



รายงานผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การศึกษาการกระจายตัวของดินเหนียวเพื่อจัดทำแผนที่สถานภาพของจุลธาตุและแนว
ทางการแก้ไขปัญหาคาดจุลธาตุบางชนิดในข้าวโพดที่ปลูกบนดินเหนียวบริเวณพื้นที่
ภาคกลางของประเทศไทย

Study on distribution of calcareous soil to create micronutrient status soil
map and amelioration of some micronutrient deficiency of corn in
calcareous soil on central area, Thailand.

โดย

นางสาวนัทฐา ทักษ์รัตนศรีณย์

นางสาวฐนชนก คำขจร

นางสาวกัญจน์รัชต์ ลขิตาวงศ์

นางสาวอรพิตา วรภักดี

นายกฤติโสภณ ดวงกมล

นางสาวชนิดา เกิดชนะ

ทะเบียนวิจัยเลขที่ 62-64-06-32-020001-013-103-01-11

สำนักงานพัฒนาที่ดินเขต 1 กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์กรมพัฒนาที่ดิน

กันยายน 2565

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
สารบัญภาพภาคผนวก	(6)
แบบฟอร์มรายงานผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์	(7)
บทคัดย่อ	
Abstract	
หลักการและเหตุผล	1
วัตถุประสงค์	4
การตรวจเอกสาร	5
ระยะเวลา และสถานที่ดำเนินการ	23
วัสดุอุปกรณ์ และวิธีดำเนินการ	24
ผลและวิจารณ์	35
สรุปผลการทดลองที่ 1	62
สรุปผลการทดลองที่ 2	76
สรุปและข้อเสนอแนะ	78
ประโยชน์ที่ได้รับ	78
การเผยแพร่งานวิจัย	80
เอกสารอ้างอิง	81
ภาคผนวก	84

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	พื้นที่การกระจายตัวของดินเหนียว และพื้นที่ปลูกข้าวโพดในดินเหนียว	22
2	แผนผังแปลงทดลองธาตุสังกะสีและธาตุเหล็ก	32
3	ทรัพยากรดินเหนียวในจังหวัดลพบุรีปี 2562	35
4	สภาพการใช้ประโยชน์ที่ดินจังหวัดลพบุรีปี 2562	38
5	จุดเก็บตัวอย่างดินบนชุดดินและค่าวิเคราะห์ดิน	42
6	สมบัติดินก่อนการทดลอง	63
7	ความสูงของข้าวโพด ณ อายุ 22 วันหลังปลูก	64
8	ความสูงของข้าวโพด ณ อายุ 36 วันหลังปลูก	65
9	ความสูงของข้าวโพด ณ อายุ 55 วันหลังปลูก	65
10	ความกว้างทรงพุ่มของข้าวโพด ณ อายุ 22 วันหลังปลูก	66
11	ความกว้างทรงพุ่มของข้าวโพด ณ อายุ 36 วันหลังปลูก	67
12	ความกว้างทรงพุ่มของข้าวโพด ณ อายุ 55 วันหลังปลูก	67
13	จำนวนฝักต่อต้น	68
14	น้ำหนักเปลือกฝักข้าวโพด	70
15	น้ำหนักฝักข้าวโพด	71
16	น้ำหนักชังข้าวโพด	72
17	น้ำหนักเมล็ดข้าวโพดต่อพื้นที่ 4 ตารางเมตร	73
18	น้ำหนักเมล็ดข้าวโพดต่อพื้นที่ 1 ไร่	74

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	อาการขาดธาตุเหล็ก (Fe) ในข้าวโพดและมันสำปะหลัง	10
2	อาการขาดธาตุแมงกานีส (Mn) ในพริก	13
3	อาการขาดธาตุแมงกานีส (Mn) ในข้าวโพด	14
4	อาการขาดธาตุสังกะสี (Zn) ในข้าวโพดเลี้ยงสัตว์	16
5	อาการขาดธาตุทองแดง (Cu) ในมะเขือเทศ	17
6	พื้นที่ศึกษาดินเนือปูนในจังหวัดลพบุรี	25
7	จุดเก็บตัวอย่างดินในพื้นที่ดินเนือปูน	26
8	การแบ่งสัดส่วนข้อมูลดินเนือปูนเป็น 70:30 เพื่อเปรียบเทียบ และทดสอบความถูกต้องของข้อมูล	28
9	แผนผังการสร้างแผนที่การสำรวจการกระจายตัวของ pH, Total N, Available P, Exchangeable K, and Extractable Fe, Mn, Zn, Cu	29
10	แผนที่แปลงทดลอง ณ ศูนย์ขยายพันธุ์พืชที่ 9 จังหวัดสุพรรณบุรี	30
11	ภาพพื้นที่แปลงทดลองปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์	31
12	แผนที่ทรัพยากรดินเนือปูนในจังหวัดลพบุรีปี 2562	37
13	แผนที่สภาพการใช้ประโยชน์ที่ดินจังหวัดลพบุรีปี 2562	40
14	แผนที่จุดเก็บตัวอย่างดินเนือปูนในจังหวัดลพบุรี	45
15	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH จากจุดเก็บตัวอย่าง และค่า pH จากการประมาณค่าด้วย วิธี kriging (a) และ IDW (b)	46
16	แผนที่ความเป็นกรด-ด่างของดิน (pH) จังหวัดลพบุรี โดยวิธี Kriging (a) และวิธี IDW (b)	47

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
17	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นไนโตรเจน (%N) จากจุดเก็บตัวอย่างและความเข้มข้นไนโตรเจน (%N) จากการประมาณค่า วิธี kriging (a) และ IDW (b)	48
18	แผนที่ความเข้มข้นของไนโตรเจน (%N) จังหวัดลพบุรี โดยวิธี Kriging (a) และวิธี IDW (b)	49
19	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P, mg/kg) จากจุดเก็บตัวอย่าง และฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P, mg/kg) จากการประมาณค่า โดยวิธี kriging (a) และ IDW (b)	50
20	แผนที่ระดับฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P, mg/kg) สกัดด้วย Bray II จังหวัดลพบุรี โดยวิธี Kriging (a) และวิธี IDW (b)	51
21	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable K, mg/kg) จากจุดเก็บตัวอย่าง และระดับโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable K, mg/kg) จากการประมาณค่าวิธี kriging (a) และ IDW (b)	52
22	แผนที่ระดับโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable K, mg/kg) สกัดด้วย Ammonium pH 7.0 จังหวัดลพบุรี โดยวิธี Kriging (a) และวิธี IDW (b)	53
23	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับเหล็กที่สกัดได้ (Extractable Fe, mg/kg) จากจุดเก็บตัวอย่าง และระดับเหล็กที่สกัดได้ (Extractable Fe, mg/kg) จากการประมาณค่า วิธี kriging (a) และ IDW (b)	54
24	แผนที่ระดับเหล็กที่สกัดได้ (Extractable Fe, mg/kg) สกัดด้วย DTPA จังหวัดลพบุรี โดยวิธี Kriging (a) และวิธี IDW (b)	55

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
25	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับแมงกานีสที่สกัดได้ (Extractable Mn, mg/kg) จากจุดเก็บตัวอย่าง และระดับแมงกานีสที่สกัดได้ (Extractable Mn, mg/kg) จากการประมาณค่า วิธี Kriging (a) และ IDW (b)	56
26	แผนที่ระดับแมงกานีสที่สกัดได้ (Extractable Mn, mg/kg) สกัดด้วย DTPA จังหวัดลพบุรี โดยวิธี Kriging (a) และวิธี IDW (b)	57
27	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับสังกะสีที่สกัดได้ (Extractable Zn, mg/kg) จากจุดเก็บตัวอย่าง และระดับสังกะสีที่สกัดได้ (Extractable Zn, mg/kg) จากการประมาณค่า	58
28	แผนที่ระดับสังกะสีที่สกัดได้ (Extractable Zn, mg/kg) สกัดด้วย DTPA จังหวัดลพบุรี โดยวิธี Kriging (a) และวิธี IDW (b)	59
29	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับค่าทองแดงที่สกัดได้ (Extractable Cu, mg/kg) จากจุดเก็บตัวอย่าง และระดับค่าทองแดงที่สกัดได้ (Extractable Cu, mg/kg) จากการประมาณค่า	60
30	แผนที่ระดับค่าทองแดงที่สกัดได้ (Extractable Cu, mg/kg) สกัดด้วย DTPA จังหวัดลพบุรี โดยวิธี Kriging (a) และวิธี IDW (b)	61
31	กราฟแสดงความสูงของข้าวโพดทั้ง 3 ช่วงอายุ	66
32	กราฟแสดงความกว้างทรงพุ่มของข้าวโพดทั้ง 3 ช่วงอายุ	68

สารบัญภาพภาคผนวก

ภาพภาคผนวกที่	หน้า
1 ชุดดินบ้านหมี่	84
2 ชุดดินชัยบาดาล	84
3 ชุดดินช่องแค	85
4 ชุดดินชัยนาท	85
5 ชุดดินโคกกระเทียม	86
6 ชุดดินลพบุรี	86
7 ชุดดินลำนารายณ์	87
8 ชุดดินลำสนธิ	88
9 ชุดดินป่าสัก	88
10 ชุดดินตาคลี	89
11 ชุดดินทับทิม	89
12 แผนที่ธรณีวิทยาจังหวัดลพบุรี	90
13 - 14 ภาพผลผลิตฝักข้าวโพดจากงานทดลองชาตู่สังกะสี	91
15 - 16 ภาพผลผลิตฝักข้าวโพดจากงานทดลองชาตู่เหล็ก	92
17 ภาพการปฏิบัติงานสำรวจ จำแนกดิน และเก็บตัวอย่างดินเนื้อปูน	93

แบบฟอร์มรายงานผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์

ชื่อโครงการวิจัย การศึกษาการกระจายตัวของดินเหนียวเพื่อจัดทำแผนที่สถานภาพของจุลธาตุและ
แนวทางการแก้ไขปัญหาคาดจุลธาตุบางชนิดในข้าวโพดที่ปลูกบนดินเหนียว
บริเวณพื้นที่ภาคกลางของประเทศไทย

Study on distribution of calcareous soil to create micronutrient status soil
map and amelioration of some micronutrient deficiency of corn in
calcareous soil on central area, Thailand.

ผู้รับผิดชอบ นางสาวนัทฐา ทักษิรัตนศรีณย์

กอง/สำนัก/เขต กลุ่มวางแผนการใช้ที่ดิน สำนักงานพัฒนาที่ดินเขต 1 กรมพัฒนาที่ดิน

ที่ปรึกษาโครงการ นายรัตนชาติ ช่วยบุตดา และนางสาววันวิสาข์ ปั่นศักดิ์

เริ่มต้น 1 ตุลาคม พ.ศ.2562 **สิ้นสุด** 30 กันยายน พ.ศ.2564

รวมระยะเวลาทั้งสิ้น 3 ปี 0 เดือน

ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานทั้งสิ้น

ปีดำเนินการ	ปีงบประมาณ	งบดำเนินงาน (บาท)
ปีที่ 1	2562	467,100
ปีที่ 2	2563	414,600
ปีที่ 3	2564	600,700
รวมทั้งสิ้น		1,482,400

แหล่งงบประมาณที่ใช้ งบประมาณประจำปีของกรมพัฒนาที่ดิน พร้อมนี้ได้แนบรายละเอียด

ประกอบตามแบบฟอร์มที่กำหนดมาแล้ว

ลงชื่อ.....
(นางสาวนัทฐา ทักษิรัตนศรีณย์)

ผู้รับผิดชอบโครงการ

ลงชื่อ.....
(นางนงนุช ศรีพุ่ม)

ประธานคณะกรรมการกลั่นกรองผลงานวิชาการ
ของหน่วยงานต้นสังกัด

ทะเบียนวิจัยเลขที่ 62-64-06-32-020001-013-103-01-11

ชื่อโครงการวิจัย การศึกษาการกระจายตัวของดินเหนียวเพื่อจัดทำแผนที่สถานภาพของจุลธาตุและ
แนวทางการแก้ไขปัญหาคาดจุลธาตุบางชนิดในข้าวโพดที่ปลูกบนดินเหนียว
บริเวณพื้นที่ภาคกลางของประเทศไทย

Study on distribution of calcareous soil to create micronutrient status soil
map and amelioration of some micronutrient deficiency of corn in
calcareous soil on central area, Thailand.

สถานที่ดำเนินการ สถานที่เก็บตัวอย่าง จังหวัดลพบุรี และจังหวัดสุพรรณบุรี ประเทศไทย

ผู้ดำเนินการ นางสาวนันทฐา ทักษิรัตน์ศรีณย์

ผู้ร่วมดำเนินการ นางสาวฐนชนก คำขจร, นางสาวกัญจน์รัชต์ ลขิตาวงศ์, นางสาวอรพิตา วรภักดี,
นายกฤติโสภณ ดวงกมล, นางสาวชนิดา เกิดชนะ, นายรัตนชาติ ช่วยบุตตา,
นางสาววันวิสาข์ ปั่นศักดิ์

บทคัดย่อ

การศึกษาในครั้งนี้มี 2 การทดลอง ระยะเวลาดำเนินการทั้งสิ้น 3 ปี (2562-2564) การทดลองที่ 1 การศึกษาการกระจายตัวของดินเหนียวปนโดยศึกษาร่วมกับชุดดินตัวแทนหลักที่เป็นดินเหนียวเพื่อหาความสัมพันธ์และแนวโน้มการแพร่กระจาย สำหรับจัดทำแผนที่สถานะภาพของจุลธาตุของดินเหนียวบริเวณพื้นที่ภาคกลางของประเทศไทย ผลการศึกษาพบว่าดินมีสมบัติค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 7.4-7.8 มีความเป็นด่างเล็กน้อย ปริมาณไนโตรเจนอยู่ในระดับต่ำ อยู่ในช่วง 0.1-0.3% ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับปานกลางถึงสูง 16-45 mg/kg โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับสูงมาก อยู่ในช่วงมากกว่า 120 mg/kg เหล็กและสังกะสีที่สกัดได้อยู่ในระดับขาดแคลน น้อยกว่า 2.5 และ 0.5 mg/kg ตามลำดับ แมงกานีสและทองแดงที่สกัดได้อยู่ในระดับเกินพออยู่ในช่วงมากกว่า 1 mg/kg และ 0.2 mg/kg ตามลำดับ การทำแผนที่จากการประมาณค่าโดยวิธี Kriging และ IDW การวิเคราะห์ทางสถิติมีค่าความแม่นยำ (RMSE) ทั้งสองวิธีไม่แตกต่างกัน

การทดลองที่ 2 การศึกษาแนวทางการแก้ไขปัญหการขาดจุลธาตุในข้าวโพดที่ปลูกบนดินเหนียวชุดดินตาคลี ทำแปลงทดลอง ณ ศูนย์ขยายพันธุ์พืชที่ 9 จังหวัดสุพรรณบุรี เพื่อหาแนวทางในการจัดการดินและปุ๋ยอย่างเหมาะสม โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ (RCBD) 5×3 รวม 15 ดำรับการทดลอง ศึกษาอัตราของปุ๋ยจุลธาตุ Zn และ Fe ตามดำรับการทดลองดังนี้ อัตราของปุ๋ยจุลธาตุสังกะสี $ZnSO_4$ 4 อัตรา 1, 2, 4, 8 mg Zn/ Kg soil และดำรับควบคุม (control) อัตราปุ๋ยเหล็ก FeEDDHA 4 อัตรา 10, 20, 40, 80 mg Fe/ Kg soil และดำรับควบคุม (control) ผลการทดลอง พบว่าปุ๋ยสังกะสีอัตรา 2 mg Zn/ Kg soil (0.64 Kg Zn /rai) และปุ๋ยเหล็กอัตรา 40 mg Fe/ Kg soil (12.8 kg Fe/rai) มีการเจริญเติบโตและผลผลิตข้าวโพดสูงสุด

Abstract

This study consists of 2 experiments from year 2019 - 2011. First experiment, the study on distribution of calcareous soil to create micronutrient status soil map. The results found that soil pH ranges from 7.4 to 7.8 (slightly alkaline). Total N (%) is low (0.1-0.3%). Available P is medium to high (16-45 mg/kg), Exchangeable K is very high (> 120 mg/kg). Extractable Fe and Zn are inadequate (< 2.5, 0.5 mg/kg). Extractable Mn and Cu are adequate (> 1, 0.2 mg/kg). We compared Kriging and IDW method for generating spatial variation of the map. The results shown that the precision (RMSE) of both methods were not difference.

Second experiment, amelioration of some micronutrient deficiency of corn in calcareous soil Takhli series. The experiment was carried out at Plant Propagation Center, Suphanburi province to figure out the appropriate managements of soil and fertilizers. The experimental design was randomized complete block design (RCBD) with 5 treatments with 3 replications total 15 treatments. Study the rate of Zn and Fe micronutrient fertilizer treatments as followed, ZnSO_4 4 rates 1, 2, 4, 8 mg Zn/ Kg soil and control, FeEDDHA 4 rates 10, 20, 40, 80 mg Fe/ Kg soil and control. The results shown that ZnSO_4 at the rate of 2 mg Zn/ Kg soil (0.64 Kg Zn /rai) and FeEDDHA 40 mg Fe/ Kg soil (12.8 kg Fe/rai) gave the highest growth and yield.

หลักการและเหตุผล

ดินเนือปูน (calcareous soil) หรือ ดินด่างจัด เป็นดินที่มีการสะสมเกลือคาร์บอเนตอยู่ในปริมาณสูงทำให้ดินมีค่าความเป็นกรด เป็นด่าง (pH) สูงกว่า 7.0 ในประเทศไทยพบดินเนือปูน ในเขตภาคกลางของประเทศ กระจายอยู่มากในจังหวัด ลพบุรี สระบุรี และนครสวรรค์ โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีปริมาณน้ำฝนน้อย และอากาศแห้งแล้งยาวนาน สาเหตุของการเกิดดินเนือปูน เกิดจากสภาวะแห้งแล้ง ปริมาณน้ำฝนน้อย ไม่เพียงพอต่อการชะเกลือออกจากพื้นที่ รวมทั้งแคลเซียม และแมกนีเซียม ทำให้เกิดการสะสมปูนบนผิวดิน หรืออาจเกิดจากระดับน้ำใต้ดินสูง โดยแคลเซียมคาร์บอเนตที่ละลายอยู่ในน้ำใต้ดินจะเคลื่อนย้ายมาสะสมบนผิวดิน ตกตะกอนเป็นแคลเซียมคาร์บอเนตในดิน ซึ่งการสะสมเกลือแคลเซียม แมกนีเซียม หรือโซเดียมไปคาร์บอเนตในดินทำให้ดินมีค่า pH เพิ่มขึ้น และอาจเกิดจากวัตถุต้นกำเนิดดินที่เป็นด่าง เช่น หินปูนแคลเซียมคาร์บอเนต และแมกนีเซียมคาร์บอเนต โดยดินเนือปูนจะมี basic cation exchange สูง ทำให้มีการขาดธาตุอาหารบางชนิด เช่น ฟอสฟอรัส เหล็ก และแมงกานีส เนื่องจากค่า pH สูงทำให้ธาตุอาหารบางชนิดละลายได้น้อยลง ดินมีการแตกระแหง เมื่อดินแห้ง ส่งผลให้ดินมีการระบายน้ำไม่ดี และดินมีลักษณะเหนียวมาก (เอิบ, 2553)

จุลธาตุ หรือ ธาตุอาหารเสริม (micronutrients) พืชต้องการใช้ในปริมาณน้อย (ต่ำกว่า 100 mg/kg) แต่มีความจำเป็นต่อพืช ถ้าขาดธาตุใดธาตุหนึ่งอาจทำให้พืชเจริญเติบโตไม่ครบชีพจักร จุลธาตุมีจำนวน 7 ธาตุ ได้แก่ เหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) โบรอน (B) โมลิบดีนัม (Mo) ทองแดง (Cu) สังกะสี (Zn) และคลอรีน (Cl) ส่วนใหญ่ดินเนือปูนจะขาด เหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) สังกะสี (Zn) และทองแดง (Cu) ในพืชเศรษฐกิจหลายชนิดที่มีความไวต่อการขาดจุลธาตุปลูกบนดินเนือปูน เช่น ข้าวโพด อ้อย และมันสำปะหลัง เป็นต้น มักขาดเหล็กและสังกะสี ซึ่งเหล็กทำหน้าที่กระตุ้นการผลิตคลอโรฟิลล์ เกี่ยวข้องกับระบบเอนไซม์ของการหายใจระดับเซลล์ กระตุ้นเอนไซม์การสังเคราะห์แสง และมีความสำคัญต่อกระบวนการเมแทบอลิซึม อาการขาดเหล็ก พืชมักแสดงอาการใบเหลืองโดยมีเส้นใบเขียว ใบอ่อนมีสีขาวยืด ส่วนสังกะสี ทำหน้าที่ในกระบวนการสังเคราะห์แป้ง ออกซิน คลอโรฟิลล์ เป็น cofactor ของเอนไซม์หลายชนิดที่มีผลต่อการสังเคราะห์แสง และการสังเคราะห์โปรตีน อาการขาดสังกะสี เช่น ใบอ่อนมีสีเหลืองซีด มีสีขาวยาวตามแผ่นใบโดยเส้นใบยังเขียวอยู่ (ยงยุทธ, 2546)

ดินเนือปูนที่มี pH สูง ในสภาวะดังกล่าวจุลธาตุ โดยเฉพาะเหล็กและสังกะสีจะตกตะกอนกับสารประกอบแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) ทำให้จุลธาตุถูกตรึง พืชไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ ซึ่งเป็นธาตุอาหารที่ไม่เคลื่อนย้ายในพืช (immobile) เมื่อพืชได้รับเหล็กและสังกะสีไม่เพียงพอ

อาการขาดจึงปรากฏที่ใบยอดหรือใบอ่อนมีสีขาวหรือสีซีดเหลือง (white bud) ซึ่งเกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์แสง ตันแคระแกร็น (stunted growth) มีข้อหรือปล้องสั้นกว่าปกติ (shortened internodes) เหล็กในใบพืชโดยทั่วไปอยู่ในช่วง 50-150 mg/kg (น้ำหนักแห้ง) พืชจะแสดงอาการขาดเหล็กเมื่อปริมาณเหล็กในใบน้อยกว่า 50 mg/kg (น้ำหนักแห้ง) และถึงแม้ว่าจะมีธาตุเหล็กในใบสูงกว่าเกณฑ์ดังกล่าว พืชอาจแสดงอาการขาดเหล็กโดยเฉพาะพืชที่ปลูกบนดินเหนียว เรียกว่า ภาวะพร่องคลอโรฟิลล์ซึ่งเหนี่ยวนำด้วยปูน (lime-induced chlorosis) เมื่อ HCO_3^- ในสารละลายดินสูงจะมีผลต่อการดูด เคลื่อนย้าย และการใช้เหล็กภายในพืชโดยตรงและโดยอ้อม (Marshner, 1995) สังกะสีในพืชโดยทั่วไปอยู่ในช่วง 25-150 mg/kg (น้ำหนักแห้ง) พืชจะแสดงอาการขาดสังกะสีเมื่อปริมาณสังกะสีในใบน้อยกว่า 10-20 mg/kg (น้ำหนักแห้ง) ขึ้นอยู่กับชนิดของพืช (Havlin *et al.*, 2005; Alloway, 2008) สังกะสีสะสมในส่วนต่างๆ ของพืชในปริมาณแตกต่างกัน โดยส่วนของลำต้นมากกว่าใบและผล ตามลำดับ (Brown *et al.*, 1966; Sauchelli; 1969)

การจะทราบสถานภาพของจุลธาตุในดินจะต้องเก็บตัวอย่างดินเพื่อนำมาวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ ไม่สามารถมองเห็นหรือประเมินได้ด้วยตาเปล่า เกษตรกรไม่นิยมวิเคราะห์ดินเนื่องจากใช้ระยะเวลานาน และค่าใช้จ่ายสูง หากเกษตรกรวิเคราะห์ดิน ส่วนใหญ่จะตรวจสอบเฉพาะ ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม (K) บางส่วนนิยมวิเคราะห์ดินโดยใช้ชุดตรวจสอบอย่างรวดเร็ว (test kit) ซึ่งสามารถตรวจสอบได้เฉพาะไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม (K) ปัจจุบันยังไม่มี test kit สำหรับตรวจสอบจุลธาตุ อีกทั้งไม่คุ้มทุน จึงควรมีการประเมินและจัดทำแผนที่สำหรับจุลธาตุในดินเหนียว ซึ่งสามารถใช้ประโยชน์ได้หลายปีไม่เปลี่ยนแปลงง่ายเหมือนกรณีธาตุอาหารหลัก ดังนั้นการสร้างฐานข้อมูลสถานภาพของจุลธาตุของดินเหนียวเป็นประโยชน์สำหรับการจัดการด้านธาตุอาหารพืชสำหรับเกษตรกร

