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า ρ_s น้อยมาก

7. ความพรุนรวมของดิน (Total porosity, TP)

การวิเคราะห์ความพรุนรวมของดิน (TP) ในพื้นที่ปลูกยางพารา พบว่า ค่า TP ของพื้นที่ปลูกยางพาราเมื่อดินมีความชื้นต่ำในฤดูแล้งปี 2558 (ตารางที่ 12) ฤดูแล้งปี 2559 (ตารางที่ 13) และเมื่อดินมีความชื้นสูงในฤดูฝนปี 2559 (ตารางที่ 14) ค่า TP สอดคล้องกัน ได้แก่ ที่ลำดับ Su และ FS มีค่าใกล้เคียงกัน โดยที่ระดับความลึก 0 – 15, 15 – 30, และ 30 – 60 cm มีค่าอยู่ในช่วง 51 – 55, 46 – 52, และ 45 – 53 % ตามลำดับ ที่ลำดับ Sh และ BS ค่า TP อยู่ในช่วงใกล้เคียงกัน โดยที่ระดับความลึก 0 – 15, 15 – 30, และ 30 – 60 cm มีค่าอยู่ในช่วง 52 – 58, 53 – 60, และ 52 – 55 % ตามลำดับ และที่ลำดับ TS ที่ระดับความลึก 0 – 15, 15 – 30, และ 30 – 60 cm มีค่าอยู่ในช่วง 38 – 47, 37 – 45, และ 38 – 46 % ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าลำดับภูมิประเทศมีอิทธิพลต่อค่า TP มากกว่าความลึกของดิน โดยค่า TP เปลี่ยนแปลงตามลำดับภูมิประเทศจากมากไปน้อย ดังนี้ ค่า TP ที่ลำดับ Sh และ BS > ค่า TP ที่ลำดับ Su และ FS > ค่า TP ที่ลำดับ TS นั่นคือ ดินบริเวณ Sh และ BS มีความพรุนมาก และมีโอกาสเกิดการชะล้างพังทลาย สูญเสียหน้าดินได้มากกว่าลำดับภูมิประเทศอื่น และดินที่ลำดับ TS มีความพรุนน้อยและแน่นทึบมากที่สุด ในขณะที่ความลึกของดินและความชื้นของดินที่ต่างกันมีอิทธิพลต่อความแตกต่างของค่า TP ของพื้นที่ปลูกยางพาราไม่เด่นชัด

8. ความพรุนช่องบรรจุอากาศของดินที่ความจุความชื้นสนาม (Air-filled porosity at field capacity, AFP)

การวิเคราะห์ความพรุนช่องบรรจุอากาศของดินที่ความจุความชื้นสนาม (AFP) ในพื้นที่ปลูกยางพารา พบว่า ค่า AFP ของพื้นที่ปลูกยางพาราเมื่อดินมีความชื้นต่ำในฤดูแล้งปี 2558 (ตารางที่ 12) ฤดูแล้งปี 2559 (ตารางที่ 13) และเมื่อดินมีความชื้นสูงในฤดูฝนปี 2559 (ตารางที่ 14) ค่า AFP ที่ลำดับ Su, Sh, BS, FS, และ TS มีค่าใกล้เคียงกัน โดยที่ระดับความลึก 0 – 15, 15 – 30, และ 30 – 60 cm มีค่าอยู่ในช่วง 13 – 30, 12 – 25, 15 – 22 % ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าลำดับภูมิประเทศและคามชื้นในดินมีอิทธิพลต่อค่า AFP ไม่เด่นชัด อย่างไรก็ตาม พบว่า ค่า AFP ของดินบน (0 – 15 cm) มีค่าสูงที่สุด นั่นคือ ความลึกของดินมีอิทธิพลต่อค่า AFP

9. การนำน้ำของดินในสภาพที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (Hydraulic conductivity of saturated soil, K_{sat})

การวิเคราะห์การนำน้ำของดินในสภาพที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (K_{sat}) ในพื้นที่ปลูกยางพารา พบว่า ค่า K_{sat} ของพื้นที่ปลูกยางพาราเมื่อดินมีความชื้นต่ำในฤดูแล้งปี 2558 (ตารางที่ 12) และฤดูแล้งปี 2559 (ตารางที่ 13) ค่า K_{sat} ที่ลำดับ Su และ TS มีค่าใกล้เคียงกัน โดยที่ระดับความลึก 0 – 15, 15 – 30, และ 30 – 60 cm มีค่าอยู่ในช่วง 0.00 – 9.80, 0.03 – 3.66, และ 0.07 – 16.22 cm hr^{-1} ตามลำดับ หรือดินมีการระบายน้ำได้ ช้ามาก – เร็วปานกลาง (VS – MR), ช้ามาก – ปานกลาง (VS – M), และ ช้ามาก – เร็ว (VS – R) ตามลำดับ (ค่าวิเคราะห์ K_{sat} ในตารางผนวกที่ 3) และค่า K_{sat} ที่ลำดับ Sh, BS, และ FS มีค่าใกล้เคียงกัน โดยที่ระดับความลึก 0 – 15, 15 – 30, และ 30 – 60 cm มีค่าอยู่ในช่วง 28.82 – 83.75, 8.13 – 98.17, และ 5.31 – 89.06 cm hr^{-1} ตามลำดับ หรือดินมีการระบายน้ำได้ เร็วมาก (VR), เร็วปานกลาง – เร็วมาก (MR – VR), และ ปานกลาง – เร็วมาก (M – VR) ตามลำดับ เมื่อดินมีความชื้นสูงในฤดูฝนปี 2559 (ตารางที่ 14) ค่า K_{sat} ที่ลำดับ Su, Sh, BS, FS, และ TS มีค่าใกล้เคียงกัน โดยที่ระดับความลึก 0 – 15, 15 – 30, และ 30 – 60 cm มีค่าอยู่ในช่วง 2.90 – 14.57, 1.30 –

17.10, และ $0.01 - 15.62 \text{ cm hr}^{-1}$ ตามลำดับ หรือดินมีการระบายน้ำได้ ปานกลาง - เร็ว (M - R), ช้า ปานกลาง - เร็ว (MS - R), และ ช้ามาก - เร็ว (VS - R) ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าเมื่อดินมีความชื้นต่ำ ในฤดูแล้ง ลำดับภูมิประเทศมีอิทธิพลต่อค่า K_{sat} โดยลำดับภูมิประเทศที่มีความลาดชันมากกว่าจะให้ค่า K_{sat} มากกว่า หรือมีการระบายน้ำออกจากชั้นดินเมื่อดินอิ่มตัวด้วยน้ำได้เร็วกว่า แต่เมื่อดินมีความชื้นสูง ในฤดูฝน ทุกลำดับภูมิประเทศจะมีค่า K_{sat} อยู่ในช่วงใกล้เคียงกัน คือมีความเร็วในการระบายน้ำได้ลดลง แต่จะระบายน้ำในอัตราเร็วใกล้เคียงกันทุกลำดับภูมิประเทศ

10. ปริมาณความชื้นในดินที่เป็นประโยชน์ (Available water capacity, AWC)

การวิเคราะห์ปริมาณความชื้นในดินที่เป็นประโยชน์ (AWC) ในพื้นที่ปลูกยางพารา พบว่า ค่า AWC ของพื้นที่ปลูกยางพาราเมื่อดินมีความชื้นต่ำในฤดูแล้งปี 2558 (ตารางที่ 12) และฤดูแล้งปี 2559 (ตารางที่ 13) ค่า AWC ที่ลำดับ Su, Sh, BS, FS, และ TS มีค่าใกล้เคียงกัน โดยที่ระดับความลึก 0 - 15, 15 - 30, และ 30 - 60 cm มีค่าอยู่ในช่วง 9.57 - 13.80, 9.36 - 13.36, และ 9.33 - 12.42 %by wt ตามลำดับ เมื่อดินมีความชื้นสูงในฤดูฝนปี 2559 (ตารางที่ 14) ค่า AWC มีค่าใกล้เคียงกับเมื่อ ดินมีความชื้นต่ำ โดยค่า AWC ที่ลำดับ Su, Sh, BS, FS, และ TS ที่ระดับความลึก 0 - 15, 15 - 30, และ 30 - 60 cm มีค่าอยู่ในช่วง 12.09 - 13.58, 9.53 - 12.28, และ 10.18 - 13.17 %by wt ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า ปริมาณ AWC ในดินปลูกยางพาราไม่ได้เปลี่ยนแปลงตามลำดับภูมิประเทศ ระดับความลึกดิน และปริมาณความชื้นในดิน (ฤดูแล้งและฤดูฝน)

ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพของดินพื้นที่ปลูกข้าวโพด

1. อนุภาคนาขนาดดินเหนียว (Clay, %C)

การวิเคราะห์อนุภาคนาขนาดดินเหนียว (%C) ในพื้นที่ปลูกข้าวโพด พบว่า การสะสม %C ของพื้นที่ปลูกข้าวโพดเมื่อดินมีความชื้นต่ำในฤดูแล้งปี 2558 (ตารางที่ 15) และฤดูแล้งปี 2559 (ตารางที่ 16) %C จะสะสมในปริมาณใกล้เคียงกันที่ลำดับ Su, Sh, BS, FS, และ TS ที่ระดับความลึก 0 – 15, 15 – 30, และ 30 – 60 cm มีค่าอยู่ในช่วง 38.5 – 45.3, 39.9 – 56.7, และ 41.1 – 62.3% ตามลำดับ เมื่อดินมีความชื้นสูงขึ้นในฤดูฝนปี 2559 (ตารางที่ 17) ค่า %C มีค่าใกล้เคียงกับเมื่อดินมีความชื้นต่ำ โดยค่า %C มีปริมาณใกล้เคียงกันที่ลำดับ Su, Sh, BS, FS, และ TS ที่ระดับความลึก 0 – 15, 15 – 30, และ 30 – 60 cm มีค่าอยู่ในช่วง 33.5 – 46.0, 35.7 – 46.1, และ 35.2 – 42.1% ตามลำดับ

ตารางที่ 15 ค่าเฉลี่ยผลวิเคราะห์ขนาดอนุภาคของตัวอย่างดินพื้นที่ปลูกข้าวโพดในช่วงฤดูแล้งปี 2558

Code	Depth c)	%S	Sand Fraction (%)					%Si	%C	Texture
			%VCS	%CS	%MS	%FS	%VFS			
C-Su	0-15	27.9	1.8	1.9	3.5	10.6	10.1	33.7	38.5	CL
	15-30	20.0	1.0	1.2	2.2	7.6	8.0	30.9	49.1	C
	30-60	18.1	1.0	1.0	2.0	7.0	7.2	29.4	52.5	C
C-Sh	0-15	21.2	1.2	1.4	2.4	7.3	8.9	35.2	43.7	C
	15-30	12.6	0.8	0.9	1.3	3.8	5.8	30.7	56.7	C
	30-60	9.8	0.9	0.9	1.0	2.8	4.1	27.9	62.3	C
C-BS	0-15	31.0	0.4	0.4	1.9	14.6	13.7	29.0	40.0	C
	15-30	27.5	0.2	0.3	1.4	12.9	12.7	29.1	43.4	C
	30-60	23.4	0.1	0.3	1.2	10.9	10.9	29.4	47.2	C

หมายเหตุ ปี 2558 เกษตรกรใช้พื้นที่ปลูกข้าวโพดเพียง 3 ลำดับภูมิประเทศ คือ Su, Sh, และ BS

ตารางที่ 16 ค่าเฉลี่ยผลวิเคราะห์ขนาดอนุภาคของตัวอย่างดินพื้นที่ปลูกข้าวโพดในช่วงฤดูแล้งปี 2559

Code	Depth cm	%S	Sand Fractio (%)					%Si	%C	Texture
			%VCS	%CS	%MS	%FS	%VFS			
C-Su	0-15	29.9	0.2	0.3	1.2	10.5	17.7	31.8	39.2	CL
	15-30	28.5	0.3	0.3	1.1	10.2	16.6	31.1	40.7	C
	30-60	25.9	0.1	0.3	0.9	9.3	15.2	30.6	43.8	C
C-Sh	0-15	16.8	1.4	1.6	1.9	4.9	7.1	40.4	42.7	SiC
	15-30	17.9	2.4	1.8	2.0	4.8	6.9	39.2	42.9	C
	30-60	19.2	2.3	3.3	3.3	4.7	5.7	37.9	42.8	C
C-BS	0-15	16.9	1.0	1.1	1.5	6.2	7.2	37.8	45.3	C
	15-30	16.2	1.3	1.2	1.4	5.7	6.5	35.8	48.0	C
	30-60	16.7	1.8	1.6	1.7	5.3	6.3	36.1	47.2	C
C-FS	0-15	18.3	0.7	0.8	1.1	4.7	10.9	39.0	42.7	C
	15-30	16.1	0.6	0.7	0.9	3.9	9.9	36.4	47.4	C
	30-60	14.3	0.8	0.8	0.9	3.5	8.4	35.3	50.3	C
C-TS	0-15	24.7	1.3	1.4	2.4	8.3	11.3	36.8	38.5	CL
	15-30	23.5	1.2	1.3	2.1	8.1	10.8	36.5	39.9	CL
	30-60	22.2	1.1	1.3	2.1	7.7	10.0	36.7	41.1	C

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า การสะสม %C ของพื้นที่ปลูกข้าวโพดเมื่อดินมีความชื้นต่ำในฤดูแล้ง %C จะสะสมในปริมาณใกล้เคียงกันทุกลำดับภูมิประเทศตั้งแต่ Su ถึง TS และมีแนวโน้มว่าการสะสม %C เพิ่มขึ้นตามระดับความลึกของดิน สอดคล้องกับการรายงานของ กัณตพล และคณะ (2558) แต่เมื่อดินมีความชื้นสูงขึ้นในฤดูฝน การสะสม %C จะสะสมในปริมาณใกล้เคียงกันทุกลำดับภูมิประเทศตั้งแต่ Su ถึง TS และจะสะสมในปริมาณใกล้เคียงกันทุกระดับความลึก (0 – 15, 15 – 30, และ 30 – 60 cm) แสดงให้เห็นว่า พื้นที่ปลูกข้าวโพดมีโอกาสสูญเสีย %C ได้มากและสูญเสียได้ต่อเนื่องทั้งในฤดูแล้งและฤดูฝน ตามลำดับภูมิประเทศตั้งแต่ Su ถึง TS โดยเฉพาะในฤดูฝน การสะสม %C ไม่ได้เพิ่มขึ้นตามความลึกของดิน จึงมีโอกาสสูญเสีย %C จากดินบนได้มากกว่าฤดูแล้ง แตกต่างจากพื้นที่ปลูกยางพาราที่การสูญเสีย %C มีโอกาสเกิดในฤดูฝนมากกว่าฤดูแล้ง สอดคล้องกับการศึกษาของ Lujan (2003) ที่พบว่า การเสื่อมสภาพทางกายภาพของดินสามารถก่อให้เกิดกักขังการของดินเพิ่มขึ้น และการศึกษาของ บุญเทียม (2554) ที่พบว่า การปลูกข้าวโพดบนพื้นที่ลาดชันภาคเหนือเป็นเวลานานต่อเนื่องกัน จะก่อให้เกิดปัญหาดินเสื่อมโทรมและการชะล้างพังทลายของหน้าดิน

ตารางที่ 17 ค่าเฉลี่ยผลวิเคราะห์ขนาดอนุภาคของตัวอย่างดินพื้นที่ปลูกข้าวโพดในช่วงฤดูฝนปี 2559

Code	Depth cm	%S	Sand Fraction (%)					%Si	%C	Texture
			%VCS	%CS	%MS	%FS	%VFS			
C-Su	0-15	14.1	1.1	2.1	2.1	3.4	5.5	39.9	46.0	C
	15-30	19.6	1.7	3.1	3.2	4.6	7.0	38.3	42.1	C
	30-60	20.5	1.3	3.5	4.0	4.8	6.8	40.6	38.9	CL
C-Sh	0-15	18.1	2.1	2.6	2.3	5.1	6.0	37.5	44.4	C
	15-30	21.6	3.2	4.2	3.6	6.1	4.6	35.2	43.2	C
	30-60	22.7	2.6	4.7	4.6	5.8	5.1	35.2	42.1	C
C-BS	0-15	21.7	3.2	4.8	4.0	5.3	4.4	32.3	46.0	C
	15-30	20.2	3.2	4.5	3.7	4.9	3.9	33.6	46.1	C
	30-60	23.8	3.7	6.4	5.1	5.2	3.3	36.9	39.3	CL
C-FS	0-15	26.3	4.8	5.7	4.6	6.7	4.5	31.2	42.5	C
	15-30	29.0	3.6	7.0	6.3	6.8	5.2	29.7	41.3	C
	30-60	32.7	5.3	8.1	7.0	7.1	5.1	29.5	37.8	CL
C-TS	0-15	32.0	1.5	2.2	3.7	13.1	11.5	34.5	33.5	CL
	15-30	29.8	2.2	2.8	3.7	11.6	9.5	34.4	35.7	CL
	30-60	31.7	3.4	4.5	4.2	11.1	8.6	33.1	35.2	CL

2. อนุภาคขนาดทรายแป้ง (Silt, %Si)

การวิเคราะห์อนุภาคขนาดทรายแป้ง (%Si) ในพื้นที่ปลูกข้าวโพด พบว่า การสะสม %Si ของพื้นที่ปลูกข้าวโพดเมื่อดินมีความชื้นต่ำในฤดูแล้งปี 2558 (ตารางที่ 15) และฤดูแล้งปี 2559 (ตารางที่ 16) จะสะสมในปริมาณใกล้เคียงกันที่ลำดับ Su, Sh, BS, FS, และ TS ที่ระดับความลึก 0 – 15, 15 – 30, และ 30 – 60 cm มีค่าอยู่ในช่วง 29.0 – 40.4, 29.1 – 39.2, และ 27.9 – 37.9% ตามลำดับ เมื่อดินมีความชื้นสูงขึ้นในฤดูฝน 2559 (ตารางที่ 17) การสะสม %Si มีลักษณะเช่นเดียวกับเมื่อดินมีความชื้นต่ำ โดยค่า %Si มีปริมาณใกล้เคียงกันที่ลำดับ Su, Sh, BS, FS, และ TS ที่ระดับความลึก 0 – 15, 15 – 30, และ 30 – 60 cm มีค่าอยู่ในช่วง 31.2 – 39.9, 29.7 – 38.3, และ 29.5 – 40.6% ตามลำดับ

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า การสะสม %Si ของพื้นที่ปลูกข้าวโพด เมื่อดินมีความชื้นต่ำในฤดูแล้ง และเมื่อดินมีความชื้นสูงขึ้นในฤดูฝน การสะสม %Si จะสะสมในปริมาณใกล้เคียงกันที่ลำดับ Su จนถึง TS และที่ระดับความลึกทั้ง 3 ระดับ (0 – 15, 15 – 30, และ 30 – 60 cm) ทั้งนี้เป็นที่น่าสังเกตว่า ปริมาณ %Si ไม่ได้เพิ่มขึ้นตามการเปลี่ยนแปลงความลาดชันของพื้นที่และความลึกของดิน แสดงให้เห็นว่าการสูญเสีย %Si ไปตามความลาดชันและความลึกของดินน่าจะเกิดขึ้นแตกต่างจากการสูญเสีย %C คือ การสูญเสียจะเกิดโดยการเคลื่อนที่ไปตามแต่ละลำดับภูมิประเทศและความลึก แต่ไม่สะสมบริเวณใดเด่นชัด และการสูญเสียน่าจะเกิดแบบสม่ำเสมอตลอดปี ซึ่งลักษณะการสูญเสียอนุภาค

ดินตลอดปีของพื้นที่ปลูกข้าวโพดนี้สอดคล้องกับการศึกษาของ บุญเทียม (2554) ซึ่งพบว่า พื้นที่สูงที่มีความลาดชันเมื่อปลูกข้าวโพดซึ่งเป็นพืชเชิงเดี่ยวต่อเนื่องเป็นเวลานาน จะก่อให้เกิดการชะล้างพังทลายของหน้าดิน มากกว่าการปลูกพืชแบบเกษตรผสมผสานเช่นยางพารากับพืชไร่

3. อนุภาคนาดทราย (Sand, %S)

การวิเคราะห์อนุภาคนาดทราย (%S) ในพื้นที่ปลูกข้าวโพด พบว่า การสะสม %S ของพื้นที่ปลูกข้าวโพดเมื่อดินมีความชื้นต่ำในฤดูแล้งปี 2558 (ตารางที่ 15) และฤดูแล้งปี 2559 (ตารางที่ 16) จะสะสมในปริมาณใกล้เคียงกันที่ลำดับ Su, Sh, BS, FS, และ TS ที่ระดับความลึก 0 – 15, 15 – 30, และ 30 – 60 cm มีค่าอยู่ในช่วง 16.8 – 31.0, 12.6 – 28.5, และ 9.8 – 25.9% ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการสะสม %S มีแนวโน้มลดลงตามความลึกของดิน นอกจากนี้ยังพบว่า ในฤดูแล้งปี 2559 ที่ระดับความลึก 0 – 15 cm มีการสะสมของ %S ที่ลำดับ Su และ TS มีค่า %S อยู่ในช่วง 29.9 – 24.7 % และที่ลำดับ Sh, BS, และ FS มีค่า %S ลดลงอย่างเด่นชัดโดยมีค่าอยู่ในช่วง 16.8 – 18.3 % แสดงให้เห็นว่าที่ลำดับ Sh, BS, และ FS มีการสูญเสีย %S อย่างเด่นชัด เมื่อดินมีความชื้นสูงขึ้นในฤดูฝน 2559 (ตารางที่ 17) การสะสม %S มีลักษณะเปลี่ยนไป คือ จะสะสมที่ลำดับ Su, Sh, และ BS ในปริมาณใกล้เคียงกัน ที่ระดับความลึก 0 – 15, 15 – 30, และ 30 – 60 cm มีค่าอยู่ในช่วง 14.1 – 21.7, 19.6 – 21.6, และ 20.5 – 23.8 % ตามลำดับ และพบการสะสม %S เพิ่มขึ้นอย่างเด่นชัดที่ลำดับ FS และ TS ที่ระดับความลึก 0 – 15, 15 – 30, และ 30 – 60 cm มีค่าอยู่ในช่วง 26.3 – 32.0, 29.0 – 29.8, และ 31.7 – 32.7 % ตามลำดับ ซึ่งการสะสม %S ไม่ลดลงตามความลึกของดิน