งานวิจัยนี้จึงเป็นการศึกษาสำรวจเพื่อจัดทำฐานข้อมูลทรัพยากรดิน โดยการสำรวจและจำแนกดินเหนียวในจังหวัดลพบุรี ปัจจุบันกรมพัฒนาที่ดินซึ่งเป็นหน่วยงานหลักในการจัดทำฐานข้อมูลด้านทรัพยากรดินของประเทศไทย จัดทำแผนที่ดินในรูปแบบดิจิทัล มาตราส่วน 1:25,000 ซึ่งมีความถูกต้องและทันสมัย ทั้งนี้กรมพัฒนาที่ดิน ยังไม่มีฐานข้อมูลการกระจายตัวของดินเหนียว และแผนที่สถานภาพของจุลธาตุ พื้นที่ศึกษาจังหวัดลพบุรีพบการกระจายตัวของชุดดินที่เป็นดินเหนียวอย่างกว้างขวาง ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ปลูกพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย เช่น ข้าวโพด อ้อย มันสำปะหลัง ทานตะวันและพืชตระกูลถั่วต่างๆ มักพบพืชแสดงอาการขาดจุลธาตุ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการรวบรวมผลการวิเคราะห์

ดิน เพื่อหาความสัมพันธ์ และแนวโน้มการกระจายตัว ตลอดจนทำการวางแผนเก็บตัวอย่างเพิ่มเติมเพื่อเป็นตัวแทนของดินเนื้อปูนที่กระจายครอบคลุมพื้นที่ โดยมีการใช้โปรแกรมสารสนเทศภูมิศาสตร์เข้ามาช่วยในการจัดสร้างแผนที่แสดงสถานภาพจุลธาตุ (Fe, Mn, Zn. และ Cu) โดยใช้วิธีการประมาณค่าข้อมูลเชิงพื้นที่เพื่อเปรียบเทียบวิธี Inverse Distance Weighted (IDW) และวิธี Kriging

การวิจัยในครั้งนี้ แบ่งเป็น 2 การทดลองดังนี้ การทดลองที่ 1 การศึกษาการกระจายตัวของดินเนื้อปูนเพื่อจัดทำแผนที่สถานภาพของจุลธาตุบริเวณพื้นที่ภาคกลางของประเทศไทย การศึกษานี้จะเป็นประโยชน์ในการช่วยสนับสนุนฐานข้อมูลสำหรับชุดดินที่เป็นตัวแทนหลักที่เป็นดินเนื้อปูนของประเทศไทย ให้มีความทันสมัย ทราบการกระจายตัวของดินเนื้อปูนและทราบสถานภาพของจุลธาตุของดินเนื้อปูน ตลอดจนสามารถวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ซึ่งอยู่ในรูปแบบดิจิทัล นักวิชาการ นักวิจัยและเกษตรกรสามารถนำแผนที่ที่ได้มาประยุกต์ใช้ในการจัดการดินและปุ๋ยได้อย่างสะดวก รวดเร็วยิ่งขึ้น อีกทั้งเป็นงานวิจัยที่ตอบสนองต่อนโยบายของรัฐบาลในการใช้เทคโนโลยีเพื่อช่วยลดต้นทุนการผลิตและยกระดับการเกษตรของประเทศไทย (Thailand 4.0)

การทดลองที่ 2 การศึกษาแนวทางการแก้ไขปัญหาการขาดจุลธาตุในข้าวโพดที่ปลูกบนดินเนื้อปูน บริเวณพื้นที่ภาคกลางของประเทศไทย เพื่อหาแนวทางในการจัดการด้านดินและปุ๋ยอย่างเหมาะสม เพื่อช่วยยกระดับคุณภาพและผลผลิตพืชและลดต้นทุนแก่เกษตรกร

วัตถุประสงค์

1. การศึกษาการกระจายตัวของดินเหนียวเพื่อจัดทำแผนที่สถานภาพของจุลธาตุของดินเหนียวบริเวณพื้นที่ภาคกลางของประเทศไทย กรณีศึกษาจังหวัดลพบุรี
2. การศึกษาเพื่อหาแนวทางการแก้ไขปัญหการขาดจุลธาตุในข้าวโพดที่ปลูกบนดินเหนียวบริเวณพื้นที่ภาคกลางของประเทศไทย

ตรวจเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. การตรวจเอกสาร

1.1 ดินเนือปูน (calcareous soil)

ดินเนือปูน (calcareous soil) ดินที่มีแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) อิสระ และเกลือคาร์บอเนตอื่นๆ ในปริมาณมากโดยมีสมมูลแคลเซียมคาร์บอเนตอยู่ระหว่าง 10-1,000 กิโลกรัมของดินสามารถทดสอบได้โดยทำปฏิกิริยากับกรดไฮโดรคลอริก (HCl) 0.1 molar จะเกิดฟองฟูของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (พจนานุกรมศัพท์ปฐพีศาสตร์ ฉบับราชบัณฑิตยสถาน, 2562) ดินต่างประเทศที่มีหินปูน (limestone) เป็นวัตถุดิบกำเนิดที่สำคัญ และมีปูนในรูปของแร่แคลไซต์สะสมอยู่ปริมาณมาก 60-70% โดยอาจมีปูนชนิดอื่นที่สำคัญ เช่น ในรูปของแร่โดโลไมต์ (dolomite) ปะปนอยู่ โดยแร่โดโลไมต์เป็นแร่ปฐมภูมิ แต่แร่แคลไซต์พบได้ทั้งปฐมภูมิและทุติยภูมิ ในสารละลายดินซึ่งมีแมกนีเซียมอยู่สูง การเกิดแร่แคลไซต์ทุติยภูมิเกิดการตกตะกอนร่วมกับแมกนีเซียมคาร์บอเนต (MgCO_3) เกิดเป็นแร่แมกนีเซียมแคลไซต์ (เอิบ, 2538) ดินเนือปูนมีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) อยู่ในช่วง 7.3-8.5 ดังนั้นปัญหาที่สำคัญของดินคือ ความเป็นประโยชน์และการละลายของจุลธาตุบางชนิดมีน้อยมาก เช่น เหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) สังกะสี (Zn) และทองแดง (Cu) เป็นต้น

1.1.1 สาเหตุการเกิดดินเนือปูน

- (1) เกิดจากวัตถุดิบกำเนิดดินที่เป็นต่าง เช่น หินปูนแคลเซียมคาร์บอเนตและแมกนีเซียมคาร์บอเนต ทำให้ดินมีค่า pH สูงกว่า 7.0
- (2) เกิดจากสภาวะแห้งแล้ง ปริมาณฝนน้อย ไม่เพียงพอต่อการชะละลายเกลือต่างๆ รวมทั้งแคลเซียม และแมกนีเซียมคาร์บอเนต ทำให้เกิดการสะสมหินปูนในดิน
- (3) เกิดจากระดับน้ำใต้ดินสูง โดยแคลเซียมไบคาร์บอเนตที่ละลายอยู่ในน้ำใต้ดินจะเคลื่อนย้ายมาสะสมที่ผิวดิน และตกตะกอนเป็นแคลเซียมคาร์บอเนตในดิน ซึ่งการสะสมเกลือแคลเซียมแมกนีเซียม หรือโซเดียมไบคาร์บอเนตในดิน ทำให้ดินมีค่า pH สูงขึ้น

1.1.2 ปัญหาต่อการปลูกพืช

- (1) ปัญหาการขาดธาตุอาหารบางธาตุ เช่น ฟอสฟอรัส เหล็ก แมงกานีส สังกะสี และทองแดง ทำให้ผลผลิตและคุณภาพของพืชลดลง
- (2) การแตกกระแหงของดินเมื่อดินแห้ง ซึ่งเป็นสมบัติเด่นของดินกลุ่มนี้ที่มีการยึดหดตัวสูงของแร่ดินเหนียวเมื่อความชื้นเปลี่ยนแปลง ทำความเสียหายต่อรากพืช และเป็นอุปสรรคต่อการใช้เครื่องจักรกลทางการเกษตร
- (3) การระบายน้ำเลว เนื่องจากเนื้อดินที่เป็นดินร่วนปนดินเหนียวถึงดินเหนียว

1.1.3 แนวทางการจัดการดินเนื้อปน

- (1) เลือกปลูกพืชที่เหมาะสม ซึ่งพืชที่ชอบสภาพดินเนื้อปน เช่น ข้าวโพด และถั่วลิสง สำหรับไม้ผลที่ปลูกได้ดี เช่น ขนุน น้อยหน่า และมะพร้าว ในบริเวณที่ลุ่มสามารถทำนาข้าวได้
- (2) การใส่ปุ๋ย หากพืชที่ปลูกแสดงอาการขาดธาตุเหล็กหรือสังกะสี อาจให้ปุ๋ยในรูปสารละลายเกลือของธาตุดังกล่าว หรือให้ปุ๋ยทางใบซึ่งธาตุอาหารจะอยู่ในรูปสารคีเลต
- (3) ใส่ปุ๋ยพวกที่มีฤทธิ์ตกค้างเป็นกรด เช่น แอมโมเนียมซัลเฟต เป็นต้น
- (4) ใส่สารเคมีบางชนิด เช่น ธาตุกำมะถัน ในขณะที่ดินชั้น เพราะธาตุกำมะถันจะเปลี่ยนเป็นกรดซัลฟูริก มีฤทธิ์เป็นกรด จึงสามารถลดความเป็นด่างของดินลงได้

1.2 ธาตุอาหารพืช

ธาตุอาหารพืช คือ ธาตุหรือกลุ่มธาตุที่พืชดูดดึงนำไปใช้ในกระบวนการเมตาบอลิซึมต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโต หรือนำไปใช้ในการสร้างอาหารเพื่อเป็นเนื้อเยื่อพืช จากการจำแนกธาตุอาหารพืชตามปริมาณความต้องการของพืชทั้งหมด 17 ธาตุ ได้แก่ คาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) ออกซิเจน (O) ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม (K) โบรอน (B) คลอรีน (Cl) ทองแดง (Cu) แมงกานีส (Mn) โมลิบดีนัม (Mo) สังกะสี (Zn) เหล็ก (Fe) และ นิกเกิล (Ni) (ยงยุทธ, 2546)

1.2.1 จำแนกธาตุอาหารพืชตามปริมาณความต้องการของพืช

(1) มหัพภาคหรือมหธาตุ (Macro elements) คือ ธาตุที่พืชต้องการในปริมาณมาก (สูงกว่า 500 mg/kg) จึงเพียงพอต่อการเจริญเติบโต มีดังนี้ ธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) และโพแทสเซียม (K) ซึ่งเป็นธาตุอาหารหลักที่พืชต้องการในปริมาณมาก ดังนั้น ในดินธรรมชาติ ธาตุทั้ง 3 มักมีปริมาณไม่เพียงพอต่อความต้องการของพืช ส่งผลให้มีการผลิตปุ๋ยชนิดต่าง ๆ เพื่อการเกษตร มีธาตุทั้ง 3 เป็นแกนหลักในการเร่งการเจริญเติบโตของพืช และส่งเสริมผลผลิต ธาตุอาหารรอง ได้แก่ แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) และกำมะถัน (S) ซึ่งเป็นธาตุอาหารที่พืชต้องการรองลงมา จากธาตุอาหารหลัก โดยทั่วไป ธาตุเหล่านี้ในดินธรรมชาติมักมีปริมาณเพียงพอต่อความต้องการของพืช (ยงยุทธ, 2546)

(2) จุลธาตุ (Micro elements) คือ ธาตุที่พืชต้องการในปริมาณน้อย (ต่ำกว่า 100 mg/kg) แต่มีความจำเป็นต่อพืช ถ้าขาดธาตุใดธาตุหนึ่งอาจทำให้พืชเจริญเติบโตไม่ครบชีพจักร ได้แก่ โบรอน (B) คลอรีน (Cl) ทองแดง (Cu) แมงกานีส (Mn) โมลิบดีนัม (Mo) สังกะสี (Zn) เหล็ก (Fe) และ นิกเกิล (Ni) (ยงยุทธ, 2546)

1.2.2 บทบาทของจุลธาตุ (Fe, Mn , Zn, Cu)

จุลธาตุในปริมาณที่น้อย คือ ไม่เกิน 100 mg/kg แต่จุลธาตุทุกธาตุมีบทบาทสำคัญในกระบวนการเมแทบอลิซึมของพืช ดังนี้

1.1 เหล็ก (Fe)

1. รูปของเหล็ก (Fe) ในดิน

เหล็กอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชเมื่อ pH 7 ขึ้นไป ปริมาณของเหล็กในพืชแปรปรวนไปตามชนิดพืชโดยทั่วไปอยู่ในช่วง 50-250 mg/kg (น้ำหนักแห้ง) ถ้าหากค่าความเข้มข้นของเหล็กต่ำกว่า 50 mg/kg อาจมีแนวโน้มที่จะขาดธาตุเหล็ก ธาตุเหล็กในพืชมีส่วนในการสร้างคลอโรฟิลล์ให้แก่พืช สารประกอบหลายชนิด อยู่ในเฮโมโกลบินโปรตีน ได้แก่ cytochrome และอยู่ในส่วนของเอนไซม์ ได้แก่ catalase และ peroxidase การขาดเหล็ก จะยับยั้งการเจริญเติบโตทางกิ่งใบ และการสร้างของตาดอก มีผลต่อจำนวนตาดอก และปริมาณผลผลิต พืชอาจแสดงอาการขาดเหล็กโดยเฉพาะพืชที่ปลูกบนดินเหนียว เรียกว่า ภาวะพร่องคลอโรฟิลล์ซึ่งเหนี่ยวนำด้วยปูน (lime-induced chlorosis) โดยเหล็ก (Fe) ในดินมี 2 ส่วน คือ 1) เหล็กในสารประกอบที่ละลายช้าและละลายยาก เช่น แร่ไพรอกซีน แอมฟิโบล ไพไรต์ โลมอนด์ และฮีมาไทต์ เป็นสารที่ละลายยากจึงไม่เป็นประโยชน์ต่อพืช เมื่อสลายตัวทางเคมีและปลดปล่อยในรูปของ ferrous ion (Fe^{2+}) หรือ ferric ion (Fe^{3+}) พืชจึงใช้ประโยชน์ได้ 2) รูปที่เป็นประโยชน์สำหรับพืช คือ ferrous ion (Fe^{2+}) และ ferric ion (Fe^{3+}) ในสารละลายดินหรือที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable Fe) และรวมไปถึงเหล็กคีเลตซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างเหล็กไอออนกับสารคีเลตธรรมชาติ เช่น กรดฮิวมิก สำหรับ ferric ion (Fe^{3+}) เป็นรูปที่ไม่ค่อยละลายน้ำพืชจึงใช้ประโยชน์ได้ยากมาก

โดยปกติสารละลายดินมี ferric ion (Fe^{3+}) น้อยกว่า ferrous ion (Fe^{2+}) และการละลายของเหล็ก (Fe) ขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของดิน กล่าวคือ ละลายได้มากในดินกรด และละลายได้น้อยในดินด่าง ดังนั้นเมื่อดินมี pH สูงเหล็กไอออนในสารละลายดิน จึงมีความเข้มข้นต่ำลง ในช่วง pH ของดินที่พืชเจริญได้จะมี ferrous ion (Fe^{2+}) และ ferric ion (Fe^{3+}) ต่ำกว่า 10^{-15} molar เหล็กรูปที่เป็นประโยชน์อยู่ในรูป ferric chelate เป็นส่วนมากที่เหลือเป็น ferrous chelate กลไกหลักที่รากพืชใช้เพื่อละลายสารประกอบเหล็กในภาวะที่มีอาการขาดเหล็กมี 2 แบบ คือ 1) การเพิ่มสภาพกรดในดินบริเวณรอบรากพืช เนื่องจากสารประกอบ ferric ion (Fe^{3+}) ละลายได้มากขึ้นเมื่อ pH ต่ำลง 2) รีดิวซ์สารประกอบ ferric ion (Fe^{3+}) ให้เป็น ferrous ion (Fe^{2+}) กระบวนการรีดักชันของ ferric ion (Fe^{3+}) ในดินอาจเกิดได้ คือ รากขับสารรีดิวซ์ เช่น กรดแอสคอร์บิก จากรากสู่ดิน หรือ การรีดิวซ์ ferric ion (Fe^{3+}) ที่ผิวเยื่อหุ้มเซลล์ของรากโดยอิเล็กตรอนในระบบปฏิกิริยาของเนื้อเยื่อ เนื่องจากพบว่าขณะอยู่ในสภาพขาด

เหล็ก พืชมักดูดใช้เหล็ก (Fe) ในรูปของ ferrous ion (Fe^{2+}) ได้มากกว่า ferric ion (Fe^{3+}) เมื่อพืชขาดธาตุเหล็ก (Fe) รากพืชอาจขับสารประกอบฟีนอลิกเพื่อช่วยละลายสารประกอบเหล็กในดิน ทำให้รากดูดธาตุเหล็ก (Fe) ได้มากขึ้น

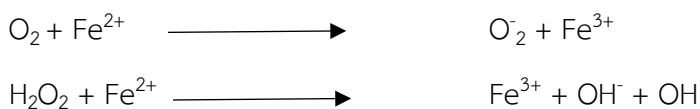
2. สภาพแวดล้อมที่มีผลต่อความเป็นประโยชน์ของเหล็กในดิน และในพืช

(1) ความเป็นประโยชน์ของเหล็กในดิน

ซิเดโรฟอร์ (siderophores) ไฟโตซิเดโรฟอร์ (phytosiderophores) ความเป็นประโยชน์ของเหล็กในดินต่อพืชขึ้นอยู่กับกิจกรรมของจุลินทรีย์ดิน จุลินทรีย์ดินส่วนมากเป็นกลุ่มใช้ออกซิเจน (aerobic) และแบคทีเรียที่เจริญได้ทั้งที่มีและไม่มีอากาศ (facultive anaerobic microorganisms) สามารถสังเคราะห์สารซิเดโรฟอร์ (siderophores) และขับออกมา เชื้อราสังเคราะห์ไฮดรอกซามาเตซิเดโรฟอร์ (hydroxamate siderophores) ขณะที่แบคทีเรียสังเคราะห์ฟีนอลคาทีโคเลต (phenolcatechol) หรือคาร์บอกซีเลต (carboxylate) ซิเดโรฟอร์เป็นลิแกนด์ (ligand) น้ำหนักโมเลกุลต่ำ มีความจำเพาะต่อเหล็กสูง จึงรวมตัวกับ ferric ion (Fe^{3+}) ได้ดีเลิศที่เป็นประโยชน์ต่อพืชทั้งเยื่อหุ้มเซลล์ของรากพืชมีกลไกดูด ferric siderophore ดังนั้นการสังเคราะห์ซิเดโรฟอร์ของจุลินทรีย์ดินจึงช่วยเพิ่มความเป็นประโยชน์ของเหล็กในดิน นอกเหนือจากที่จุลินทรีย์จะนำไปใช้ประโยชน์เองแล้ว รากพืชยังนำ ferric siderophore ในเขตรากพืชมาใช้ได้โดยตรง

(2) ความเป็นประโยชน์ของเหล็กต่อพืช

เหล็กที่เซลล์รากพืชดูดมาแล้วจะเคลื่อนย้ายระยะไกลทางไซเลมในรูปของสารประกอบ ferric complex หรือสารประกอบ peptide-carbohydrate การที่เหล็กมีสัมพรรคภาพสูง (กรดอินทรีย์ หรือสารอนินทรีย์ฟอสเฟต) ทำให้เหล็กซึ่งเข้าสู่พืชแล้วไม่เหมาะที่จะอยู่ในรูปไอออน แต่จะเปลี่ยนเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่เคลื่อนย้าย หรือทำปฏิกิริยาต่างๆของเซลล์ นอกจากนี้การใช้ออกซิเจนในเซลล์เหล็กคือเลตโมเลกุลขนาดเล็ก และ ferrous ion (Fe^{2+}) อีสาระสามารถทำปฏิกิริยาและผลิตอนุมูลออกซิเจนกับไฮดรอกซิล ดังนี้



อนุมูลเหล่านี้อาจก่อให้เกิดความเสียหายต่อเนื้อเยื่อ โดยทำปฏิกิริยาเพอร์ออกซิเดชัน (peroxidation) กับกรดไขมันไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบของเนื้อเยื่อ ดังนั้นเพื่อป้องกันผลเสียที่เกิดตามมา จึงต้องใช้เหล็กเข้าร่วมตัวอย่างเหนียวแน่น หรืออยู่ในโครงสร้างของอินทรีย์เชิงซ้อน เช่น ฮีม หรือฮีมิน

โปรตีน (heme and nonheme protein) ซึ่งต้องการออกซิเดชัน-รีดักชันของสารเหล่านี้เป็นแบบมีการควบคุมให้ผันกลับได้ เหล็กในใบพืชมีทั้งที่อยู่ในรูป ferrous ion (Fe^{2+}) และ ferric ion (Fe^{3+}) เหล็กในรูป ferric ion (Fe^{3+}) เป็นองค์ประกอบของโปรตีนที่มีเหล็กและกำมะถัน (Fe-S-proteins) ไซโทโครม (cytochromes) และไฟโตเฟอรริทิน (phytoferritin) สำหรับรูป ferrous ion (Fe^{2+}) ใช้เป็นโคแฟกเตอร์ของเอนไซม์

เหล็กในสารประกอบของระบบรีดอกซ์ (redox system) มีโปรตีน 2 ประเภทที่เหล็กเป็นองค์ประกอบ คือ ฮีมโปรตีน (heme proteins) และโปรตีนที่มีเหล็กและกำมะถัน

(1) ฮีมโปรตีน ได้แก่ 1. ไซโทโครม (cytochromes) ซึ่งมีบทบาทสำคัญในระบบรีดอกซ์ของคลอโรพลาสต์ และไมโทคอนเดรีย 2. ไซโทโครออกซิเดส (cytochrome oxidase) เป็นเอนไซม์ที่มีกิจกรรมในขั้นตอนสุดท้ายของการหายใจ 3. ฮีมเอนไซม์ (heme enzymes) ชนิดอื่นได้แก่ คาตาเลส (catalase) และเพอร์ออกซิเดส (peroxidase) เมื่อพืชขาดเหล็กทำให้กิจกรรมเอนไซม์ทั้ง 2 ชนิดต่ำมาก และ 4 leghemoglobin ในปมรากของถั่ว

(2) โปรตีนที่มีเหล็ก และกำมะถัน (Fe-S-protein) ในฮีมโปรตีนเหล็กจับกับหมู่ไทออล (thiol group) ของซิสเทอีน (cysteine) หรือกำมะถันรูปอนินทรีย์ หรือทั้งสองแบบแล้วเชื่อมโยงเป็นกลุ่มโปรตีนชนิดนี้ คือ เฟอรัดอกซิน (ferredoxin) ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวส่ง (transmitter) อิเล็กตรอนในกระบวนการที่สำคัญ เช่น การสังเคราะห์แสง การรีดิวซ์ไนโตรเจน การรีดิวซ์ซัลเฟต และการตรึงไนโตรเจน (ยงยุทธ, 2546)

3. อาการขาดธาตุเหล็ก

การขาดเหล็ก (Fe) ในดิน ดินไรในสภาพที่มีการถ่ายเทอากาศดี พืชอาจแสดงอาการขาดเหล็ก (Fe) ได้ ดังนั้นเหล็ก (Fe) ส่วนใหญ่อยู่ในสภาพละลายยาก ในดินเหนียวปูน (calcareous soil) ซึ่งพบกระจายอยู่ทั่วไปบริเวณที่เป็นที่ดอนของจังหวัดลพบุรี การใช้เหล็กของพืชโดยตรงและโดยอ้อม มีอิทธิพลของ HCO_3^- ในดิน ดังนี้

(1) สารละลายดินมี pH สูง และมีสภาพบัฟเฟอร์ ทำให้การละลายของเหล็กต่ำ

(2) สารละลายภายนอกที่มี pH สูงนั้นทำให้กลไกการสูบโปรตอนออก (H^+ -efflux pump) ทำงานไม่ได้ผล เนื่องจาก H^+ ที่ออกมาทำปฏิกิริยากับ HCO_3^- หมด

(3) รากปลดปล่อยสารฟีนอลออกมาน้อยลง

(4) มีการรีดิวซ์ ferric ion (Fe^{3+}) ได้เฉพาะเยื่อหุ้มเซลล์ เนื่องจากขาดสารรีดิวซ์หลักในดิน

(5) เมื่อรากอยู่ในสารละลายที่มี HCO_3^- สูงการสังเคราะห์กรดอินทรีย์ภายในรากจะสูงตามไปด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพืชที่ไม่ทนดินปูน (calcifuge) กรดอินทรีย์เหล่านี้รวมตัวกับเหล็กเป็นคีเลตแล้วเก็บไว้ในแวคิวโอลของราก

(6) การดึงเหล็กเข้าไปสะสมในแวคิวโอลของราก ทำให้เหล็กเพียงส่วนน้อยเคลื่อนย้ายทางไซเลมไปยังส่วนเหนือดิน

(7) รากที่อยู่ในสารละลายซึ่งมี HCO_3^- สูงได้รับผลกระทบ 2 ประการ คือ การยืดตัวของรากลดลง และแรงดันภายในรากน้อยลง พลังงานที่ใช้ขับเคลื่อนตัวละลายทางไซเลมจากรากไปยังส่วนเหนือดินจึงต่ำลง เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เหล็กไปถึงใบที่กำลังเจริญเติบโตน้อยกว่าเดิม และการกระจายในใบพืชยังไม่สม่ำเสมอ

(8) ใบพืชที่มีอาการเหลืองซีดซึ่งเหี่ยวงอด้วยปูนมีความเข้มข้นของเหล็กสูงแต่ใบนั้นมีขนาดเล็กและหยุดการพัฒนาของคลอโรพลาสต์ (ยงยุทธ, 2546)

พืชที่ขาดธาตุเหล็กจะแสดงอาการขาดที่ยอดก่อน เพราะธาตุเหล็กเป็น immobile element อาการขาดโดยทั่วไปคือ ใบอ่อนหรือยอดจะมีสีขาวซีดหรือเหลืองผิดปกติ (chlorosis) ต่อมาจะตายจากยอดลงมาโดยที่ใบล่างๆยังมีสีเขียว (ภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 อาการขาดธาตุเหล็ก (Fe) ในข้าวโพดและมันสำปะหลัง

ที่มา : International Plant Nutrition Institute (2011)

ที่มา : แปลงเกษตรกรที่ปลูกมันสำปะหลัง จ.ลพบุรี ปี 2562

4.การแก้ไขอาการขาดธาตุเหล็ก

การขาดธาตุเหล็กแก้ไขได้โดยการใส่เกลือของเหล็ก (inorganic Fe salts) เช่น FeSO_4 ลงไปในดินหรือละลายน้ำแล้วฉีดสเปรย์ลงไปที่ใบพืช (foliar treatment) แต่เหล็ก (Fe) ที่อยู่ในรูปเกลือเมื่อละลายน้ำมักจะเป็นสภาพไปอยู่ในสภาพที่ละลายได้ยาก คือ รูปลูกไซด์ (Fe oxides) ทำให้พืชใช้ประโยชน์ได้น้อย ดังนั้นการใช้เหล็กเพิ่มเติมแก่พืชโดยวิธีนี้จำเป็นต้องทำบ่อยครั้งถึงจะเห็นผล หรือใช้สารประกอบคีเลต (iron chelates) ซึ่งสามารถละลายน้ำและฉีดกับพืชโดยตรงหรือใส่ลงไปในดิน เหล็กในรูปคีเลตจะถูกป้องกันไม่ให้เปลี่ยนไปอยู่ในรูปของ Fe-oxide ได้ง่าย

คีเลต หรือ Fe-ethylenediamine-di (o-hydroxy-phenylacetic acid) (Fe-EDDHA) นำมาใช้แก้ปัญหการขาดเหล็ก ในดินเหนียวปน โดยใช้ Fe-chelates ที่ เช่น Fe-EDTA, Fe-DTPA และ Fe-EDDHA เดิมผลิตขึ้นมาเพื่อใช้ที่ดินเหนียวปน ในการแก้ไขการขาดแคลนธาตุเหล็ก ทองแดง แมงกานีส และสังกะสี แทนการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ ไม่ค่อยได้ผล เมื่อมีการใช้ปุ๋ยธาตุนี้ในรูปคีเลตที่เหมาะสม พบว่าพืชใช้ประโยชน์ได้ดีกว่า เนื่องจากไม่ถูกไอออนในดิน เช่น แคลเซียม และแมกนีเซียม ซึ่งมีมากเข้าแทนที่โดยง่าย จุลธาตุอาหารจึงไม่ตกตะกอนเมื่อดินมี pH สูง คีเลตคงสภาพในดินได้นานพอที่พืชดึงดูดไปใช้ได้ คีเลตมีราคาแพงจึงไม่นำมาใช้เป็นปุ๋ยทางดิน แต่ได้นำมาใช้โดยวิธีอื่น ให้ประสิทธิภาพที่สูง คือ ฉีดพ่นทางใบ และใส่ในสารละลายธาตุอาหารพืชในระบบปลูกไม้ใช้ดิน หรือการให้ปุ๋ยพร้อมระบบให้น้ำจุลธาตุ จำหน่ายอยู่ในรูปคีเลต เช่น เหล็ก สังกะสี แมงกานีส และทองแดง (ยกเว้นโบรอน และโมลิบดีนัม) รูปแบบเหล็ก คีเลตที่นิยมนำมาใช้ในการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน (ดิเรก, 2550) คือ 1) Fe-EDTA (Ethylenediamine tetra acetic acid) สามารถคงสภาพที่พืชใช้ได้ ในช่วง ค่า pH = 1-6 2) Fe-DTPA (Diethylenediamine tent acetic acid) สามารถคงสภาพที่พืชใช้ได้ ในช่วงค่า pH = 2-7 แสงแดดทำให้เสื่อมสภาพ 3) Fe-EDTA และ Fe-DTPA มีการใช้มากที่สุด ปกติแล้วเหล็กคีเลตทุกชนิดสามารถใช้ผสมกันได้สิ่งที่ควรระวัง คือ ในการเก็บรักษาต้องระวังแสงแดดที่จะทำให้เสื่อมสภาพและค่า pH ของสารละลาย เนื่องจากความเป็นประโยชน์ของสารละลายจะขึ้นอยู่กับค่า pH สารที่อาจเกิดขึ้นโดยธรรมชาติหรือสารสังเคราะห์ ได้แก่ กรดอินทรีย์ กรดอะมิโน โปรตีน เป็นต้น ซึ่งสารพวกนี้เป็นสารที่ให้ไอออนของโลหะ หรือจุลธาตุอาหารยึดเกาะและรวมตัวเป็น สารประกอบคีเลต ซึ่งเป็นสารประกอบที่มีความคงตัว และสามารถปลดปล่อยธาตุอาหารให้แก่พืชได้ทีละน้อย (ชิดชนก, 2550)

1.2 แมงกานีส (Mn)

แมงกานีส (Mn) ในดินที่รากพืชดูดมาให้ได้ คือ Mn^{2+} ในสารละลายดิน และแมงกานีสไอออน (Mn^{2+}) ที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable Mn^{2+}) สองส่วนนี้ได้มาจากการสลายตัวของแร่ปฐมภูมิ

และแร่ทุติยภูมิบางชนิด เช่น สารประกอบแมงกานีสออกไซด์ ซัลไฟด์ และซิลิเกต ในดินที่มีการถ่ายเทอากาศดีแมงกานีสส่วนใหญ่ตกตะกอนเป็น MnO_2 (pyrolusite) ความเป็นประโยชน์ของแมงกานีส (Mn) ในดินขึ้นอยู่กับ 3 ปัจจัย คือ 1) การระบายอากาศ เมื่อดินมีการระบายอากาศดีแมงกานีส (Mn) ส่วนใหญ่อยู่ในรูป MnO_2 ซึ่งละลายยาก แต่สภาพรีดักชันในดินช่วยให้แมงกานีส (Mn) ถูกรีดิวซ์เป็นแมงกานีส (Mn^{2+}) ซึ่งละลายได้ง่ายขึ้น 2) pH ของดิน แมงกานีส (Mn) ละลายได้ดีใน pH ต่ำกว่า 7.0 และการละลายจะลดลงเมื่อ pH สูงขึ้น และ 3) แมงกานีส (Mn) ละลายได้ดีในดินที่มีอินทรีย์วัตถุสูง เนื่องจากการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุจะให้อิเล็กตรอนเพื่อรีดิวซ์แมงกานีส (Mn) เป็นแมงกานีส (Mn^{2+}) ซึ่งละลายง่ายมาก

พืชดูดใช้ธาตุแมงกานีสได้ดีที่สุดในดิน pH 4.5-5.5 แมงกานีสเป็นธาตุไม่เคลื่อนย้ายในต้นพืช ในใบพืชที่สมบูรณ์มีแมงกานีส 20-250 mg/kg ต่อน้ำหนักแห้ง พืชทั่วไปที่แสดงอาการขาดแมงกานีสที่ระดับต่ำกว่า 15-25 mg/kg แต่ถ้าหากมีสูงกว่า 550 mg/kg อาจเป็นพืชต่อพืชแมงกานีสในพืชมีบทบาทจำเป็นในการสร้างคลอโรฟิลล์ช่วยปรับกระบวนการเติม และลดออกซิเจนในการเกิดสารประกอบอินทรีย์เชิงซ้อน เช่น การสร้างวิตามินหลายชนิดเกี่ยวข้องในการถ่ายทอดฟอสเฟต โดยเป็นตัวเชื่อม ATP กับเอนไซม์เชิงซ้อน และเป็นตัวเร่งเอนไซม์หลายชนิด นอกจากนี้แมงกานีสยังทำหน้าที่เร่งการงอกของเมล็ดพืชและการสุกแก่ของผลผลิตพืช Mn เป็นตัวกระตุ้นของเอนไซม์หลายชนิดและมีบทบาทในการสังเคราะห์แสง และในการสร้างคลอโรฟิลล์ การใช้แมงกานีส (Mn) ในระดับมาตรฐานหรือสูงกว่าทำให้มีการเจริญเติบโตทางกิ่งก้านที่ดีขึ้น และการให้ผลผลิตมากกว่าการปลูกในธาตุแมงกานีส (Mn) อยู่ในระดับต่ำ

แมงกานีส (Mn) มีสถานะเลขออกซิเดชัน 6 แบบ คือ 0, II, III, IV, VI และ VII แต่ในชีวระบบ (biological system) มีเพียง 3 แบบ คือ II, III และ IV โดย Mn (II) และ Mn (IV) ค่อนข้างเสถียร แต่ Mn (III) ไม่เสถียรแมงกานีสส่วนมากอยู่ในรูป Mn (II) และอาจถูกออกซิไดส์เป็น Mn (II) และ Mn (IV) ได้ แมงกานีส (Mn) มีบทบาทสำคัญในกระบวนการรีดอกซ์ โดยทั่วไป Mn (II) มีพันธะกับลิแกนด์อินทรีย์ แต่เป็นพันธะที่ไม่แข็งแรง สำหรับเส้นรัศมีไอออนของ Mn^{2+} เท่ากับ 0.075 nm จึงมีขนาดอยู่ระหว่าง Mn^{2+} (0.065 nm) กับ Ca^{2+} (0.099 nm) แมงกานีส (Mn) จึงอาจเข้าร่วมปฏิกิริยาต่างๆ ในลักษณะแทนที่หรือแข่งขันกับไอออนของสองธาตุนี้ รากพืชดูดใช้แมงกานีส (Mn) และเคลื่อนย้ายทางไซเลมจากรากสู่ส่วนเหนือดินในรูปแบบแมงกานีสไอออน (Mn^{2+}) ธาตุนี้สามารถทำหน้าที่แทนแมกนีเซียม (Mg) ในหลายปฏิกิริยา เช่นบทบาทในการเชื่อม ATP เข้ากับเอนไซม์ฟอสโฟคิเนส และฟอสโฟทรานสเฟอเรส

มีเอนไซม์สองชนิดในวัฏจักรกรดไตรคาร์บอกซิลิก (TCA) ที่แมงกานีสเร่งปฏิกิริยาได้ คือ ดีคาร์บอกซิเลส และดีไฮโดรจีเนส สำหรับบทบาทของแมงกานีสที่จำเพาะเจาะจง ได้แก่ การเป็นโครงสร้างในสารของระบบรีดอกซ์ (ยงยุทธ, 2546)



ภาพที่ 2 อาการขาดธาตุแมงกานีส (Mn) ในพริก

ที่มา: Ariesagro (2020)

1. อาการขาดแมงกานีส (Mn)

สภาพของดินมีค่า pH สูงเป็นด่าง และอินทรีย์วัตถุมาก ทำให้ขาดแมงกานีส (Mn) เพราะสภาพดังกล่าวจะส่งเสริมให้แมงกานีส (Mn) รวมกับอินทรีย์วัตถุ เกิดสารที่สลับซับซ้อนและละลายยากขึ้น ดินอาจสูญเสีย Mn ส่วนใหญ่ที่พืชใช้ประโยชน์ได้ง่าย Mn^{2+} ในส่วนที่ละลายอยู่ในสารละลายดินไปโดยการ leaching ได้ Mn^{2+} ในส่วนที่อยู่ในสารละลายดินสามารถเคลื่อนย้ายได้ดี ดังนั้นจึงถูกพัดพาไปน้ำได้ง่ายกับน้ำ พืชทั่วไปมีระดับขาดแคลนขั้นวิกฤต (critical deficiency level) ของแมงกานีสในใบระหว่าง 10-20 mg/kg (น้ำหนักแห้ง) ซึ่งถือว่าเป็นความเข้มข้นค่อนข้างต่ำ หากลดลงกว่าระดับนี้จะทำให้น้ำหนักแห้งการสังเคราะห์แสงสุทธิ และความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ลดลงอย่างรวดเร็ว พืชที่ขาดแมงกานีสจะแสดงอาการที่ใบ พบอาการครั้งแรกที่ใบแก่หรือใบอ่อน อาการขาดที่เป็นลักษณะเด่นของพืชใบเลี้ยงคู่ คือ มีสีเหลืองซีดระหว่างเส้นใบของใบอ่อน สำหรับพืชใบเลี้ยงเดี่ยวจะพบจุดสีเทาแกมเขียวที่ใบล่าง (ภาพที่ 3) แมงกานีสเป็นธาตุที่เคลื่อนย้ายไม่ได้ (immobile element) แต่ใบยังมีขนาดปกติ อาการเหล่านี้มักพบในพืชที่เจริญเติบโตในดินด่าง เนื่องจากระดับของแมงกานีสต่ำมาก พืชบางชนิด เช่น ข้าวโอ๊ต ข้าวสาลี และถั่วเหลืองไวต่อการขาดแมงกานีสมากกว่าข้าวโพดและข้าวไรย์ อย่างไรก็ตามทุกพืชที่ขาดแมงกานีสจะออกดอกช้า จำนวนเมล็ดและผลผลิตลดลง เนื่องจาก 2 สาเหตุ คือ 1) ละอองเรณูรอดชีวิตน้อย 2) คาร์โบไฮเดรตมาบำรุงเลี้ยงเมล็ดไม่พอ (ภาพที่ 3) (ยงยุทธ, 2546)



ภาพที่ 3 อาการขาดธาตุแมงกานีส (Mn) ในข้าวโพด

ที่มา: Grainsa (2016)

2. การแก้ไขดินที่ขาดแมงกานีส (Mn)

การใช้แมงกานีสในรูป MnSO_4 หรือ Mn chelates โดยการใส่ในดินโดยตรงหรือละลายน้ำแล้วฉีดลงไปในต้นพืช แต่ในรูปของ MnSO_4 ต้องคำนึงถึงความเป็นประโยชน์ต่อพืช เพราะแมงกานีส (Mn) จะถูกออกซิไดส์ได้ง่าย ทำให้พืชใช้ประโยชน์ได้ยากขึ้นเช่นเดียวกับการใช้เหล็ก (Fe) การใช้ในรูป Mn chelates จะให้ผลดีกว่า เช่น Mn-EDTA และ Mn-DTPA เป็นต้น (ยงยุทธ, 2546)

1.3 สังกะสี (Zn)

สังกะสีในดินที่พืชดูดมาใช้ได้ คือ Zn^{2+} ในสารละลายดินกับสังกะสีแลกเปลี่ยนได้ สองส่วนนี้ได้มาจากการสลายตัวของหินและแร่ที่เป็นวัตถุดิบกำเนิดดิน เช่น แร่แมกนีไทต์ ไบโอไทต์ ฮอว์นเบลนด์ สารประกอบสังกะสีออกไซด์ ซัลเฟต และซิลิเกต สังกะสีจะเป็นประโยชน์ต่อพืชง่ายในดินกรดคืออยู่ในรูป Zn^{2+} แต่ถ้า pH สูงกว่า 7.7 จะเป็น $\text{Zn}(\text{OH})^+$ และในสภาพต่างจัด คือ pH 9.1 ขึ้นไปจะตกตะกอนเป็น $\text{Zn}(\text{OH})_2$ หรือ ZnCO_3 ในดินนาซึ่งมีกำมะถันสูงสังกะสีอาจตกตะกอนอยู่ในรูป ZnS (sphalerite)

1. รูปของสังกะสีในดิน

- (1) รูปที่ละลายน้ำได้ ได้แก่ Zn^{2+} ที่ละลายอยู่ในสารละลายดิน (soil solution)
- (2) รูปที่เป็นไอออนดูดซับและแลกเปลี่ยนได้โดยดูดซับอยู่ที่ผิวของคอลลอยด์ดิน
- (3) รูปที่เข้าร่วมในลักษณะสารประกอบเชิงซ้อนหรือคีเลตกับอินทรีย์วัตถุ
- (4) รูปที่ดูดซับหรือเข้าแทนที่ธาตุอื่นในแร่ดินเหนียวและโลหะออกไซด์ที่ไม่ละลายน้ำ
- (5) รูปที่เป็นองค์ประกอบของแร่ปฐมภูมิและแร่ทุติยภูมิ ปริมาณสังกะสีที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดินจะถูกควบคุมโดยปริมาณของสังกะสีที่ละลายอยู่ในสารละลายดิน ปริมาณสังกะสีที่ดูดซับและแลกเปลี่ยนได้บนแร่ดินเหนียวและผิวของอินทรีย์วัตถุรวมทั้งปริมาณสังกะสีในรูปสารประกอบเชิงซ้อนหรือ คีเลตกับอินทรีย์วัตถุในดิน

2. อาการขาดสังกะสี

พืชอาจขาดสังกะสีทั้งในดินกรดที่สลายตัวอย่างมาก (highly weathered acid soils) และดินเหนียว ในกรณีที่สองพืชอาจมีอาการขาดสังกะสีผสมผสานกับอาการขาดเหล็ก การขาดสังกะสีในดินเหนียวมาจาก 2 สาเหตุ คือ

(1) ในดินเหนียวและ pH สูงความเป็นประโยชน์ของสังกะสีต่ำ เนื่องจากไอออนของธาตุนี้ดูดซับอยู่กับดินเหนียว หรือแคลเซียมคาร์บอเนต ส่วนใหญ่อยู่ในรูป $Zn(OH)_2$ และ $ZnCO_3$ นั้นละลายได้เล็กน้อย

(2) สารละลายดินมีไบคาร์บอเนตไอออน (HCO_3^-) สูง ซึ่งมีอิทธิพลยับยั้งการดูดใช้สังกะสีที่รากและเคลื่อนย้ายจากรากสู่ส่วนเหนือดิน คล้ายกับอิทธิพลของไบคาร์บอเนตไอออนต่อเหล็ก

3. พืชใบเลี้ยงคู่และพืชใบเลี้ยงเดี่ยวมีอาการขาดสังกะสีแตกต่างกันดังนี้

(1) พืชใบเลี้ยงคู่ ต้นแกร็นเนื่องจากช่วงระหว่างข้อสั้นลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งส่วนยอดซึ่งยืดตัวช้ากว่าปกติ ทำให้ใบตอนบนเรียงซ้อนกันค่อนข้างชิด หรือเป็นกระจุกแบบกลีบกุหลาบซ้อน (rosetting) ในขณะเดียวกันขนาดของใบก็เล็กลง ใบอ่อนอาจเหลืองซีดกระจายทั้งแผ่นใบ หรือเหลืองเป็นหย่อมๆ อาการที่ปรากฏอาจมีความคล้ายคลึงกับอาการของโรคที่เกิดจากไวรัส

(2) พืชใบเลี้ยงเดี่ยว เช่น ข้าวโพด ใบอ่อนจะเหลืองลามไปตามขอบใบแผ่นใบบางส่วนเปลี่ยนเป็นจุดสีแดง (เป็นสีของแอนโทไซยานิน) หากมีอาการเหลืองหรือเนื้อเยื่อใบแก่ตายเป็นบริเวณในพืชที่ขาดสังกะสี อาการดังกล่าวเกิดจากพิษของฟอสฟอรัส (ภาพที่ 4) (ยงยุทธ, 2546)

ระดับขาดแคลนขั้นวิกฤต (critical deficiency levels) ของสังกะสีในใบพืชทั่วไปมีค่าต่ำกว่า 15-20 mg/kg (น้ำหนักแห้ง) เมื่อพืชขาดสังกะสีน้ำหนักเมล็ดจะลดลงมากกว่าน้ำหนักแห้ง ส่วนอื่นของพืช ทั้งนี้เนื่องมาจากธาตุสังกะสีมีบทบาทสำคัญในการปฏิสนธิ โดยปกติละอองเรณูมีความเข้มข้นของสังกะสีสูงมากขณะปฏิสนธิ ธาตุนี้ส่วนมากเข้าไปในรังไข่ และต่อเนื่องไปอยู่ในเมล็ดขณะที่พัฒนา



ภาพที่ 4 อาการขาดธาตุสังกะสี (Zn) ในข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

ที่มา: ภาพจากแปลงวิจัย อ.อุ้มทอง จ.สุพรรณบุรี ชุดดินตาคลี (Tk series) ปี 2564

4. การแก้ปัญหาในดินที่ขาดสังกะสี

(1) โดยการใช้ $ZnSO_4$ ใส่ลงไปในดินโดยตรงหรือละลายน้ำแล้วฉีดลงไปในต้นพืชซึ่งจะใช้ในปริมาณเล็กน้อยเพียงใด ขึ้นกับว่าดินนั้นขาดธาตุนี้รุนแรงแค่ไหน

(2) การใช้สังกะสีในรูปของ Zn chelates ก็ช่วยให้พืชใช้สังกะสีจากปุ๋ยได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น (ยงยุทธ, 2546)

1.4 ทองแดง (Cu)

ทองแดงในดินรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช คือ คิวปริกไอออน (Cu^{2+}) มีมาก และคิวปรัสไอออน (Cu^+) มีน้อย ในสารละลายดินกับทองแดงไอออนที่แลกเปลี่ยนได้ สองส่วนนี้ได้มาจากการสลายตัวของหิน และแร่ซึ่งเป็นวัตถุดิบกำเนิด เช่น แร่คาลโคไพไรต์ ($CuFeS_2$) pH ของดินมีอิทธิพลต่อรูปของทองแดงในดิน กล่าวคือ เมื่อดินเป็นกรดจัด กรดปานกลาง และเป็นกลางจนถึงเป็นด่างทองแดงในสารละลายดินส่วนมากจะอยู่ในรูป Cu^{2+} , $Cu(OH)^+$ และ $Cu(OH)_2$ ซึ่งสองรูปหลังเป็นประโยชน์ต่อพืชน้อยกว่ารูปแรกความเป็นประโยชน์ของธาตุนี้ในดินจึงขึ้นอยู่กับ pH ของดินอย่างมาก นอกจากนี้ทองแดงอาจรวมกับอินทรีย์สารเชิงซ้อนในดินกลายเป็นคีเลตที่มีเสถียรภาพสูงมากจนไม่เป็นประโยชน์ต่อพืช (ยงยุทธ, 2546)