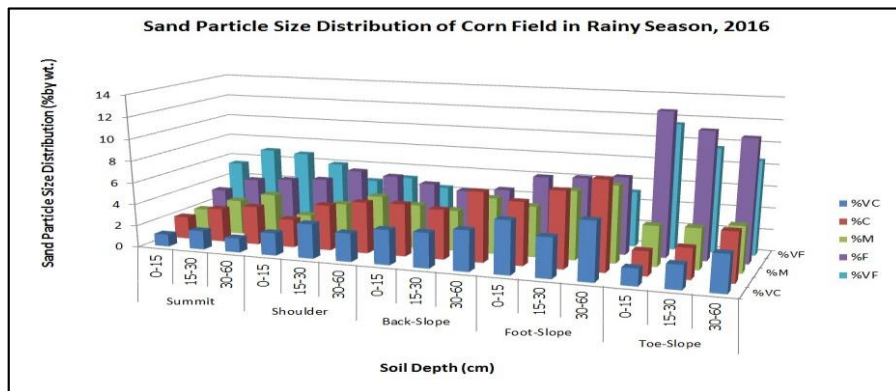
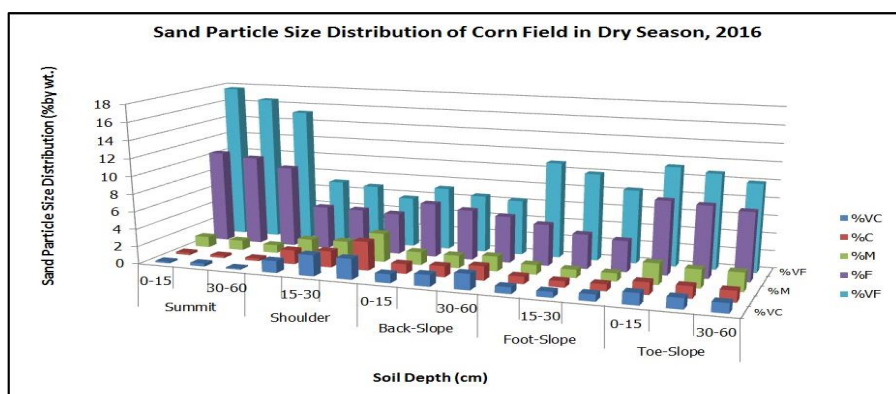
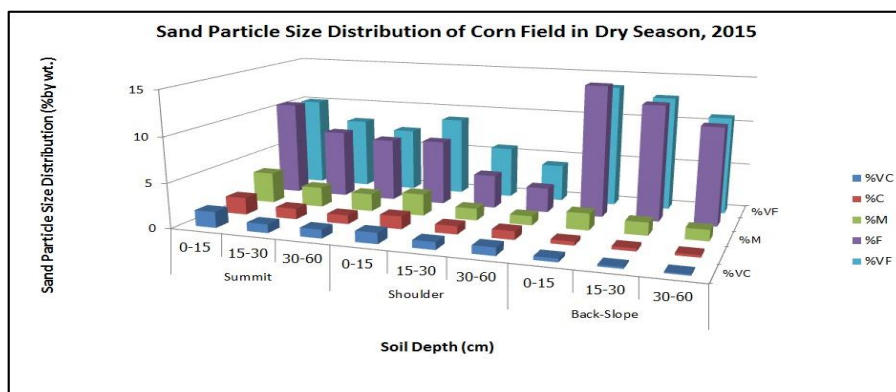
ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า การสะสม %S ของพื้นที่ปลูกข้าวโพดเมื่อดินมีความชื้นต่ำในฤดูแล้งมีลักษณะใกล้เคียงกับพื้นที่ปลูกยางพารา คือ การสะสมของ %S จะลดลงจากลำดับ Su, Sh, และ BS และการสะสมจะเพิ่มขึ้นอีกครั้งที่ลำดับ FS และ TS โดยพบมากที่สุดบริเวณดินบนที่ความลึก 0 – 15 cm และจะสะสมลดลงที่ความลึก 15 – 30 และ 30 – 60 cm ตามลำดับ แต่เมื่อดินมีความชื้นสูงขึ้นในฤดูฝนการสะสม %S จะไม่ลดลงตามความลึกของดิน นั่นคือ %S สูญเสียมากจากลำดับ Sh และ BS ที่ระดับความลึก 0 – 15 cm ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลง %S นี้ สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของ %C และ %Si คือ พื้นที่สูงที่ปลูกข้าวโพดเป็นพืชเชิงเดี่ยว จะมีโอกาสเกิดการสูญเสียหน้าดินได้ตลอดทุกลำดับภูมิประเทศ สอดคล้องกับการศึกษาของ บุญเทียม (2554) ที่พบว่า การปลูกข้าวโพดบนพื้นที่ลาดชันภาคเหนือเป็นเวลานานต่อเนื่องกัน จะก่อให้เกิดปัญหาดินเสื่อมโทรมและการชะล้างพังทลายของหน้าดินได้มากกว่าการปลูกพืชผสมผสานระหว่างยางพาราและพืชไร่

4. อนุภาทรายขนาดต่าง ๆ (% Sand fraction)

การวิเคราะห์อนุภาทรายขนาดต่าง ๆ และนำผลวิเคราะห์มาพล็อตกราฟเปอร์เซ็นต์การแพร่กระจายของอนุภาทรายขนาดต่าง ๆ เพื่อให้เห็นการเปลี่ยนแปลงการสะสมอนุภาทรายตามลำดับภูมิประเทศ จะทำให้เห็นลักษณะการสูญเสียอนุภาทรายได้ชัดเจนยิ่งขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 8

ผลการศึกษา (ภาพที่ 8) พบว่า เมื่อดินมีความชื้นต่ำในฤดูแล้งปี 2558 และฤดูแล้งปี 2559 พบการสะสมของอนุภาทรายละเอียด (%FS) และทรายละเอียดมาก (%VFS) มากที่สุด การสะสมของ %FS และ %VFS เกิดทุกลำดับภูมิประเทศ แต่มีแนวโน้มจะเกิดการสะสมมากที่สุดที่ลำดับ Su, FS,

และ TS เมื่อดินมีความชื้นสูงขึ้นในฤดูฝนปี 2559 จะเกิดการสะสมของอนุภาคทรายทุกขนาด ได้แก่ ทรายหยาบมาก (%VCS), ทรายหยาบ (%CS), ทรายปานกลาง (%MS), ทรายละเอียด (%FS), และทรายละเอียดมาก (%VFS) ตั้งแต่ลำดับ Su จนถึง TS แต่การสะสมของ %FS และ %VFS จะเกิดขึ้นเด่นชัดที่ลำดับ TS สำหรับการสะสมตามระดับความลึกของดิน พบว่า อนุภาคทรายทุกขนาดจะสะสมในดินที่ระดับความลึก 0 - 15, 15 - 30, และ 30 - 60 cm ในปริมาณใกล้เคียงกัน ดังนั้น เมื่อพิจารณาการสูญเสียอนุภาคทรายขนาดต่าง ๆ ในพื้นที่ปลูกข้าวโพด พบว่า เมื่อดินมีความชื้นต่ำอนุภาคทรายขนาด %FS และ %VFS จะเคลื่อนตัวไปสะสมตามลำดับภูมิประเทศจาก Su จนถึง TS ได้ง่ายกว่าอนุภาคทรายขนาดอื่น ๆ และเมื่อดินมีความชื้นสูงขึ้นอนุภาคทรายทุกขนาดสามารถเคลื่อนตัวไปสะสมตามลำดับภูมิประเทศจาก Su จนถึง TS ได้ แต่อนุภาคทรายขนาด %FS และ %VFS จะเคลื่อนตัวไปสะสมที่ลำดับ TS ได้เด่นชัดกว่าอนุภาคขนาดอื่น ๆ กรณีนี้จะเกิดกับพื้นที่ปลูกข้าวโพดเท่านั้น และไม่เกิดกับพื้นที่ปลูกยางพารา



ภาพที่ 8 เปอร์เซนต์การแพร่กระจายของอนุภาคทรายขนาดต่าง ๆ ในพื้นที่ปลูกข้าวโพดช่วงฤดูแล้งปี 2558, 2559 และฤดูฝนปี 2559

5. ความหนาแน่นรวมของดิน (Bulk density, ρ_b)

การวิเคราะห์ความหนาแน่นรวมของดิน (ρ_b) ในพื้นที่ปลูกข้าวโพด พบว่า ค่า ρ_b ของพื้นที่ปลูกข้าวโพดเมื่อดินมีความชื้นต่ำในฤดูแล้งปี 2558 (ตารางที่ 18) มีค่าสอดคล้องกับฤดูแล้งปี 2559 (ตารางที่ 19) ค่า ρ_b ที่ลำดับ Su, Sh, BS, FS, และ TS มีค่าใกล้เคียงกัน โดยที่ระดับความลึก 0 – 15, 15 – 30, และ 30 – 60 cm มีค่าอยู่ในช่วง 1.05 – 1.40, 1.11 – 1.44, และ 1.21 – 1.43 g cm⁻³ ตามลำดับ เมื่อดินมีความชื้นสูงขึ้นในฤดูฝน 2559 (ตารางที่ 20) ค่า ρ_b สอดคล้องกับเมื่อดินมีความชื้นต่ำ คือ ที่ลำดับ Su, Sh, BS, FS, และ TS มีค่าใกล้เคียงกัน ที่ระดับความลึก 0 – 15, 15 – 30, และ 30 – 60 cm มีค่าอยู่ในช่วง 1.23 – 1.38, 1.23 – 1.39, และ 1.29 – 1.47 g cm⁻³ ตามลำดับ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า พื้นที่ปลูกข้าวโพดที่ลำดับ Su, Sh, BS, FS, และ TS มีค่า ρ_b อยู่ในระดับต่ำ – ปานกลาง ในทุกระดับความลึกของดิน (0 - 15, 15 - 30, 30 - 60 cm) ตามการแปลผลวิเคราะห์ของ Hazelton and Murphy (2007)

ตารางที่ 18 ค่าเฉลี่ยผลวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพบางประการของดินที่ศึกษาในพื้นที่ปลูกข้าวโพดฤดูแล้งปี 2558

Code	Depth cm	ρ_b g cm ⁻³	MC %by wt	K _{sat} cm hr ⁻¹	FC ← %by wt →	PWP	AWC	ρ_s g cm ⁻³	TP ← % →	AFP
C-Su	0-15	1.40	21.79	56.63	29.58	16.26	13.31	2.50	47	17
	15-30	1.44	23.89	18.00	31.53	19.81	11.73	2.54	45	14
	30-60	1.41	27.22	0.22	33.25	21.40	11.85	2.50	46	13
C-Sh	0-15	1.27	20.90	40.61	29.44	17.25	12.19	2.56	52	22
	15-30	1.33	23.41	24.26	33.60	21.48	12.12	2.45	49	16
	30-60	1.29	29.25	21.79	35.15	24.70	10.44	2.52	51	16
C-BS	0-15	1.30	18.06	16.87	26.33	16.70	9.63	2.33	50	24
	15-30	1.29	22.31	23.11	27.58	17.91	9.66	2.38	51	23
	30-60	1.36	25.08	10.57	28.83	19.75	9.08	2.26	48	20

หมายเหตุ ปี 2558 เกษตรกรใช้พื้นที่ปลูกข้าวโพดเพียง 3 ลำดับภูมิประเทศ คือ Su, Sh, และ BS

ตารางที่ 19 ค่าเฉลี่ยผลวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพบางประการของดินที่ศึกษาในพื้นที่ปลูกข้าวโพดฤดู
แล้งปี 2559

Code	Depth	ρ_b	MC	Ksat	FC	PWP	AWC	ρ_s	TP	AFP
	cm	g cm^{-3}	%by wt	cm hr^{-1}	← %by wt →			g cm^{-3}	← % →	
C-Su	0-15	1.17	16.01	52.20	30.02	17.23	12.79	2.60	55	25
	15-30	1.27	18.85	12.04	30.15	18.11	12.04	2.59	52	21
	30-60	1.26	19.96	40.72	30.64	19.07	11.57	2.60	52	21
C-Sh	0-15	1.17	17.95	12.68	34.71	18.29	16.42	2.56	56	21
	15-30	1.27	23.13	40.16	33.40	18.21	15.19	2.63	52	18
	30-60	1.43	20.97	12.65	33.50	17.85	15.65	2.65	46	12
C-BS	0-15	1.05	19.51	79.10	35.36	19.47	15.88	2.50	60	25
	15-30	1.11	21.97	75.57	34.58	19.99	14.59	2.62	58	23
	30-60	1.21	22.51	69.48	34.35	20.13	14.22	2.62	54	20
C-FS	0-15	1.25	19.04	28.29	31.51	20.20	11.31	2.57	53	21
	15-30	1.28	22.28	16.36	32.07	21.40	10.67	2.60	51	19
	30-60	1.28	24.52	10.68	33.40	22.85	10.55	2.60	52	18
C-TS	0-15	1.14	14.15	30.46	29.36	18.02	11.34	2.63	57	27
	15-30	1.42	16.67	1.56	28.79	17.99	10.80	2.64	46	17
	30-60	1.39	17.92	2.43	29.06	18.31	10.74	2.54	47	18

ตารางที่ 20 ค่าเฉลี่ยผลวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพบางประการของดินที่ศึกษาในพื้นที่ปลูกข้าวโพดฤดูฝนปี 2559

Code	Depth	ρ_b	MC	K_{sat}	FC	PWP	AWC	ρ_s	TP	AFP
	cm	$g\ cm^{-3}$	%by wt	$cm\ hr^{-1}$	← %by wt →			$g\ cm^{-3}$	← % →	
C-Su	0-15	1.26	34.18	3.57	37.52	20.24	17.28	2.68	52	15
	15-30	1.38	30.42	1.20	35.98	18.16	17.82	2.70	48	12
	30-60	1.43	29.56	0.02	35.60	17.03	18.57	2.78	46	10
C-Sh	0-15	1.23	35.87	7.72	38.46	22.00	16.46	2.58	53	15
	15-30	1.23	35.15	12.20	38.35	21.32	17.02	2.64	53	15
	30-60	1.29	33.79	0.40	37.83	20.45	17.38	2.66	51	13
C-BS	0-15	1.29	33.14	9.46	37.36	23.73	13.64	2.67	51	14
	15-30	1.37	32.09	0.52	37.11	23.48	13.63	2.73	48	11
	30-60	1.47	26.24	0.43	35.94	20.74	15.20	2.75	44	8
C-FS	0-15	1.38	31.23	0.02	35.73	21.39	14.34	2.71	48	12
	15-30	1.37	30.89	2.07	34.89	22.61	12.28	2.59	48	13
	30-60	1.44	28.50	0.09	35.51	19.37	16.15	2.57	45	10
C-TS	0-15	1.32	24.66	43.01	29.21	16.91	12.30	2.58	50	21
	15-30	1.39	26.42	6.57	29.36	17.64	11.72	2.67	47	18
	30-60	1.42	23.61	16.26	28.73	17.42	11.31	2.61	46	17

เมื่อพิจารณาผลการทดลองพื้นที่ปลูกยางพาราและข้าวโพด ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ส่วนใหญ่พื้นที่ปลูกยางพาราและข้าวโพดมีค่า ρ_b ใกล้เคียงกัน แต่เป็นที่น่าสังเกตว่าพื้นที่ปลูกยางพาราเฉพาะลำดับภูมิประเทศตั้งแต่ Su, Sh, และ BS ที่มีค่า ρ_b ใกล้เคียงกัน แต่ที่ลำดับ FS และ TS ค่า ρ_b เพิ่มขึ้นตามลำดับ และส่วนใหญ่จะเพิ่มขึ้นเมื่อความลึกของดินเพิ่มขึ้น แต่พื้นที่ปลูกข้าวโพดมีค่า ρ_b ใกล้เคียงกันในทุกลำดับภูมิประเทศ และในทุกระดับความลึกของดิน ผลที่ได้นี้น่าจะเกิดจากอิทธิพลของการไถพรวนดินในพื้นที่ปลูกข้าวโพดทุกฤดูปลูก ทำให้ดินถูกรบกวนโครงสร้างในทุกลำดับภูมิประเทศ และทุกระดับความลึก โดยเฉพาะที่ความลึก 0 – 15 และ 15 – 30 cm อิทธิพลนี้น่าจะส่งผลต่อการสูญเสียหน้าดินได้ง่ายกว่าพื้นที่ปลูกยางพารา สอดคล้องกับผลการศึกษาของ บุญเทียม (2554) และ Lujan (2003)

6. ความหนาแน่นอนุภาคดิน (Particle density, ρ_s)

การวิเคราะห์ความหนาแน่นอนุภาคดิน (ρ_s) ในพื้นที่ปลูกข้าวโพด พบว่า ค่า ρ_s ของพื้นที่ปลูกข้าวโพดเมื่อดินมีความชื้นต่ำในฤดูแล้งปี 2558 (ตารางที่ 18) มีค่าสอดคล้องกับฤดูแล้งปี 2559

(ตารางที่ 19) ค่า p_s ที่ลำดับ Su, Sh, BS, และ FS มีค่าใกล้เคียงกัน โดยที่ระดับความลึก 0 - 15, 15 - 30, และ 30 - 60 cm มีค่าอยู่ในช่วง 2.33 - 2.63, 2.38 - 2.64, และ 2.26 - 2.65 g cm⁻³ ตามลำดับ เมื่อดินมีความชื้นสูงขึ้นในฤดูฝน 2559 (ตารางที่ 20) ค่า p_s สอดคล้องกับเมื่อดินมีความชื้นต่ำ คือ ที่ลำดับ Su, Sh, BS, FS, และ TS มีค่าใกล้เคียงกัน ที่ระดับความลึก 0 - 15, 15 - 30, และ 30 - 60 cm มีค่าอยู่ในช่วง 2.58 - 2.71, 2.59 - 2.73, และ 2.57 - 2.78 g cm⁻³ ตามลำดับ

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การใช้ประโยชน์ที่ดินพื้นที่สูงปลูกพืชต่างกัน คือ ยางพาราและข้าวโพด ไม่มีผลทำให้ p_s ต่างกันในทุกลำดับภูมิประเทศ และใน 3 ระดับความลึกของดิน (0 - 15, 15 - 30, 30 - 60 cm) และค่า p_s ไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างเด่นชัดเมื่อดินมีความชื้นต่างกัน (ฤดูแล้งและฤดูฝน)

7. ความพรุนรวมของดิน (Total porosity, TP)

การวิเคราะห์ความพรุนรวมของดิน (TP) ในพื้นที่ปลูกข้าวโพด พบว่า ค่า TP ของพื้นที่ปลูกข้าวโพดเมื่อดินมีความชื้นต่ำในฤดูแล้งปี 2558 (ตารางที่ 18) มีค่าสอดคล้องกับฤดูแล้งปี 2559 (ตารางที่ 19) ค่า TP ที่ลำดับ Su และ FS มีค่าใกล้เคียงกัน โดยที่ระดับความลึก 0 - 15, 15 - 30, และ 30 - 60 cm มีค่าอยู่ในช่วง 47 - 55, 45 - 52, และ 46 - 52% ตามลำดับ ค่า TP ที่ลำดับ Sh และ BS มีค่าใกล้เคียงกัน โดยที่ระดับความลึก 0 - 15, 15 - 30, และ 30 - 60 cm มีค่าอยู่ในช่วง 50 - 60, 49 - 58, และ 46 - 54% ตามลำดับ และ ค่า TP ที่ลำดับ TS ที่ระดับความลึก 0 - 15, 15 - 30, และ 30 - 60 cm มีค่าเท่ากับ 57, 46, และ 47% ตามลำดับ เมื่อดินมีความชื้นสูงขึ้นในฤดูฝน 2559 (ตารางที่ 20) ค่า TP จะแตกต่างจากเมื่อดินมีความชื้นต่ำ คือ ที่ลำดับ Su, BS, FS, และ TS ค่า TP มีแนวโน้มใกล้เคียงกันและต่ำกว่าที่ลำดับ Sh โดยค่า TP ที่ลำดับ Su, BS, FS, และ TS ความลึก 0 - 15, 15 - 30, และ 30 - 60 cm มีค่าอยู่ในช่วง 48 - 52, 47 - 48, และ 44 - 46% ตามลำดับ และที่ลำดับ Sh ความลึก 0 - 15, 15 - 30, และ 30 - 60 cm มีค่าเท่ากับ 53, 53, และ 51% ตามลำดับ

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า เมื่อดินมีความชื้นต่ำในฤดูแล้ง การใช้ประโยชน์ที่ดินพื้นที่สูงในการปลูกยางพาราและข้าวโพด ดินจะมี TP ใกล้เคียงกัน คือ ที่ลำดับ Sh และ BS ค่า TP มีแนวโน้มสูงสุด และที่ลำดับ TS ค่า TP มีแนวโน้มต่ำที่สุด แต่เมื่อดินมีความชื้นสูงในฤดูฝน พื้นที่ปลูกยางพารา ยังคงมีค่า TP ใกล้เคียงกับเมื่อดินมีความชื้นต่ำ แต่พื้นที่ปลูกข้าวโพด ค่า TP มีแนวโน้มแตกต่างจากเมื่อดินมีความชื้นต่ำ คือ ค่า TP ที่ลำดับ Su, BS, FS, และ TS มีค่าใกล้เคียงกันและมีแนวโน้มต่ำกว่าที่ลำดับ Sh นั่นคือ เมื่อใช้พื้นที่สูงปลูกข้าวโพดในฤดูฝน ดินที่ลำดับ Su, BS, FS, และ TS มีโอกาสเกิดความแน่นที่มากกว่าฤดูร้อน ในขณะที่พื้นที่ปลูกยางพาราทั้งฤดูแล้งและฤดูฝน ดินมีความพรุนรวมตามลำดับภูมิประเทศค่อนข้างสม่ำเสมอตลอดปี สอดคล้องกับผลการศึกษาของ ศุภชาติ (2545) ที่พบว่า ชนิดของพืชที่ปลูกบนพื้นที่สูง ได้แก่ ไม้ยืนต้น และพืชล้มลุก มีอิทธิพลส่งเสริมให้เกิดลักษณะโครงสร้างดินที่แตกต่างกัน

8. ความพรุนช่องบรรจุอากาศของดินที่ความจุความชื้นสนาม (Air-filled porosity at field capacity, AFP)

การวิเคราะห์ความพรุนช่องบรรจุอากาศของดินที่ความจุความชื้นสนาม (AFP) ในพื้นที่ปลูกข้าวโพด พบว่า ค่า AFP ของพื้นที่ปลูกข้าวโพดเมื่อดินมีความชื้นต่ำในฤดูแล้งปี 2558 (ตารางที่ 18) มีค่าสอดคล้องกับฤดูแล้งปี 2559 (ตารางที่ 19) ค่า AFP ที่ลำดับ Su, Sh, BS, FS, และ TS มีค่าใกล้เคียงกัน โดยที่ระดับความลึก 0 – 15, 15 – 30, และ 30 – 60 cm มีค่าอยู่ในช่วง 17 – 27, 14 – 23, และ 12 – 21% ตามลำดับ เมื่อดินมีความชื้นสูงขึ้นในฤดูฝน 2559 (ตารางที่ 20) ค่า AFP ที่ลำดับ Su, Sh, BS, FS, และ TS มีค่าใกล้เคียงกันแต่มีแนวโน้มต่ำกว่าเมื่อดินมีความชื้นต่ำในฤดูแล้ง โดยที่ระดับความลึก 0 – 15, 15 – 30, และ 30 – 60 cm มีค่าอยู่ในช่วง 12 – 21, 11 – 18, และ 8 – 17% ตามลำดับ

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ทั้งพื้นที่ปลูกยางพาราและพื้นที่ปลูกข้าวโพด เมื่อดินมีความชื้นต่ำ ความพรุนช่องบรรจุอากาศของดินค่อนข้างสม่ำเสมอ เพราะให้ค่าใกล้เคียงกันตั้งแต่ลำดับ Su จนถึง TS อีกทั้งยังมีแนวโน้มว่าดินบนที่ความลึก 0 – 15 cm จะมีความพรุนช่องบรรจุอากาศมากที่สุด แต่เมื่อความชื้นของดินสูงขึ้น เช่นในฤดูฝน ความพรุนช่องบรรจุอากาศของพื้นที่ปลูกข้าวโพดจะลดลง ในขณะที่ความพรุนช่องบรรจุอากาศของพื้นที่ปลูกยางพารายังคงมีลักษณะเช่นเดียวกับเมื่อดินมีความชื้นต่ำ ผลที่เกิดขึ้นนี้น่าจะได้รับอิทธิพลจากการจัดการดินที่ต่างกัน สอดคล้องกับผลการศึกษาของ ศุภชาติ (2545) ที่พบว่า ชนิดของพืชที่ปลูกบนพื้นที่สูง ได้แก่ ไม้ยืนต้น และพืชล้มลุก มีอิทธิพลส่งเสริมให้เกิดลักษณะโครงสร้างดินที่แตกต่างกัน

9. การนำน้ำของดินในสภาพที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (Hydraulic conductivity of saturated soil, K_{sat})

การวิเคราะห์การนำน้ำของดินในสภาพที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (K_{sat}) ในพื้นที่ปลูกข้าวโพดพบว่า ค่า K_{sat} ของพื้นที่ปลูกข้าวโพดเมื่อดินมีความชื้นต่ำในฤดูแล้งปี 2558 (ตารางที่ 18) และฤดูแล้งปี 2559 (ตารางที่ 19) ค่า K_{sat} ที่ลำดับ Su, Sh, BS, และ FS มีค่าใกล้เคียงกัน โดยระดับความลึก 0 – 15, 15 – 30, และ 30 – 60 cm มีค่าอยู่ในช่วง 12.68 – 79.10, 12.04 – 75.57, และ 10.57 – 69.48 cm hr^{-1} ตามลำดับ หรือดินมีการระบายน้ำได้ เร็ว (R) ถึง เร็วมาก (VR), เร็วปานกลาง (MR) ถึง เร็วมาก (VR), และ เร็วปานกลาง (MR) ถึง เร็วมาก (VR) ตามลำดับ และค่า K_{sat} ที่ลำดับ TS ระดับความลึก 0 – 15, 15 – 30, และ 30 – 60 cm มีค่าเท่ากับ 30.46, 1.56, และ 2.43 cm hr^{-1} ตามลำดับ หรือดินมีการระบายน้ำได้ เร็วมาก (VR), ช้าปานกลาง (MS), และ ปานกลาง (M) ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าเมื่อดินมีความชื้นต่ำพื้นที่ปลูกข้าวโพดส่วนใหญ่จะระบายน้ำได้เร็วโดยเฉพาะในดินบนความลึก 0 – 15 cm เมื่อดินมีความชื้นสูงในฤดูฝนปี 2559 (ตารางที่ 20) ค่า K_{sat} ที่ลำดับ Su, Sh, และ BS มีค่าใกล้เคียงกัน โดยระดับความลึก 0 – 15, 15 – 30, และ 30 – 60 cm มีค่าอยู่ในช่วง 3.57 – 9.46, 0.52 – 12.20, และ 0.02 – 0.43 cm hr^{-1} ตามลำดับ หรือดินมีการระบายน้ำได้ ปานกลาง (MR) ถึง เร็วปานกลาง (MR), ช้าปานกลาง (MS) ถึง เร็วปานกลาง (MR), และ ช้ามาก (VS) ถึง ช้า (S) ตามลำดับ ที่ลำดับ FS ระดับความลึก 0 – 15, 15 – 30, และ 30 – 60 cm มีค่า K_{sat} เท่ากับ 0.02, 2.07, และ 0.09 cm hr^{-1} ตามลำดับ หรือดินมีการระบายน้ำได้ ช้ามาก (VS), ปานกลาง (M), และช้ามาก (VS) ตามลำดับ และที่ลำดับ TS ระดับความลึก 0 – 15, 15 – 30, และ 30 – 60 cm มีค่า K_{sat} เท่ากับ 43.04, 6.57, และ 16.26 cm hr^{-1} ตามลำดับ หรือ ดินมีการระบายน้ำอยู่ในเกณฑ์เร็วมาก (VR), เร็วปานกลาง (MR), และเร็ว (R) ตามลำดับ

แสดงให้เห็นว่า เมื่อดินมีความชื้นสูงพื้นที่ปลูกข้าวโพดส่วนใหญ่จะมีการระบายน้ำต่ำกว่าเมื่อดินมีความชื้นต่ำ โดยเฉพาะที่ลำดับ Sh, BS, และ FS ที่ระดับความลึก 15 -30 และ 30 – 60 cm

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การใช้ประโยชน์ที่ดินพื้นที่สูงปลูกพืชต่างกัน คือ ยางพาราและข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ มีอิทธิพลต่อการระบายน้ำออกจากชั้นดินเมื่อดินอิ่มตัวด้วยน้ำอย่างเห็นได้ชัด โดยพบว่า เมื่อดินมีความชื้นต่ำในพื้นที่ปลูกข้าวโพด การระบายน้ำออกจากชั้นดินเมื่อดินอิ่มตัวด้วยน้ำ จะเกิดได้เร็วในทุกลำดับภูมิประเทศ ตั้งแต่ Su จนถึง TS ในขณะที่พื้นที่ปลูกยางพาราการระบายน้ำจะเกิดได้เร็วเฉพาะที่ลำดับ Sh, และ BS เท่านั้น เมื่อดินมีความชื้นสูง ในพื้นที่ปลูกยางพารา การระบายน้ำออกจากชั้นดินเมื่อดินอิ่มตัวด้วยน้ำ จะระบายน้ำได้ในอัตราปานกลาง – เร็ว ทุกลำดับภูมิประเทศ (Su, Sh, BS, FS, และ TS) และในพื้นที่ปลูกข้าวโพดการระบายน้ำออกจากชั้นดินเมื่อดินอิ่มตัวด้วยน้ำ จะระบายน้ำได้ในอัตรา ช้ามาก – เร็วปานกลาง ที่ลำดับ Su, Sh, BS, และ FS และจะระบายน้ำได้เร็วปานกลาง – เร็วมาก ที่ลำดับ TS

10. ปริมาณความชื้นในดินที่เป็นประโยชน์ (Available water capacity, AWC)

การวิเคราะห์ปริมาณความชื้นในดินที่เป็นประโยชน์ (AWC) ในพื้นที่ปลูกข้าวโพด พบว่าค่า AWC ของพื้นที่ปลูกข้าวโพดเมื่อดินมีความชื้นต่ำในฤดูแล้งปี 2558 (ตารางที่ 18) มีค่าสอดคล้องกับฤดูแล้งปี 2559 (ตารางที่ 19) ค่า AWC ที่ลำดับ Su, Sh, BS, FS, และ TS มีค่าใกล้เคียงกัน โดยที่ระดับความลึก 0 – 15, 15 – 30, และ 30 – 60 cm มีค่าอยู่ในช่วง 10.13 – 12.86, 10.13 – 11.73, และ 9.41 – 12.07 %by wt ตามลำดับ เมื่อดินมีความชื้นสูงขึ้นในฤดูฝน 2559 (ตารางที่ 20) ค่า AWC สอดคล้องกับเมื่อดินมีความชื้นต่ำ คือ ที่ลำดับ Su, Sh, BS, FS, และ TS มีค่าใกล้เคียงกัน ที่ระดับความลึก 0 – 15, 15 – 30, และ 30 – 60 cm มีค่าอยู่ในช่วง 12.30 – 17.28, 11.72 – 17.82, และ 11.31 – 18.57 %by wt ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า ปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ในดินปลูกข้าวโพดไม่ได้เปลี่ยนแปลงตามลำดับภูมิประเทศ ระดับความลึกดิน และช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างดินที่มีปริมาณความชื้นในดินต่างกันคือในฤดูแล้งและฤดูฝน

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การใช้ประโยชน์ที่ดินพื้นที่สูงปลูกพืชต่างกัน คือ ยางพาราและข้าวโพด ไม่มีผลทำให้ปริมาณความชื้นที่เป็นประโยชน์ในดินในทุกลำดับภูมิประเทศ (Su, Sh, BS, FS, TS) และใน 3 ระดับความลึกของดิน (0 - 15, 15 - 30, 30 - 60 cm) แตกต่างกันอย่างเด่นชัด และปริมาณความชื้นที่เป็นประโยชน์ในดินไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างเด่นชัดเมื่อดินมีความชื้นต่างกัน (ฤดูแล้งและฤดูฝน)

ประเด็นพิจารณา

การแปลผลการทดลองทั้งหมดดังกล่าวข้างต้น ใช้วิธีอธิบายแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพของดินโดยใช้ค่าวิเคราะห์และกราฟประกอบ อย่างไรก็ตาม การแปลผลวิธีนี้ไม่มีตัวชี้วัดที่ชัดเจนที่สามารถแสดงได้ว่า การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพของดินนั้น ๆ เกิดจากอิทธิพลของปัจจัยศึกษาได้แก่ ลำดับภูมิประเทศ ความลึกของการเก็บตัวอย่างดิน และช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างดินเมื่อดินมีความชื้นต่ำในฤดูแล้งและเมื่อดินมีความชื้นสูงในฤดูฝน ดังนั้น การนำวิธีวิเคราะห์ทางสถิติมาใช้ในการ

แปลผลการศึกษาทดลองครั้งนี้ จะช่วยให้การแปลผลวิเคราะห์ชัดเจนและถูกต้องมากยิ่งขึ้น และสามารถระบุได้ว่าปัจจัยใดมีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพของดิน

การคำนวณผลวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพดินทางสถิติสำหรับพื้นที่สูงที่ปลูกยางพาราและข้าวโพด

การคำนวณการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพของดินทางสถิติ เพื่อประเมินผลของการใช้ประโยชน์ที่ดินในการปลูกยางพาราและข้าวโพดบนพื้นที่สูง โดยคำนวณจากความแตกต่างค่าเฉลี่ยของค่าวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของดิน จากความแตกต่างของปัจจัย 2 กลุ่ม ได้แก่ พื้นที่ปลูกยางพารา และพื้นที่ปลูกข้าวโพด โดยใช้ *t-test* คำนวณความแตกต่างที่เกิดจากปัจจัยตั้งแต่ 3 กลุ่มขึ้นไป ได้แก่ ลำดับภูมิประเทศ ระดับความลึกของดิน และช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างดิน โดยใช้ *F-test* หรือ ANOVA (Analysis of variance) และคำนวณความแตกต่างภายในกลุ่มปัจจัย เช่น ภายในกลุ่มลำดับภูมิประเทศ ทดสอบว่าลำดับภูมิประเทศใดส่งผลต่อสมบัติทางกายภาพของดินสูงสุด ซึ่งเป็นการคำนวณความแตกต่างรายคู่ (Pair-wise) คำนวณโดยใช้ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

1. การคำนวณความแตกต่างทางสถิติของสมบัติทางกายภาพของดินระหว่างพื้นที่ปลูกยางพารา และพื้นที่ปลูกข้าวโพดด้วยวิธี *t-test*

ผลการคำนวณ *t-test* ของผลวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของดินพื้นที่ปลูกยางพารา และพื้นที่ปลูกข้าวโพด (ตารางที่ 21) พบว่า สมบัติทางกายภาพของดินที่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P\text{-value} < 0.05$) ระหว่างพื้นที่ปลูกยางพาราและพื้นที่ปลูกข้าวโพด ได้แก่ FC, AWC, AFP, %S, %Si, และ % Sand fraction อนุภาคทรายหยาบมาก (%VCS), ทรายหยาบ (%CS), ทรายละเอียด (%FS), และทรายละเอียดมาก (%VFS) แสดงให้เห็นว่า การปลูกยางพาราและข้าวโพดบนพื้นที่สูงซึ่งเป็นการใช้ประโยชน์ที่ดินต่างกัน มีอิทธิพลทำให้สมบัติทางกายภาพของดินบางประการแตกต่างกัน โดยเฉพาะสมบัติทางกายภาพที่เกี่ยวข้องกับความชื้นในดิน ได้แก่ FC, AWC, และ AFP

ตารางที่ 21 ผลการคำนวณ t-test ของสมบัติทางกายภาพดินบนพื้นที่สูงที่ปลูกยางพาราและข้าวโพด

Parameters	P Value by t-test	MD ^{1/}	SED ^{2/}
ρ_b	0.778	-0.00494	0.01749
ρ_s	0.208	0.01778	0.01408
TP	0.796	0.17155	0.66434
K _{sat}	0.705	1.51317	3.99736
FC	0.000*	-2.10782	0.57189
AWC	0.000*	-1.94528	0.29733
MC	0.530	0.50978	0.81064
AFP	0.001*	2.27889	0.65826
%S	0.001*	4.27977	1.23871
%VCS	0.000*	-1.36080	0.15613
%CS	0.000*	-1.79402	0.23089
%MS	0.150	-0.29744	0.20612
%FS	0.000*	4.57681	0.60037
%VFS	0.000*	3.15521	0.55373
%Si	0.000*	-3.62473	0.56864
%C	0.572	-0.69350	1.22612

หมายเหตุ ^{1/}Mean difference (MD); ^{2/}Standard error of a difference between 2 means (SED);

*Significant at 95% confidence level

นอกจากอิทธิพลของการใช้ประโยชน์ที่ดินต่างกัน ที่ส่งผลต่อความแตกต่างของสมบัติทางกายภาพของดิน ซึ่งสรุปได้จากผลการคำนวณ t-test แล้วนั้น การจะศึกษาว่าลำดับภูมิประเทศระดับความลึกในการเก็บตัวอย่างดิน และความชื้นในดินเมื่อดินมีความชื้นต่ำในฤดูแล้งและเมื่อดินมีความชื้นสูงในฤดูฝน มีอิทธิพลทำให้สมบัติทางกายภาพนั้น ๆ แตกต่างกันหรือไม่ อย่างไร จำเป็นต้องใช้การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยผลวิเคราะห์ด้วยวิธี DRMT ซึ่งเป็นการคำนวณความแตกต่างรายคู่ (Paire-wise) เป็นเครื่องมือประเมิน

2. การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยผลวิเคราะห์ FC, AWC, และ AFP ด้วยวิธี DRMT

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยผลวิเคราะห์ FC, AWC, และ AFP ด้วยวิธี DRMT (ตารางที่ 22) พบว่า ค่า FC, AWC, และ AFP มีความแตกต่างกันตามลำดับภูมิประเทศ ความลึกในการเก็บตัวอย่างดิน และช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างดินที่มีปริมาณความชื้นในดินต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ผลการวิเคราะห์ปริมาณ FC พบว่า ค่า FC เรียงตามลำดับภูมิประเทศจากมากไปน้อย ดังนี้ $Sh > BS > Su > FS > TS$ มีค่าเฉลี่ย FC เท่ากับ 34.73, 33.73, 32.22, 30.55, และ 26.66 %by wt ตามลำดับ ปริมาณ FC จะสะสมมากที่สุดบริเวณดินล่างระดับความลึก 30 – 60 cm เท่ากับ 32.46 %by wt แต่มีปริมาณใกล้เคียงกันที่ระดับความลึก 0 – 15, และ 15 – 30 cm โดย FC มีค่าเท่ากับ 31.27 และ 31.63 %by wt ตามลำดับ และการเก็บตัวอย่างดินเมื่อดินมีความชื้นสูงในฤดูฝนมีค่า FC สูงที่สุด เท่ากับ 34.54 %by wt

ผลการวิเคราะห์ปริมาณ AWC พบว่า ค่า AWC เรียงตามลำดับภูมิประเทศจากมากไปน้อย ดังนี้ $Sh > BS$ และ $Su > FS > TS$ มีค่าเฉลี่ย AWC เท่ากับ 13.40, 12.41 และ 12.81, 11.30, และ 11.01 %by wt ตามลำดับ และ AWC จะสะสมมากที่สุดบริเวณดินบนระดับความลึก 0 – 15 cm เท่ากับ 12.74 %by wt แต่มีปริมาณใกล้เคียงกันที่ระดับความลึก 15 – 30 และ 30 – 60 cm โดย AWC มีค่าเท่ากับ 11.97 และ 12.08 %by wt ตามลำดับ การเก็บตัวอย่างดินเมื่อดินมีความชื้นสูงในฤดูฝนมีค่า AWC มากที่สุดเท่ากับ 13.39 %by wt

ผลการวิเคราะห์ปริมาณ AFP พบว่า ค่า AFP เรียงตามลำดับภูมิประเทศจากมากไปน้อย ดังนี้ $TS > BS$ และ $FS > Su$ และ Sh มีค่าเฉลี่ย AFP เท่ากับ 19.71, 18.84 และ 18.86, 17.92 และ 17.93 % ตามลำดับ และ AFP มีค่ามากที่สุดบริเวณดินบนระดับความลึก 0 - 15 cm เท่ากับ 21.16 % และมีค่าใกล้เคียงกันที่ระดับความลึก 15 – 30 และ 30 – 60 cm มีค่าเท่ากับ 18.12 และ 16.34 % ตามลำดับ การเก็บตัวอย่างดินเมื่อดินมีความชื้นสูงในฤดูฝนมีค่า AFP ต่ำที่สุดเท่ากับ 15.48 % แสดงให้เห็นว่าฤดูฝนดินพื้นที่ปลูกยางพาราและข้าวโพดมีน้ำสะสมอยู่มากทำให้มีช่องว่างบรรจุอากาศน้อย ค่า AFP จึงมีค่าน้อย และค่า FC และ AWC จึงมีค่ามาก

ตารางที่ 22 การเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของ FC, AWC, และ AFP ด้วยวิธี DMRT ของพื้นที่ปลูกยางพาราและพื้นที่ปลูกข้าวโพด

Sig. Difference of Physical Parameters : FC, AWC, AFP					
Toposequence	FC (%by wt)	Depth (cm)	FC (%by wt)	Time ^{1/}	FC (%by wt)
Su	32.22c	0-15	31.27b	Dry ₅₈	30.21b
Sh	34.73a	15-30	31.63b	Dry ₅₉	30.30b
BS	33.73b	30-60	32.46a	Rain ₅₉	34.54a
FS	30.55d				
TS	26.66e				
<i>F-test</i> of FC = 0.000 at $\alpha_{.05}$; Error Mean Square of group = 13.305					
Toposequence	AWC (%by wt)	Depth (cm)	AWC (%by wt)	Time	AWC (%by wt)
Su	12.81b	0-15	12.74a	Dry ₅₈	11.08c
Sh	13.40a	15-30	11.97b	Dry ₅₉	12.09b
BS	12.41b	30-60	12.08b	Rain ₅₉	13.39a
FS	11.30c				
TS	11.01c				
<i>F-test</i> of AWC = 0.000 at $\alpha_{.05}$; Error Mean Square of group = 4.353					
Toposequence	AFP (%)	Depth (cm)	AFP (%)	Time	AFP (%)
Su	17.92b	0-15	21.16a	Dry ₅₈	18.75b
Sh	17.93b	15-30	18.12b	Dry ₅₉	21.43a
BS	18.84ab	30-60	16.34c	Rain ₅₉	15.48c
FS	18.66ab				
TS	19.71a				
<i>F-test</i> of AFP = 0.000 at $\alpha_{.05}$; Error Mean Square of group = 26.235					

หมายเหตุ ^{1/}Time: Dry₅₈ คือ เก็บตัวอย่างดินในฤดูแล้งปี 2558, Dry₅₉ คือ เก็บตัวอย่างดินในฤดูแล้งปี 2559, Rain₅₉ คือ เก็บตัวอย่างดินในฤดูฝนปี 2559

นอกจากการพิจารณาอิทธิพลของปัจจัยเดี่ยวที่ละปัจจัย ได้แก่ ลำดับภูมิประเทศ (Toposequence), ระดับความลึกของดิน (Depth), และช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่าง (Time) เมื่อดินมีความชื้นในดินต่างกันเด่นชัด (ฤดูแล้งและฤดูฝน) ซึ่งเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า FC AWC และ AFP แล้ว การทดสอบอิทธิพลของกลุ่มปัจจัยที่สัมพันธ์กัน 2 กลุ่ม ได้แก่ Topo x Time, Topo x Depth และ Time x Depth และกลุ่มปัจจัยที่สัมพันธ์กัน 3 กลุ่ม ได้แก่ Topo x Time x Depth ก็มีความสำคัญในการแปลผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ หากผลวิเคราะห์นั้น ๆ ได้รับอิทธิพลร่วมจากปัจจัย 2 กลุ่ม หรือทั้ง 3 กลุ่ม ก็จะมีส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพนั้น ๆ มากขึ้นและรุนแรงขึ้น

ผลการทดสอบความสัมพันธ์ของปัจจัยแต่ละกลุ่ม ได้แก่ Toposequence, Depth, และ Time (ตารางที่ 23) พบว่า ปัจจัยทั้ง 3 กลุ่ม มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า FC, AWC, และ AFP อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) สำหรับค่า FC พบว่า ปัจจัยร่วมระหว่าง Toposequence x Time, Toposequence x Depth, และ Toposequence x Time x Depth มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า FC อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination, R^2) เท่ากับ 0.870 ค่า AWC พบว่า ปัจจัยร่วมระหว่าง Toposequence x Time มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า AWC อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.797 และค่า AFP พบว่า ปัจจัยร่วมระหว่าง Toposequence x Time, Toposequence x Depth มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า AFP อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.731

ตารางที่ 23 การทดสอบอิทธิพลระหว่างกลุ่มปัจจัย 3 กลุ่ม ต่อการเปลี่ยนแปลงค่า FC, AWC, และ AFP สำหรับพื้นที่ปลูกยางพาราและข้าวโพด

Statistical analysis	Variables		
	FC (% by wt)	AWC (% by wt)	AFP (%)
<i>Significance level of 0.05</i>			
Topo ^{1/}	0.000 ^{4/}	0.000	0.038
Time ^{2/}	0.000	0.000	0.000
Depth ^{3/}	0.005	0.000	0.000
<i>Between Subjects Effects</i>			
Topo x Time	0.000	0.000	0.000
Topo x Depth	0.002	0.667	0.027
Time x Depth	0.967 ^{5/}	0.138	0.706
Topo x Time x Depth	0.001	0.549	0.302
R ²	0.870	0.797	0.731
Adjusted R ²	0.806	0.696	0.599

หมายเหตุ ^{1/}Toposequence; ^{2/}Time = ฤดูแล้งปี 2558 และฤดูแล้งปี 2559 (ดินมีความชื้นต่ำ), ฤดูฝนปี 2559 (ดินมีความชื้นสูง); ^{3/}Depth ที่ระดับ 0-15, 15-30, 30-60 cm; ^{4/}Significance level at .05 ($P < 0.05$); ^{5/}Non-significance level at .05 ($P > 0.05$)

3. การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยผลวิเคราะห์ %S, %Sand fraction และ %Si ด้วยวิธี DRMT

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยผลวิเคราะห์ %S, %Sand fraction และ %Si ด้วยวิธี DRMT (ตารางที่ 24) พบว่า ค่า %S, %Sand fraction ประกอบด้วย %VSC %CS %FS %VFS, และ %Si มีความแตกต่างกันตามลำดับภูมิประเทศ ความลึกในการเก็บตัวอย่างดิน และช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างดินที่มีปริมาณความชื้นในดินต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ผลการวิเคราะห์ปริมาณ %S พบว่า ค่า %S เรียงตามลำดับภูมิประเทศจากมากไปน้อย ดังนี้ TS > FS > Su > BS > Sh มีค่าเฉลี่ย %S เท่ากับ 31.63, 28.59, 24.78, 20.96, และ 18.04 % ตามลำดับ ปริมาณ %S จะสะสมมากที่สุดบริเวณดินบนระดับความลึก 0 – 15 cm เท่ากับ 26.34% ปริมาณสะสมรองลงมาคือระดับความลึก 15 – 30 และ 30 – 60 cm โดยมีค่า %S เท่ากับ 24.06 และ 22.85 % ตามลำดับ และปริมาณ %S ที่เก็บตัวอย่างดินเมื่อดินมีความชื้นต่ำในฤดูแล้งมีค่าเท่ากับ 24.00 – 26.64 % มากกว่าเมื่อเก็บตัวอย่างดินเมื่อดินมีความชื้นสูงในฤดูฝนซึ่งมีค่าเท่ากับ 22.52 %

ตารางที่ 24 การเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของ %S, %Sand fraction, และ %Si ด้วยวิธี DMRT ของพื้นที่ปลูกยางพาราและพื้นที่ปลูกข้าวโพด