1. รูปของทองแดงในดิน

ทองแดงในรูปคิวปริกไอออน (Cu^{2+}) สามารถจับตัวแน่นหนากับกรดฮิวมิกหรือกรดฟุลวิกแล้วเข้าไปเป็นองค์ประกอบของสารเชิงซ้อนดังกล่าว ทองแดงในสารละลายดินประมาณร้อยละ 90 เป็นองค์ประกอบของอินทรีย์สารโมเลกุลขนาดเล็ก เนื่องจาก Cu^{2+} มีสัมพรรคภาพสูงต่อลิแกนด์ชนิดต่างๆ (กรดอะมิโน กรดฟีนอลิก และสารคีเลตสังเคราะห์) (ยงยุทธ, 2546)

2. อาการขาดทองแดง

อาการขาดทองแดงที่เด่นชัดในพืชยืนต้น คือ ต้นแกร็น ใบอ่อนบิดเบี้ยว เยื่อเจริญที่ยอดตาย ใบอ่อนสีเหลืองซีดและปลายกิ่งแห้งแล้วลุกลามลงมาหาโคนกิ่ง (ภาพที่ 5) สำหรับพืชใบเลี้ยงเดี่ยวจะมีการแตกแขนงมาก ส่วนพืชใบเลี้ยงคู่จะมีการแตกตาข้างมากจึงมีจำนวนยอดมากกว่าปกติ ซึ่งเป็นผลสืบเนื่องมาจากการที่ตายอดตายไป (Robson and Reuter, 1981) พืชที่มีทองแดงในใบ 3-5 mg/kg (พืชแห้ง) ถือว่าค่อนข้างต่ำและหากต่ำกว่านี้จะแสดงอาการขาดธาตุให้ปรากฏ (ยงยุทธ, 2546)



ภาพที่ 5 อาการขาดธาตุทองแดง (Cu) ในมะเขือเทศ

ที่มา: บริษัท ยารา (ประเทศไทย) จำกัด (2021)

3. การแก้ปัญหาในดินที่ขาดทองแดง

- (1) ใส่ CuSO_4 หรือ Cu chelates ลงไปในดินโดยตรงหรือละลายน้ำแล้วฉีดลงไปในต้นพืช
- (2) การใช้ Cu chelates มักจะให้ผลดีกว่า เพราะช่วยลดการดูดซับ (adsorption)

Cu โดยสารคอลลอยด์ต่างๆในดิน (ยงยุทธ, 2546)

4. ความเป็นพิษจากทองแดง

ระดับเป็นพิษขั้นวิกฤต (critical toxicity level) ของทองแดงในพืชทั่วไปอยู่ระหว่าง 20-30 mg/kg (พืชแห้ง) อย่างไรก็ตามพืชต่างชนิดสามารถทนต่อพิษของทองแดงได้ต่างกัน เช่น ถั่วทนกว่าข้าวโพดมากเนื่องจากถั่วมีทองแดงสะสมในส่วนเหนือดินน้อยกว่าข้าวโพด เมื่อพืชได้รับทองแดงจนถึงระดับเป็นพิษจะมีผลสืบเนื่องดังนี้

- (1) เหนียวน้ำให้แสดงอาการขาดธาตุเหล็ก
- (2) ภาวะพร่องคลอโรฟิลล์ (chlorosis) เกิดขึ้นเพราะปฏิกิริยาเพอร์ออกซิเดชันของลิพิด

ที่เยื่อหุ้มไทลาคอยด์ ทำให้เยื่อส่วนนี้เสียหาย (ยงยุทธ, 2546)

5. กลไกที่ช่วยให้พืชทนต่อพิษของทองแดง

- (1) ควบคุมให้ทองแดงอยู่ในผนังเซลล์ กลไกนี้มีส่วนช่วยได้บ้างแต่เนื่องจากประจุที่จะใช้ยึดเหนี่ยวมีอยู่จำกัดจึงดักจับทองแดงไว้ที่ผนังเซลล์ได้ระดับหนึ่งเท่านั้น
- (2) จำกัดการดูด หรือขับทองแดงออกไป กลไกนี้มีบทบาทในพืชชั้นสูง
- (3) ขับทองแดงออกโดยกลไกแบบแอกทีฟ (active efflux)
- (4) ให้ทองแดงรวมกับอินทรีย์สารที่ไม่ละลายหรืออินทรีย์สารที่ละลายน้ำได้แล้วกักเก็บให้อยู่เฉพาะบางบริเวณ (compartmentation) ของเซลล์ บริเวณที่กักเก็บคือแวคิวโอล กลไกนี้มีความสำคัญมากในการลดความเป็นพิษโลหะหนัก
- (5) มีปฏิกิริยาคีเลชันระหว่างทองแดงกับอินทรีย์สารตรงบริเวณระหว่างผนังเซลล์ และเยื่อหุ้ม
- (6) มีปฏิกิริยาคีเลชันระหว่างทองแดงกับอินทรีย์สารในไซโทพลาซึม (ยงยุทธ, 2546)

1.3 แหล่งที่มาของจุลธาตุ

1.3.1 วัตถุดินกำเนิดดิน

จุลธาตุในดินส่วนมากจะได้รับจากหิน แร่ วัตถุดินกำเนิดดินเป็นส่วนใหญ่ การขาดแคลนจุลธาตุอาหารในพืชมักพบในดินที่เกิดจากวัตถุดินกำเนิดดินที่มีปริมาณของจุลธาตุน้อยอยู่ เช่น ดินเนื้อหยาบ ดินที่มีการชะล้างสูง ในทางตรงกันข้ามดินที่มีจุลธาตุมากก็มักเกิดจากหินหรือแร่ที่มีจุลธาตุอยู่ในปริมาณมาก และในดินเหนียวที่มีเนื้อละเอียดจะพบจุลธาตุมากกว่าดินที่มีเนื้อหยาบ (มุกดา, 2544)

1.3.2 อินทรีย์วัตถุในดิน

แหล่งกำเนิดของจุลธาตุอาหารที่สำคัญอีกแหล่งหนึ่งคือจากการเน่าเปื่อยผุพังของเศษพืชและสัตว์ที่ตายลง หรือจากของเสียต่างๆ ที่สัตว์ขับถ่ายออกมาแล้วกลายเป็นอินทรีย์วัตถุในดิน เป็นการที่จะชี้ชัดลงไปว่าจุลธาตุอาหารที่มีอยู่ในส่วนของดินที่เรียกว่าอินทรีย์วัตถุนั้น ได้มาจากเศษเหลือของพืชและสัตว์หรือจากสิ่งขับถ่ายของสัตว์เท่านั้น เพราะอินทรีย์วัตถุในดิน โดยเฉพาะส่วนที่เป็นฮิวมัสมีประจุซึ่งสามารถจะดูดซับจุลธาตุอาหารซึ่งละลายออกมาจากวัตถุดินกำเนิดดินด้วย อย่างไรก็ตามเนื่องจากสิ่งมีชีวิตทั้งหลายจำเป็นต้องมีจุลธาตุเป็นองค์ประกอบในแต่ละเซลล์ ซึ่งจะมากหรือน้อยก็ขึ้นอยู่กับหน้าที่ของกลุ่มเซลล์หรือเนื้อเยื่อเหล่านั้น และสิ่งขับถ่ายของสัตว์ก็มีจุลธาตุเป็นองค์ประกอบอินทรีย์วัตถุจึงเป็นแหล่งของจุลธาตุที่สำคัญอีกแหล่งหนึ่งของดินบางดิน โดยเฉพาะดินอินทรีย์ ดินทุ่งหญ้า (prairie soil) และดินป่าไม้ (forest soil) อินทรีย์วัตถุจะมีผลทางอ้อมในการช่วยปลดปล่อยจุลธาตุจากดินออกมามากขึ้น อินทรีย์สารช่วยรักษา pH ดิน จึงเป็นการลดการตรึงจุลธาตุได้ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544)

1.3.3 ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยอินทรีย์ และปุ๋ย

ปุ๋ยและปุ๋ยอินทรีย์เป็นแหล่งของจุลธาตุอาหารบางอย่างได้ โดยเฉพาะปุ๋ยที่ได้มาจากวัตถุดิบที่ได้มาจากดิน เช่น ปุ๋ยหินฟอสเฟต หรือปุ๋ยซูเปอร์ฟอสเฟตธรรมชาติ ปุ๋ยโพแทสเซียมโพแทสเซียมคลอไรด์ ซึ่งได้มาจากการแต่งแร่ซิลิเกตให้บริสุทธิ์ขึ้น และปุ๋ยมีจุลธาตุอาหารชนิดต่างๆ เจือปนได้ทั้งนั้น เพราะปุ๋ยและปุ๋ยอินทรีย์เหล่านี้มีความเข้มข้นต่ำจึงไม่ต้องผ่านกระบวนการผลิตที่ผ่านขั้นตอนการทำให้บริสุทธิ์น้อย ส่วนปุ๋ยไนโตรเจนชนิดต่างๆ นั้นการเจือปนของจุลธาตุมีปริมาณน้อยเนื่องจากปุ๋ยไนโตรเจนเป็นสารประกอบของเกลือที่สกัดเป็นปุ๋ยได้ง่าย สำหรับปุ๋ยอินทรีย์เป็นปุ๋ยจุลธาตุอาหารที่สำคัญแหล่งหนึ่ง เพราะมีจุลธาตุครบ (มุกดา, 2544)

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สรศรีใจ (2542) อธิบายว่าระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ หรือ Geographic Information System (GIS) คือกระบวนการทำงานเกี่ยวกับข้อมูลในเชิงพื้นที่ด้วยระบบคอมพิวเตอร์ที่ใช้กำหนดข้อมูลและสารสนเทศ ที่มีความสัมพันธ์กับตำแหน่งในเชิงพื้นที่ เช่น ที่อยู่ บ้านเลขที่ สัมพันธ์กับตำแหน่งในแผนที่ ตำแหน่ง เส้นรุ้ง เส้นแวง ข้อมูลและแผนที่ใน GIS เป็นระบบข้อมูลสารสนเทศที่อยู่ในรูปของตารางข้อมูลและฐานข้อมูลที่มีส่วนสัมพันธ์กับข้อมูล เชิงพื้นที่ (spatial data) ซึ่งรูปแบบและความสัมพันธ์ของข้อมูลเชิงพื้นที่ทั้งหลาย จะสามารถนำมาวิเคราะห์ด้วย GIS และทำให้สื่อความหมายในเรื่องการเปลี่ยนแปลงที่สัมพันธ์กับเวลาได้ เช่น การแพร่ขยายของโรคระบาด การเคลื่อนย้ายถิ่นฐาน การบุกรุกทำลาย การเปลี่ยนแปลงของการใช้พื้นที่ ฯลฯ ข้อมูลเหล่านี้เมื่อปรากฏบนแผนที่ทำให้สามารถแปลและสื่อความหมายใช้งานได้ง่าย

สุเพชร (2552) กล่าวถึงการประมาณค่าในช่วง (interpolation) เป็นการทำนายค่าให้กับเซลล์ใน Raster จากข้อมูลจุดตัวอย่างที่มีอยู่อย่างจำกัด วิธีการดังกล่าวสามารถใช้ในการทำนายค่าที่ไม่ทราบได้จากจุดใดๆ ทางภูมิศาสตร์โดยการประมาณค่าของ Z-Value สำหรับทุกตำแหน่งจุดสำรวจภายใต้สมมติฐานว่า ข้อมูลจะต้องเป็นประเภทข้อมูลที่ต่อเนื่อง (continuous data) ข้อมูลเชิงพื้นที่ที่สามารถประมาณค่าได้จากตำแหน่งที่อยู่ข้างเคียง

Chang (2002) ได้นิยาม Spatial Interpolation ว่าเป็นกระบวนการการใช้ตำแหน่งที่ทราบ ค่าข้อมูลในการประมาณค่าตำแหน่งที่ไม่ทราบค่า โดยตำแหน่งที่ทราบค่านี้เรียกว่า ตำแหน่งควบคุม (Control Point) เป็นตำแหน่งที่มีข้อมูลมีการเก็บตัวอย่างเพื่อทำนายค่าการเปลี่ยนแปลงจุดข้อมูล จนถึงพื้นที่ผิว

El-Fouly *et al.* (2001) พบว่าในพื้นที่ดินทราย ที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในดินสูง หรือ ดินเหนียว ทำให้ความเป็นประโยชน์ของจุลธาตุในดินลดลง ได้แก่ ธาตุแมงกานีส (Mn) และสังกะสี (Zn)

Jacek (1999) ให้นิยามของ Interpolation ว่าเป็นกระบวนการประมาณค่าให้กลุ่ม ตัวอย่างที่ไม่ทราบค่าโดยใช้ข้อมูลที่ทราบค่าในตำแหน่งใกล้เคียง จากความสัมพันธ์กันของข้อมูลทั้งตำแหน่ง เส้น หรือพื้นที่

Jamieson (1991) สมการแบบเรียบง่ายจะมีประสิทธิภาพดีเยี่ยมเมื่อค่า NRMSE น้อยกว่าหรือเท่ากับ 10% ประสิทธิภาพดีเมื่อมีค่ามากกว่า 10% แต่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 20% ประสิทธิภาพพอใช้เมื่อค่า NRMSE มีค่ามากกว่า 20% แต่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 30% และประสิทธิภาพไม่ดีเมื่อค่า NRMSE มีค่ามากกว่า 30%

Land Development Department (2012) พบว่าการสะสมตัวของปูนในดินปริมาณมาก ในเขตพื้นที่ภูเขาหินปูน หรือหินอัคนีสีเข้ม การสลายตัวของหินตะกอนที่มีปูนแทรกอยู่ในเนื้อหิน ดินมีค่าพีเอช (pH) มากกว่าหรือเท่ากับ 7.5 โดยความเป็นต่างมาจากปูน ซึ่งอาจมีเม็ดปูนปะปนอยู่ในดิน ทำให้ดินมีลักษณะเป็นดินเหนียว การปลูกพืชในดินประเภทนี้อาจมีปัญหาราดอาหารบางชนิด เช่น ฟอสฟอรัส เหล็ก และแมงกานีส เป็นต้น นอกจากนี้ดินยังมีสมบัติทางกายภาพของดินไม่ค่อยเหมาะสม คือ ในสภาพแห้งดินจะแตกกระแหวและการระบายน้ำเลว ดังนั้นการปลูกพืชในดินต่างจำเป็นต้องเลือกพืชที่เหมาะสมและใส่ปุ๋ยบางชนิดที่พืชขาด การใช้ปุ๋ยในการปรับปรุงดินควรเลือกให้เหมาะสม ดินต่างมีค่า pH สูง การปรับปรุงดินต้องใช้สารปรับสภาพหรือปุ๋ยที่ช่วยเพิ่มกรดในดิน

Havlin *et al.* (2005) สมบัติที่สำคัญของดินเหนียว คือ ดินมี pH สูง อยู่ในช่วง 7.3–8.2 และมักพบเศษหินปูนหรือหินมาร์ลที่กำลังสลายตัวปะปน ดินเหล่านี้มักแจกกระจายในสภาพภูมิอากาศที่แห้งแล้ง หรือมีปริมาณน้ำฝนน้อย การแก้ไขดินเหนียว โดยวิธีใส่ปุ๋ยเหล็กคีเลตให้กับข้าวโพดหวาน

ขวัญตา และคณะ (2550) ได้ศึกษาการขาดธาตุเหล็กในข้าวโพดหวานที่ปลูกบนดินเหนียวจะส่งผลให้การเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพดหวานต่ำ การใส่เหล็กทั้งในรูป Fe-DTPA และในรูป $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ร่วมกับสังกะสี ปุ๋ยไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และการใส่เปลือกในสับปะรด ให้กับข้าวโพดหวานที่ปลูกในดินเหนียวชุดดินตาคลีซึ่งมีปริมาณเหล็กที่เป็นประโยชน์ต่ำมาก ปริมาณสังกะสีที่เป็นประโยชน์ค่อนข้างต่ำ จะมีผลทำให้ข้าวโพดหวานดูดใช้เหล็ก สังกะสีเพิ่มขึ้น ส่งผลให้การเจริญเติบโต และผลผลิตเพิ่มขึ้นสูงกว่าที่ได้รับการใส่ปุ๋ย NPK เพียงอย่างเดียว ประสิทธิภาพในการ

เพิ่มผลผลิตของข้าวโพดหวานของ Fe-DTPA สูงกว่า $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ อนึ่ง การใส่เปลือกสับปะรด จะช่วยเพิ่มผลผลิตของข้าวโพดหวานได้ใกล้เคียงกับการใส่สังกะสีและเหล็กในรูป $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

เรืองรอง (2553) ศึกษาผลการใส่เหล็กในรูป FeDTPA และ FeEDDHA ต่อผลผลิตถั่วลิสงที่ปลูกบนดินเหนียวปน ชุดดินตาคลี พบว่าเหล็ก FeDTPA และ FeEDDHA มีผลในการเพิ่มการเจริญเติบโต และผลผลิตของถั่วลิสง โดยประสิทธิภาพในการเพิ่มการเจริญเติบโตและผลผลิตและอัตราการดูดใช้ของ FeEDDHA สูงกว่า FeDTPA ผลผลิตสูงสุดเมื่อใส่ FeDTPA อัตรา 3 มิลลิกรัม Fe ต่อดิน 1 กิโลกรัม

นัทธนา (2553) ศึกษาประสิทธิภาพของปุ๋ยสังกะสีในรูป ZnSO_4 , ZnEDTA และ Zn citrate ในดินเหนียวปน 4 ชุดดิน ได้แก่ ชุดดินลพบุรี, ชัยบาดาล, ลำานรายณ์และตาคลี พบว่า ข้าวโพดที่ได้รับการใส่สังกะสีทั้ง 3 รูป มีเจริญเติบโต ผลผลิตน้ำหนักแห้ง และการดูดใช้สังกะสีสูงกว่าข้าวโพดที่ไม่ได้ใส่ปุ๋ยสังกะสีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ประสิทธิภาพในการเพิ่มการเจริญเติบโต และผลผลิตน้ำหนักแห้งของการดูดใช้สังกะสีของข้าวโพดหรือความเป็นประโยชน์ของสังกะสีในดินเหนียวปนที่ศึกษาต่อข้าวโพดของ ZnSO_4 , ZnEDTA และ Zn citrate ใกล้เคียงกัน อัตราการใส่ปุ๋ยสังกะสีที่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพดที่ปลูกในดินเหนียวปนทั้ง 4 ชุดดินอยู่ในช่วง 2-4 mg/kg

สุณิสา (2553) ได้ศึกษาผลของเหล็กคีเลต Fe-EDTA เหล็ก Fe-DTPA และ Fe-EDDHA ต่อผลผลิตข้าวโพดที่ปลูกในดินเหนียวปน (calcareous soil) และชุดควบคุมไม่ใส่ปุ๋ย ผลการศึกษา พบว่า การใส่ปุ๋ยเหล็กคีเลต มีผลต่อการเพิ่มการเจริญเติบโต ผลผลิตฝักและปริมาณการดูดใช้เหล็กของข้าวโพดหวานที่ปลูกในดินเหนียวปนอย่างชัดเจน ประสิทธิภาพในการเจริญเติบโต ผลผลิตฝักและ ปริมาณการดูดใช้เหล็กของข้าวโพดหวานของ Fe-EDDHA สูงสุด รองลงมาคือ Fe-DTPA และ Fe-EDTA ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$)

จรรยาลักษณ์ (2559) ดินเหนียวปนในประเทศไทยส่วนใหญ่ใช้เพื่อปลูกพืชเศรษฐกิจสำคัญ เช่น ข้าวโพด อ้อย และพืชวงศ์ถั่วต่างๆ พืชมักแสดงอาการขาดธาตุฟอสฟอรัสและจุลธาตุ

ตารางที่ 1 พื้นที่การกระจายตัวของดินเหนียว และพื้นที่ปลูกข้าวโพดในดินเหนียว

จังหวัด	พื้นที่ (ไร่)	
	ดินเหนียว	ปลูกข้าวโพดบนดินเหนียว
เพชรบูรณ์	681,409	62,398
นครสวรรค์	1,147,001	129,370
ลพบุรี	2,027,847	115,609
สระบุรี	498,035	58,753
สุพรรณบุรี	127,667	3,612
นครราชสีมา	160,168	30,223
กาญจนบุรี	297,826	4,898
อุทัยธานี	46,221	735
อื่นๆ	570,750	126
รวม	5,556,925	405,724

ที่มา: จากการวิเคราะห์ข้อมูลโดยระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ ชุดดิน และข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน
 เชิงเลข 1:25,000 กรมพัฒนาที่ดิน ปี 2562 และ 2564

ระยะเวลาและสถานที่ดำเนินการ

1. ระยะเวลาทำการวิจัย

1 ตุลาคม 2562 – 30 กันยายน 2564

2. สถานที่ดำเนินการ

1. สถานที่เก็บตัวอย่าง จังหวัดลพบุรี ประเทศไทย
2. ห้องปฏิบัติการสำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน กรุงเทพมหานคร
3. ห้องปฏิบัติการสำนักงานพัฒนาที่ดินเขต1 จังหวัดปทุมธานี
4. ศูนย์ขยายพันธุ์พืชที่ 9 จังหวัดสุพรรณบุรี

วัสดุอุปกรณ์และวิธีดำเนินการ

1. การทดลองที่ 1 การศึกษาการกระจายตัวของดินเหนียวเพื่อจัดทำแผนที่สถานภาพของจุลธาตุบริเวณพื้นที่ภาคกลางของประเทศไทย กรณีศึกษาจังหวัดลพบุรี

ศึกษา แปลข้อมูล และวิเคราะห์ข้อมูลแผนที่ธรณีวิทยาของจังหวัดลพบุรี มาตราส่วน 1:250,000 กรมทรัพยากรธรณี ร่วมกับชุดดินตัวแทนหลักที่เป็นดินเหนียว แผนที่ชุดดินมาตราส่วน 1:25,000 และแผนที่กลุ่มชุดดิน 1:50,000 ข้อมูลของกรมพัฒนาที่ดินและฐานข้อมูลทรัพยากรดินที่เป็นจุดศึกษาดินบางส่วนก่อนหน้านี้ จากกองสำรวจดินและสำนักงานพัฒนาที่ดินเขต โดยใช้ผลวิเคราะห์สมบัติทางเคมีดินจากห้องปฏิบัติการ สำนักงานพัฒนาที่ดินเขต 1 เพื่อหาความสัมพันธ์และแนวโน้มการแพร่กระจายของดินเหนียว โดยใช้โปรแกรมสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ในการซ้อนทับ วิเคราะห์ชั้นข้อมูลต่างๆ ประมวลค่าข้อมูล และสร้างแผนที่

1.1 อุปกรณ์

1.1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ในสำนักงาน

- (1) คอมพิวเตอร์
- (2) โปรแกรมสารสนเทศภูมิศาสตร์
- (3) โปรแกรม Google map
- (4) โปรแกรม Google Earth
- (5) โปรแกรม ArcGIS 10.4
- (6) โปรแกรม Microsoft Excel
- (7) ผลวิเคราะห์สมบัติทางเคมีเบื้องต้น ได้แก่ ปฏิกริยาดิน (pH) อินทรีย์วัตถุ (OM) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P) โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable K)
- (8) ผลวิเคราะห์เหล็กที่สกัดได้ (Extractable Fe) แมงกานีสที่สกัดได้ (Extractable Mn) สังกะสีที่สกัดได้ (Extractable Zn) และทองแดงสกัดได้ (Extractable Cu) โดยการสกัด 0.5 N DTPA pH 7.3

1.1.2 อุปกรณ์ปฏิบัติงานภาคสนาม

- (1) pH test kit
- (2) Soil tube, Soil auger
- (3) pH meter
- (4) สมุดเทียบสีดิน (Munsell soil color chart)

(5) Global positioning system (GPS)