Sig. Difference of Physical Parameters : %S, %VCS, %CS, %FS, %VFS, %Si					
Toposequence	S (%)	Depth (cm)	S (%)	Time	S (%)
Su	24.78c	0-15	26.34a	Dry ₅₈	24.00b
Sh	18.02e	15-30	24.06b	Dry ₅₉	26.64a
BS	20.96d	30-60	22.85c	Rain ₅₉	22.52c
FS	28.59b				
TS	31.63a				
<i>F-test</i> of Sand = 0.000 at $\alpha_{.05}$; Error Mean Square of group = 81.975					
Toposequence	VCS (%)	Depth (cm)	VCS (%)	Time	VCS (%)
Su	0.63b	0-15	0.91ns	Dry ₅₈	0.56b
Sh	1.16a	15-30	0.95ns	Dry ₅₉	0.75b
BS	1.14a	30-60	1.11ns	Rain ₅₉	1.57a
FS	1.20a				
TS	0.83ab				
<i>F-test</i> of VCS = 0.000 at $\alpha_{.05}$; Error Mean Square of group = 1.836					
Toposequence	CS (%)	Depth (cm)	CS (%)	Time	CS (%)
Su	1.01b	0-15	1.24b	Dry ₅₈	0.73b
Sh	1.41ab	15-30	1.31ab	Dry ₅₉	0.89b
BS	1.50ab	30-60	1.65a	Rain ₅₉	2.44a
FS	1.86a				
TS	1.21b				
<i>F-test</i> of CS = 0.000 at $\alpha_{.05}$; Error Mean Square of group = 3.800					
Toposequence	FS (%)	Depth (cm)	FS (%)	Time	FS (%)
Su	9.49c	0-15	10.47a	Dry ₅₈	10.28a
Sh	6.41e	15-30	9.47b	Dry ₅₉	10.77a
BS	8.34d	30-60	8.73b	Rain ₅₉	7.76b
FS	11.29b				
TS	13.13a				
<i>F-test</i> of FS = 0.000 at $\alpha_{.05}$; Error Mean Square of group = 24.465					

ตารางที่ 24 (ต่อ)

Sig. Difference of Physical Parameters: %S, %VCS, %CS, %FS, %VFS, %Si					
Toposequence	VFS (%)	Depth (cm)	VFS (%)	Time	VFS (%)
Su	11.47b	0-15	11.17a	Dry ₅₈	10.24b
Sh	6.92c	15-30	9.89b	Dry ₅₉	11.86a
BS	7.73c	30-60	8.85c	Rain ₅₉	7.87c
FS	10.86bc				
TS	13.63a				
<i>F-test of VFS = 0.000 at $\alpha_{.05}$; Error Mean Square of group = 15.739</i>					
Toposequence	Si (%)	Depth (cm)	Si (%)	Time	Si (%)
Su	31.02d	0-15	33.72a	Dry ₅₈	31.23b
Sh	33.24b	15-30	32.04b	Dry ₅₉	32.52a
BS	32.08c	30-60	31.37b	Rain ₅₉	33.15a
FS	30.27d				
TS	35.44a				
<i>F-test of Silt = 0.000 at $\alpha_{.05}$; Error Mean Square of group = 19.967</i>					

ผลการวิเคราะห์ %VCS พบว่า %VCS เรียงตามลำดับภูมิประเทศจากมากไปน้อย ดังนี้ ลำดับ Sh BS FS มีค่า %VCS ใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 1.14 – 1.20% > ลำดับ TS และ Su ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 0.63 – 0.83 % โดยที่ความลึกในการเก็บตัวอย่างดินไม่มีอิทธิพลต่อปริมาณ %VCS ทั้ง 3 ระดับความลึก คือ 0 – 15, 15 – 30, และ 30 – 60 cm มีค่า %VCS อยู่ในช่วง 0.91 – 1.11% และการเก็บตัวอย่างดินเมื่อดินมีความชื้นสูงในฤดูฝนมีค่า %VCS เท่ากับ 1.57% มากกว่าการเก็บตัวอย่างดินเมื่อดินมีความชื้นต่ำในฤดูแล้งอย่างเด่นชัด

ผลวิเคราะห์ %CS พบว่า %CS ที่ลำดับ FS มีค่ามากที่สุดเท่ากับ 1.86 % และ %CS ที่ลำดับ Su Sh BS และ TS มีค่าใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 1.01 – 1.50 % การสะสม %CS มีมากที่สุดเท่ากับ 1.65 % ที่ระดับความลึก 30 – 60 cm และมีการสะสมน้อยลงที่ระดับความลึก 0 – 15 และ 15 – 30 cm โดยมีการสะสมอยู่ในช่วง 1.24 – 1.31 % และการเก็บตัวอย่างดินเมื่อดินมีความชื้นสูงในฤดูฝนมีค่า %CS เท่ากับ 2.44% มากกว่าการเก็บตัวอย่างดินเมื่อดินมีความชื้นต่ำในฤดูแล้งอย่างเด่นชัด

ผลวิเคราะห์ %FS พบว่า ค่า %FS เรียงตามลำดับภูมิประเทศจากมากไปน้อย ดังนี้ TS > FS > Su > BS > Sh มีค่าเฉลี่ย %FS เท่ากับ 13.13, 11.29, 9.49, 8.34, และ 6.41 % ตามลำดับการสะสมของ %FS มากที่สุดเท่ากับ 10.47 % ที่ระดับความลึก 0 – 15 cm และการสะสมน้อยลงที่ระดับความลึก 15 – 30 และ 30 – 60 cm โดยมีการสะสมอยู่ในช่วง 8.73 – 9.47 % และการเก็บ

ตัวอย่างดินเมื่อดินมีความชื้นต่ำในฤดูแล้งพบการสะสมของ %FS มากที่สุดเท่ากับ 10.26 – 10.77 % มากกว่าการสะสม %FS ในตัวอย่างดินเมื่อดินมีความชื้นสูงในฤดูฝนอย่างเด่นชัด

ผลวิเคราะห์ %VFS พบว่า %VFS สะสมมากที่สุดเท่ากับ 13.63 % ที่ลำดับ TS รองลงมาคือลำดับ Su เท่ากับ 11.47 % และสะสมในปริมาณใกล้เคียงกันที่ลำดับ FS Sh และ BS เท่ากับ 6.92 – 10.86 % การสะสม %VFS ที่ระดับความลึก 0 – 15 cm > 15 – 30 cm > 30 – 60 cm โดยมีค่าเท่ากับ 11.17, 9.89, และ 8.85 % ตามลำดับ และการเก็บตัวอย่างดินเมื่อดินมีความชื้นต่ำในฤดูแล้งพบการสะสมของ %VFS มากที่สุดเท่ากับ 10.24 – 10.86 % มากกว่าการสะสม %VFS ในตัวอย่างดินเมื่อดินมีความชื้นสูงในฤดูฝนอย่างเด่นชัด

ผลวิเคราะห์ %Si พบว่า %Si เรียงตามลำดับภูมิประเทศจากมากไปน้อย ดังนี้ ที่ลำดับ TS > Sh > BS > Su และ FS มีค่าเฉลี่ย %Si เท่ากับ 35.44, 33.24, 32.08, 31.02 และ 30.27 % ตามลำดับ การสะสม %Si พบมากที่สุดที่ระดับความลึก 0 – 15 cm มีค่าเท่ากับ 33.72 % มากกว่าการสะสมที่ระดับความลึก 15 – 30 และ 30 – 60 cm มีค่าเท่ากับ 32.04 และ 31.37 % ตามลำดับ และการเก็บตัวอย่างดินเมื่อดินมีความชื้นสูงในฤดูฝน พบการสะสมของ %Si มากที่สุดเท่ากับ 33.15 % มากกว่าการเก็บตัวอย่างดินเมื่อดินมีความชื้นต่ำในฤดูแล้ง

เมื่อพิจารณาอิทธิพลของกลุ่มปัจจัยที่สัมพันธ์กัน 2 กลุ่ม ได้แก่ Topo x Time, Topo x Depth และ Time x Depth และกลุ่มปัจจัยที่สัมพันธ์กัน 3 กลุ่ม ได้แก่ Topo x Time x Depth (ตารางที่ 25) พบว่า ปัจจัยทั้ง 3 กลุ่ม มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า %S, %FS, %VFS, และ %Si อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สำหรับค่า %S, %FS, %VFS, และ %Si พบว่า ปัจจัยร่วมระหว่าง Toposequence x Time, Toposequence x Depth, และ Toposequence x Time x Depth มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า %S, %FS, %VFS, และ %Si อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.761, 0.824, 0.872, และ 0.789 ตามลำดับ สำหรับค่า %VCS และ %CS พบว่าเฉพาะกลุ่มปัจจัย Toposequence และ Time ที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า %VCS และ %CS และเฉพาะปัจจัยร่วมระหว่างกลุ่ม Toposequence x Time เท่านั้นที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า %VCS และ %CS โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.694 และ 0.723 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าปัจจัย Depth ไม่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า %VCS และ %CS

ผลการคำนวณทางสถิติแสดงให้เห็นชัดเจนว่า สมบัติทางกายภาพดินในพื้นที่ปลูกยางพาราและพื้นที่ปลูกข้าวโพด ล้วนได้รับอิทธิพลจากความแตกต่างของลำดับภูมิประเทศที่ปลูกพืชสอดคล้องกับการรายงานของ *Osuaku et al.* (2014), *Oku et al.* (2010), *Boling et al.* (2008), และ บุญเทียม (2554) และยังได้รับอิทธิพลจากระดับความลึกของดินในการเก็บตัวอย่างดิน และช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างดินที่มีความชื้นในดินต่างกันอย่างเด่นชัด อย่างไรก็ตาม เพื่อศึกษาอิทธิพลของปัจจัยทั้ง 3 กลุ่มที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพของดินให้ชัดเจนขึ้น จึงต้องแยกการคำนวณผลการทดลองทางสถิติทีละพื้นที่ต่อไป

ตารางที่ 25 การทดสอบอิทธิพลระหว่างกลุ่มปัจจัย 3 กลุ่ม ต่อการเปลี่ยนแปลงค่า %S %Sand fraction และ %Si สำหรับพื้นที่ปลูกยางพาราและข้าวโพด

Statistical analysis	Variables					
	%S	%VCS	%CS	%FS	%VFS	%Si
<i>Significance level of 0.05</i>						
Topo	0.000	0.003	0.007	0.000	0.000	0.000
Time	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002
Depth	0.008	0.402	0.122	0.006	0.000	0.000
<i>Between Subjects Effects</i>						
Topo x Time	0.000	0.001	0.002	0.000	0.000	0.000
Topo x Depth	0.031	0.784	0.985	0.003	0.003	0.004
Time x Depth	0.980	0.568	0.263	0.904	0.716	0.062
Topo x Time x Depth	0.042	0.997	1.000	0.002	0.006	0.011
R ²	0.761	0.694	0.732	0.824	0.872	0.789
Adjusted R ²	0.643	0.543	0.600	0.737	0.809	0.685

การคำนวณผลวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพดินทางสถิติของพื้นที่ปลูกยางพารา

1. การคำนวณความแตกต่างทางสถิติของสมบัติทางกายภาพของดินพื้นที่ปลูกยางพาราด้วยวิธี *F-test*

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ *F-test* สำหรับสมบัติทางกายภาพของดินพื้นที่ปลูกยางพารา (ตารางที่ 26) พบว่า สมบัติทางกายภาพของดินต่าง ๆ เมื่อได้รับอิทธิพลของกลุ่มปัจจัย 3 กลุ่ม ได้แก่ ลำดับภูมิประเทศ (Toposequence) ระดับความลึกของดิน (Depth) และ ช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างดินเมื่อดินมีความชื้นต่ำในฤดูแล้งและเมื่อดินมีความชื้นสูงในฤดูฝน (Time) จะส่งผลให้สมบัติทางกายภาพของดิน ได้แก่ ค่าความหนาแน่นรวมของดิน (ρ_b) ค่าความหนาแน่นอนุภาคดิน (ρ_s) ค่าความพรุนรวมของดิน (TP) ค่าการนำน้ำของดินในสภาพที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (K_{sat}) ค่าความจุความชื้นสนาม (FC) ค่าปริมาณความชื้นในดินที่เป็นประโยชน์ (AWC) ค่าความชื้นในดิน (MC) ปริมาณอนุภาคทราย (%S) ปริมาณอนุภาคทรายหยาบมาก (%VCS) ปริมาณอนุภาคทรายปานกลาง (%MS) ปริมาณอนุภาคทรายละเอียด (%FS) ปริมาณอนุภาคทรายละเอียดมาก (%VFS) ปริมาณอนุภาคทรายแป้ง (%Si) และ ปริมาณอนุภาคดินเหนียว (%C) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 26 การทดสอบทางสถิติ *F-test* ของสมบัติทางกายภาพดินบนพื้นที่สูงที่ปลูกยางพาราและข้าวโพด

Parameters	Sig. by <i>F-test</i> at $\alpha_{.05}$	
	พื้นที่ปลูกยางพารา	พื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์
$\rho_b^{1/}$	0.000*	0.107 ^{ns}
$\rho_s^{2/}$	0.015*	0.232 ^{ns}
TP ^{3/}	0.000*	0.104 ^{ns}
$K_{sat}^{4/}$	0.000*	0.026*
FC ^{5/}	0.000*	0.000*
AWC ^{6/}	0.000*	0.001*
MC ^{7/}	0.000*	0.017*
AFP ^{8/}	0.123 ^{ns}	0.061 ^{ns}
%Sand	0.000*	0.001*
%VCS ^{9/}	0.001*	0.013*
%CS ^{9/}	0.441 ^{ns}	0.406 ^{ns}
%MS ^{9/}	0.000*	0.204 ^{ns}
%FS ^{9/}	0.000*	0.000*
%VFS ^{9/}	0.000*	0.000*
%Silt	0.000*	0.224 ^{ns}
%Clay	0.000*	0.001*

หมายเหตุ * Significance level at .05 ($P < 0.05$); ^{ns}Non-significance level at .05 ($P > 0.05$)

2. การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยผลวิเคราะห์ ρ_b , ρ_s , TP, และ K_{sat} ด้วยวิธี DRMT

ผลการคำนวณปริมาณ ρ_b ทางสถิติ (ตารางที่ 27) พบว่า ค่า ρ_b เรียงตามลำดับภูมิประเทศจากมากไปน้อย ดังนี้ TS > FS > Su > Sh และ BS มีค่าเฉลี่ย ρ_b เท่ากับ 1.51, 1.34, 1.29, 1.21 และ 1.18 g cm⁻³ ตามลำดับ โดย ρ_b จะมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 1.32 – 1.34 g cm⁻³ ที่ระดับความลึก 15 – 30 และ 30 – 60 cm และมีค่าน้อยที่ระดับ 0 – 15 cm เท่ากับ 1.26 g cm⁻³ และค่า ρ_b เมื่อเก็บตัวอย่างดินเมื่อดินมีความชื้นต่ำในฤดูแล้งและเมื่อดินมีความชื้นสูงในฤดูฝน จะมีค่าไม่ต่างกัน โดยมีค่าอยู่ในช่วง 1.28 – 1.34 g cm⁻³

ตารางที่ 27 การเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของ ρ_b , ρ_s , TP และ K_{sat} ด้วยวิธี DMRT สำหรับพื้นที่ปลูกยางพารา

Sig. Physical Parameter: ρ_b , ρ_s , TP, K_{sat}					
Toposequence	ρ_b (g cm ⁻³)	Depth (cm)	ρ_b (g cm ⁻³)	Time	ρ_b (g cm ⁻³)
Su	1.29c	0-15	1.26b	Dry ₅₈	1.34a
Sh	1.21d	15-30	1.32a	Dry ₅₉	1.29b
BS	1.18d	30-60	1.34a	Rain ₅₉	1.28b
FS	1.34b				
TS	1.51a				
<i>F-test</i> of ρ_b = 0.000 at $\alpha_{.05}$; Error Mean Square of group = 0.007					
Toposequence	ρ_s (g cm ⁻³)	Depth (cm)	ρ_s (g cm ⁻³)	Time	ρ_s (g cm ⁻³)
Su	2.59ab	0-15	2.59ns	Dry ₅₈	2.59b
Sh	2.56b	15-30	2.62ns	Dry ₅₉	2.60ab
BS	2.62a	30-60	2.61ns	Rain ₅₉	2.63a
FS	2.63a				
TS	2.63a				
<i>F-test</i> of ρ_b = 0.015 at $\alpha_{.05}$; Error Mean Square of group = 0.006					
Toposequence	TP (%)	Depth (cm)	TP (%)	Time	TP (%)
Su	51.09b	0-15	52.32a	Dry ₅₈	49.02b
Sh	53.94a	15-30	49.69b	Dry ₅₉	50.84a
BS	55.24a	30-60	49.21b	Rain ₅₉	51.36a
FS	49.12c				
TS	42.65d				
<i>F-test</i> of TP = 0.000 at $\alpha_{.05}$; Error Mean Square of group = 9.868					
Toposequence	K_{sat} (cm hr ⁻¹)	Depth (cm)	K_{sat} (cm hr ⁻¹)	Time	K_{sat} (cm hr ⁻¹)
Su	7.98cd	0-15	27.81ns	Dry ₅₈	29.86a
Sh	32.12b	15-30	22.14ns	Dry ₅₉	31.90a
BS	51.09a	30-60	19.76ns	Rain ₅₉	7.95b
FS	20.89bc				
TS	4.11d				
<i>F-test</i> of K_{sat} = 0.000 at $\alpha_{.05}$; Error Mean Square of group = 670.923					

ผลการคำนวณปริมาณ ρ_s ทางสถิติ (ตารางที่ 27) พบว่า ค่า ρ_s มีค่ามากที่สุดที่ลำดับ BS FS และ TS โดยมีค่า ρ_s อยู่ในช่วง $2.62 - 2.63 \text{ g cm}^{-3}$ มากกว่าที่ลำดับ Su และ Sh ซึ่งมีค่า ρ_s อยู่ในช่วง $2.56 - 2.59 \text{ g cm}^{-3}$ ค่า ρ_s ที่ระดับความลึกของดิน 0 – 15, 15 – 30, และ 30 – 60 cm ไม่ต่างกัน และค่า ρ_s เมื่อเก็บตัวอย่างดินที่มีความชื้นสูงในฤดูฝนมีค่าเท่ากับ 2.63 g cm^{-3} มากกว่าเมื่อเก็บตัวอย่างดินที่มีความชื้นต่ำในฤดูแล้งซึ่งมีค่า ρ_s อยู่ในช่วง $2.59 - 2.60 \text{ cm}^{-3}$

ผลการคำนวณปริมาณ TP ทางสถิติ (ตารางที่ 27) พบว่า TP เรียงตามลำดับภูมิประเทศจากมากไปน้อย ได้แก่ Sh และ BS > Su > FS > TS มีค่า TP เท่ากับ 53.94 และ 55.24, 51.09, และ 49.12 % ตามลำดับ โดย TP จะมีค่ามากที่สุดบริเวณดินบนระดับความลึก 0 – 15 > 15 – 30 และ 30 – 60 cm มีค่า TP เท่ากับ 52.32, 49.69 และ 49.21 % ตามลำดับ และค่า TP เมื่อเก็บตัวอย่างดินที่มีความชื้นต่ำในฤดูแล้งและที่มีความชื้นสูงในฤดูฝนจะมีค่าไม่ต่างกัน

ผลการคำนวณปริมาณ K_{sat} ทางสถิติ (ตารางที่ 27) พบว่า K_{sat} มีค่ามากที่สุดที่ลำดับ BS รองลงมาคือ ลำดับ Sh ทั้ง 2 ลำดับภูมิประเทศนี้มีการระบายน้ำเมื่อดินอิ่มตัวด้วยน้ำในระดับเร็วมาก (Very Rapid) เนื่องจาก $K_{sat} > 25.0 \text{ cm hr}^{-1}$ (ตารางผนวกที่ 3) โดยลำดับ BS มีค่า K_{sat} เท่ากับ 51.09 cm hr^{-1} และลำดับ Sh มีค่า K_{sat} เท่ากับ 32.12 cm hr^{-1} การระบายน้ำเมื่อดินอิ่มตัวด้วยน้ำจะลดลงในระดับเร็ว (Rapid) เร็วปานกลาง (Moderate Rapid) และปานกลาง (Moderate) ที่ลำดับ FS, Su, และ TS โดยมีค่า K_{sat} เท่ากับ 20.89, 7.98, และ 4.11 cm hr^{-1} ตามลำดับ โดยระดับความลึกที่เก็บตัวอย่างดินไม่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า K_{sat} การเก็บตัวอย่างดินในฤดูแล้งพบว่าดินมีการระบายน้ำเมื่อดินอิ่มตัวด้วยน้ำมากกว่าฤดูฝนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยฤดูแล้งการระบายน้ำอยู่ในระดับเร็วมาก (Very Rapid) มีค่า K_{sat} อยู่ในช่วง $29.86 - 31.90 \text{ cm hr}^{-1}$ มากกว่าฤดูฝนซึ่งมีการระบายน้ำในระดับเร็วปานกลาง มีค่า K_{sat} เท่ากับ 7.95 cm hr^{-1}

ผลการทดสอบความสัมพันธ์ของปัจจัยแต่ละกลุ่ม ได้แก่ Toposequence, Depth, และ Time (ตารางที่ 28) พบว่า ปัจจัยทั้ง 3 กลุ่ม มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า ρ_b อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และปัจจัยร่วมระหว่างกลุ่ม Toposequence x Time มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า ρ_b โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.808 สำหรับ ρ_s ปัจจัย Topo-sequence และปัจจัยร่วมระหว่างกลุ่ม Toposequence x Time มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า ρ_s อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.483 ค่า TP ปัจจัย Toposequence, Time, และ Depth มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า TP อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.808 และค่า K_{sat} ปัจจัย Toposequence และ Time มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า K_{sat} อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และปัจจัยร่วมระหว่างกลุ่ม Toposequence x Time มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า K_{sat} โดยมี R^2 เท่ากับ 0.615

ตารางที่ 28 การทดสอบอิทธิพลระหว่างกลุ่มปัจจัย 3 กลุ่ม ต่อการเปลี่ยนแปลงค่า ρ_b , ρ_s , TP, และ K_{sat} สำหรับพื้นที่ปลูกยางพารา

Statistical analysis	Variables			
	ρ_b	ρ_s	TP	K_{sat}
<u>Significance level of 0.05</u>				
Topo	0.000	0.005	0.000	0.000
Time	0.002	0.083	0.002	0.000
Depth	0.000	0.253	0.000	0.323
<u>Between Subjects Effects 0.005</u>				
Topo x Time	0.000	0.005	0.000	0.001
Topo x Depth	0.212	0.146	0.208	0.095
Time x Depth	0.935	0.070	0.939	0.956
Topo x Time x Depth	0.194	0.553	0.199	0.584
R^2	0.808	0.483	0.808	0.615
Adjusted R^2	0.714	0.230	0.714	0.426

3. การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยผลวิเคราะห์ FC, AWC, และ MC ด้วยวิธี DRMT

ผลการวิเคราะห์ปริมาณ FC ทางสถิติ (ตารางที่ 29) พบว่า FC เรียงตามลำดับภูมิประเทศจากมากไปน้อย ดังนี้ Sh และ BS > Su > FS > TS โดยมีค่าเฉลี่ย FC เท่ากับ 34.52 และ 34.40, 31.74, 28.35, และ 25.04 %by wt ตามลำดับ ค่า FC ที่ระดับความลึก 30 – 60 cm มีค่ามากที่สุดเท่ากับ 31.81 %by wt > ที่ระดับความลึก 0 – 15 cm (30.07 %by wt) และระดับความลึก 15 – 30 cm (30.55 %by wt) และพบว่าฤดูฝนจะมีค่า FC เท่ากับ 33.90 %by wt มากกว่าฤดูแล้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ผลการวิเคราะห์ปริมาณ AWC ทางสถิติ (ตารางที่ 29) พบว่า ค่า AWC มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อลำดับภูมิประเทศเปลี่ยนไป โดยมีค่ามากที่สุดที่ลำดับ Sh (12.04 %by wt) และลำดับ BS (11.99 %by wt) > ลำดับ Su (11.52 %by wt) > ลำดับ FS (10.47 %by wt) และลำดับ TS (10.77 %by wt) ระดับความลึกในการเก็บตัวอย่างดินมีอิทธิพลต่อปริมาณ AWC อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยที่ระดับความลึก 0 - 15 cm ค่า AWC มีค่ามากที่สุดเท่ากับ 11.99 %by wt > ที่ระดับความลึก 15 - 30 cm (11.07 %by wt) และระดับความลึก 30 - 60 cm (11.03 %by wt) และพบว่าฤดูฝนจะมีค่า AWC มากกว่าฤดูแล้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยฤดูฝนมีค่า AWC เท่ากับ 11.77 %by wt

ผลการวิเคราะห์ปริมาณ MC ทางสถิติ (ตารางที่ 29) พบว่า ค่า MC เรียงตามลำดับภูมิประเทศ โดย MC มีค่ามากที่สุดที่ลำดับ BS (30.22 %by wt) > ลำดับ Sh (28.68 %by wt) > ลำดับ Su (23.52 %by wt) และลำดับ FS (24.36 %by wt) > ลำดับ TS (19.25 %by wt) ระดับความลึกในการเก็บตัวอย่างดินมีอิทธิพลต่อปริมาณ MC อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยที่ระดับความลึก 30 - 60 cm ค่า MC มีค่ามากที่สุดเท่ากับ 25.79 %by wt > ที่ระดับความลึก 0 - 15 cm (24.69 %by wt) และระดับ 15 - 30 cm (25.14 %by wt) และพบว่าฤดูฝนจะมีค่า MC มากที่สุดเท่ากับ 31.21 % by wt มากกว่าฤดูแล้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 29 การเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของ FC, AWC, และ MC ด้วยวิธี DMRT สำหรับพื้นที่ปลูกยางพารา

Sig. Physical Parameter: FC, AWC, MC,					
Toposequence	FC (%by wt)	Depth (cm)	FC (%by wt)	Time	FC (%by wt)
Su	31.74b	0-15	30.07b	Dry ₅₈	29.99b
Sh	34.52a	15-30	30.55b	Dry ₅₉	28.54c
BS	34.40a	30-60	31.81a	Rain ₅₉	33.90a
FS	28.35c				
TS	25.04d				
<i>F-test of FC = 0.000 at $\alpha_{.05}$; Error Mean Square of group = 5.671</i>					
Toposequence	AWC (%by wt)	Depth (cm)	AWC (%by wt)	Time	AWC (%by wt)
Su	11.52b	0-15	11.99a	Dry ₅₈	11.05b
Sh	12.04a	15-30	11.07b	Dry ₅₉	11.26b
BS	11.99a	30-60	11.03b	Rain ₅₉	11.77a
FS	10.47c				
TS	10.77c				
<i>F-test of AWC = 0.000 at $\alpha_{.05}$; Error Mean Square of group = 0.739</i>					
Toposequence	MC (%by wt)	Depth (cm)	MC (%by wt)	Time	MC (%by wt)
Su	23.52c	0-15	24.69b	Dry ₅₈	23.03b
Sh	28.68b	15-30	25.14ab	Dry ₅₉	21.37c
BS	30.22a	30-60	25.79a	Rain ₅₉	31.21a
FS	24.36c				
TS	19.25d				
<i>F-test of MC = 0.000 at $\alpha_{.05}$; Error Mean Square of group = 4.298</i>					

ผลการทดสอบความสัมพันธ์ของปัจจัยแต่ละกลุ่ม ได้แก่ Toposequence, Depth, และ Time (ตารางที่ 30) พบว่า ปัจจัยทั้ง 3 กลุ่ม มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า FC, AWC, และ MC อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ปัจจัยร่วมระหว่างกลุ่ม Toposequence x Time, Toposequence x Depth, และ Toposequence x Time x Depth มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า FC โดยมี R^2 เท่ากับ 0.870 ปัจจัยร่วมระหว่างกลุ่ม Toposequence x Time และ Toposequence x Depth มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า AWC โดยมี R^2 เท่ากับ 0.750 และปัจจัยร่วมระหว่างกลุ่ม Toposequence x Time, Toposequence x Depth, และ Time x Depth มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า MC โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.933

ตารางที่ 30 การทดสอบอิทธิพลระหว่างกลุ่มปัจจัย 3 กลุ่ม ต่อการเปลี่ยนแปลงค่า FC, AWC, และ MC สำหรับพื้นที่ปลูกยางพารา

Statistical analysis	Variables			
	ρ_b	ρ_s	TP	K_{sat}
<u>Significance level of 0.05</u>				
Topo	0.000	0.005	0.000	0.000
Time	0.002	0.083	0.002	0.000
Depth	0.000	0.253	0.000	0.323
<u>Between Subjects Effects 0.005</u>				
Topo x Time	0.000	0.005	0.000	0.001
Topo x Depth	0.212	0.146	0.208	0.095
Time x Depth	0.935	0.070	0.939	0.956
Topo x Time x Depth	0.194	0.553	0.199	0.584
R^2	0.808	0.483	0.808	0.615
Adjusted R^2	0.714	0.230	0.714	0.426

4. การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยผลวิเคราะห์ %S, %Si, และ %C ด้วยวิธี DRMT

ผลการวิเคราะห์ปริมาณ %S ทางสถิติ (ตารางที่ 31) พบว่า %S สะสมตามลำดับภูมิประเทศ ดังนี้ %S มีค่ามากที่สุดที่ลำดับ FS และ TS มีค่าอยู่ในช่วง 32.44 - 34.49 % > Su มีค่าเท่ากับ 26.84 % > Sh และ BS มีค่าอยู่ในช่วง 18.27 - 19.97 % ที่ระดับความลึก 0 - 15 cm ค่า %S มีค่ามากที่สุดเท่ากับ 29.23 % > ที่ระดับความลึก 15 - 30 และ 30 - 60 cm มีค่าอยู่ในช่วง 23.92 - 26.06 % และพบว่าฤดูแล้งจะมีปริมาณ %S สะสมมากกว่าฤดูฝนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าอยู่ในช่วง 25.64 - 32.79 % ตามลำดับ

ผลการวิเคราะห์ปริมาณ %Si ทางสถิติ (ตารางที่ 31) พบว่า %Si สะสมตามลำดับภูมิประเทศ ดังนี้ %Si สะสมมากที่สุดที่ลำดับ TS มีค่าเท่ากับ 35.51 % > Sh และ BS มีค่าอยู่ในช่วง 31.00 - 30.83 % > Su และ FS มีค่าอยู่ในช่วง 28.02 - 28.12 % โดยที่ระดับความลึก 0 - 15 cm ปริมาณ %Si มีค่ามากที่สุดเท่ากับ 32.34 % > ที่ระดับ 15 - 30 และ 30 - 60 cm ซึ่งมีค่า %Si เท่ากับ 30.41 และ 29.33 % ตามลำดับ และพบว่าปริมาณ %Si ฤดูแล้งและฤดูฝนไม่แตกต่างกันทางสถิติ มีค่าอยู่ในช่วง 28.96 - 31.62 %

ผลการวิเคราะห์ปริมาณ %C ทางสถิติ (ตารางที่ 31) พบว่า %C สะสมตามลำดับภูมิประเทศ ดังนี้ %C มีค่ามากที่สุดที่ลำดับ Sh และ BS มีค่าอยู่ในช่วง 49.19 - 50.73 % > ลำดับ Su มีค่าเท่ากับ 45.15 % > FS และ TS มีค่าอยู่ในช่วง 30.00 - 39.44 % ระดับความลึกของดินมีอิทธิพลต่อความแตกต่างของ %C อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยที่ระดับความลึก 30 - 60 cm มีค่า %C มากที่สุดเท่ากับ 46.75 % > ที่ระดับความลึก 15 - 30 cm ซึ่งมีค่า %C เท่ากับ 43.52 % > ที่ระดับความลึก 0 - 15 cm ซึ่งมีค่า %C เท่ากับ 38.44 % และพบว่า การเก็บตัวอย่างดินในฤดูฝนมีปริมาณ %C มากที่สุดเท่ากับ 47.71 % มากกว่าการเก็บตัวอย่างดินในฤดูร้อนอย่างเด่นชัด

ตารางที่ 31 การเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของ %S, %Si, และ %C ด้วยวิธี DMRT สำหรับพื้นที่ปลูกยางพารา

Sig. Physical Parameter: %S, %Si, %C					
Toposequence	Sand (%)	Depth (cm)	Sand (%)	Time	Sand (%)
Su	26.84b	0-15	29.23a	1 st -Dry	25.64b
Sh	18.27c	15-30	26.06b	2 nd -Dry	32.79a
BS	19.97c	30-60	23.92b	1 st -Rainny	20.78c
FS	32.44a				
TS	34.49a				
<i>F-test of Sand = 0.000 at $\alpha_{.05}$; Error Mean Square of group = 36.903</i>					
Toposequence	Silt (%)	Depth (cm)	Silt (%)	Time	Silt (%)
Su	28.01c	0-15	32.34a	1 st -Dry	31.62a
Sh	31.00b	15-30	30.41b	2 nd -Dry	28.96b
BS	30.83b	30-60	29.33b	1 st -Rainny	31.51a
FS	28.12c				
TS	35.51a				
<i>F-test of Silt = 0.000 at $\alpha_{.05}$; Error Mean Square of group = 8.856</i>					
Toposequence	Clay (%)	Depth (cm)	Clay (%)	Time	Clay (%)
Su	45.15b	0-15	38.44c	1 st -Dry	42.75b
Sh	50.73a	15-30	43.52b	2 nd -Dry	38.25c
BS	49.19a	30-60	46.75a	1 st -Rainny	47.71 a
FS	39.44c				
TS	30.00d				
<i>F-test of Clay = 0.000 at $\alpha_{.05}$; Error Mean Square of group = 32.280</i>					

ผลการทดสอบความสัมพันธ์ของปัจจัยแต่ละกลุ่ม ได้แก่ Toposequence, Depth, และ Time (ตารางที่ 32) พบว่า ปัจจัยทั้ง 3 กลุ่ม มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า %S, %Si, และ %C อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ปัจจัยร่วมระหว่างกลุ่ม Toposequence x Time, Toposequence x Depth, และ Toposequence x Time x Depth มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า %S โดยมี R^2 เท่ากับ 0.820 ปัจจัยร่วมระหว่างกลุ่ม Toposequence x Time และ Toposequence x Time x Depth มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า %Si โดยมี R^2 เท่ากับ 0.744 และปัจจัยร่วมระหว่างกลุ่ม Toposequence x Time และ Toposequence x Depth มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า %C โดยมี R^2 เท่ากับ 0.836

ตารางที่ 32 การทดสอบอิทธิพลระหว่างกลุ่มปัจจัย 3 กลุ่ม ต่อการเปลี่ยนแปลงค่า %S, %Si, และ %C สำหรับพื้นที่ปลูกยางพารา

Statistical analysis	Variables		
	%S	%Si	%C
<u>Significance level of 0.05</u>			
Topo	0.000	0.000	0.000
Time	0.000	0.000	0.000
Depth	0.000	0.000	0.000
<u>Between Subjects Effects 0.005</u>			
Topo x Time	0.000	0.000	0.000
Topo x Depth	0.004	0.285	0.026
Time x Depth	0.185	0.948	0.276
Topo x Time x Depth	0.040	0.026	0.197
R ²	0.820	0.744	0.836
Adjusted R ²	0.732	0.619	0.755

5. การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยผลวิเคราะห์ %VCS, %MS, %FS, %VFS ด้วยวิธี DRMT

ผลการวิเคราะห์ปริมาณ %VCS ทางสถิติ (ตารางที่ 33) พบว่า %VCS สะสมตามลำดับภูมิประเทศ ดังนี้ %VCS มีค่ามากที่สุดเท่ากับ 0.63% ที่ลำดับ BS > Su Sh FS และ TS มีค่าอยู่ในช่วง 0.20 – 0.44 % ระดับความลึกในการเก็บตัวอย่างดิน และช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างดิน ไม่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณ %VCS โดยที่ระดับความลึก 0 – 15, 15 – 30, และ 30 – 60 cm ปริมาณ %VCS มีค่าอยู่ในช่วง 0.32 – 0.44 % และการเก็บตัวอย่างดินในฤดูแล้งและฤดูฝน มีค่า %VCS อยู่ในช่วง 0.27 – 0.41 %

การวิเคราะห์ปริมาณ %MS ทางสถิติ (ตารางที่ 33) พบว่า %MS มีการสะสมตามลำดับภูมิประเทศ ดังนี้ %MS มีค่ามากที่สุดเท่ากับ 3.32 % ที่ลำดับ FS > ลำดับ TS มีค่าเท่ากับ 2.69 % > ลำดับ Su มีค่าเท่ากับ 2.13 % > ลำดับ Sh และ BS มีค่าอยู่ในช่วง 1.64 – 2.04 % การสะสม %MS พบมากที่สุดที่ระดับความลึก 0 – 15 cm มีค่าเท่ากับ 2.59 % > ที่ระดับ 15 – 30 และ 30 – 60 cm ซึ่งมีค่า %MS เท่ากับ 2.34 และ 2.16 % ตามลำดับ ปริมาณ %MS ของตัวอย่างดินที่เก็บในฤดูแล้งมีค่าอยู่ในช่วง 2.36 – 3.11 % ซึ่งมีความมากกว่า %MS ที่เก็บในฤดูฝนอย่างเด่นชัด

ตารางที่ 33 การเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของ %VCS, %MS, %FS, และ%VFS ด้วยวิธี DMRT สำหรับพื้นที่ปลูกยางพารา

Sig. Physical Parameter: %VCS, %MS, %FS, %VFS					
Toposequence	VCS (%)	Depth (cm)	VCS (%)	Time	VCS (%)
Su	0.31b	0-15	0.32ns	Dry ₅₈	0.41ns
Sh	0.44ab	15-30	0.32ns	Dry ₅₉	0.39ns
BS	0.63a	30-60	0.44ns	Rain ₅₉	0.27ns
FS	0.21b				
TS	0.20b				
<i>F-test of VCS = 0.001 at $\alpha_{.05}$; Error Mean Square of group = 0.173</i>					
Toposequence	MS (%)	Depth (cm)	MS (%)	Time	MS (%)
Su	2.13c	0-15	2.59a	Dry ₅₈	2.36b
Sh	1.64d	15-30	2.34ab	Dry ₅₉	3.11a
BS	2.04cd	30-60	2.16b	Rain ₅₉	1.64c
FS	3.32a				
TS	2.69b				
<i>F-test of MS = 0.000 at $\alpha_{.05}$; Error Mean Square of group = 0.713</i>					
Toposequence	FS (%)	Depth (cm)	FS (%)	Time	FS (%)
Su	11.40b	0-15	12.82a	Dry ₅₈	11.28b
Sh	7.80c	15-30	11.61ab	Dry ₅₉	15.02a
BS	8.79c	30-60	10.61b	Rain ₅₉	8.73c
FS	15.20a				
TS	15.21a				
<i>F-test of FS = 0.000 at $\alpha_{.05}$; Error Mean Square of group = 12.014</i>					
Toposequence	VFS (%)	Depth (cm)	VFS (%)	Time	VFS (%)
Su	12.49b	0-15	12.94a	Dry ₅₈	10.96b
Sh	7.83c	15-30	11.29b	Dry ₅₉	13.68a
BS	7.81c	30-60	10.08c	Rain ₅₉	9.67c
FS	13.19b				
TS	15.86a				
<i>F-test of VFS = 0.000 at $\alpha_{.05}$; Error Mean Square of group = 5.017</i>					

การวิเคราะห์ปริมาณ %FS ทางสถิติ (ตารางที่ 33) พบว่า %FS มีการสะสมตามลำดับภูมิประเทศจากมากไปน้อย ดังนี้ %FS สะสมมากที่สุดที่ลำดับ FS และ TS มีค่าอยู่ในช่วง 15.20 – 15.21 % > Su มีค่าเท่ากับ 11.40 % > Sh และ BS มีค่าอยู่ในช่วง 7.80 - 8.79 % การสะสม %FS พบมากที่สุดที่ระดับความลึก 0 – 15 cm มีค่าเท่ากับ 12.82 % > ที่ระดับ 15 – 30 และ 30 – 60 cm ซึ่งมีค่าเท่ากับ 11.61 และ 10.61 % ตามลำดับ และการสะสม %FS ในฤดูแล้ง มีค่าอยู่ในช่วง 11.28 – 15.02 % ซึ่งมากกว่าการสะสมในฤดูฝน มีค่าเท่ากับ 8.73 % อย่างเด่นชัด

การวิเคราะห์ปริมาณ %VFS ทางสถิติ (ตารางที่ 33) พบว่า %VFS มีการสะสมตามลำดับภูมิประเทศจากมากไปน้อย ดังนี้ %VFS สะสมมากที่สุดเท่ากับ 15.86 % ที่ลำดับ TS > Su และ FS มีค่าอยู่ในช่วง 12.46 - 13.19 % > Sh และ BS มีค่าอยู่ในช่วง 7.81 - 7.83 % การสะสม %VFS พบมากที่สุด ที่ระดับความลึก 0 – 15 cm มีค่าเท่ากับ 12.94 % > ที่ระดับ 15 – 30 cm มีค่าเท่ากับ 11.29 % > ที่ระดับ 30 – 60 cm มีค่าเท่ากับ 10.08 % อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และการสะสม %VFS เมื่อเก็บตัวอย่างในฤดูแล้งมีค่าอยู่ในช่วง 10.96 - 13.68 % > %VFS ที่เก็บตัวอย่างในฤดูฝน มีค่าเท่ากับ 9.67 % อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ผลการทดสอบความสัมพันธ์ของปัจจัยแต่ละกลุ่ม ได้แก่ Toposequence, Depth, และ Time (ตารางที่ 34) พบว่า เฉพาะปัจจัย Toposequence ที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า %VCS อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และไม่พบปัจจัยร่วมระหว่างกลุ่มต่าง ๆ ที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า %VCS โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.377 ปัจจัย Toposequence และ Time มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า %MS อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ปัจจัยร่วมระหว่างกลุ่ม Toposequence x Time และ Toposequence x Depth มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า %MS โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.745 ปัจจัย Toposequence, Time, และ Depth มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า %FS, %VFS อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ปัจจัยร่วมระหว่างกลุ่ม Toposequence x Time และ Toposequence x Depth มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า %FS โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.777 ปัจจัยร่วมระหว่างกลุ่ม Toposequence x Time, Toposequence x Depth, และ Toposequence x Time x Depth มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า %FS โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.862

ตารางที่ 34 การทดสอบบทวิพละระหว่างกลุ่มปัจจัย 3 กลุ่ม ต่อการเปลี่ยนแปลงค่า %VCS, %MS, %FS, และ %VFS สำหรับพื้นที่ปลูกยางพารา

Statistical analysis	Variables			
	%VCS	%MS	%FS	%VFS
<i>Significance level of 0.05</i>				
Topo	0.001	0.000	0.000	0.000
Time	0.262	0.000	0.000	0.000
Depth	0.299	0.060	0.013	0.000
<i>Between Subjects Effects 0.005</i>				
Topo x Time	0.512	0.000	0.000	0.000
Topo x Depth	0.699	0.015	0.010	0.001
Time x Depth	0.882	0.163	0.417	0.050
Topo x Time x Depth	0.531	0.124	0.062	0.036
R ²	0.377	0.745	0.777	0.862
Adjusted R ²	0.072	0.620	0.668	0.794

ประเด็นพิจารณา

ผลการทดสอบทางสถิติสำหรับพื้นที่ปลูกยางพารา แสดงให้เห็นชัดเจนว่า พื้นที่ปลูกยางพาราซึ่งไม่ได้มีการไถพรวนหน้าดินตลอดลำดับภูมิประเทศเช่นเดียวกับพื้นที่ปลูกข้าวโพด การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพดินขึ้นกับกลุ่มปัจจัยที่ศึกษา 3 กลุ่ม ได้แก่ ลำดับภูมิประเทศ (Toposequence), ระดับความลึกของดิน (Depth), และช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างดิน (Time) ผลการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพดินแต่ละรายการวิเคราะห์ให้ผลสอดคล้องกัน และแสดงความแตกต่างได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพดินรายการต่าง ๆ ที่สอดคล้องกันได้ดังนี้ ตัวอย่างดินที่ลำดับ Sh และ BS มีความชื้นมากกว่าลำดับภูมิประเทศอื่น การเกาะตัวของดินจะน้อยพบว่ามีค่า ρ_b ที่น้อยกว่าระดับภูมิประเทศอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ บริเวณนี้จึงมี TP สูง จึงสามารถดูดซับน้ำได้มากกว่าลำดับภูมิประเทศอื่น และมีค่า FC, AWC, และ MC มากกว่าลำดับภูมิประเทศอื่น ทั้งยังมีการระบายน้ำดีเนื่องจากมีค่า K_{sat} สูง การสูญเสียอนุภาคดินตามลำดับภูมิประเทศในพื้นที่ปลูกยางพารา ให้ค่าวิเคราะห์ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือ %S จะสูญเสียไปตามลำดับภูมิประเทศและสะสมมากที่สุดบริเวณ TS โดยอนุภาครายยังมีขนาดเล็กตั้งแต่อนุภาครายกลาง (%MS) อนุภาครายละเอียด (%FS) และอนุภาครายละเอียดมาก (%VFS) จะสูญเสียไปตามลำดับภูมิประเทศได้มากกว่าอนุภาครายหยาบ (%CS) นอกจากนี้ %Si ก็สูญเสียไปตามลำดับภูมิประเทศและสะสมที่ลำดับ TS เช่นกัน ยกเว้น %C จะสะสมที่ลำดับ Sh และ BS สอดคล้องกับค่าวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพตาม

ระดับความลึกของดิน โดยบริเวณดินบนความลึก 0 – 15 cm เป็นบริเวณที่มีค่า p_b น้อยที่สุด มี TP มากที่สุด มี MC และ FC ต่ำที่สุด และเป็นบริเวณที่มีอนุภาคทรายสะสมอยู่มากที่สุด ทั้ง อนุภาคทรายกลาง (%MS) อนุภาคทรายละเอียด (%FS) และอนุภาคทรายละเอียดมาก (%VFS) รวมทั้งมี %Si สะสมอยู่มากที่สุดด้วย จากผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพดินบน ความลึก 0 – 15 cm นี้ เมื่ออยู่ที่ลำดับภูมิประเทศ Sh และ BS ที่มีความชันมากกว่าลำดับภูมิประเทศอื่น จึงส่งเสริมให้เกิดการสูญเสียหน้าดินได้มากและง่ายกว่าลำดับภูมิประเทศอื่น ดังแสดงในผลวิเคราะห์ที่สูญเสียอนุภาคทรายและทรายแบ่งไปสะสมที่ลำดับ TS มากที่สุด นอกจากนี้ยังพบว่าอนุภาคดินเหนียวจะสะสมที่ระดับความลึก 30 – 60 cm มากที่สุด จึงสูญเสียไปตามลำดับภูมิประเทศได้น้อยกว่าอนุภาคอื่น ๆ แต่การสูญเสียอนุภาคดินเหนียวน่าจะเกิดมากขึ้นเมื่อในฤดูฝน สอดคล้องกับผลการคำนวณทางสถิติ

การคำนวณผลวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพดินทางสถิติของพื้นที่ปลูกข้าวโพด

1. การคำนวณความแตกต่างทางสถิติของสมบัติทางกายภาพของดินพื้นที่ปลูกข้าวโพดด้วยวิธี *F-test*