(6) กระจกพลาสติกเก็บตัวอย่าง

(7) ค้อนยาง

(8) กระดาษหนังสือพิมพ์

(9) ตลับเมตร

(10) พลั่ว

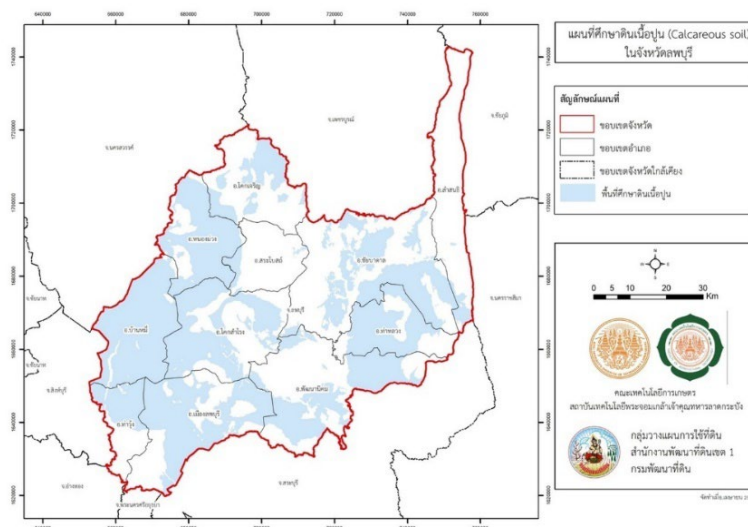
(11) สมุดบันทึก

(12) กล้องถ่ายรูป

1.2 ขั้นตอนวิธีการดำเนินงาน

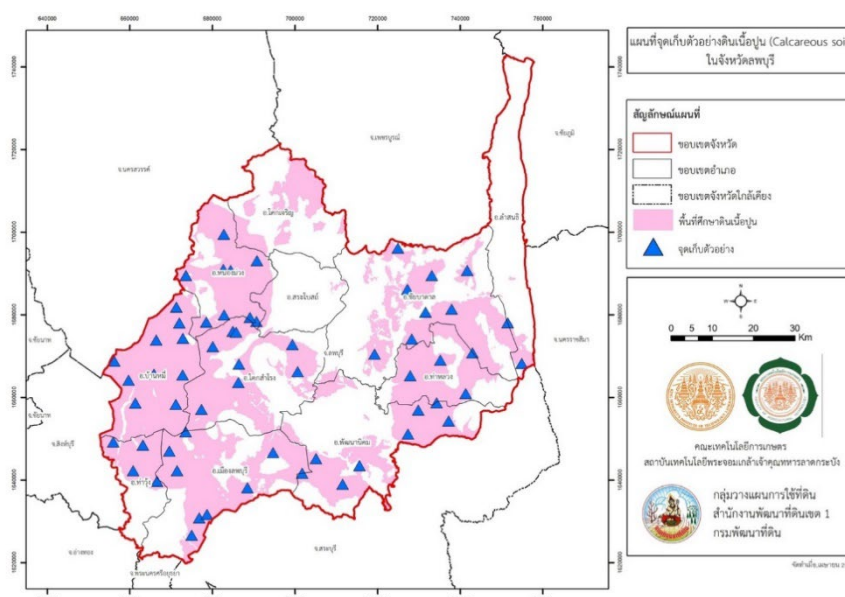
1) ศึกษา แปลข้อมูล และวิเคราะห์ข้อมูลแผนที่ธรณีวิทยาของรายจังหวัดลพบุรี มาตราส่วน 1:250,000 กรมทรัพยากรธรณี ร่วมกับชุดดินตัวแทนหลักที่เป็นดินเหนียวปน แผนที่ชุดดินมาตราส่วน 1:25,000 และแผนที่กลุ่มชุดดิน 1:50,000 (เชิงเลข) ร่วมกับข้อมูลอื่น ๆ อาทิ เส้นชั้นความสูง (contour line), แบบจำลองความสูงเชิงเลข (DEM), ภาพถ่ายทางอากาศ, แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน เป็นต้น ฐานข้อมูลทรัพยากรดินที่เป็นจุดศึกษาดินบางส่วนก่อนหน้านี้ จากกองสำรวจดินและสำนักงานพัฒนาที่ดินเขต 1 รวมทั้งผลการวิเคราะห์ดินมีที่ผ่านมา เพื่อหาความสัมพันธ์และแนวโน้มการแพร่กระจายตัวของดินเหนียวปน

2) ศึกษาพื้นที่ดินเหนียวปนที่กระจายครอบคลุมดินเหนียวปนที่อยู่บริเวณจังหวัดลพบุรี (ภาพที่ 6)



ภาพที่ 6 พื้นที่ศึกษาดินเหนียวปนในจังหวัดลพบุรี

3) สํารวจจํานวนดินจุดเก็บตัวอย่าง จํานวน 61 ตัวอย่าง (ภาพที่ 3.2) โดยเก็บตัวอย่างดินรบกวน และไม่ถูกรบกวนโครงสร้าง ที่ความลึก 0-15 cm แผลงละ 1 ตัวอย่าง เพื่อศึกษาสมบัติทางเคมีและทางกายภาพบางประการ ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง (pH) วิธี Potentiometry อัตราส่วนดินต่อนํ้า 1:1 อินทรีย์วัตถุ (OM) วิธี Walkley Black Titration แผลงผลให้เป็นไนโตรเจน (N%) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P) สกัดด้วย Bray II โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable K) สกัดด้วย NH_4OAc pH 7 เหล็กที่สกัดได้ (Extractable Fe) แมงกานีสที่สกัดได้ (Extractable Mn) สังกะสีที่สกัดได้ (Extractable Zn) และทองแดงสกัดได้ (Extractable Cu) สกัดด้วย 0.005 M DTPA pH 7.3



ภาพที่ 7 จุดเก็บตัวอย่างดินในพื้นที่ดินเนื้อปูน

4) นำเข้าข้อมูลในโปรแกรม Microsoft Excel นำผลวิเคราะห์ดิน มาประเมินระดับจุลธาตุในดินเนื้อปูน และจัดชั้นข้อมูลระดับของค่าวิกฤติของจุลธาตุแต่ละชนิดที่มีในดิน (critical level)

5) นำเข้าข้อมูลจากข้อ 4 ให้อยู่ในรูปแบบดิจิทัล โดยใช้โปรแกรม ArcGIS ใช้คำสั่งการลงจุดพิกัด (Display x,y) จากนั้นสร้างตาราง attribute เพื่อสามารถอ้างอิงพิกัดในการเก็บตัวอย่าง ด้วยเทคนิคโดยโปรแกรมสารสนเทศทางภูมิศาสตร์

6) จากนั้นสร้างโมเดลการกระจายตัว อยู่ในกลุ่มคำสั่ง Interpolation โดยการประมาณด้วยวิธี kriging และวิธี Inverse Distance Weighted (IDW) ของค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ไนโตรเจน (%N) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (P) โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (K) เหล็กที่เป็นประโยชน์ (Fe) แมงกานีสที่

เป็นประโยชน์ (Mn) สังกะสีที่เป็นประโยชน์ (Zn) และทองแดงที่เป็นประโยชน์ (Cu) โดยแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชุด คือ training set for calibration และ testing set for validation โดยแบ่งข้อมูลเป็นสองชุด สัดส่วน 70:30 ซึ่งข้อมูลชุดปรับเทียบ (training set for calibration) 70 เปอร์เซ็นต์ ใช้สำหรับนำมาทำแผนที่ และข้อมูลชุดตรวจสอบ (testing set for validation) 30 เปอร์เซ็นต์ (ภาพที่ 8) สำหรับใช้ทดสอบความถูกต้องของการประมาณค่าของน้ำส่งวิเคราะห์ที่ได้จริง และค่าจากการประมาณ คำนวณความถูกต้องของข้อมูล โดย

(6.1) คำนวณค่า RMSE (Root Mean Squared Error) เพื่อทดสอบความแม่นยำของการประมาณค่าเชิงพื้นที่ของข้อมูลในโปรแกรม Microsoft Excel โดยใช้สูตร (ขนิษฐา และจิตราพร, 2558)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

โดย x_i = ค่าจริง
 $\bar{x}$ = ค่าที่ได้จากการประมาณค่า
 n = จำนวนข้อมูลทั้งหมด

(6.2) คำนวณค่า NRMSE (Normalized Root Mean Squared Error) มีประสิทธิภาพดีเยี่ยมเมื่อค่า NRMSE น้อยกว่าหรือเท่ากับ 10% ประสิทธิภาพดีเมื่อมีค่ามากกว่า 10 แต่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 20% ประสิทธิภาพพอใช้เมื่อค่า NRMSE มีค่ามากกว่า 20% แต่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 30% และประสิทธิภาพไม่ดีเมื่อค่า NRMSE มีค่ามากกว่า 30% (Jamieson *et al.*, 1991)

$$NRMSE = \frac{RMSE}{\bar{X}} \times 100$$

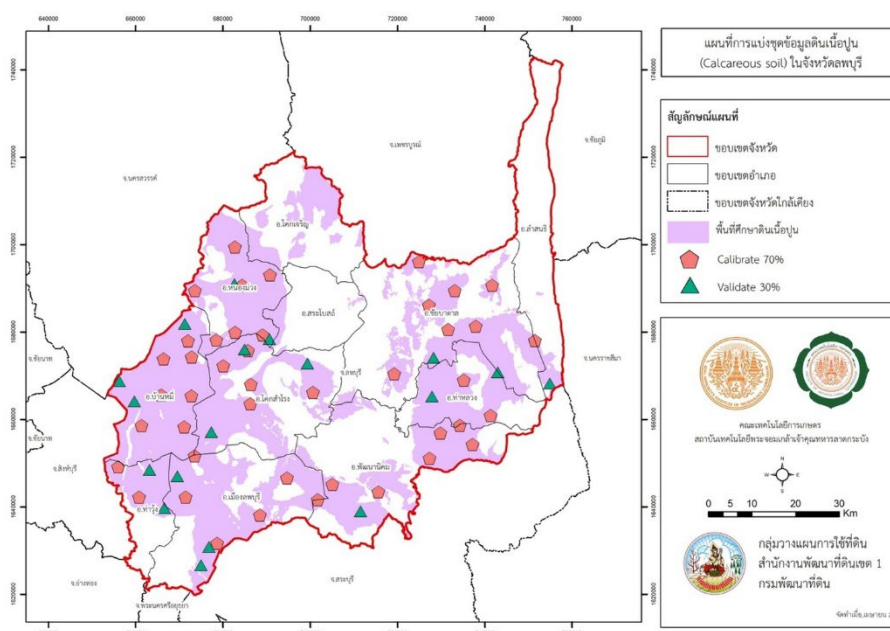
โดย $RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$
 $\bar{X}$ = ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่ได้จากจุดเก็บตัวอย่าง

(6.3) สร้างกราฟสหสัมพันธ์อย่างง่าย (simple correlation) เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ไม่มีการกำหนดล่วงหน้า ว่าค่าใดค่าหนึ่ง ขึ้นอยู่กับอีกค่าหนึ่ง สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เป็นค่าที่ใช้วัดปริมาณมากน้อยของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร โดยไม่สนใจว่าตัวแปรใดเป็นเหตุ ตัวแปรใดเป็นผล

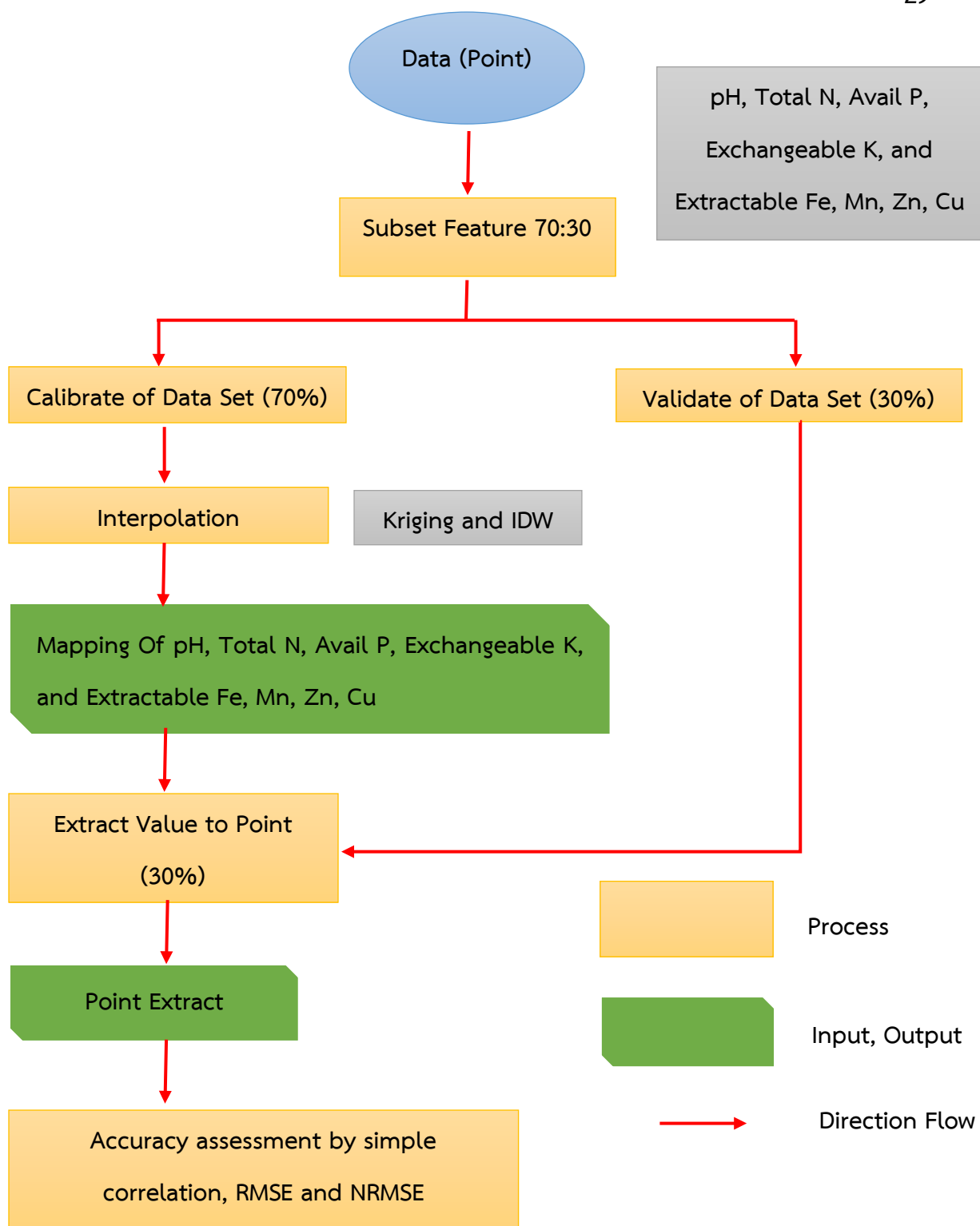
$$r = \frac{\sum_{i=1}^n ((X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y}))}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}}$$

โดย X_i = ค่าที่ได้จากการประมาณค่า
 $\bar{X}$ = ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการประมาณค่า
 Y_i = ค่าจริงจากจุดเก็บตัวอย่าง
 $\bar{Y}$ = ค่าเฉลี่ยที่ได้จากจุดเก็บตัวอย่าง
 n = จำนวนข้อมูลทั้งหมด

7) จัดทำรายงานผลการศึกษาระบายตัวค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ไนโตรเจน (%N) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (P) โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (K) เหล็กที่สกัดได้ (Fe) แมงกานีสที่สกัดได้ (Mn) สังกะสีที่สกัดได้ (Zn) และทองแดงที่สกัดได้ (Cu)



ภาพที่ 8 การแบ่งสัดส่วนข้อมูลดินเนื้อปูนเป็น 70:30 เพื่อเปรียบเทียบ และทดสอบความถูกต้องของข้อมูล



ภาพที่ 9 แผนผังการสร้างแผนที่การสำรวจการกระจายตัวของ pH, Total N, Available P, Exchangeable K, and Extractable Fe, Mn, Zn, Cu

2. การทดลองที่ 2 การศึกษาแนวทางการแก้ไขการขาดจุลธาตุในข้าวโพดที่ปลูกบนดินเหนียวบริเวณพื้นที่ภาคกลางของประเทศไทย

2.1 ขั้นตอนวิธีการดำเนินงาน

คัดเลือกพื้นที่ศึกษาที่เป็นตัวแทนดินเหนียวที่ขาดจุลธาตุหลักและสังกะสี ชุดดินดาคีที่มีเนื้อดินบนเป็นดินร่วนปนดินเหนียว (Tk-clA/d₅, E₀)



ภาพที่ 10 แผนที่แปลงทดลอง ณ ศูนย์ขยายพันธุ์พืชที่ 9 จังหวัดสุพรรณบุรี

พืชทดสอบ ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ลูกผสมเดี่ยวพันธุ์สุวรรณ 5731 (Suwan 5731) เป็นพันธุ์ที่ถูกปรับปรุงพันธุ์ขึ้นมาใหม่ ระหว่างข้าวโพดไร่สายพันธุ์แท้เกษตรศาสตร์ 63 (Ki 64) กับสายพันธุ์แท้เกษตรศาสตร์ 48 (Ki 48) ลักษณะลำต้นตั้งตรง มีความสูงต้นเฉลี่ย 218 เซนติเมตร ใบมีลักษณะยาวรีตั้งตรง ความกว้างของใบรองฝักบนสุดมีขนาดปานกลาง และมีจำนวนแถวต่อฝักเฉลี่ย 14 แถว เมล็ดมีสีส้มเหลืองกึ่งหัวแข็ง มีเปอร์เซ็นต์การกะเทาะสูงเฉลี่ย 82 เปอร์เซ็นต์ และมีผลผลิตเมล็ดเฉลี่ย 1,586 กิโลกรัม/ไร่ (15 เปอร์เซ็นต์ความชื้น) มีอายุเก็บเกี่ยว 110-120 วัน



ภาพที่ 11 ภาพพื้นที่แปลงทดลองปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ณ ศูนย์ขยายพันธุ์พืชที่ 9 จังหวัดสุพรรณบุรี จากแผนที่สถานภาพของจุลธาตุของดินเนื้อปูนบริเวณพื้นที่ภาคกลางของประเทศไทย (แผนที่จากการทดลองที่1) ทำการทดลองสองแปลงทดลองย่อย ดังนี้

1. แปลงทดลองธาตุสังกะสี

วางแผนการทดลองแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ (RCBD) 5×3 รวม 15 ตำรับการทดลอง ดังนี้ อัตราของปุ๋ยจุลธาตุของสังกะสีซัลเฟต (ZnSO_4) อัตราปุ๋ยสังกะสี 4 อัตรา 1, 2, 4, 8 mg Zn/ Kg soil (0.32, 0.64, 1.28, 2.56 kg Zn /rai) และตำรับควบคุม (control) จำนวน 3 ซ้ำ โดยใส่ปุ๋ยสังกะสีพร้อมกับธาตุอาหารมหัพภาค ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม ตามค่าวิเคราะห์ดิน

T1 = ปุ๋ยสังกะสี อัตรา 1 mg Zn/ Kg soil (0.32 kg Zn /rai)

T2 = ปุ๋ยสังกะสี อัตรา 2 mg Zn/ Kg soil (0.64 kg Zn /rai)

T3 = ปุ๋ยสังกะสี อัตรา 4 mg Zn/ Kg soil (1.28 kg Zn /rai)

T4 = ปุ๋ยสังกะสี อัตรา 8 mg Zn/ Kg soil (2.56 kg Zn /rai)

T5 = ตำรับควบคุม (control) จำนวน 3 ซ้ำ ไม่ใส่ปุ๋ยสังกะสี ใส่ธาตุอาหารมหัพภาค ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และเหล็กตามค่าวิเคราะห์ดิน

หมายเหตุ: อ้างอิงอัตราการใส่ปุ๋ยสังกะสีสำหรับดินเนื้อปูน จากงานวิจัยของนันทฐา (2553) ที่ อัตรา ZnSO_4 2 - 4 mg Zn/ Kg soil

ตารางที่ 2 แผนผังแปลงทดลองธาตุสังกะสีและธาตุเหล็ก

Block I		Block II		Block III	
T2	T5	T1	T5	T5	T3
T4	T1	T3	T2	T1	T2
T3			T4	T4	

2.แปลงทดลองธาตุเหล็ก

วางแผนการทดลองแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ (RCBD) 5×3 รวม 15 ตำรับการทดลอง ดังนี้ อัตราของปุ๋ยจุลธาตุของเหล็ก FeEDDHA อัตราปุ๋ยเหล็ก 4 อัตรา 10, 20, 40, 80 mgFe/ Kg soil (3.2, 6.4, 12.8, 25.6 kgZn /rai) และตำรับควบคุม (control) จำนวน 3 ซ้ำ โดยใส่ปุ๋ยเหล็กพร้อมกับธาตุอาหารมหัพภาค ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม ตามค่าวิเคราะห์ดิน

T1 = ปุ๋ยเหล็ก อัตรา 10 mg Fe/ Kg soil (3.2 kg Fe /rai)

T2 = ปุ๋ยเหล็ก อัตรา 20 mg Fe / Kg soil (6.4 kg Fe /rai)

T3 = ปุ๋ยเหล็ก อัตรา 40 mg Fe / Kg soil (12.8 kg Fe /rai)

T4 = ปุ๋ยเหล็ก อัตรา 80 mg Fe / Kg soil (25.6 kg Fe /rai)

T5 = ตำรับควบคุม (control) จำนวน 3 ซ้ำ ไม่ใส่ปุ๋ยเหล็ก ใส่ธาตุอาหารมหัพภาค ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และเหล็กตามค่าวิเคราะห์ดิน

หมายเหตุ: อ้างอิงอัตราการใช้ปุ๋ยเหล็กสำหรับดินเนื้อปูน จากงานวิจัยของเรืองรอง (2553)

2.2 วิธีการทดลอง

2.2.1 การดำเนินการทดลองในแปลงเกษตรกร

1. เก็บตัวอย่างดินก่อนและหลังการทดลองทั้งที่ถูกรบกวนและไม่ถูกรบกวนเพื่อวิเคราะห์โดยวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพดิน ได้แก่ bulk density, soil texture และสมบัติทางเคมี ได้แก่ pH, EC, OM, ปริมาณ CaCO_3 , Avail.P, K, Ca, Mg, Fe, Zn, Mn, Cu
2. ศึกษาอัตราของปุ๋ยจุลธาตุตามตำรับการทดลอง โดยใส่พร้อมกับปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน เก็บข้อมูลการเจริญเติบโตส่วนเหนือดิน ผลผลิตพืช น้ำหนักสดและหนักแห้งของพืช (biomass) นำเข้าข้อมูล วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ เพื่อหาค่าความแปรปรวนทางสถิติ (analysis of variance) และค่าทางสถิติอื่น ๆ สำหรับเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี DMRT โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ
3. เก็บข้อมูลการเจริญเติบโตส่วนเหนือดิน โดยวัดความสูง เส้นผ่าศูนย์กลางลำต้น ทุก 2 สัปดาห์ บันทึกผลผลิตพืช น้ำหนักสดและหนักแห้งของพืช (biomass)
4. นำเข้าข้อมูล วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ เพื่อหาค่าความแปรปรวนทางสถิติ (analysis of variance) และค่าทางสถิติอื่น ๆ สำหรับเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี DMRT โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ
5. จัดทำรายงาน และนำเสนอในที่ประชุมระดับกรม
6. ดำเนินการสรุปและจัดทำข้อเสนอแนะร่วมกับคณะวิจัยในโครงการ เพื่อจัดทำเอกสารคำแนะนำเพื่อการเผยแพร่ผลการทดลอง แนวทางการแก้ไขปัญหาการขาดจุลธาตุในข้าวโพดที่ปลูกบนดินเนื้อปูนบริเวณพื้นที่ภาคกลางของประเทศไทย

2.2.2 ดำเนินการในห้องปฏิบัติการประกอบด้วย

การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพดิน

- 1.เนื้อดิน (Texture) โดยวิธีปิเปต (Paul, 1965)
- 2.ความหนาแน่นรวมของดิน (Bulk density : Db)

การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีดิน

- 1.ปฏิกิริยาดิน วัดโดยใช้ pH meter โดยใช้อัตราส่วนระหว่างดิน: น้ำ เท่ากับ 1: 1 (ทัศนีย์ และจงรักษ์, 2542)
- 2.ค่าการนำไฟฟ้า (electric conductivity, EC) วัดโดยอัตราส่วนดินต่อน้ำเท่ากับ 1:5 (ทัศนีย์ และจงรักษ์, 2542; Rhoades, 1996)
- 3.ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน โดยใช้ Walkley - Black Titration (ทัศนีย์ และจงรักษ์, 2542)

4.ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โดยวิธี Bray II และวิเคราะห์ปริมาณโดยวิธี colorimetric (ทัศนีย์ และจรงักษ์, 2542)

5.ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ โดยสกัดด้วย NH_4OAc pH 7 และวิเคราะห์ปริมาณด้วย atomic absorption spectrophotometer (ทัศนีย์ และจรงักษ์, 2542)