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ *F-test* สำหรับสมบัติทางกายภาพของดินพื้นที่ปลูกข้าวโพด (ตารางที่ 26) พบว่า สมบัติทางกายภาพของดินต่าง ๆ เมื่อได้รับอิทธิพลของกลุ่มปัจจัย 3 กลุ่ม ได้แก่ ลำดับภูมิประเทศ (Toposequence) ระดับความลึกของดิน (Depth) และ ช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างดินเมื่อดินมีความชื้นต่ำในฤดูแล้งและเมื่อดินมีความชื้นสูงในฤดูฝน (Time) จะส่งผลให้สมบัติทางกายภาพของดิน ได้แก่ ค่าการนำน้ำของดินในสภาพที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (K_{sat}) ค่าความจุความชื้นสนาม (FC) ค่าปริมาณความชื้นในดินที่เป็นประโยชน์ (AWC) ค่าความชื้นในดิน (MC) ปริมาณอนุภาคทราย (%S) ปริมาณอนุภาคทรายหยาบมาก (%VCS) ปริมาณอนุภาคทรายละเอียด (%FS) ปริมาณอนุภาคทรายละเอียดมาก (%VFS) และปริมาณอนุภาคดินเหนียว (%C) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

2. การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยผลวิเคราะห์ K_{sat} , FC, AWC และ MC ด้วยวิธี DRMT

ผลการคำนวณปริมาณ K_{sat} ทางสถิติ (ตารางที่ 35) พบว่า ค่า K_{sat} มีค่ามากที่สุดที่ลำดับ BS มีค่าเท่ากับ 35.74 cm hr⁻¹ การระบายน้ำอยู่ในระดับเร็วมาก (VR) (ตารางผนวกที่ 3) และค่า K_{sat} ของลำดับ Sh, Su, TS, และ FS มีค่าไม่ต่างกันทางสถิติ มีค่าอยู่ในช่วง 9.58 – 22.36 cm hr⁻¹ การระบายน้ำอยู่ในระดับเร็วปานกลาง (MR) ถึงเร็ว (R) ค่า K_{sat} ที่ระดับความลึก 0 – 15 cm มีค่ามากที่สุดเท่ากับ 30.11 cm hr⁻¹ การระบายน้ำอยู่ในระดับ VR และค่า K_{sat} ที่ระดับความลึก 15 – 30 และ 30 – 60 cm มีค่าใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 17.10 – 17.97 cm hr⁻¹ การระบายน้ำอยู่ในระดับ R และค่า K_{sat} เมื่อเก็บตัวอย่างดินในฤดูแล้งมีค่าอยู่ในช่วง 26.04 – 33.96 cm hr⁻¹ มากกว่าเมื่อเก็บตัวอย่างดินในฤดูฝนอย่างเด่นชัด

ตารางที่ 35 การเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของ K_{sat} , FC, AWC, และ MC ด้วยวิธี DMRT สำหรับพื้นที่ปลูกข้าวโพด

Sig. Physical Parameter: K_{sat} , FC, AWC, MC					
Toposequence	K_{sat} (cm hr ⁻¹)	Depth (cm)	K_{sat} (cm hr ⁻¹)	Time	K_{sat} (cm hr ⁻¹)
Su	18.516b	0-15	30.108a	Dry ₅₈	26.036a
Sh	22.357b	15-30	17.970b	Dry ₅₉	33.961a
BS	35.736a	30-60	17.095b	Rain ₅₉	6.902b
FS	9.583b				
TS	16.712b				
<i>F-test</i> of K_{sat} = 0.026 at $\alpha_{.05}$; Error Mean Square of group = 466.203					
Toposequence	FC (%by wt)	Depth (cm)	FC (%by wt)	Time	FC (%by wt)
Su	32.70c	0-15	32.66ns	Dry ₅₈	30.59c
Sh	34.94a	15-30	32.86ns	Dry ₅₉	32.06b
BS	33.05bc	30-60	33.21ns	Rain ₅₉	35.17a
FS	33.85b				
TS	29.08d				
<i>F-test</i> of FC = 0.000 at $\alpha_{.05}$; Error Mean Square of group = 2.523					
Toposequence	AWC (%by wt)	Depth (cm)	AWC (%by wt)	Time	AWC (%by wt)
Su	14.11a	0-15	13.02ns	Dry ₅₈	11.11c
Sh	14.76a	15-30	13.28ns	Dry ₅₉	12.92b
BS	12.84b	30-60	13.61ns	Rain ₅₉	15.01a
FS	12.55b				
TS	11.37c				
<i>F-test</i> of AWC = 0.001 at $\alpha_{.05}$; Error Mean Square of group = 3.064					
Toposequence	MC (%by wt)	Depth (cm)	MC (%by wt)	Time	MC (%by wt)
Su	24.65b	0-15	23.58b	Dry ₅₈	23.54b
Sh	26.71a	15-30	25.19a	Dry ₅₉	19.70c
BS	24.55b	30-60	25.32a	Rain ₅₉	30.38a
FS	26.08ab				
TS	20.57c				
<i>F-test</i> of MC = 0.017 at $\alpha_{.05}$; Error Mean Square of group = 8.041					

การวิเคราะห์ปริมาณ FC (ตารางที่ 35) พบว่า FC เปลี่ยนแปลงตามลำดับภูมิประเทศ ดังนี้ ค่า FC มากที่สุดที่ลำดับ Sh เท่ากับ 34.94 %by wt > FS เท่ากับ 33.85 %by wt > BS และ Su มีค่าเท่ากับ 33.05 และ 32.70 %by wt ตามลำดับ > TS เท่ากับ 29.08 %by wt ระดับความลึกในการเก็บตัวอย่างดินไม่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณ FC โดยที่ระดับความลึก 0 – 15, 15 – 30, และ 30 – 60 cm มีค่า FC ใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 32.66 – 33.21 %by wt และพบว่าฤดูฝนจะมีค่า FC มากกว่าฤดูแล้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยฤดูฝนมีค่า FC เท่ากับ 35.17 %by wt > ฤดูแล้งซึ่งมีค่า FC อยู่ในช่วง 30.59 – 32.06 %by wt

การวิเคราะห์ปริมาณ AWC (ตารางที่ 35) พบว่า AWC เปลี่ยนแปลงตามลำดับภูมิประเทศ ดังนี้ ค่า AWC มีค่ามากที่สุดที่ลำดับ Su และ Sh มีค่าอยู่ในช่วง 14.11 – 14.76 %by wt > BS และ FS มีค่าอยู่ในช่วง 12.55 – 12.84 %by wt > TS เท่ากับ 11.37 %by wt ระดับความลึกในการเก็บตัวอย่างดินไม่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณ AWC โดยที่ระดับความลึก 0 – 15, 15 – 30, และ 30 – 60 cm มีค่า AWC อยู่ในช่วง 13.02 – 13.61 %by wt และพบว่าฤดูฝนจะมีค่า AWC มากกว่าฤดูแล้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยฤดูฝนมีค่า AWC เท่ากับ 15.01 %by wt > ฤดูแล้งซึ่งมีค่า AWC อยู่ในช่วง 11.11 – 12.92 %by wt

การวิเคราะห์ปริมาณ MC (ตารางที่ 35) พบว่า MC เปลี่ยนแปลงตามลำดับภูมิประเทศ ดังนี้ ค่า MC มีค่ามากที่สุดที่ลำดับ Sh และ FS มีค่าอยู่ในช่วง 26.08 – 26.71 %by wt > Su และ BS มีค่าอยู่ในช่วง 24.55 – 24.65 %by wt > TS เท่ากับ 20.57 %by wt ระดับความลึกในการเก็บตัวอย่างดินไม่มีอิทธิพลต่อปริมาณ MC อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยที่ระดับความลึก 15 – 30, และ 30 – 60 cm มีค่า MC เท่ากับ 25.19 และ 25.32 %by wt ตามลำดับ > ที่ระดับความลึก 0 – 15 cm ซึ่งมีค่า MC เท่ากับ 23.58 %by wt และพบว่าฤดูฝนจะมีค่า MC มากกว่าฤดูแล้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยฤดูฝนมีค่า MC เท่ากับ 30.38 %by wt > ฤดูแล้งซึ่งมีค่า MC อยู่ในช่วง 19.70 – 23.54 %by wt

ผลการทดสอบความสัมพันธ์ของปัจจัยแต่ละกลุ่ม ได้แก่ Toposequence, Depth, และ Time (ตารางที่ 36) พบว่า ปัจจัย Toposequence, Time, และ Depth มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า K_{sat} , FC, MC อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ปัจจัยร่วมระหว่างกลุ่ม Toposequence x Time มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า K_{sat} โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.612 ปัจจัยร่วมระหว่างกลุ่ม Toposequence x Time และ Time x Depth มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า FC อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.869 ปัจจัย Toposequence และ Time มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า AWC ปัจจัยร่วมระหว่างกลุ่ม Toposequence x Time มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า AWC โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.761 ปัจจัยร่วมระหว่างกลุ่ม Toposequence x Time และ Time x Depth มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า MC อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.861

ตารางที่ 36 การทดสอบอิทธิพลระหว่างกลุ่มปัจจัย 3 กลุ่ม ต่อการเปลี่ยนแปลงค่า K_{sat} , FC, AWC, และ MC สำหรับพื้นที่ปลูกข้าวโพด

Statistical analysis	Variables			
	K_{sat}	FC	AWC	MC
<u>Significance level of 0.05</u>				
Topo	0.003	0.000	0.000	0.000
Time	0.000	0.000	0.000	0.000
Depth	0.011	0.039	0.295	0.001
<u>Between Subjects Effects 0.005</u>				
Topo x Time	0.000	0.000	0.000	0.002
Topo x Depth	0.381	0.779	0.936	0.819
Time x Depth	0.937	0.000	0.171	0.000
Topo x Time x Depth	0.614	0.937	0.925	0.899
R^2	0.612	0.869	0.761	0.861
Adjusted R^2	0.422	0.805	0.645	0.793

3. การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยผลวิเคราะห์ %S, %C, %VCS, %FS, และ %VFS ด้วยวิธี DRMT

ผลการคำนวณปริมาณ %S ทางสถิติ (ตารางที่ 37) พบว่า ค่า %S เปลี่ยนแปลงตามลำดับภูมิประเทศ ดังนี้ ค่า %S มีค่ามากที่สุดที่ลำดับ TS เท่ากับ 25.34 % > Su, BS, FS มีค่าอยู่ในช่วง 21.94 - 22.81 % > Sh เท่ากับ 17.77 % ระดับความลึกในการเก็บตัวอย่างดินไม่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณ %S โดยที่ระดับความลึก 0 - 15, 15 - 30, และ 30 - 60 cm ค่า %S มีค่าเท่ากับ 21.63, 21.75, และ 23.00 % ตามลำดับ และพบว่าฤดูฝนจะมี %S มากกว่าฤดูแล้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยตัวอย่างดินจากฤดูฝนมีค่า %S เท่ากับ 24.26 % > ฤดูแล้งซึ่งมี %S อยู่ในช่วง 20.50 - 21.27 %

การวิเคราะห์ปริมาณ %C (ตารางที่ 37) พบว่า %C เปลี่ยนแปลงตามลำดับภูมิประเทศ ดังนี้ ค่า %C มีค่าใกล้เคียงกันที่ลำดับ Su Sh BS และ FS โดยมีค่าอยู่ในช่วง 43.42 - 46.75 % > %C ที่ลำดับ TS เท่ากับ 37.32 % อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ระดับความลึกของดินไม่มีอิทธิพลต่อการความแตกต่างทางสถิติของปริมาณ %C โดยที่ระดับความลึก 0 - 15, 15 - 30, และ 30 - 60 cm ปริมาณ %C มีค่าเท่ากับ 41.76, 44.36, 44.67 % ตามลำดับ และพบว่า การเก็บตัวอย่างดินในฤดูแล้งและฤดูฝน ปริมาณ % C ไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยปริมาณ %C จากตัวอย่างดินที่เก็บในฤดูแล้งและตัวอย่างที่เก็บในฤดูฝนมีค่าอยู่ในช่วง ปีที่ 1 และฤดูแล้งปีที่ 2 มีค่าเท่ากับ 48.15, และ 43.52 % ตามลำดับ และปริมาณ %C ในฤดูฝนมีค่าเท่ากับ 40.94 %

ตารางที่ 37 การเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของ %S, %C, %VCS, %FS, และ %VFS ด้วยวิธี DMRT สำหรับพื้นที่ปลูกข้าวโพด

Sig. Physical Parameter: %S, %C, %VCS, %FS, %VFS					
Toposequence	Sand (%)	Depth (cm)	Sand (%)	Time	Sand (%)
Su	22.73b	0-15	21.63ns	Dry ₅₈	21.27b
Sh	17.77c	15-30	21.75ns	Dry ₅₉	20.50b
BS	21.94b	30-60	23.00ns	Rain ₅₉	24.26a
FS	22.81b				
TS	25.34a				
<i>F-test of Sand = at $\alpha_{.05}$; Error Mean Square of group = 36.818</i>					
Toposequence	Clay (%)	Depth (cm)	Clay (%)	Time	Clay (%)
Su	43.42a	0-15	41.76ns	Dry ₅₈	48.15a
Sh	46.75a	15-30	44.36ns	Dry ₅₉	43.52b
BS	44.74a	30-60	44.67ns	Rain ₅₉	40.94b
FS	43.68a				
TS	37.32b				
<i>F-test of Clay = 0.001 at $\alpha_{.05}$; Error Mean Square of group = 40.221</i>					
Toposequence	VCS (%)	Depth (cm)	VCS (%)	Time	VCS (%)
Su	0.95c	0-15	1.59ns	Dry ₅₈	Dry ₅₈
Sh	1.87b	15-30	1.68ns	Dry ₅₉	Dry ₅₉
BS	1.65bc	30-60	1.88ns	Rain ₅₉	Rain ₅₉
FS	2.67a				
TS	1.78b				
<i>F-test of VCS = 0.013 at $\alpha_{.05}$; Error Mean Square of group = 1.576</i>					
Toposequence	FS (%)	Depth (cm)	FS (%)	Time	FS (%)
Su	7.57b	0-15	7.75a	Dry ₅₈	8.60a
Sh	5.02c	15-30	7.00a	Dry ₅₉	6.52b
BS	7.89b	30-60	6.56b	Rain ₅₉	6.78b
FS	5.44c				
TS	10.00a				
<i>F-test of FS = 0.000 at $\alpha_{.05}$; Error Mean Square of group = 2.885</i>					

ตารางที่ 37 (ต่อ)

Sig. Physical Parameter: %S, %C, %VCS, %FS, %VFS					
Toposequence	VFS (%)	Depth (cm)	VFS (%)	Time	VFS (%)
Su	10.46a	0-15	9.13a	Dry ₅₈	9.04b
Sh	6.01c	15-30	8.27b	Dry ₅₉	10.03a
BS	7.66b	30-60	7.44c	Rain ₅₉	6.07c
FS	7.36b				
TS	10.29a				

F-test of VFS = 0.000 at $\alpha_{.05}$; Error Mean Square of group = 3.407

การวิเคราะห์ปริมาณ %VCS (ตารางที่ 37) พบว่า %VCS เปลี่ยนแปลงตามลำดับภูมิประเทศ ดังนี้ ค่า %VCS มีค่ามากที่สุดที่ลำดับ FS เท่ากับ 2.67 % > Sh BS และ TS ซึ่งมีค่า %VCS อยู่ในช่วง 1.65 - 1.87 % > Su เท่ากับ 0.95 % ระดับความลึกในการเก็บตัวอย่างดินไม่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณ %VCS โดยที่ระดับความลึก 0 - 15, 15 - 30, และ 30 - 60 cm ปริมาณ %VCS มีค่า 1.59, 1.68, และ 1.88 % ตามลำดับ และพบว่าการเก็บตัวอย่างในฤดูฝนจะมี %VCS มากกว่าฤดูแล้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยตัวอย่างดินจากฤดูฝนมีค่า %VCS เท่ากับ 2.86 % > ฤดูแล้งซึ่งมีค่า %VCS อยู่ในช่วง 0.82 - 1.11 %

การวิเคราะห์ปริมาณ %FS (ตารางที่ 37) พบว่า %FS เปลี่ยนแปลงตามลำดับภูมิประเทศ ดังนี้ ค่า %FS มีค่ามากที่สุดที่ลำดับ TS เท่ากับ 10.00 % > Su และ BS ซึ่งมีค่า %FS อยู่ในช่วง 7.57 - 7.89 % > Sh และ FS มีค่าอยู่ในช่วง 5.02 - 5.44 % ที่ระดับความลึก 0 - 15 และ 15 - 30 cm ปริมาณ %FS มีค่ามากที่สุดอยู่ในช่วง 7.00 - 7.75 % > ที่ระดับ 30 - 60 cm มีค่าเท่ากับ 6.56 % อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และพบว่าการเก็บตัวอย่างดินในฤดูแล้งและฤดูฝน %FS ไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยมี %FS อยู่ในช่วง 6.52 - 8.60 %

การวิเคราะห์ปริมาณ %VFS (ตารางที่ 37) พบว่า %VFS เปลี่ยนแปลงตามลำดับภูมิประเทศ ดังนี้ %VFS มีค่ามากที่สุดที่ลำดับ Su และ TS มีค่าอยู่ในช่วง 10.46 - 10.29 % > BS และ FS มีค่าอยู่ในช่วง 7.36 - 7.66 % > Sh เท่ากับ 6.01 % พบการสะสมของ %VFS ที่ระดับความลึก 0 - 15 cm มากที่สุดเท่ากับ 9.13 % > ระดับ 15 - 30 cm มีค่าเท่ากับ 8.27 > ระดับ 30 - 60 cm มีค่าเท่ากับ 7.44 % อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ พบว่าปริมาณ %VFS เมื่อเก็บตัวอย่างดินในฤดูแล้งมีค่ามากกว่าในฤดูฝน โดยฤดูแล้งมีค่าอยู่ในช่วง 9.04 - 10.03 % > ปริมาณ %VFS ฤดูฝน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 6.07 % อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ผลการทดสอบความสัมพันธ์ของปัจจัยแต่ละกลุ่ม ได้แก่ Toposequence, Depth, และ Time (ตารางที่ 38) พบว่า ปัจจัย Toposequence และ Time มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า %S และ %VCS อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ปัจจัยร่วมระหว่างกลุ่ม Toposequence x Time และ Time x Depth มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า %S อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่า R^2 เท่ากับ

0.564 ปัจจัยร่วมระหว่างกลุ่ม Toposequence x Time มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า %VCS โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.606 ปัจจัย Toposequence, Time, และ Depth มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า %C, %FS, และ %VFS อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ปัจจัยร่วมระหว่างกลุ่ม Toposequence x Time และ Time x Depth มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า %FS อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.54 และปัจจัยร่วมระหว่างกลุ่ม Toposequence x Time มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า %VFS อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.845

ตารางที่ 38 การทดสอบอิทธิพลระหว่างกลุ่มปัจจัย 3 กลุ่ม ต่อการเปลี่ยนแปลงค่า %S, %C, %VCS, %FS, และ %VFS สำหรับพื้นที่ปลูกข้าวโพด

Statistical analysis	Variables				
	%S	%C	%VCS	%FS	%VFS
<i>Significance level of 0.05</i>					
Topo	0.000	0.003	0.008	0.000	0.000
Time	0.018	0.002	0.000	0.000	0.000
Depth	0.247	0.015	0.649	0.001	0.000
<i>Between Subjects Effects 0.005</i>					
Topo x Time	0.000	0.013	0.000	0.000	0.000
Topo x Depth	0.999	0.964	0.872	0.990	0.947
Time x Depth	0.014	0.001	0.540	0.002	0.123
Topo x Time x Depth	0.993	0.971	0.990	0.977	0.884
R^2	0.564	0.534	0.606	0.820	0.845
Adjusted R^2	0.351	0.306	0.414	0.733	0.306

ประเด็นพิจารณา

ผลการทดสอบทางสถิติสำหรับพื้นที่ปลูกข้าวโพด แสดงให้เห็นว่า พื้นที่ปลูกข้าวโพดซึ่งมีการไถพรวนหน้าดินตลอดลำดับภูมิประเทศ การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพดินตามกลุ่มปัจจัยที่ศึกษา 3 กลุ่ม ได้แก่ Toposequence, Depth, Time ซึ่งเป็นช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างดินในฤดูแล้ง ที่ดินมีความชื้นต่ำและในฤดูฝนที่ดินมีความชื้นสูง ผลการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพดินแต่ละรายการวิเคราะห์ แตกต่างจากพื้นที่ปลูกยางพารา โดยสมบัติทางกายภาพดินไม่เด่นชัดในแต่ละลำดับภูมิประเทศเช่นเดียวกับพื้นที่ปลูกยางพาราที่ดินถูกรบกวนจากการจัดการดินน้อยกว่า เมื่อพิจารณาความ ρ_b และ ρ_s ในพื้นที่ปลูกข้าวโพด พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติตลอดลำดับภูมิประเทศ ความลึกของดิน และช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างดิน มีผลให้ค่า TP ของดินไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติตลอดลำดับภูมิประเทศ ความลึกของดิน และช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างดิน เช่นเดียวกัน แสดงให้เห็นว่า การจัดการดินสำหรับปลูกข้าวโพดในพื้นที่สูง มีอิทธิพลต่อความหนาแน่นและความพรุนของดินตลอดลำดับ

ภูมิประเทศ สอดคล้องกับผลวิเคราะห์ปริมาณ AWC ซึ่งให้ผลวิเคราะห์ไม่แตกต่างกันในทุกระดับความลึกของดิน

เมื่อพิจารณาการสะสมอนุภาคดินตามลำดับภูมิประเทศ พบว่า พื้นที่ปลูกข้าวโพดจะมีการสะสมอนุภาคทรายที่ลำดับ TS มากที่สุด รองลงมาคือ BS ทั้งอนุภาคทรายกลาง (Medium) อนุภาคทรายละเอียด (Fine Sand) และอนุภาคทรายละเอียดมาก (Very Fine Sand) และพบว่าอนุภาคดินเหนียวสะสมมากตั้งแต่ลำดับ Su, Sh, BS, และ FS แตกต่างจากพื้นที่ปลูกยางพาราอย่างชัดเจน อีกทั้งพบว่า การสะสมอนุภาคทรายและอนุภาคดินเหนียวในฤดูแล้งและฤดูฝนไม่แตกต่างกัน สามารถทำนายได้ว่า พื้นที่ปลูกข้าวโพดน่าจะมีการสูญเสียอนุภาคทรายและอนุภาคดินเหนียวตลอดลำดับภูมิประเทศ และตลอดทั้งปี ดังนั้น การปลูกข้าวโพดที่มีการไถพรวนหน้าดินตลอดลำดับภูมิประเทศ จะก่อให้เกิดดินเสื่อมสภาพมากกว่าการปลูกยางพารา สอดคล้องกับการศึกษาของบุญเทียม (2554) ที่พบว่า การปลูกข้าวโพดบนพื้นที่ลาดชันภาคเหนือเป็นเวลานานต่อเนื่องกัน จะก่อให้เกิดปัญหาดินเสื่อมโทรม การสูญเสียหน้าดินจากการชะล้างพังทลายของดิน

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

ผลการศึกษาอิทธิพลของปัจจัย 3 กลุ่ม ได้แก่ (1) ลำดับภูมิประเทศที่ต่างกัน 5 ระดับ คือ ยอดเขา (submit, Su), ไหล่เขา (shoulder, Sh), ลาดเขา (backslope, BS), เชิงเขา (footslope, FT), และที่ราบเชิงเขา (Toeslope, Ts) (2) ช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างดินทดสอบที่มีความชื้นในดินต่างกัน (ฤดูแล้ง, ฤดูฝน) และ (3) ระดับความลึกของดินต่างกัน (0 - 15, 15 - 30, 30 - 60 cm) ที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพของดินทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % สำหรับพื้นที่สูงที่ใช้ประโยชน์ที่ดินต่างกัน คือ การปลูกยางพารา และข้าวโพด แบ่งออกเป็น 3 ประเด็นพิจารณา คือ ประเด็นที่ 1: เปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติระหว่างพื้นที่ปลูกยางพาราและข้าวโพด เมื่อได้รับอิทธิพลของปัจจัยทั้ง 3 กลุ่ม, ประเด็นที่ 2: เปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติ เมื่อได้รับอิทธิพลของปัจจัยทั้ง 3 กลุ่ม เฉพาะพื้นที่ปลูกยางพารา, ประเด็นที่ 3: เปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติ เมื่อได้รับอิทธิพลของปัจจัยทั้ง 3 กลุ่ม เฉพาะพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

ประเด็นที่ 1: ความแตกต่างของสมบัติทางกายภาพดินทางสถิติ ระหว่างพื้นที่ปลูกยางพาราและข้าวโพด เมื่อได้รับอิทธิพลของปัจจัยทั้ง 3 กลุ่ม

อิทธิพลของปัจจัยทั้ง 3 กลุ่ม ได้แก่ ลำดับภูมิประเทศ ช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างดิน และระดับความลึกของดิน ทำให้สมบัติทางกายภาพดินแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ได้แก่ ปริมาณความจุความชื้นสนาม (FC, $R^2 = 0.870$) ปริมาณความชื้นที่เป็นประโยชน์ในดิน (AWC, $R^2 = 0.797$) ปริมาณความพรุนช่องบรรจุอากาศของดินที่ความจุความชื้นสนาม (AFP, $R^2 = 0.731$) ปริมาณอนุภาคทราย (%Sand, $R^2 = 0.761$) และปริมาณอนุภาคทรายขนาดต่าง ๆ ได้แก่ ทรายหยาบมาก (%VCS, $R^2 = 0.694$) ทรายหยาบ (%CS, $R^2 = 0.732$) ทรายละเอียด (%FS, $R^2 = 0.824$) และทรายละเอียดมาก (%VFS, $R^2 = 0.872$) และปริมาณอนุภาคทรายแป้ง (%Silt, $R^2 = 0.789$)

ผลการศึกษาดทดลองแสดงให้เห็นว่า ทั้งพื้นที่ปลูกยางพาราและพื้นที่ปลูกข้าวโพดที่มีการจัดการดินต่างกัน ล้วนได้รับอิทธิพลจากปัจจัยทั้ง 3 กลุ่ม ได้แก่ ลำดับภูมิประเทศ ช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างดิน และระดับความลึกของดิน ที่มีอิทธิพลให้สมบัติทางกายภาพของดินแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% อย่างไรก็ตาม การทดสอบด้วยวิธี Post Hoc Tests โดยใช้ DMRT สิ่งทดลองจะต้องมีอย่างน้อย 3 สิ่งจึงจะสรุปความแตกต่างได้ชัดเจน ในการศึกษาครั้งนี้ เนื่องจากเลือกพื้นที่ศึกษาสำหรับพืช 2 ชนิด ดังนั้น จึงไม่สามารถแสดงให้เห็นทางสถิติว่า พื้นที่ปลูกยางพาราหรือพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่ใดเป็นพื้นที่ที่ได้รับอิทธิพลของปัจจัยทั้ง 3 กลุ่ม มากกว่ากัน แต่สามารถทำการทดสอบทางสถิติในพื้นที่ปลูกพืชแต่ละพื้นที่ เพื่อทดสอบว่าปัจจัยใดที่ศึกษามีอิทธิพลต่อสมบัติทางกายภาพดินของพื้นที่ปลูกพืชแต่ละพื้นที่มากที่สุด

ประเด็นที่ 2: ความแตกต่างของสมบัติทางกายภาพดินทางสถิติ เฉพาะพื้นที่ปลูกยางพารา เมื่อได้รับอิทธิพลของปัจจัยทั้ง 3 กลุ่ม

พื้นที่ปลูกยางพารามีการจัดการดินตามลำดับภูมิประเทศ โดยปลูกยางพาราเป็นแถวขวางความลาดชัน อิทธิพลของปัจจัยทั้ง 3 กลุ่ม ได้แก่ ลำดับภูมิประเทศ ช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างดิน และระดับความลึกของดิน ทำให้สมบัติทางกายภาพดินแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ได้แก่ ค่าความหนาแน่นรวมของดิน (ρ_b , $R^2 = 0.808$) ค่าความหนาแน่นอนุภาคดิน (ρ_s , $R^2 = 0.483$) ค่าความพรุนรวมของดิน (TP, $R^2 = 0.808$) ค่าการนำน้ำของดินในสภาพที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (K_{sat} , $R^2 = 0.615$) ค่าความจุความชื้นสนาม (FC, $R^2 = 0.870$) ค่าปริมาณความชื้นในดินที่เป็นประโยชน์ (AWC, $R^2 = 0.750$) ค่าความชื้นในดิน (MC, $R^2 = 0.933$) ปริมาณอนุภาคทราย (%Sand, $R^2 = 0.820$) ปริมาณอนุภาคทรายหยาบมาก (%VCS, $R^2 = 0.377$) ปริมาณอนุภาคทรายปานกลาง (%MS, $R^2 = 0.745$) ปริมาณอนุภาคทรายละเอียด (%FS, $R^2 = 0.77$) ปริมาณอนุภาคทรายละเอียดมาก (%VFS, $R^2 = 0.862$) ปริมาณอนุภาคทรายแป้ง (%Silt, $R^2 = 0.744$) และปริมาณอนุภาคดินเหนียว (%Clay, $R^2 = 0.836$)

ผลการศึกษาทดลองแสดงให้เห็นว่า พื้นที่ปลูกยางพารา ซึ่งมีการปลูกยางเป็นแถวขวางความลาดชัน และไม่ได้มีการไถพรวนหน้าดินตลอดลำดับภูมิประเทศเช่นเดียวกับพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพดินได้รับอิทธิพลจากปัจจัยทั้ง 3 กลุ่ม ได้แก่ ลำดับภูมิประเทศ ช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างดิน และระดับความลึกของดิน โดยเฉพาะที่ลำดับ Sh และ BS ซึ่งมีความชันมากกว่าลำดับภูมิประเทศอื่น มีค่าความหนาแน่นรวมของดิน (ρ_b) น้อยกว่าระดับภูมิประเทศอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ มีความพรุนรวมสูง (TP) มีค่าความจุความชื้นสนาม (FC) ปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ในดิน (AWC) และปริมาณความชื้นในดิน (MC) มากกว่าลำดับภูมิประเทศอื่น และมีการระบายน้ำเมื่อดินอิ่มตัวด้วยน้ำสูง (K_{sat}) แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับลำดับภูมิประเทศอื่น การสูญเสียอนุภาคดินตามลำดับภูมิประเทศในพื้นที่ปลูกยางพารา แสดงผลทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ คือ อนุภาคทรายจะสูญเสียไปตามลำดับภูมิประเทศและสะสมมากที่สุดบริเวณ TS โดยอนุภาคทรายยังมีขนาดเล็กตั้งแต่อนุภาคทรายกลาง (medium sand) อนุภาคทรายละเอียด (fine sand) และอนุภาคทรายละเอียดมาก (very fine sand) จะสูญเสียไปตามลำดับภูมิประเทศได้มากกว่าอนุภาคทรายหยาบ นอกจากนี้ อนุภาคทรายแป้งก็สูญเสียไปตามลำดับภูมิประเทศและสะสมที่ลำดับ TS เช่นกัน ยกเว้นอนุภาคดินเหนียวที่สะสมที่ลำดับ Sh และ BS ผลวิเคราะห์ที่ได้รับอิทธิพลจากปัจจัยลำดับภูมิประเทศนี้ สอดคล้องกับผลวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพตามระดับความลึกของดิน โดยบริเวณดินบนความลึก 0 – 15 cm เป็นบริเวณที่มีความหนาแน่นรวมน้อยที่สุด (ρ_b) มีความพรุนรวมมากที่สุด (TP) ความชื้นในดินต่ำที่สุด (MC) ความจุความชื้นสนาม (FC) ต่ำที่สุด และเป็นบริเวณที่มีอนุภาคทรายสะสมอยู่มากที่สุด ทั้งอนุภาคทรายกลาง (medium) อนุภาคทรายละเอียด (fine sand) และอนุภาคทรายละเอียดมาก (very fine sand) รวมทั้งมีอนุภาคทรายแป้งสะสมอยู่มากที่สุดด้วย จากผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพดินบนความลึก 0 – 15 cm นี้ เมื่ออยู่ที่ลำดับภูมิประเทศ Sh และ BS ที่มีความชันมากกว่าลำดับภูมิประเทศอื่น จึงส่งเสริมให้เกิดการสูญเสียหน้าดินได้มากและง่ายกว่าลำดับภูมิประเทศอื่น ดังแสดงในผลวิเคราะห์ที่มีการสูญเสียอนุภาคทรายและทรายแป้งไปสะสมที่ลำดับ TS มากที่สุด นอกจากนี้ยังพบว่าอนุภาคดินเหนียวจะสะสมที่ระดับความลึก 30 – 60 cm มากที่สุด จึงสูญเสียไปตามลำดับภูมิประเทศได้น้อยกว่า

อนุภาคอื่น ๆ แต่การสูญเสียอนุภาคดินเหนียวน่าจะเกิดมากขึ้นในฤดูฝน สอดคล้องกับผลการคำนวณทางสถิติ

ประเด็นที่ 3: ความแตกต่างของสมบัติทางกายภาพดินทางสถิติ เฉพาะพื้นที่ปลูกข้าวโพด เมื่อได้รับอิทธิพลของปัจจัยทั้ง 3 กลุ่ม

พื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ซึ่งมีการไถพรวนหน้าดินตลอดลำดับภูมิประเทศ และไถพรวนเป็นประจำทุกปี อิทธิพลของปัจจัยทั้ง 3 กลุ่ม ได้แก่ ลำดับภูมิประเทศ ช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างดิน และระดับความลึกของดิน ทำให้สมบัติทางกายภาพดินแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ได้แก่ ค่าการนำน้ำของดินในสภาพที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (K_{sat} , $R^2 = 0.612$) ค่าความจุความชื้นสนาม (FC , $R^2 = 0.869$) ค่าปริมาณความชื้นในดินที่เป็นประโยชน์ (AWC , $R^2 = 0.761$) ค่าความชื้นในดิน (MC , $R^2 = 0.861$) ปริมาณอนุภาคทราย ($\%S$, $R^2 = 0.564$) ปริมาณอนุภาคทรายหยาบมาก ($\%VCS$, $R^2 = 0.606$) ปริมาณอนุภาคทรายละเอียด ($\%FS$, $R^2 = 0.820$) ปริมาณอนุภาคทรายละเอียดมาก ($\%VFS$, $R^2 = 0.845$) และปริมาณอนุภาคดินเหนียว ($\%C$, $R^2 = 0.534$) อย่างไรก็ตาม สำหรับค่าความหนาแน่นรวมของดิน (ρ_b) ค่าความหนาแน่นอนุภาคดิน (ρ_s) ค่าความพรุนรวมของดิน (TP) ปริมาณอนุภาคทรายแป้ง ($\%Si$) ปริมาณอนุภาคทรายหยาบ ($\%CS$) และปริมาณอนุภาคทรายปานกลาง ($\%MS$) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ผลการศึกษาดทดลองสำหรับพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ แสดงให้เห็นว่า พื้นที่ปลูกข้าวโพดซึ่งมีการไถพรวนหน้าดินตลอดลำดับภูมิประเทศ การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพดินตามกลุ่มปัจจัยที่ศึกษา 3 กลุ่ม ได้แก่ ลำดับภูมิประเทศ ช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างดิน และระดับความลึกของดิน มีอิทธิพลต่อผลการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพดินแต่ละรายการวิเคราะห์ แตกต่างจากพื้นที่ปลูกยางพารา โดยสมบัติทางกายภาพดินไม่เด่นชัดในแต่ละลำดับภูมิประเทศเช่นเดียวกับพื้นที่ปลูกยางพารา ที่ดินถูกรบกวนจากการจัดการดินน้อยกว่า เมื่อพิจารณาความหนาแน่นรวมของดิน (ρ_b) และความหนาแน่นอนุภาคดิน (ρ_s) ในพื้นที่ปลูกข้าวโพด พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติตลอดลำดับภูมิประเทศ ความลึกของดิน และช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างดิน มีผลให้ค่าความพรุนรวมของดิน (TP) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติตลอดลำดับภูมิประเทศ ความลึกของดิน และช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างดิน เช่นเดียวกัน แสดงให้เห็นว่า วิธีการจัดการดินที่มีการไถพรวนตลอดลำดับภูมิประเทศสำหรับปลูกข้าวโพดในพื้นที่สูง มีผลกระทบต่อน้ำหนัก ความพรุนของดินตลอดลำดับภูมิประเทศ และปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ในดิน (AWC) ซึ่งทำให้ผลวิเคราะห์ในทุกระดับความลึกของดิน ไม่สามารถแยกความแตกต่างตามระดับความลึกในการเก็บตัวอย่างดินได้ อย่างไรก็ตาม พบว่า ปัจจัยลำดับภูมิประเทศมีอิทธิพลต่อการสะสมอนุภาคดิน โดยจะมีการสะสมอนุภาคทรายที่ลำดับ TS มากที่สุด รองลงมาคือ BS ทั้งอนุภาคทรายกลาง (medium) อนุภาคทรายละเอียด (fine sand) และอนุภาคทรายละเอียดมาก (very fine sand) และพบว่าอนุภาคดินเหนียวสะสมมากตั้งแต่ลำดับ Su, Sh, BS, และ FS แตกต่างจากพื้นที่ปลูกยางพาราอย่างชัดเจน อีกทั้งพบว่า การสะสมอนุภาคทรายและอนุภาคดินเหนียวในฤดูแล้งและฤดูฝนไม่แตกต่างกัน สามารถทำนายได้ว่า พื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์น่าจะมีการสูญเสียอนุภาคทรายและอนุภาคดินเหนียวตลอดลำดับภูมิประเทศ และตลอดทั้งปี ดังนั้น การปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่มีการไถพรวนหน้าดินตลอดลำดับภูมิประเทศ จะก่อให้เกิดดินเสื่อมสภาพมากกว่าการปลูกยางพารา

5.2 ข้อเสนอแนะ

การนำผลการคำนวณทางสถิติมาใช้ในการแปลผลวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพดิน จะช่วยให้นักวิจัยอธิบายผลวิเคราะห์ได้ชัดเจนยิ่งขึ้น และสามารถนำผลที่ได้ไปประยุกต์ใช้กับการเลือกวิธีการจัดการดินที่เหมาะสมต่อดินพื้นที่สูง หรือดินในพื้นที่ศึกษาอื่น ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น อย่างไรก็ตาม การศึกษาอิทธิพลของปัจจัย 3 กลุ่ม ได้แก่ ลำดับภูมิประเทศ ช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างดิน และระดับความลึกของดิน เพื่อแสดงให้เห็นความแตกต่างทางสถิติอย่างเด่นชัดสำหรับการจัดการดินที่ต่างกัน ควรเลือกพื้นที่ศึกษามากกว่า 2 พื้นที่ ซึ่งมีชนิดพืชปลูกที่ต่างกันอย่างน้อย 3 ชนิด จะทำให้สามารถคำนวณผลวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธี Post Hoc Tests โดยใช้ DMRT ผลการศึกษาที่ได้จะสามารถอธิบายได้ชัดเจนยิ่งขึ้น โดยสามารถระบุได้ว่าการจัดการดินสำหรับปลูกพืชชนิดใด ได้รับอิทธิพลจากปัจจัยทั้ง 3 กลุ่ม มากที่สุด ดังนั้น การจัดการดินสำหรับปลูกพืชชนิดนั้น ๆ จะต้องเลือกวิธีที่เหมาะสมที่สุด เพื่อให้ได้ผลผลิตสูงและทำให้ดินเสื่อมสภาพน้อยที่สุด

เอกสารอ้างอิง

- กันตภณ แก้วด้วง, สุภาพร สิ้นศิริวัฒนา และ นิลภัทร คงพ่วง. 2558. **การศึกษาอิทธิพลผลการใช้ที่ดินต่อพัฒนาการของดินบนพื้นที่ลาดชันสูงในภาคเหนือของประเทศไทย**. สำนักงานพัฒนาที่ดินเขต 7, กรมพัฒนาที่ดิน.
- กลุ่มอนุรักษ์ดินและน้ำ. 2544. **นิยามและทางเลือกมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำ**. กองอนุรักษ์ดินและน้ำ, กรมพัฒนาที่ดิน, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2523. **ปฐพีวิทยาเบื้องต้น**. คณะเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- จรัญ จันทลักษณ์. 2523. **สถิติวิธีวิเคราะห์และวางแผนงานวิจัย**. พิมพ์ครั้งที่ 4. สำนักพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช, กรุงเทพฯ.
- เฉลิมพล แซมเพชร. 2535. **สรีรวิทยาการผลิตพืชไร่**. ภาควิชาพืชไร่, คณะเกษตรศาสตร์, มหาวิทยาลัย เชียงใหม่.
- ฉัตรศิริ ปิยะพิมลสิทธิ์. 2548. **การใช้ SPSS เพื่อการวิเคราะห์ข้อมูล**. ภาควิชาการประเมินผลและวิจัย, คณะศึกษาศาสตร์, มหาวิทยาลัยทักษิณ.
- ดิเรก ทองอร่าม, วิทยา ตั้งก่อสกุล, นาวิ จิระชีวี, และ อธิสุนทร นันทกิจ. 2545. **การออกแบบและเทคโนโลยีการให้น้ำแก่พืช**. ฉบับปรับปรุงใหม่ (พิมพ์ครั้งที่ 2). **วารสารเคหการเกษตร**.
- ไทยเกษตรศาสตร์. 2556. **การชะล้างพังทลายของดินและวิธีการอนุรักษ์ดิน**. แหล่งที่มา: <https://www.thaikasetsart.com/การชะล้างพังทลายของดิน/>, 25 ธันวาคม 2559.
- นิภาพร ขำสอาด. 2552. **อำนาจการทดสอบของการใช้สถิติการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย**. ปริญญาโท กศ.ม. (การวัดผลการศึกษา). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- บุญเทียม เลิศศุภวิทย์นภา. 2554. **การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตในระบบเกษตรผสมผสานเพื่อลดความเสี่ยงของการปลูกข้าวโพดบนพื้นที่ลาดชันของจังหวัดน่านและจังหวัดพะเยา**. แหล่งที่มา: http://elibrary.trf.or.th/project_content.asp?PJID=RDG53O0001, วันที่สืบค้น 20 กันยายน 2557.
- พิทยากร ลิ้มทอง. 2551. **การพัฒนาระบบอนุรักษ์ดินและน้ำในประเทศไทย**. กรมพัฒนาที่ดิน, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

- ระวีวรรณ พันธุ์พานิชย์. 2540. **แบบแผนเชิงสถิติของการทดสอบ**. ภาควิชาวัดผลและวิจัยทางการศึกษา, คณะศึกษาศาสตร์, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, กรุงเทพฯ.
- ศุภชาติ วรรณวงษ์. 2545. ความผันแปรของความชื้นในดินจากการใช้ประโยชน์ที่ดินแบบต่าง ๆ ที่ลุ่มน้ำภูเวียง จังหวัดขอนแก่น. ใน **รายงานการประชุมวิชาการป่าไม้ ประจำปี 2545**. ส่วนวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมป่าไม้ สำนักวิชาการป่าไม้ กรมป่าไม้.
- สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง. 2557. **ดินและความอุดมสมบูรณ์ของดิน**. แหล่งที่มา: http://mis.hrdi.or.th/inforcenter/xml_km/shdet.aspx?mnuid=620#, 15 กันยายน 2557.
- _____. 2561. **ความหมายและสภาพพื้นที่สูง**. แหล่งที่มา: <https://www.hrdi.or.th/about/Highland>, 6 ธันวาคม 2561.
- สมจิต วัฒนาชยากุล. 2548. **สถิติพื้นฐานสำหรับนักวิทยาศาสตร์**. ภาควิชาคณิตศาสตร์และสถิติ, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- สุนทรียังษ์ชวัล. 2535. **ชลศาสตร์ในระบบดิน-พืช**. ภาควิชาปฐพีวิทยา, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม. แหล่งที่มา: <http://www.cab.ku.ac.th/suntaree/index.php/publication/book/17-transport.html>, 28 สิงหาคม 2553.
- สุนทรียังษ์ชวัล. 2536. **บทปฏิบัติการปฐพีวิทยามูลฐาน**. ภาควิชาปฐพีวิทยา, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม.
- สุนทรียังษ์ชวัลย์ และ กุมุท สังขศิลา. 2534. ค่าพิกัดบนของความเป็นประโยชน์ต่อพืชของน้ำในชุดดินกำแพงแสน. ใน **ว.เกษตรศาสตร์ (วิทย.)**, ฉบับที่ 2 ปีที่ 25: 177-190.
- สุนทรียัครณกุล. 2529. **หลักการปฐพีฟิสิกส์**. ภาควิชาปฐพีวิทยา, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม.
- สำนักงานราชบัณฑิตยสภา. 2562. **พจนานุกรมศัพท์ปฐพีศาสตร์ ฉบับราชบัณฑิตยสภา**. บริษัทอมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง จำกัด (มหาชน), กรุงเทพฯ.
- สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน. 2548. **คู่มือการวิเคราะห์ตัวอย่างดิน น้ำ ปุ๋ย พืช วัสดุ ปรับปรุงดิน และการวิเคราะห์เพื่อตรวจรับรองมาตรฐานสินค้า, เล่มที่ 1**. สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน, กรมพัฒนาที่ดิน.
- เอิบ เขียวรื่นรมณ์. 2542. **การสำรวจดิน**. พิมพ์ครั้งที่ 1. ภาควิชาปฐพีวิทยา, คณะเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. หน้า 382-385.

- Anonymous. 2018. **The Independent T-test**. Available Source: <http://www.open.ac.uk/socialsciences/spsstutorial/files/tutorials/independent-group-t-tests.pdf>, October 10, 2018.
- Blake, G.R. 1965. Particle density, pp. 371-373. *In* C.A. Blake et al., eds. "**Methods of Soil Analysis, Part I**". American Society of Agronomy Monograph. No. 9. Madison, Wisconsin. U.S.A.
- Brady, N.C., and R.R. Weil. 2007. **Nature and properties of soil**. Pearson Education Inc. and Dorling Kindersley publishing. nc. pp. 56.
- Boling, A.A., T.P. Tuong, H. Suganda, Y. Konboon, D. Harnpichitvitaya, B.A.M. Bouman, D.T. Franco. 2008. The effect of topo-sequence position on soil properties, hydrology, and yield of rainfed lowland rice in Southeast Asia. **Field Crops Research**. Vol.106: 22-33.
- Brooks, R.H., and A.T. Corey. 1966. Properties of porous media affecting fluid flow. **Proc. Amer. Soc. Civ. Eng. J. Irri. & Drain. Div.** IR2, 61-68.
- Buol, O.A., F.D. Hole, R. McCracken, and R.J. Southward. 1997. **Soil genesis and classification**. 4th ed. Iowa State University Press Ames, 1A.
- Cass, A. 1999. Interpretation of some soil physical indicators for assessing soil physical fertility, pp. 95-102.. *In* K.I. Peverill, L.A. Sparrow and D.J. Reuter. eds. **Soil analysis: An interpretation manual**. 2nd ed. CSIRO Publishing: Melbourne.
- 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.
- Gerrard, A.J. 1992. **Soils and landforms: An integration of geomorphology and pedology**. George Allen & Unwin, London.
- Hall, D.G.M., M.J. Reeve, A.J. Thomasson, and V.F. Wright. 1977. **Water retention, porosity and density of field soils**. Soil Survey of England and Wales Technical Monograph No.9. Rothamsted Experimental Station. Harpenden, Herts, U.K.
- Handreck, K.A., and Black, N.D. 1984. **Growing media for ornamental plants and turf**. NSW University Press: Kensington, NSW.