6. ปริมาณจุลธาตุ สังกะสี, เหล็ก, แมงกานีส และทองแดงที่เป็นประโยชน์ในดิน โดยการสกัดด้วย 0.005 M DTPA pH 7.3 และวิเคราะห์ด้วย atomic absorption spectrophotometer (ทัศนีย์ และจรงักษ์, 2542; จรงักษ์, 2550; Lindsay and Norvell, 1978)

7.ปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนต (calcium carbonate) โดยวิธี titration method (Loeppert and Suarez, 1996)

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

1. การทดลองที่ 1 การศึกษาการกระจายตัวของดินเนือปนเพื่อจัดทำแผนที่สถานภาพของจุลธาตุบริเวณพื้นที่ภาคกลางของประเทศไทย กรณีศึกษาจังหวัดลพบุรี

1.1 ทรัพยากรดิน

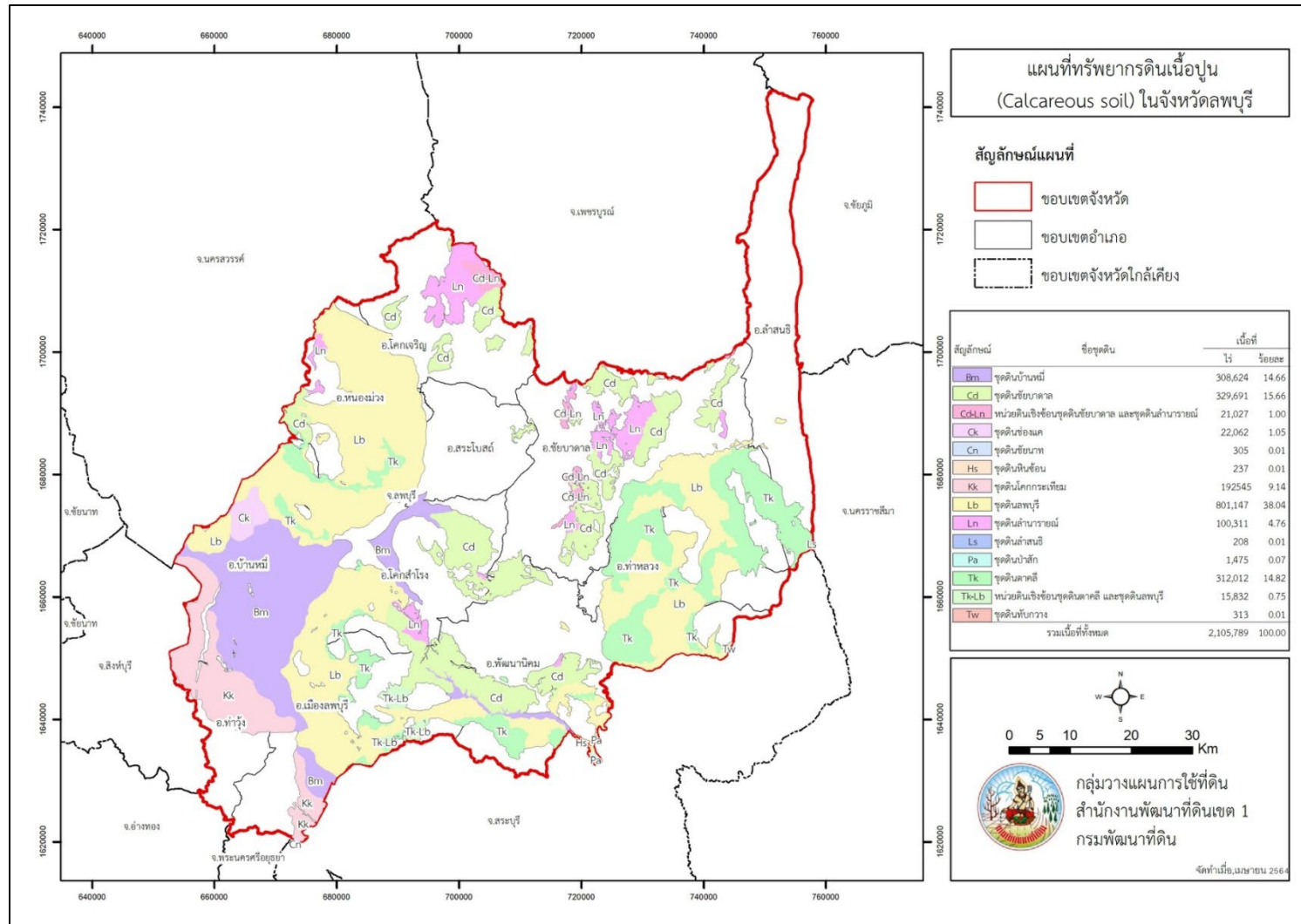
จากการศึกษาข้อมูลทรัพยากรดินของจังหวัดลพบุรีปี 2562 พบว่าจังหวัดลพบุรีในพื้นที่ศึกษาดินเนือปน มีชุดดินทั้งหมด 15 ชุดดิน ซึ่งมีเนื้อที่รวม 2,105,789 ไร่หรือร้อยละ 52.00 ของเนื้อที่ทั้งหมด ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ปลูกพืช โดยพบว่า ชุดดินลพบุรีมีเนื้อที่มากที่สุดเท่ากับ 801,147 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 38.04 ของเนื้อที่ทั้งหมด ชุดดินชัยบาดาล มีพื้นที่ 329,691 ไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 15.66 ซึ่งเป็นดินเหนียว สีดำ ปฏิกริยาดินเป็นด่างปานกลาง รายละเอียดในตารางที่ 3 และภาพที่ 12 ดังนี้

ตารางที่ 3 ทรัพยากรดินเนือปนในจังหวัดลพบุรีปี 2562

สัญลักษณ์	คำอธิบายชุดดิน	เนื้อที่	
		ไร่	ร้อยละ
Bm	ชุดดินบ้านหมี่	308,624	14.66
Cd	ชุดดินชัยบาดาล	329,691	15.66
Cd-Ln	หน่วยเชิงซ้อนของชุดดินชัยบาดาลและชุดดิน ลำน้ำรายณ์	21,027	1.00
Ck	ชุดดินช่องแค	22,062	1.05
Cn	ชุดดินชัยนาท	305	0.01
HS	ชุดดินหินซ้อน	237	0.01
Kk	ชุดดินโคกกระเทียม	192,545	9.14
Lb	ชุดดินลพบุรี	801,147	38.04
Ln	ชุดดินลำน้ำรายณ์	100,311	4.76
Ls	ชุดดินลำสนธิ	208	0.01

ตารางที่ 3 ทรัพยากรดินเนื้อปนในจังหวัดลพบุรีปี 2562 (ต่อ)

สัญลักษณ์	คำอธิบายชุดดิน	เนื้อที่	
		ไร่	ร้อยละ
Pa	ชุดดินป่าสัก	1,475	0.07
Tk	ชุดดินตาคลี	312,012	14.82
Tk-Lb	หน่วยเชิงซ้อนของชุดดินตาคลีและชุดดินลพบุรี	15,832	0.75
Tw	ชุดดินทับกวาง	313	0.01
รวมเนื้อที่ทั้งหมด		2,105,789	100.00



ภาพที่ 12 แผนที่ทรัพยากรดินเนื้อปูนในจังหวัดลพบุรีปี 2562

2. สภาพการใช้ประโยชน์ที่ดิน

จากข้อมูลสภาพการใช้ประโยชน์ที่ดินของจังหวัดลพบุรีปี 2562 โดยกลุ่มวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดิน กองนโยบายและแผนการใช้ที่ดิน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2562) พบว่าจังหวัดลพบุรี มีเนื้อที่ทั้งหมด 4,058,122 ไร่ ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่เกษตรกรรม มีเนื้อที่ 2,835,812 ไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 69.881 ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ปลูกพืชไร่ 1,804,383 ไร่ หรือร้อยละ 44.464 ของเนื้อที่ทั้งหมด รองลงมาเป็นพื้นที่ทำนามีเนื้อที่ 875,495 ไร่ หรือร้อยละ 21.574 ของเนื้อที่ทั้งหมด รายละเอียดดัง (ตารางที่ 4 และภาพที่ 13)

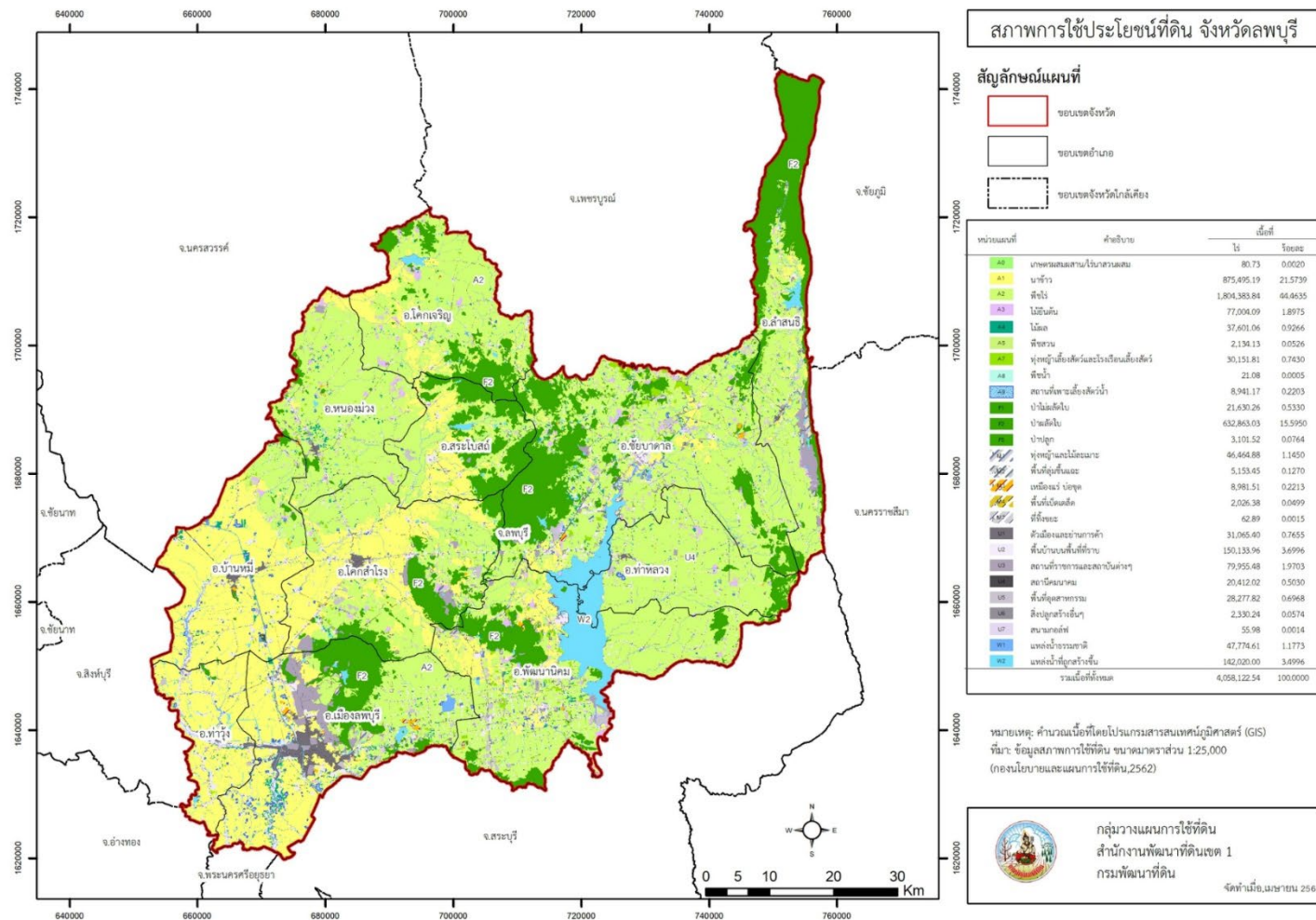
ตารางที่ 4 สภาพการใช้ประโยชน์ที่ดินจังหวัดลพบุรีปี 2562

หน่วยแผนที่	คำอธิบาย	เนื้อที่	
		ไร่	ร้อยละ
A: พื้นที่เกษตรกรรม		2,835,812	69.881
A0	เกษตรผสมผสาน/ไร่นาสวนผสม	81	0.002
A1	นาข้าว	875,495	21.574
A2	พืชไร่	1,804,383	44.464
A3	ไม้ยืนต้น	77,004	1.898
A4	ไม้ผล	37,601	0.927
A5	พืชสวน	2,134	0.052
A7	ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์และโรงเรือนเลี้ยงสัตว์	30,152	0.743
A8	พืชน้ำ	21	0.001
A9	สถานที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ	8,941	0.220
F: พื้นที่ป่าไม้		657,595	16.204
F1	ป่าไม่ผลัดใบ	21,630	0.533
F2	ป่าผลัดใบ	632,863	15.595
F5	ป่าปลูก	3,102	0.076

ตารางที่ 4 สภาพการใช้ประโยชน์ที่ดินจังหวัดลพบุรี ปี 2564 (ต่อ)

หน่วยแผนที่	คำอธิบาย	เนื้อที่	
		ไร่	ร้อยละ
M: พื้นที่เบ็ดเตล็ด		62,689	1.545
M1	ทุ่งหญ้าและไม้ละเมาะ	46,465	1.145
M2	พื้นที่ลุ่มชื้นแฉะ	5,153	0.127
M3	เหมืองแร่ บ่อขุด	8,982	0.221
M4	พื้นที่เบ็ดเตล็ด	2,026	0.050
M7	ที่ทิ้งขยะ	63	0.002
U: พื้นที่ชุมชน		312,230	7.693
U1	ตัวเมืองและย่านการค้า	31,065	0.765
U2	พื้นบ้านบนพื้นที่ที่ราบ	150,134	3.700
U3	สถานที่ราชการและสถาบันต่างๆ	79,955	1.970
U4	สถานีกมคมนาคม	20,412	0.503
U5	พื้นที่อุตสาหกรรม	28,278	0.697
U6	สิ่งปลูกสร้างอื่นๆ	2,330	0.057
U7	สนามกอล์ฟ	56	0.001
W: พื้นที่แหล่งน้ำ		189,795	4.677
W1	แหล่งน้ำธรรมชาติ	47,775	1.177
W2	แหล่งน้ำที่ถูกสร้างขึ้น	142,020	3.500
รวมเนื้อที่ทั้งหมด		5,280,430	100.000

หมายเหตุ: เนื้อที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรมสารสนเทศภูมิศาสตร์



ภาพที่ 13 แผนที่สภาพการใช้ประโยชน์ที่ดินจังหวัดลพบุรีปี 2562

3. จุดเก็บตัวอย่างดินและผลการวิเคราะห์ดิน

การศึกษาในครั้งนี้ดำเนินการสุ่มเก็บตัวอย่างดินตามข้อมูลแผนที่ชุดดินมาตราส่วน 1:25,000 โดย กองสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน กรมพัฒนาที่ดิน โดยมีการเก็บตัวอย่างดินแบบไม่รบกวน โครงสร้างดินและรบกวนโครงสร้างดิน เพื่อนำวิเคราะห์สมบัติทางเคมีบางประการได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ เหล็กที่สกัดได้ แมงกานีสที่สกัดได้ สังกะสีที่สกัดได้ และทองแดงที่สกัดได้ โดยสุ่มเก็บตัวอย่างทั้งสิ้น 61 จุด

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์จุดเก็บตัวอย่างกับชุดดิน พบว่า เก็บตัวอย่างบนชุดดินจำนวน 7 ชุดดิน ส่วนใหญ่เก็บตัวอย่างจากชุดดินลพบุรี โดยเก็บชุดดินลพบุรี (Lb) 29 ตัวอย่าง ชุดดินบ้านหมี่ (Bm) 10 ตัวอย่าง ชุดดินชัยบาดาล (Cd) 9 ตัวอย่าง ชุดดินตาคลี (Tk) 7 ตัวอย่าง ชุดโคกกระเทียม (Kk) 4 ตัวอย่าง ชุดดินช่องแค (Ck) และชุดลำนารายณ์ (Ln) 1 ตัวอย่าง (ตารางที่ 5 และภาพที่ 14)

โดยพบว่าชุดดินลพบุรีมีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงสุด อยู่ที่ 8.30 ชุดดินบ้านหมี่มีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำสุดอยู่ที่ 5.00 ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.32 ชุดดินบ้านหมี่และชุดดินลพบุรีมีความเข้มข้นของไนโตรเจน สูงสุดเท่ากันอยู่ที่ 0.21 % และต่ำสุด 0.06% ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.13% ชุดดินชัยบาดาลมีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงสุด 146.00 mg/kg และชุดดินลพบุรีมีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่ำสุด 4.00 mg/kg ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 30.88 mg/kg ชุดดินตาคลีมีโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้สูงสุด 2,448 mg/kg และชุดดินช่องแคมีโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ต่ำสุด 31.00 mg/kg ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 194.91 mg/kg ชุดดินบ้านหมี่มีเหล็กที่สกัดได้สูงสุด 155.65 mg/kg และชุดดินลพบุรีมีเหล็กที่สกัดได้ต่ำสุด 1.48 mg/kg ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 23.71 mg/kg ชุดดินชัยบาดาลมีแมงกานีสที่สกัดได้สูงสุด 48.42 mg/kg และชุดดินลพบุรีมีแมงกานีสที่สกัดได้ต่ำสุด 2.39 mg/kg ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 10.51 mg/kg ชุดดินบ้านหมี่มีสังกะสีที่สกัดได้สูงสุด 5.38 mg/kg และชุดดินชัยบาดาล ชุดดินลพบุรี และชุดดินตาคลีมีสังกะสีที่สกัดได้ต่ำสุด 0.00 mg/kg ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.53 mg/kg ชุดดินชัยบาดาลมีทองแดงที่สกัดได้สูงสุด 7.11 mg/kg และชุดดินลพบุรีมีทองแดงที่สกัดได้ต่ำสุด 0.09 mg/kg ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.85 mg/kg

ตารางที่ 5 จุดเก็บตัวอย่างดินบนชุดดินและค่าวิเคราะห์ดิน

ชุดดิน	ค่าทางสถิติ	pH	Total N (%)	Available P (mg/kg)	Exchangeable K (mg/kg)	Extractable Fe (mg/kg)	Extractable Mn (mg/kg)	Extractable Zn (mg/kg)	Extractable Cu (mg/kg)
บ้านหมี่ (Bm)	Max	8.00	0.21	60.00	550.00	155.65	40.40	5.38	6.58
n=10	Min	5.00	0.09	4.00	66.00	3.69	5.02	0.03	0.60
	Average	6.80	0.14	21.10	190.00	43.90	13.30	1.50	3.56
	S.D.	1.00	0.03	16.50	132.80	52.07	10.86	1.62	2.16
ชัยบาดาล (Cd)	Max	8.10	0.20	146.00	616.00	127.26	48.42	1.77	7.11
n=9	Min	5.50	0.07	5.00	66.00	1.66	4.56	0.00	0.49
	Average	7.10	0.15	38.00	183.10	39.19	14.30	0.71	2.86
	S.D.	1.10	0.03	41.90	162.40	45.82	13.06	0.57	2.39
โคกกระเทียม	Max	8.10	0.19	25.00	138.00	66.83	10.31	0.88	2.13
(Kk) n=4	Min	6.10	0.13	7.00	108.00	3.22	4.37	0.12	0.25
	Average	7.50	0.16	14.50	118.50	23.68	6.85	0.51	1.16
	S.D.	0.80	0.02	7.10	12.30	25.96	2.43	0.27	0.88

* Total N (%) คำนวณจากอินทรีย์วัตถุ (สมชาย, 2535) (ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดิน (%) = ปริมาณอินทรีย์วัตถุ × 0.05)

ตารางที่ 5 จุดเก็บตัวอย่างดินบนชุดดินและค่าวิเคราะห์ดิน (ต่อ)

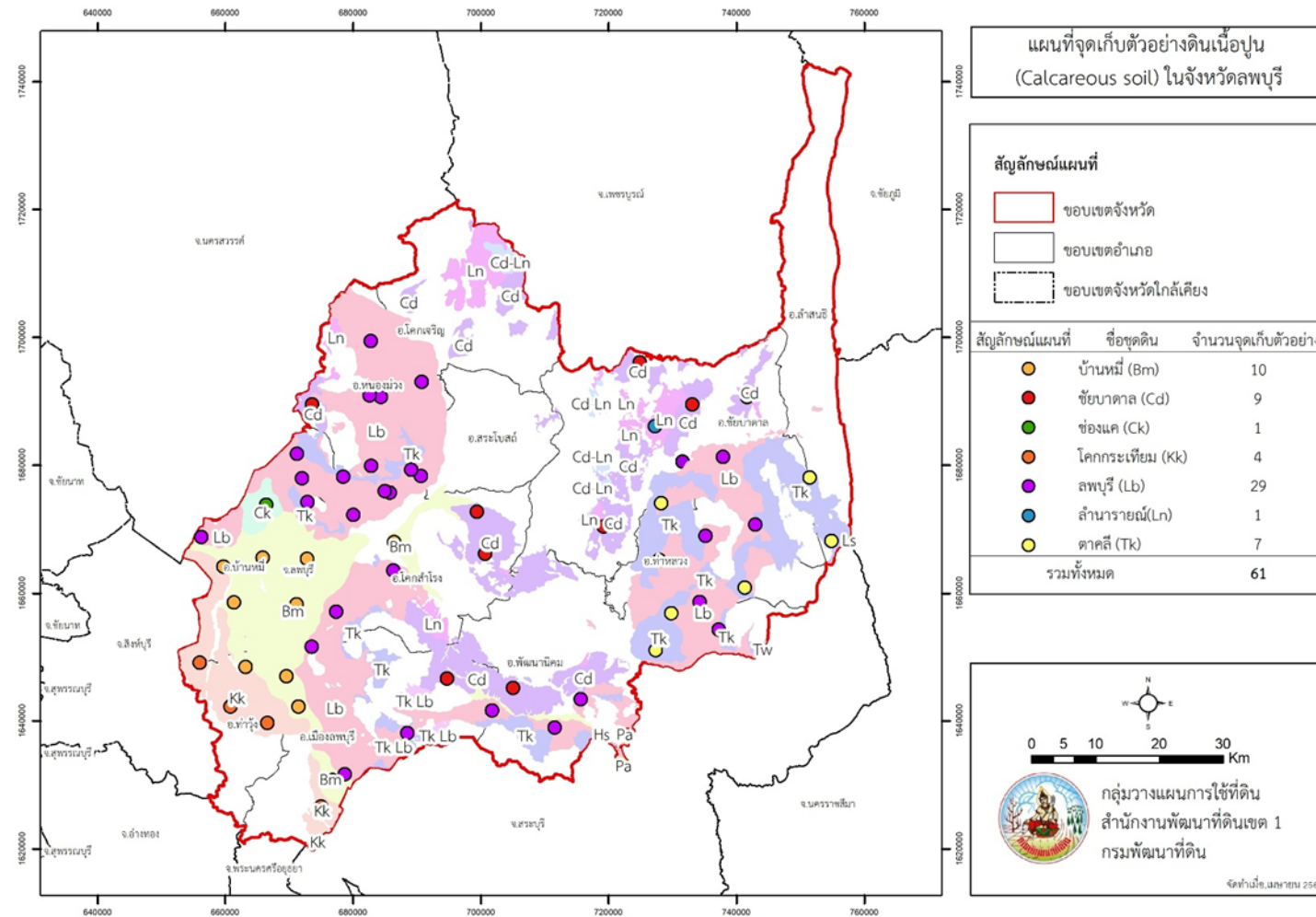
ชุดดิน	ค่าทางสถิติ	pH	Total N (%)	Available P (mg/kg)	Exchangeable K (mg/kg)	Extractable Fe (mg/kg)	Extractable Mn (mg/kg)	Extractable Zn (mg/kg)	Extractable Cu (mg/kg)
ลพบุรี (Lb) n=29	Max	8.30	0.21	100.00	495.00	88.83	16.94	1.48	5.18
	Min	5.30	0.06	4.00	34.00	1.48	2.39	0.00	0.09
	Average	7.50	0.12	34.10	160.40	14.81	6.99	0.26	1.04
	S.D.	0.70	0.03	22.20	92.20	21.66	4.04	0.40	1.01
ตากลี (Tk) n=7	Max	7.80	0.13	95.00	2,448.00	24.51	42.40	0.85	1.97
	Min	7.00	0.08	8.00	66.00	2.86	4.65	0.00	0.39
	Average	7.40	0.10	35.40	441.40	13.55	17.44	0.15	1.17
	S.D.	0.30	0.01	29.80	819.60	7.43	12.76	0.28	0.52
ช่องแค (Ck) n=1	-	7.60	0.09	12.00	31.00	24.08	16.80	0.09	6.54
ลำนารายณ์ (Ln) n=1	-	7.80	0.07	25.00	96.00	11.44	10.93	0.49	2.08