- 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.
- Hillel, D. 1980a. **Fundamentals of Soil Physic.** Academic Press, New York. 413p.
- 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.
- Kilmer, V.J., and L.T. Alexander. 1949. Methods of Making Mechanical Analyses of Soils. **Soil Sci.** Vol.68: 15-24.
- Klute, A. and C. Dirksen. 1986. Water Retention: Laboratory Method, pp. 635-662. *In* A. Klute. et.al., eds. **Method of Soil Analysis. Part I.** American Society of Agronomy Monograph. No. 9. Amer. Soc. Agron. Inc., Medison, Wisconsin, USA.
- Lal, R., and Manoj K. Shukla. 2004. **Principles of soil physics.** Marcel Dekker, Inc., New York. Basel. pp. 682.
- Lujan, D.L. 2003. **Soil physical properties affecting soil erosion in tropical soils.** Source: http://users.ictp.it/~pub_off/lectures/lms018/21Lobo.pdf, Search: 15 September 2016.
- McCarty, L.B., L.R. Hubbard, and Jr.V. Quisenberry. 2016. **Applied soil physical properties, drainage, and irrigation strategies.** Springer International Publishing Switzerland. DOI 10.1007/978-3-319-24226-2
- Moorman .F.R. 1999. Representative of Southern Nigeria and their pedology. *In* **relation to their classification and production.**
- Murphy, B.W. 2000. Taking care of soil structure benefits crops, pp. 68-74. *In* S. Wallwork, ed. **Min-tilldrill- A guide to minimum tillage cropping systems.** Kondinin Group: Cloverdale, Western Australia.
- Myer, J.L., and A.D. Well. 2003. **Research design and statistic analysis.** 2nd ed. New Jersey, Lawrence, Erlbaum.
- Odenerho, F.O. 2000. **Caternay sequence and agric productivity in the tropics.** Paper presented at the conference of the 8th joint annual national soil correlation committee. SSSN. 198Q. pp 15.

- Oku, E., A. Essoka, and E. Thomas. 2010. Variability in soil properties along an Udalf Toposequence in the humid forest zone of Nigeria. **Kasetsart J. (Nat. Sci.)** 44: 564-573.
- 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.
- Osuaku, S.K., E.P. Ukaegbu, C.P. Poly-Mbah, C.O. Nnawuihe, G.O. Okoro, and H.E. Osuaku. 2014. Variability in some physical and chemical properties of soil along a toposequence in Alvan Ikoku federal college of education, Owerri, IMO State, Nigeria. **IMPACT: IJRANSS**, ISSN(E): 2321-8851; ISSN(P): 2347-4580, Vol.2, Issue 11, Nov 2014, pp.17-24.
- 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. .
- Richards, L.A. 1965. Physical Condition of Water in Soil. pp. 128-152. *In* C.A. Black, ed. **Method of Soil Analysis. Part I**. Agronomy No. 9. Amer. Soc. Agron. Inc., Medison, Wisconsin, USA.
- Ruhe, R.V. 1960. **Elements of the soil landscape**. Transactions of the 7th International Congress of Soil Science, Madison 4, 165–170.
- Smyth, A.J., and Montgomery. 1990. **Soil and land use in central and western Nigeria**. Govt. print, Ibadan.
- Stoop, W.A. 2000. Adaptation of sorghum maize and sorghum pear millet Intercrop to the toposequence land type in North Sudan Zone of West Africa Savannah. **Field crops research**, Vol.16: 255-1272.
- Topp, G.C. 1993. Soil Water Content, pp. 541-557. *In* M.R. Carter, ed. **Soil Sampling and Methods of Analysis, Part 3**. Canadian Society of Soil Science. Lewis Publishers.
- Topp, G.C., Y.T. Galganov, B.C. Ball, and M.R. Carter. 1993. Soil Water Desorption Curves, pp. 569-579. *In* M.R. Carter, ed. **Soil Sampling and Methods of Analysis, Part 3**. Canadian Society of Soil Science. Lewis Publishers. .

USDA Soil Conservation Service. 1971. **Drainage of agricultural land**. National Engineering Handbook Section 16, Washington, DC.

Van Genuchten, M. Th. 1980. A close-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soil. **Soil Soc. Amer. J.** 44: 892-898.

Young, A. 1976. **Tropical soils and soil survey**. Cambridge Univ., Press, London.

ภาคผนวก

ตารางผนวกที่ 1 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 2 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 3 ชั้นสภาพน้ำขณะอิ่มตัวด้วยน้ำของดิน

Class	Hydraulic Conductivity (cm hr^{-1})
Very slow (VS)	< 0.125
Slow (S)	0.125 – 0.5
Moderately slow (MS)	0.5 – 2.0
Moderate (M)	2.0 – 6.25
Moderately rapid (MR)	6.25 – 12.5
Rapid (R)	12.5 – 25.0
Very rapid (VR)	> 25.0

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

ตารางผนวกที่ 4 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 (Find Sand, FS)	0.10 – 0.25	0.02 – 0.20
ทรายละเอียดมาก (Very Find 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 5 สถิติทดสอบ T-test ของพื้นที่ปลูกยางพารา (Plant 1) และพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (Plant 2)

	Plant	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Db	1.00	135	1.3049	.15463	.01331
	2.00	117	1.3098	.12271	.01134
Ds	1.00	135	2.6050	.09142	.00787
	2.00	117	2.5872	.12628	.01167
TP	1.00	135	50.4066	5.87083	.50528
	2.00	117	50.2350	4.66548	.43132
Ksat	1.00	135	23.2377	34.20235	2.94367
	2.00	117	21.7245	28.41060	2.62656
FC	1.00	135	30.8092	5.40824	.46547
	2.00	117	32.9170	3.59393	.33226
AWC	1.00	135	11.3593	1.40912	.12128
	2.00	117	13.3046	2.93643	.27147
AFP	1.00	135	19.5972	5.10453	.43933
	2.00	117	17.3183	5.33231	.49297
MC	1.00	135	25.2042	6.58737	.56695
	2.00	117	24.6944	6.21612	.57468
Sand	1.00	135	26.4037	11.74056	1.01047
	2.00	117	22.1239	7.75000	.71649
Silt	1.00	135	30.6941	4.82004	.41484
	2.00	117	34.3188	4.10374	.37939
Clay	1.00	135	42.9022	11.66426	1.00390
	2.00	117	43.5957	7.61450	.70396
VCoarse	1.00	135	.3563	.43238	.03721
	2.00	117	1.7171	1.64014	.15163
Coarse	1.00	135	.5667	.42567	.03664
	2.00	117	2.3607	2.46580	.22796
Medium	1.00	135	2.3667	1.36999	.11791
	2.00	117	2.6641	1.88969	.17470
Fine	1.00	135	11.6785	6.01781	.51793
	2.00	117	7.1017	3.28434	.30364
VFine	1.00	135	11.4356	4.93411	.42466
	2.00	117	8.2803	3.84372	.35535

ตารางผนวกที่ 6 ตารางสถิติทดสอบลำดับภูมิประเทศของพื้นที่ปลูกยางพาราและข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

	Slope	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
						Lower Bound	Upper Bound		
Db	1.00	54	1.3120	.10876	.01480	1.2824	1.3417	1.04	1.59
	2.00	54	1.2463	.10309	.01403	1.2182	1.2744	.88	1.50
	3.00	54	1.2250	.13697	.01864	1.1876	1.2624	.83	1.54
	4.00	45	1.3367	.10546	.01572	1.3050	1.3684	1.13	1.57
	5.00	45	1.4436	.13788	.02055	1.4021	1.4850	1.11	1.68
	Total	252	1.3072	.14047	.00885	1.2898	1.3246	.83	1.68
Ds	1.00	54	2.5987	.09746	.01326	2.5721	2.6253	2.34	2.87
	2.00	54	2.5713	.10913	.01485	2.5415	2.6011	2.30	2.86
	3.00	54	2.5783	.14582	.01984	2.5385	2.6181	2.24	2.80
	4.00	45	2.6182	.08362	.01247	2.5931	2.6433	2.43	2.84
	5.00	45	2.6253	.08385	.01250	2.6001	2.6505	2.49	2.85
	Total	252	2.5967	.10914	.00687	2.5832	2.6102	2.24	2.87
TP	1.00	54	50.1335	4.14247	.56372	49.0028	51.2642	39.77	60.58
	2.00	54	52.6641	3.89858	.53053	51.6000	53.7282	43.15	66.47
	3.00	54	53.4344	5.20337	.70809	52.0142	54.8547	41.51	68.44
	4.00	45	49.2118	4.02957	.60069	48.0012	50.4224	40.17	57.24
	5.00	45	45.1407	5.21378	.77722	43.5743	46.7071	36.15	57.65
	Total	252	50.3269	5.33548	.33610	49.6650	50.9889	36.15	68.44
Ksat	1.00	54	13.2502	22.43091	3.05246	7.1277	19.3726	0.00	121.57
	2.00	54	27.2363	28.50772	3.87941	19.4552	35.0174	.03	131.36
	3.00	54	43.4126	41.82647	5.69186	31.9962	54.8290	0.00	155.27
	4.00	45	16.3649	29.11017	4.33949	7.6192	25.1106	0.00	157.10
	5.00	45	9.1531	16.25372	2.42296	4.2700	14.0363	0.00	79.31
	Total	252	22.5352	31.59300	1.99017	18.6156	26.4547	0.00	157.10
FC	1.00	54	32.2150	3.02109	.41112	31.3904	33.0396	26.08	40.15
	2.00	54	34.7306	2.75506	.37492	33.9786	35.4825	29.14	39.83
	3.00	54	33.7246	4.36923	.59458	32.5321	34.9172	22.36	38.71
	4.00	45	30.5489	4.90023	.73048	29.0767	32.0211	22.61	37.18
	5.00	45	26.6587	4.28747	.63914	25.3706	27.9468	17.52	35.00
	Total	252	31.7878	4.76380	.30009	31.1968	32.3788	17.52	40.15
AWC	1.00	54	12.8130	2.59734	.35345	12.1040	13.5219	10.15	20.22
	2.00	54	13.4011	2.67186	.36359	12.6718	14.1304	9.41	22.65
	3.00	54	12.4144	2.14516	.29192	11.8289	13.0000	8.34	18.05
	4.00	45	11.3044	2.42328	.36124	10.5764	12.0325	6.36	20.05
	5.00	45	11.0113	1.22414	.18248	10.6436	11.3791	8.84	13.97
	Total	252	12.2625	2.44744	.15417	11.9589	12.5661	6.36	22.65
AFP	1.00	54	17.9183	4.83066	.65737	16.5998	19.2369	9.00	31.33
	2.00	54	17.9331	4.51552	.61448	16.7006	19.1656	8.01	32.69
	3.00	54	19.7100	6.70620	.91260	17.8796	21.5404	5.26	37.49
	4.00	45	18.6633	4.93627	.73586	17.1803	20.1464	5.69	30.16
	5.00	45	18.4820	5.28006	.78711	16.8957	20.0683	6.39	29.07
	Total	252	18.5391	5.32428	.33540	17.8786	19.1997	5.26	37.49

ตารางผนวกที่ 6 (ต่อ)

						95% Confidence Interval for Mean			
						Lower Bound	Upper Bound		
Slope	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error				Minimum	Maximum
MC	1.00	54	24.0863	5.51158	.75003	22.5819	25.5907	13.37	37.82
	2.00	54	27.6974	5.72526	.77911	26.1347	29.2601	17.21	39.21
	3.00	54	27.3804	5.64017	.76753	25.8409	28.9198	16.81	38.83
	4.00	45	25.0447	6.35485	.94733	23.1355	26.9539	15.41	37.03
	5.00	45	19.7767	5.89983	.87949	18.0042	21.5492	7.27	29.71
	Total	252	24.9675	6.41005	.40380	24.1723	25.7628	7.27	39.21
Sand	1.00	54	24.7815	7.99852	1.08846	22.5983	26.9647	5.60	41.50
	2.00	54	18.0241	6.12027	.83286	16.3536	19.6946	7.20	39.10
	3.00	54	20.9574	8.65144	1.17731	18.5960	23.3188	10.60	44.30
	4.00	45	28.5867	10.61126	1.58183	25.3987	31.7746	13.30	47.50
	5.00	45	31.6311	11.96958	1.78432	28.0351	35.2272	9.90	55.90
	Total	252	24.4167	10.29175	.64832	23.1398	25.6935	5.60	55.90
Silt	1.00	54	31.0167	5.40474	.73549	29.5415	32.4919	23.70	49.10
	2.00	54	33.2352	4.13034	.56207	32.1078	34.3626	24.70	42.20
	3.00	54	32.0778	4.08188	.55547	30.9636	33.1919	22.50	42.60
	4.00	45	30.2733	4.67213	.69648	28.8697	31.6770	24.00	42.90
	5.00	45	35.4422	4.33760	.64661	34.1391	36.7454	27.40	48.10
	Total	252	32.3770	4.84428	.30516	31.7760	32.9780	22.50	49.10
Clay	1.00	54	44.2852	8.53646	1.16166	41.9552	46.6152	18.10	57.80
	2.00	54	48.7407	8.18608	1.11398	46.5064	50.9751	27.50	65.90
	3.00	54	46.9648	8.14302	1.10812	44.7422	49.1874	26.70	61.70
	4.00	45	41.1400	7.71982	1.15080	38.8207	43.4593	24.10	51.70
	5.00	45	32.9267	9.54645	1.42310	30.0586	35.7947	16.30	53.90
	Total	252	43.2242	9.97751	.62852	41.9864	44.4621	16.30	65.90
VCoarse	1.00	54	.6278	.81157	.11044	.4063	.8493	.10	4.50
	2.00	54	1.1556	1.22037	.16607	.8225	1.4887	.10	5.90
	3.00	54	1.1407	1.32017	.17965	.7804	1.5011	.10	5.60
	4.00	45	1.1956	2.00204	.29845	.5941	1.7970	0.00	9.80
	5.00	45	.8289	1.14547	.17076	.4848	1.1730	0.00	4.70
	Total	252	.9881	1.34366	.08464	.8214	1.1548	0.00	9.80
Coarse	1.00	54	1.0056	1.39425	.18973	.6250	1.3861	.10	7.20
	2.00	54	1.4704	1.69724	.23096	1.0071	1.9336	.30	10.10
	3.00	54	1.4981	1.90337	.25902	.9786	2.0177	.20	7.60
	4.00	45	1.8556	2.93696	.43782	.9732	2.7379	0.00	13.70
	5.00	45	1.2133	1.38147	.20594	.7983	1.6284	.10	6.30
	Total	252	1.3996	1.92624	.12134	1.1606	1.6386	0.00	13.70
Medium	1.00	54	2.1926	1.31348	.17874	1.8341	2.5511	.60	6.50
	2.00	54	2.0685	1.38262	.18815	1.6911	2.4459	.70	9.60
	3.00	54	2.2463	1.43102	.19474	1.8557	2.6369	.80	5.80
	4.00	45	3.3867	2.29680	.34239	2.6966	4.0767	.70	10.50
	5.00	45	2.8311	1.33941	.19967	2.4287	3.2335	.60	5.40
	Total	252	2.5048	1.63536	.10302	2.3019	2.7077	.60	10.50

ตารางผนวกที่ 6 (ต่อ)

						95% Confidence Interval for Mean			
Slope		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	Lower Bound	Upper Bound	Minimum	Maximum
Fine	1.00	54	9.4852	3.69188	.50240	8.4775	10.4929	1.70	19.30
	2.00	54	6.4093	2.74228	.37318	5.6608	7.1578	2.60	12.80
	3.00	54	8.3389	5.14548	.70021	6.9344	9.7433	3.50	22.90
	4.00	45	11.2933	6.49102	.96762	9.3432	13.2435	3.10	21.20
	5.00	45	13.1267	6.24195	.93050	11.2514	15.0020	4.30	26.30
	Total	252	9.5536	5.43594	.34243	8.8792	10.2280	1.70	26.30
VFine	1.00	54	11.4704	4.10152	.55815	10.3509	12.5899	2.20	19.00
	2.00	54	6.9204	2.44219	.33234	6.2538	7.5870	2.70	11.70
	3.00	54	7.7333	3.68731	.50178	6.7269	8.7398	3.00	15.80
	4.00	45	10.8556	4.13052	.61574	9.6146	12.0965	3.50	19.00
	5.00	45	13.6311	5.61798	.83748	11.9433	15.3189	4.40	23.80
	Total	252	9.9706	4.72346	.29755	9.3846	10.5566	2.20	23.80

ตารางผนวกที่ 7 ตาราง ANOVA แสดงผลการคำนวณทางสถิติของพื้นที่ปลูกยางพาราและข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Db	Between Groups	1.442	4	.361	25.369	.000
	Within Groups	3.510	247	.014		
	Total	4.952	251			
Ds	Between Groups	.111	4	.028	2.382	.052
	Within Groups	2.879	247	.012		
	Total	2.990	251			
TP	Between Groups	2084.780	4	521.195	25.439	.000
	Within Groups	5060.531	247	20.488		
	Total	7145.311	251			
Ksat	Between Groups	39157.463	4	9789.366	11.440	.000
	Within Groups	211370.106	247	855.749		
	Total	250527.569	251			
FC	Between Groups	1932.986	4	483.247	31.719	.000
	Within Groups	3763.162	247	15.235		
	Total	5696.148	251			
AWC	Between Groups	199.365	4	49.841	9.440	.000
	Within Groups	1304.112	247	5.280		
	Total	1503.477	251			
AFP	Between Groups	115.512	4	28.878	1.019	.398
	Within Groups	6999.829	247	28.339		
	Total	7115.342	251			
MC	Between Groups	1971.528	4	492.882	14.594	.000
	Within Groups	8341.745	247	33.772		
	Total	10313.273	251			
Sand	Between Groups	5984.769	4	1496.192	17.939	.000
	Within Groups	20601.181	247	83.406		
	Total	26585.950	251			
Silt	Between Groups	766.477	4	191.619	9.237	.000
	Within Groups	5123.749	247	20.744		
	Total	5890.227	251			

ตารางผนวกที่ 7 (ต่อ)

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Clay	Between Groups	7426.945	4	1856.736	26.117	.000
	Within Groups	17560.298	247	71.094		
	Total	24987.242	251			
VCoarse	Between Groups	12.861	4	3.215	1.804	.129
	Within Groups	440.304	247	1.783		
	Total	453.164	251			
Coarse	Between Groups	20.096	4	5.024	1.362	.248
	Within Groups	911.214	247	3.689		
	Total	931.310	251			
Medium	Between Groups	58.938	4	14.735	5.944	.000
	Within Groups	612.336	247	2.479		
	Total	671.274	251			
Fine	Between Groups	1324.529	4	331.132	13.425	.000
	Within Groups	6092.378	247	24.665		
	Total	7416.907	251			
VFine	Between Groups	1532.375	4	383.094	23.262	.000
	Within Groups	4067.708	247	16.468		
	Total	5600.083	251			

ตารางผนวกที่ 8 ตาราง ANOVA แสดงผลการคำนวณทางสถิติของพื้นที่ปลูกยางพารา

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Db	Between Groups	1.838	4	.459	43.716	.000
	Within Groups	1.366	130	.011		
	Total	3.204	134			
Ds	Between Groups	.101	4	.025	3.229	.015
	Within Groups	1.019	130	.008		
	Total	1.120	134			
TP	Between Groups	2650.015	4	662.504	43.752	.000
	Within Groups	1968.512	130	15.142		
	Total	4618.527	134			
Ksat	Between Groups	39377.956	4	9844.489	10.903	.000
	Within Groups	117375.304	130	902.887		
	Total	156753.260	134			
FC	Between Groups	1805.828	4	451.457	27.768	.000
	Within Groups	2113.550	130	16.258		
	Total	3919.378	134			
AWC	Between Groups	54.490	4	13.622	8.370	.000
	Within Groups	211.582	130	1.628		
	Total	266.071	134			
AFP	Between Groups	188.291	4	47.073	1.853	.123
	Within Groups	3303.250	130	25.410		
	Total	3491.541	134			
MC	Between Groups	2058.707	4	514.677	17.814	.000
	Within Groups	3756.022	130	28.892		
	Total	5814.729	134			
Sand	Between Groups	5656.358	4	1414.089	14.346	.000
	Within Groups	12814.290	130	98.571		
	Total	18470.648	134			
Silt	Between Groups	1002.931	4	250.733	15.446	.000
	Within Groups	2110.264	130	16.233		
	Total	3113.195	134			

ตารางผนวกที่ 8 (ต่อ)

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Clay	Between Groups	7678.811	4	1919.703	23.649	.000
	Within Groups	10552.539	130	81.173		
	Total	18231.349	134			
VCoarse	Between Groups	3.518	4	.880	5.310	.001
	Within Groups	21.534	130	.166		
	Total	25.052	134			
Coarse	Between Groups	.685	4	.171	.944	.441
	Within Groups	23.595	130	.181		
	Total	24.280	134			
Medium	Between Groups	46.023	4	11.506	7.279	.000
	Within Groups	205.477	130	1.581		
	Total	251.500	134			
Fine	Between Groups	1306.058	4	326.515	11.968	.000
	Within Groups	3546.630	130	27.282		
	Total	4852.688	134			
VFine	Between Groups	1346.157	4	336.539	22.832	.000
	Within Groups	1916.133	130	14.739		
	Total	3262.289	134			

ตารางผนวกที่ 9 ตาราง ANOVA แสดงผลการคำนวณทางสถิติของพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Db	Between Groups	.114	4	.028	1.951	.107
	Within Groups	1.633	112	.015		
	Total	1.747	116			
Ds	Between Groups	.089	4	.022	1.419	.232
	Within Groups	1.761	112	.016		
	Total	1.850	116			
TP	Between Groups	166.140	4	41.535	1.972	.104
	Within Groups	2358.799	112	21.061		
	Total	2524.939	116			
Ksat	Between Groups	8695.167	4	2173.792	2.866	.026
	Within Groups	84935.627	112	758.354		
	Total	93630.794	116			
FC	Between Groups	392.152	4	98.038	9.927	.000
	Within Groups	1106.142	112	9.876		
	Total	1498.294	116			
AWC	Between Groups	158.374	4	39.594	5.268	.001
	Within Groups	841.847	112	7.516		
	Total	1000.222	116			
AFP	Between Groups	252.755	4	63.189	2.324	.061
	Within Groups	3045.534	112	27.192		
	Total	3298.289	116			
MC	Between Groups	451.037	4	112.759	3.133	.017
	Within Groups	4031.218	112	35.993		
	Total	4482.255	116			
Sand	Between Groups	1019.452	4	254.863	4.799	.001
	Within Groups	5947.801	112	53.105		
	Total	6967.253	116			
Silt	Between Groups	95.759	4	23.940	1.443	.224
	Within Groups	1857.760	112	16.587		
	Total	1953.519	116			

ตารางผนวกที่ 9 (ต่อ)

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Clay	Between Groups	1013.495	4	253.374	4.968	.001
	Within Groups	5712.253	112	51.002		
	Total	6725.748	116			
VCoarse	Between Groups	33.232	4	8.308	3.337	.013
	Within Groups	278.814	112	2.489		
	Total	312.046	116			
Coarse	Between Groups	60.475	4	15.119	2.626	.038
	Within Groups	644.824	112	5.757		
	Total	705.299	116			
Medium	Between Groups	21.217	4	5.304	1.512	.204
	Within Groups	393.012	112	3.509		
	Total	414.229	116			
Fine	Between Groups	340.452	4	85.113	10.466	.000
	Within Groups	910.828	112	8.132		
	Total	1251.280	116			
VFine	Between Groups	365.791	4	91.448	7.598	.000
	Within Groups	1348.014	112	12.036		
	Total	1713.805	116			