* Total N (%) คำนวณจากอินทรีย์วัตถุ (สมชาย, 2535) (ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดิน (%) = ปริมาณอินทรีย์วัตถุ × 0.05)

ตารางที่ 5 จุดเก็บตัวอย่างดินบนชุดดินและค่าวิเคราะห์ดิน (ต่อ)

ชุดดิน	ค่าทางสถิติ	pH	Total N (%)	Available P (mg/kg)	Exchangeable K (mg/kg)	Extractable Fe (mg/kg)	Extractable Mn (mg/kg)	Extractable Zn (mg/kg)	Extractable Cu (mg/kg)
ทั้งหมด n=61	Max	8.30	0.21	146.00	2,448	155.65	48.42	5.38	7.11
	Min	5.00	0.06	4.00	31.00	1.48	2.39	0.00	0.09
	Average	7.30	0.13	30.88	194.91	23.71	10.51	0.53	1.85
	S.D.	0.80	0.03	26.42	310.61	34.38	9.36	0.88	1.89

* Total N (%) คำนวณจากอินทรีย์วัตถุ (สมชาย, 2535) (ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดิน (%) = ปริมาณอินทรีย์วัตถุ × 0.05)



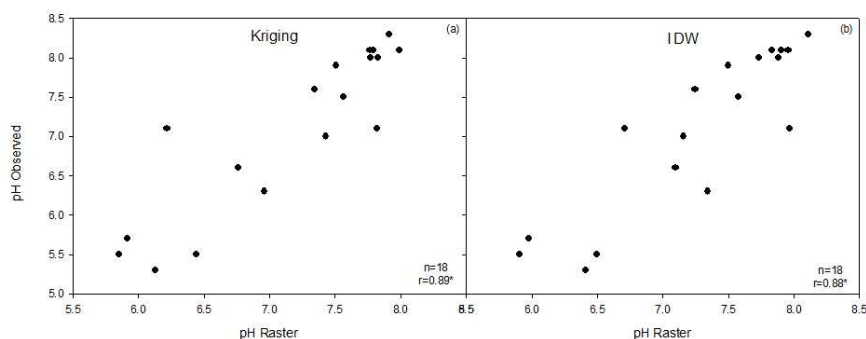
ภาพที่ 14 แผนที่จุดเก็บตัวอย่างดินเนื้อปูนในจังหวัดลพบุรี

4. การประมาณค่าสมบัติทางเคมีบางประการของดิน โดยวิธี Kriging และ IDW

จากจุดเก็บตัวอย่างทั้งหมดจำนวน 61 ตัวอย่าง สุ่มแบ่งตัวอย่างออกเป็น 2 กลุ่ม ในสัดส่วน 70:30 (43:18 จุด) โดยนำตัวอย่างจำนวน 43 ตัวอย่าง นำไปประมาณค่าด้วยวิธี Kriging และ IDW และใช้จุดเก็บตัวอย่างดิน 18 ตัวอย่าง ตรวจสอบความถูกต้องของแผนที่การประมาณค่า โดยจัดทำแผนที่การประมาณค่าสมบัติทางเคมีของดินบางประการ ได้แก่ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ เหล็กที่สกัดได้ แมงกานีสที่สกัดได้ สังกะสีที่สกัดได้ และทองแดงที่สกัดได้

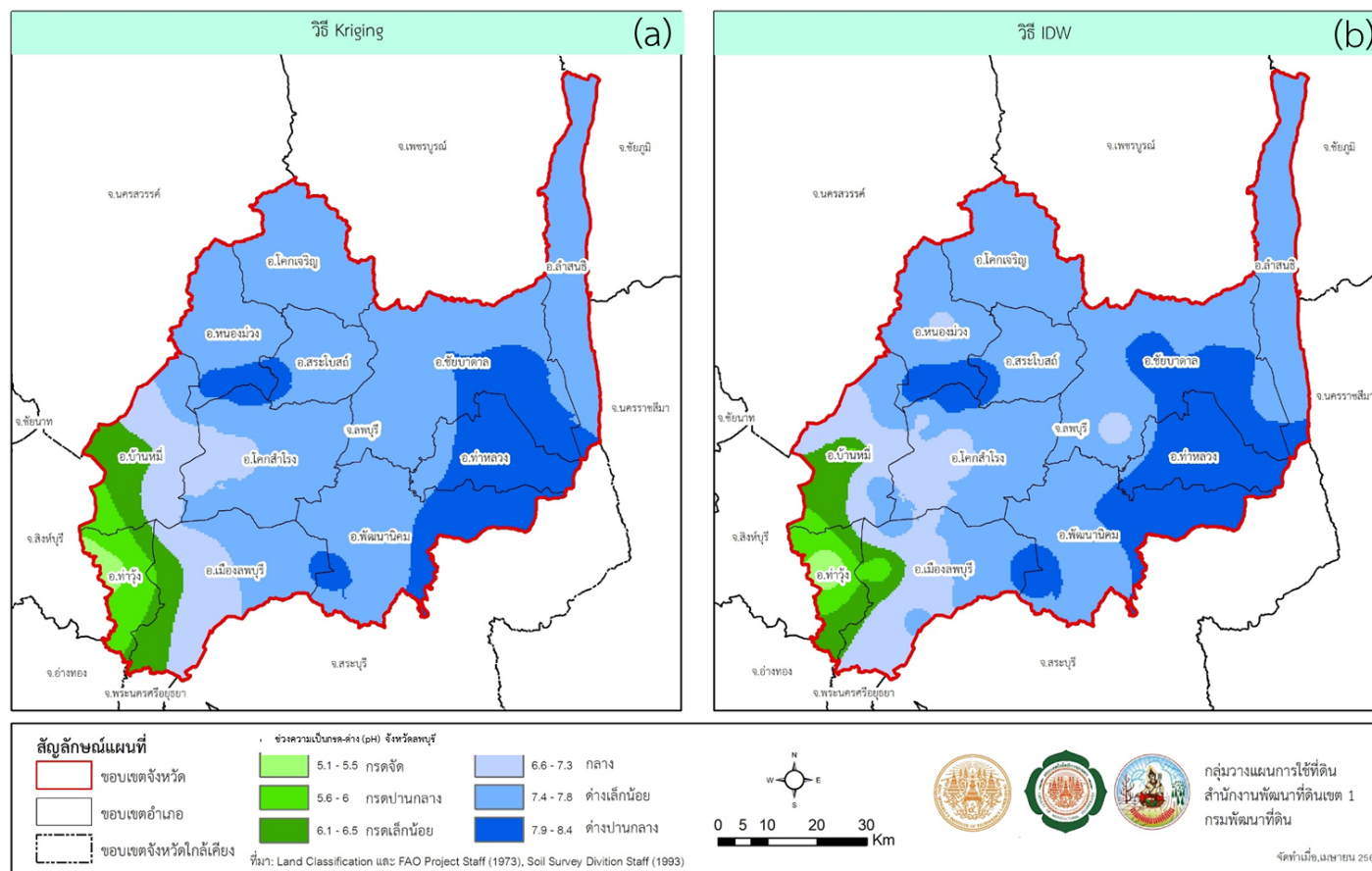
4.1 การประมาณค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

การประมาณค่าของค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของดิน ในพื้นที่จังหวัดลพบุรีโดยการใช้วิธี Kriging และ IDW พบว่าพื้นที่ส่วนใหญ่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง อยู่ในช่วง 7.40-7.80 (ด่างเล็กน้อย) (ภาพที่ 16) เมื่อเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการเก็บตัวอย่างและจากการประมาณค่า พบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.89 และ 0.88 ตามลำดับ (ภาพที่ 15) แสดงว่าค่า pH จากการประมาณค่าทั้งสองมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับค่า pH จากจุดเก็บตัวอย่าง วิธีในทางบวกที่ระดับความเชื่อมั่น 95% มีค่า RMSE เท่ากับ 0.49 และ 0.54 ตามลำดับ และมีค่า NRMSE เท่ากับ 6.93% และ 7.63% ตามลำดับ ทั้ง 2 วิธี มีค่าสถิติทั้งสองไม่แตกต่างกัน แสดงให้เห็นว่าแผนที่จากการประมาณค่าทั้งสองวิธีสามารถนำมาใช้ได้จริง เนื่องจากมีค่า NRMSE ที่แสดงว่าการประมาณค่าของแผนที่ด้วยวิธีสองวิธีมีประสิทธิภาพดี



ภาพที่ 15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH จากจุดเก็บตัวอย่าง และค่า pH จากการประมาณค่าด้วยวิธี Kriging (a) และ IDW (b)

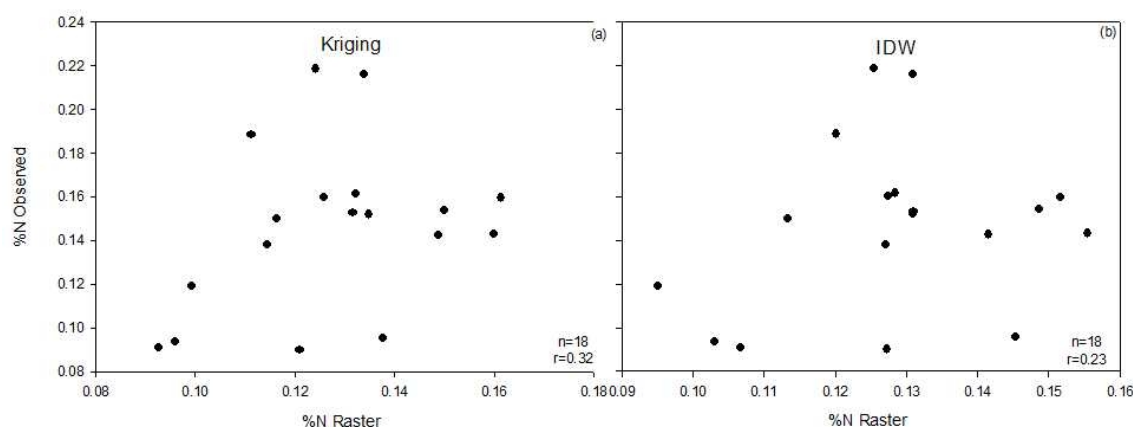
แผนที่ความเป็นกรด-ด่างของดิน (pH) จังหวัดลพบุรี โดยวิธี Kriging และวิธี IDW



ภาพที่ 16 แผนที่ความเป็นกรด-ด่างของดิน (pH) จังหวัดลพบุรี โดยวิธี Kriging (a) และวิธี IDW (b)

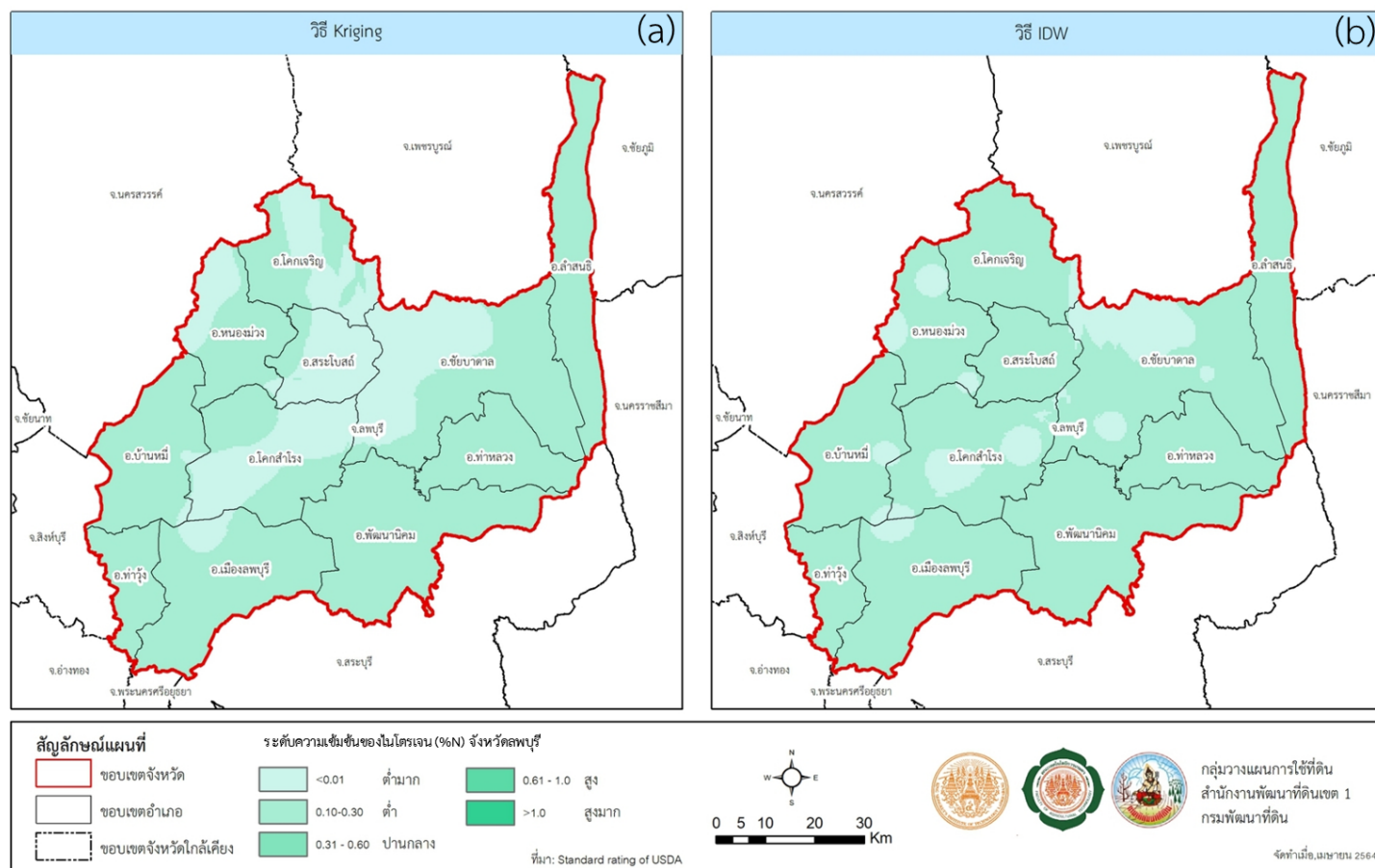
4.2 การประมาณค่าความเข้มข้นของไนโตรเจน (%N)

การประมาณค่าของค่าไนโตรเจน (%N) ของดิน ในพื้นที่จังหวัดลพบุรี โดยการใช้วิธี Kriging และ IDW พบว่าพื้นที่ส่วนใหญ่มีค่าไนโตรเจน (%N) อยู่ในช่วง 0.10-0.30% (ต่ำ) (ภาพที่ 18) เมื่อเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการเก็บตัวอย่างและการประมาณค่า พบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.32 และ 0.23 ตามลำดับ (ภาพที่ 17) แสดงว่าค่าไนโตรเจน (%N) จากการประมาณค่าทั้งสองมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับค่าไนโตรเจน (%N) จากจุดเก็บตัวอย่าง โดยวิธี Kriging และวิธี IDW มีความสัมพันธ์ในทางบวก มีค่า RMSE เท่ากับ 0.04 และ 0.04 ตามลำดับ มีค่า NRMSE เท่ากับ 27.77% และ 28.06% ตามลำดับ ทั้ง 2 วิธี ไม่แตกต่างกัน และมีประสิทธิภาพของการประมาณค่าของแผนที่พอใช้ ทั้งนี้เนื่องจากในพื้นที่จังหวัดลพบุรี มีไนโตรเจน (%N) โดยมีค่าต่ำสุดอยู่ที่ 0.06% และสูงสุดอยู่ที่ 0.21% ซึ่งเป็นช่วงข้อมูลค่อนข้างแคบอาจทำให้การประมาณค่าทั้งสองวิธีมีความถูกต้องน้อยลง (ตารางที่ 5)



ภาพที่ 17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นไนโตรเจน (%N) จากจุดเก็บตัวอย่าง และความเข้มข้นไนโตรเจน (%N) จากการประมาณค่า วิธี Kriging (a) และ IDW (b)

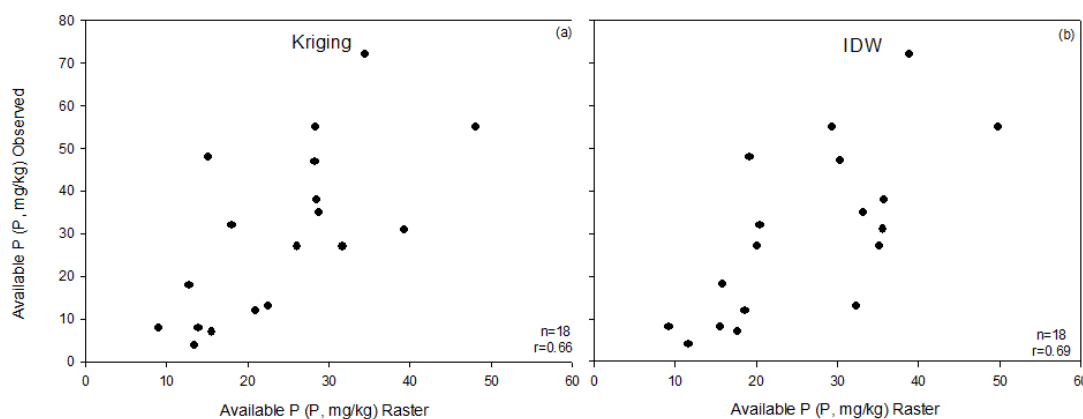
แผนที่ความเข้มข้นของไนโตรเจน (%N) จังหวัดลพบุรี โดยวิธี Kriging และวิธี IDW



ภาพที่ 18 แผนที่ความเข้มข้นของไนโตรเจน (%N) จังหวัดลพบุรี โดยวิธี Kriging (a) และวิธี IDW (b)

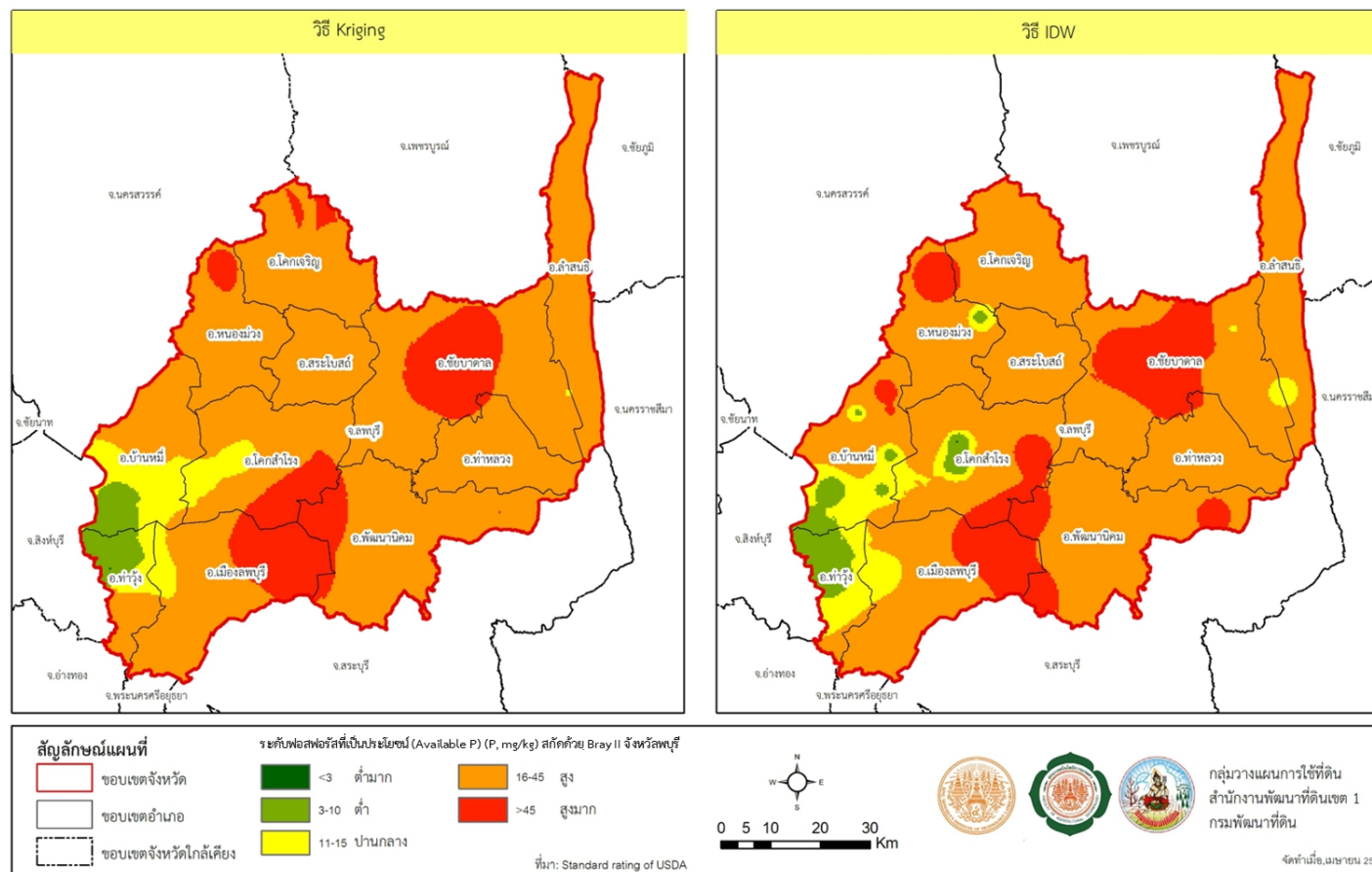
4.3 การประมาณค่าระดับฟอสฟอรัส (P)

การประมาณค่าของค่าฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P, mg/kg) ของดิน ในพื้นที่ จังหวัดลพบุรี โดยการใช้วิธี Kriging และ IDW พบว่าพื้นที่ส่วนใหญ่มีค่าฟอสฟอรัสเป็นประโยชน์ (Available P, mg/kg) อยู่ในช่วง 16-45 mg/kg (สูง) (ภาพที่ 20) เมื่อเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการเก็บ ตัวอย่างและจากการประมาณค่า พบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.66 และ 0.69 ตามลำดับ (ภาพที่ 19) แสดงว่าค่าฟอสฟอรัสเป็นประโยชน์ (Available P, mg/kg) จากการประมาณค่าทั้งสองมีค่า สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับค่าฟอสฟอรัสเป็นประโยชน์ (Available P, mg/kg) จากจุดเก็บ ตัวอย่าง โดยวิธี Kriging และวิธี IDW มีความสัมพันธ์ทางบวก มีค่า RMSE เท่ากับ 15.64 และ 14.56 ตามลำดับ มีค่า NRMSE เท่ากับ 52.42% และ 48.82% ตามลำดับ ทั้ง 2 วิธี ไม่แตกต่างกัน และมี ประสิทธิภาพของการประมาณค่าต่ำ ทั้งนี้เนื่องจากการใช้ Bray II ซึ่งเป็นกรดมาวิเคราะห์ดินต่างทำให้ การวิเคราะห์ค่าฟอสฟอรัสเป็นประโยชน์ (Available P, mg/kg) อาจไม่ถูกต้อง จึงอาจทำให้ความถูกต้อง ของแผนที่ลดลง อาจใช้น้ำยาสกัดที่เหมาะสมกับดินต่าง คือ Olsen ในการวิเคราะห์ดินเนื้อปูน โดยใน การศึกษาครั้งนี้มีค่าต่ำสุดอยู่ที่ 4 mg/kg และสูงสุดอยู่ที่ 146 mg/kg (ตารางที่ 5)



ภาพที่ 19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P, mg/kg) จากจุดเก็บตัวอย่าง และฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P, mg/kg) จากการประมาณค่า โดยวิธี kriging (a) และ IDW (b)

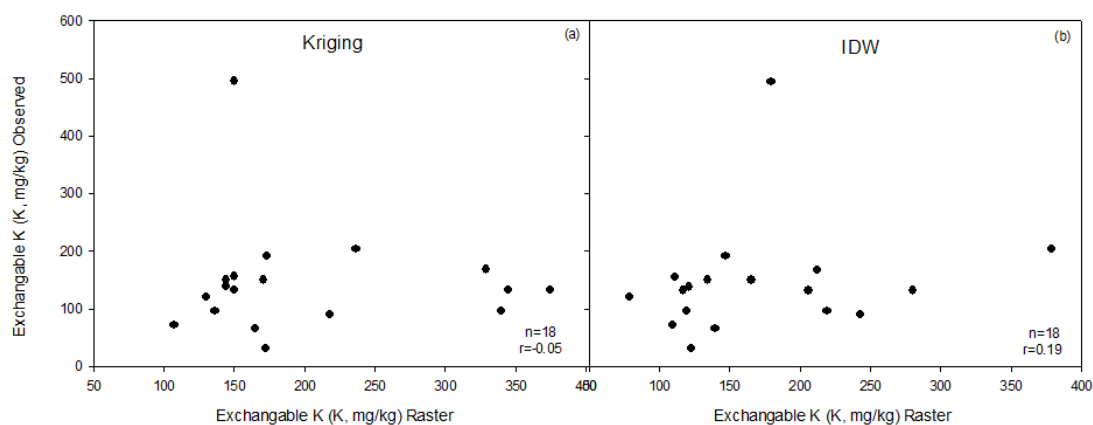
แผนที่ระดับฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P) (P, mg/kg) สกัดด้วย Bray II
จังหวัดลพบุรี โดยวิธี Kriging และวิธี IDW



ภาพที่ 20 แผนที่ระดับฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P, mg/kg) สกัดด้วย Bray II จังหวัดลพบุรี โดยวิธี Kriging (a) และวิธี IDW (b)

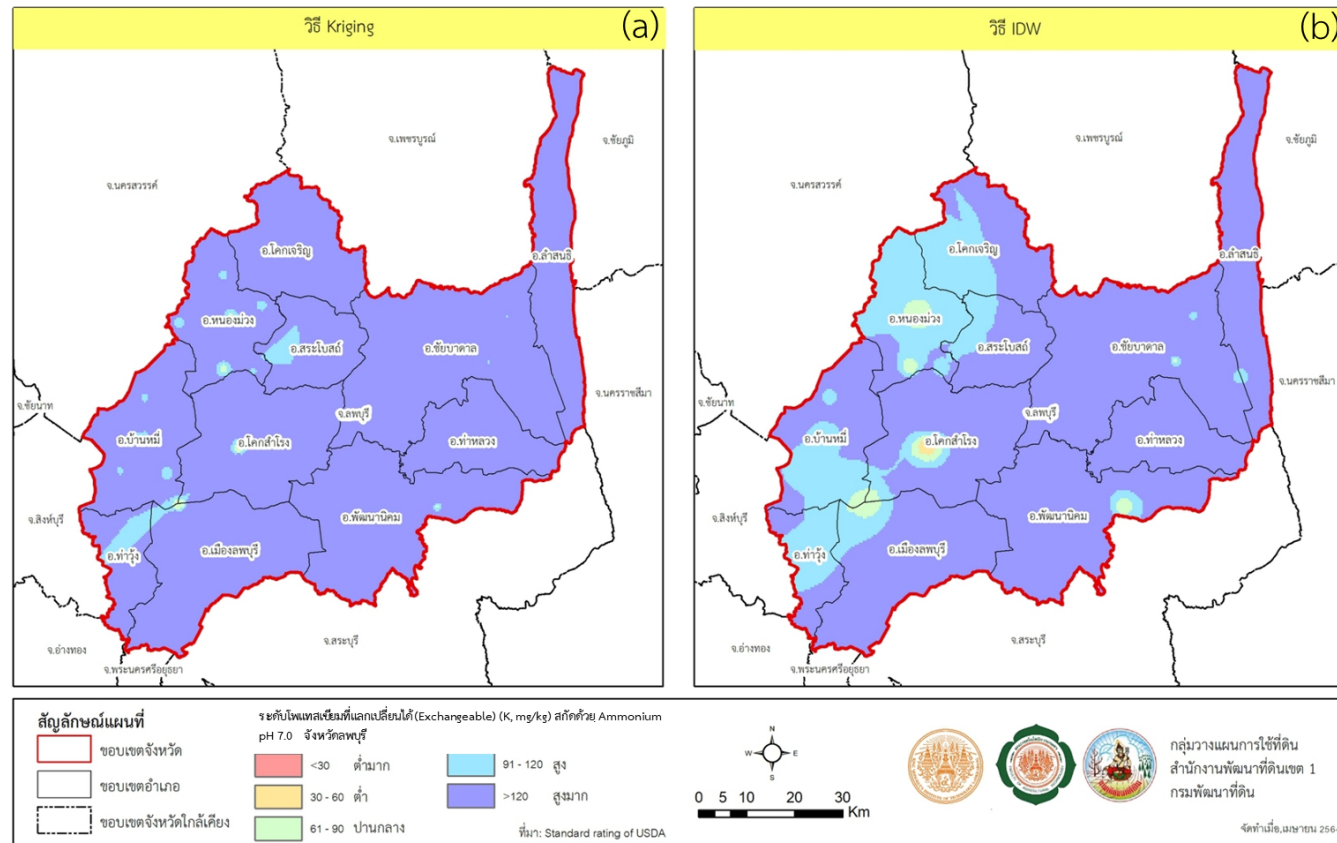
4.4 การประมาณค่าระดับธาตุโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable K)

การประมาณค่าของค่าโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable K, mg/kg) ของดิน ในพื้นที่จังหวัดลพบุรีโดยการใช้วิธี Kriging และ IDW พบว่าพื้นที่ส่วนใหญ่มีค่าธาตุโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable K, mg/kg) อยู่ในช่วงมากกว่า 120 mg/kg (สูงมาก) (ภาพที่ 22) เมื่อเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการเก็บตัวอย่างและการประมาณค่า พบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.05 และ 0.19 ตามลำดับ (ภาพที่ 21) แสดงว่าค่าโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable K, mg/kg) จากการประมาณค่าทั้งสองมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับค่าโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable K, mg/kg) จากจุดเก็บตัวอย่าง โดยวิธี Kriging และวิธี IDW ให้ผลในทางบวกที่ระดับความเชื่อมั่นมากกว่า 95% มีค่า RMSE เท่ากับ 141.44 และ 110.74 ตามลำดับ มีค่า NRMSE เท่ากับ 97.17% และ 76.08% ตามลำดับ วิธี IDW ให้ผลที่ดีกว่า และมีประสิทธิภาพของการประมาณค่าต่ำ ทั้งนี้ เนื่องจาก มีค่าธาตุโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable K, mg/kg) ซึ่งเป็นช่วงข้อมูลค่อนข้างกว้าง อาจเนื่องจากการจัดการพื้นที่แตกต่างกัน โดยมีค่าต่ำสุดอยู่ที่ 31 mg/kg และสูงสุดอยู่ที่ 2,448 mg/kg (ตารางที่ 5)



ภาพที่ 21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable K, mg/kg) จากจุดเก็บตัวอย่าง และระดับโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable K, mg/kg) จากการประมาณค่าวิธี kriging (a) และ IDW (b)

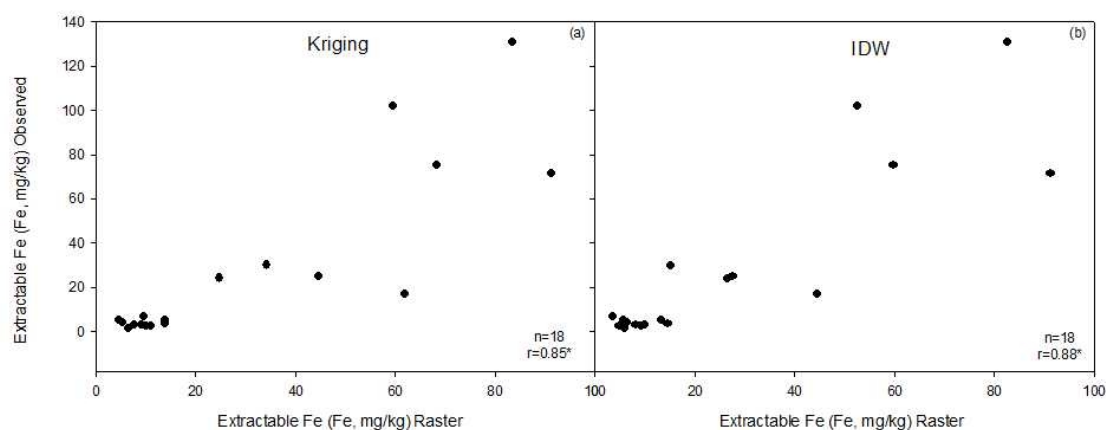
แผนที่ระดับโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable) (K, mg/kg) สกัดด้วย Ammonium pH 7.0
จังหวัดลพบุรี โดยวิธี Kriging และวิธี IDW



ภาพที่ 22 แผนที่ระดับโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable K, mg/kg) สกัดด้วย Ammonium pH 7.0 จังหวัดลพบุรี โดยวิธี Kriging (a) และวิธี IDW (b)

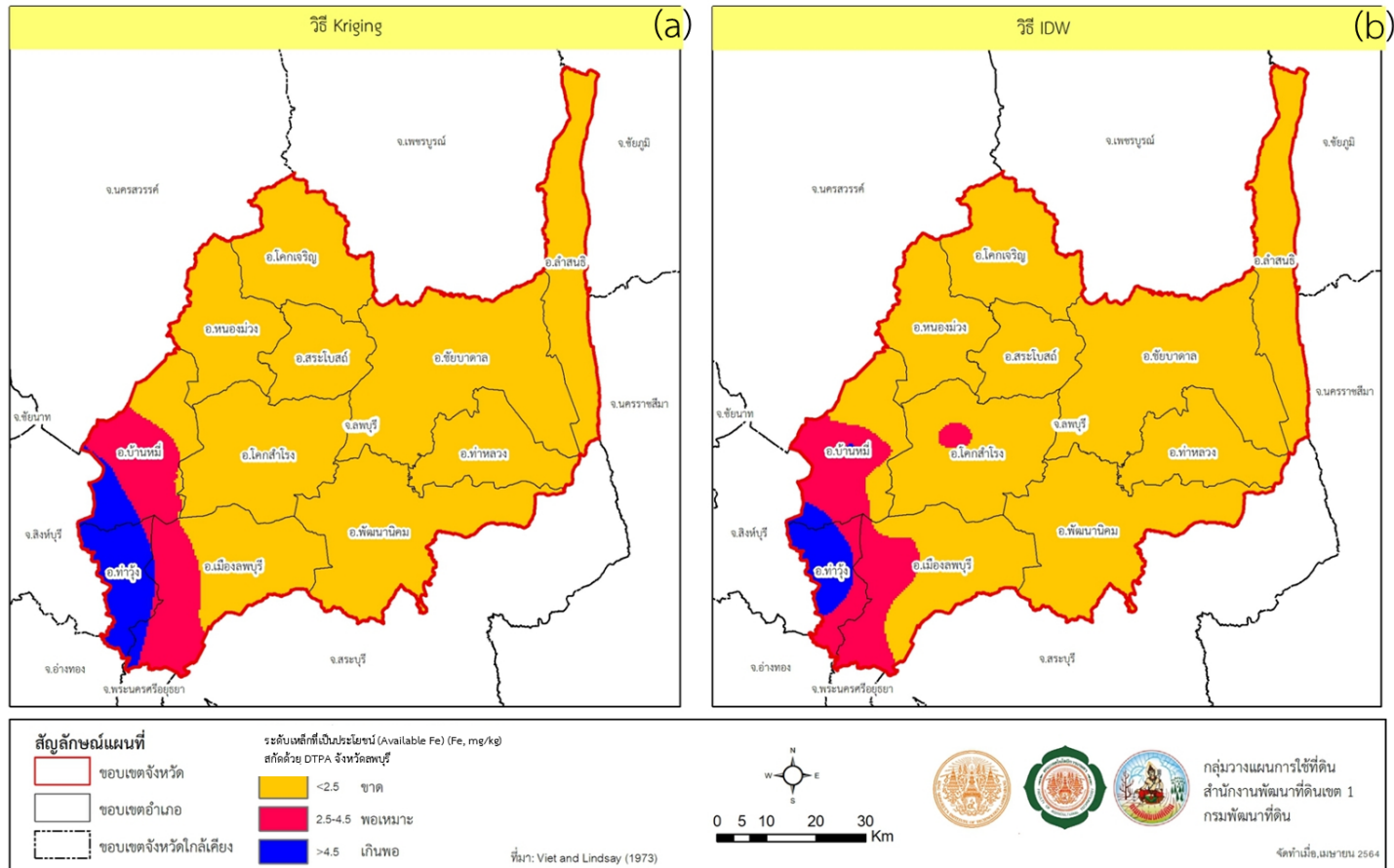
4.5 การประมาณค่าระดับเหล็กที่สกัดได้ (Extractable Fe)

การประมาณค่าของเหล็กที่สกัดได้ (Extractable Fe, mg/kg) ของดิน ในพื้นที่จังหวัดลพบุรี โดยการใช้วิธี Kriging และ IDW พบว่าพื้นที่ส่วนใหญ่มีค่าเหล็กที่สกัดได้ (Extractable Fe, mg/kg) อยู่ในช่วงน้อยกว่า 2.5 mg/kg (ขาดแคลน) (ภาพที่ 24) เมื่อเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการเก็บตัวอย่าง และการประมาณค่า พบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.85 และ 0.88 ตามลำดับ (ภาพที่ 23) แสดงว่าค่าเหล็กที่สกัดได้ (Extractable Fe, mg/kg) จากการประมาณค่าทั้งสองมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับค่าเหล็กที่สกัดได้ (Extractable Fe, mg/kg) จากจุดเก็บตัวอย่าง โดยวิธี Kriging และวิธี IDW ให้ผลในทางบวกที่ระดับความเชื่อมั่น 95% มีค่า RMSE เท่ากับ 20.13 และ 19.32 ตามลำดับ มีค่า NRMSE เท่ากับ 70.62% และ 67.78% ตามลำดับ ทั้ง 2 วิธี ไม่แตกต่างกัน และมีประสิทธิภาพของการประมาณค่าต่ำ ทั้งนี้เนื่องจากในพื้นที่จังหวัดลพบุรี มีค่าเหล็กที่สกัดได้ (Extractable Fe, mg/kg) จากภาพที่ 4.12 โดยมีค่ามัธยฐานอยู่ที่ 7.88 mg/kg จะเห็นได้ว่าพลวิเคราะห์ตัวอย่างส่วนใหญ่มีค่าค่อนข้างต่ำ โดยมีค่าต่ำสุดอยู่ที่ 1.48 mg/kg และสูงสุดอยู่ที่ 155.65 mg/kg (ตารางที่ 5)



ภาพที่ 23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับเหล็กที่สกัดได้ (Extractable Fe, mg/kg) จากจุดเก็บตัวอย่าง และระดับเหล็กที่สกัดได้ (Extractable Fe, mg/kg) จากการประมาณค่าวิธี kriging (a) และ IDW (b)

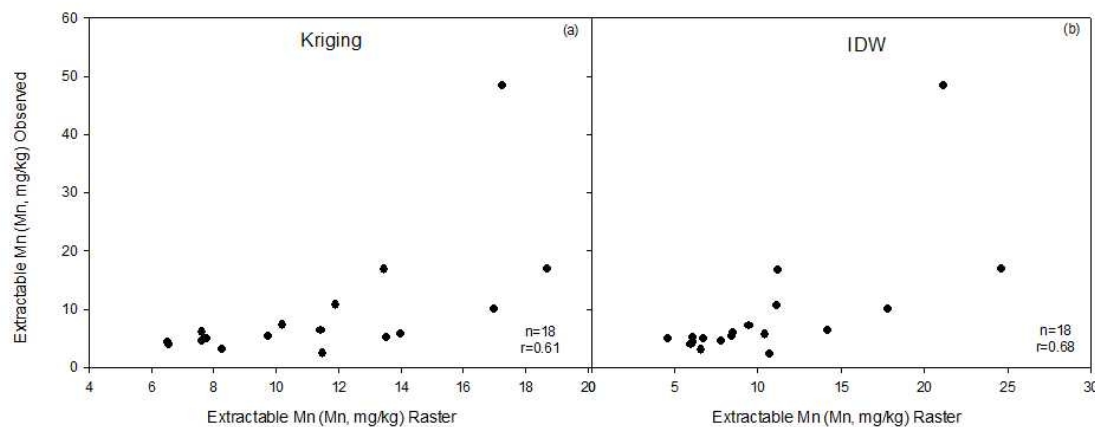
แผนที่ระดับเหล็กที่เป็นประโยชน์ (Available Fe) (Fe, mg/kg) สกัดด้วย DTPA จังหวัดลพบุรี
โดยวิธี Kriging และวิธี IDW



ภาพที่ 24 แผนที่ระดับเหล็กที่สกัดได้ (Extractable Fe, mg/kg) สกัดด้วย DTPA จังหวัดลพบุรี โดยวิธี Kriging (a) และวิธี IDW (b)

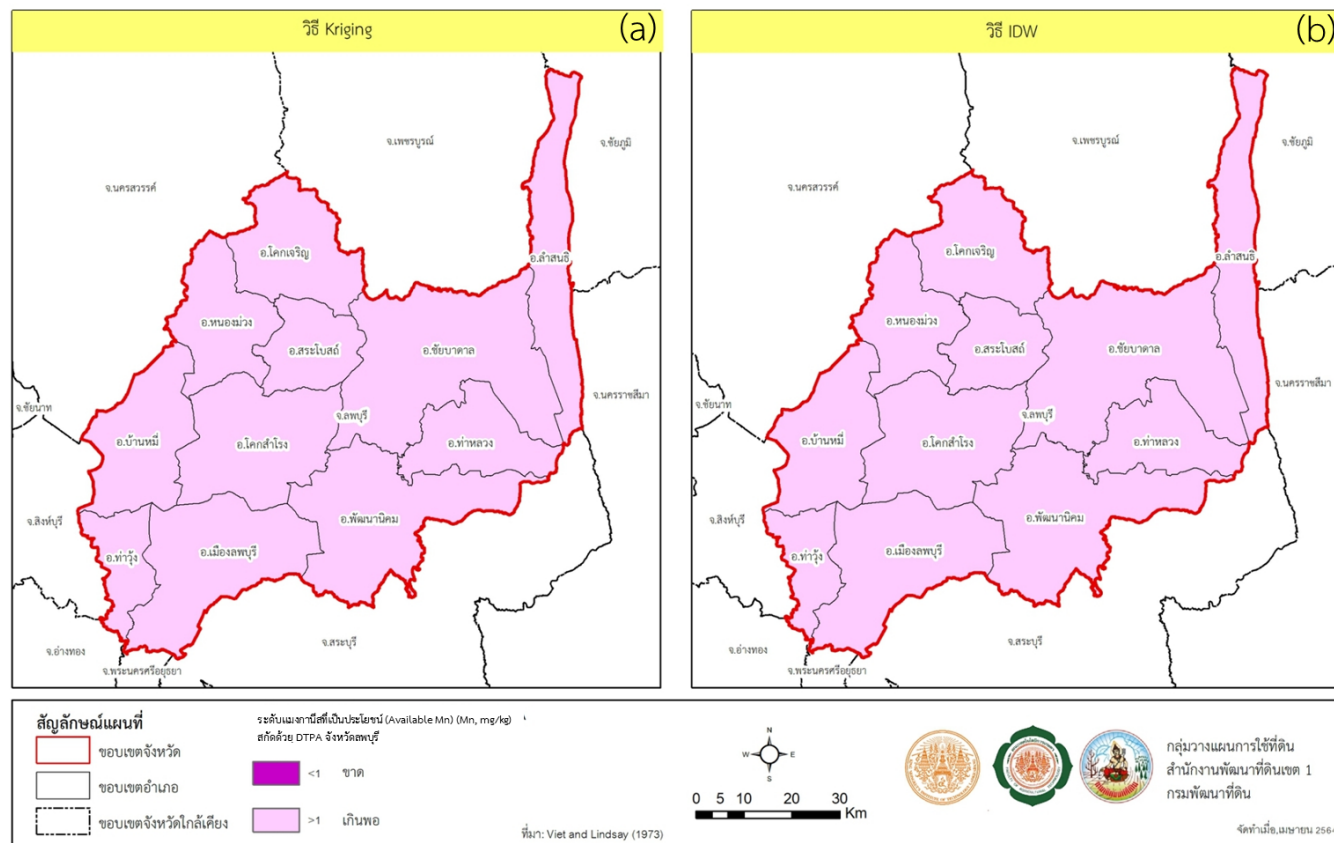
4.6 การประมาณค่าระดับแมงกานีสที่สกัดได้ (Extractable Mn)

การประมาณค่าของแมงกานีสที่สกัดได้ (Extractable Mn, mg/kg) ของดิน ในพื้นที่จังหวัดลพบุรีโดยการใช้วิธี Kriging และ IDW พบว่าพื้นที่ส่วนใหญ่มีแมงกานีสที่สกัดได้ (Extractable Mn, mg/kg) อยู่ในช่วงมากกว่า 1 mg/kg (เกินพอ) (ภาพที่ 26) เมื่อเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการเก็บตัวอย่างและการประมาณค่า พบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.61 และ 0.68 ตามลำดับ (ภาพที่ 25) แสดงว่าแมงกานีสที่สกัดได้ (Extractable Mn, mg/kg) จากการประมาณค่าทั้งสองมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับแมงกานีสที่สกัดได้ (Extractable Mn, mg/kg) จากจุดเก็บตัวอย่าง โดยวิธี Kriging และวิธี IDW ให้ผลในทางบวกที่ระดับความเชื่อมั่นมากกว่า 95% มีค่า RMSE เท่ากับ 8.75 และ 7.83 ตามลำดับ มีค่า NRMSE เท่ากับ 49.81% และ 84.46% ตามลำดับ ทั้ง 2 วิธี ไม่แตกต่างกัน และมีประสิทธิภาพของการประมาณค่าต่ำ ทั้งนี้เนื่องจากในพื้นที่จังหวัดลพบุรี มีค่าแมงกานีสที่สกัดได้ (Extractable Mn, mg/kg) จากภาพที่ 4.14 โดยมีค่ามัธยฐานอยู่ที่ 6.35 mg/kg ไม่แตกต่างกันมาก จะเห็นได้ว่าผลวิเคราะห์มีค่าอยู่ในช่วงที่เกินพอ โดยมีค่าต่ำสุดอยู่ที่ 2.39 mg/kg และสูงสุดอยู่ที่ 48.42 mg/kg (ตารางที่ 5)



ภาพที่ 25 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับแมงกานีสที่สกัดได้ (Extractable Mn, mg/kg) จากจุดเก็บตัวอย่าง และระดับแมงกานีสที่สกัดได้ (Extractable Mn, mg/kg) จากการประมาณค่า วิธี kriging (a) และ IDW (b)

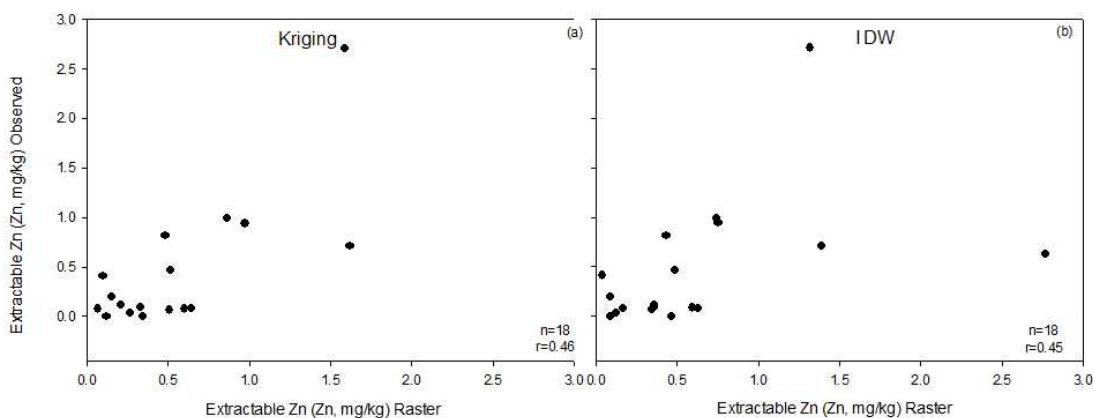
แผนที่ระดับแมงกานีสที่เป็นประโยชน์ (Available Mn) (Mn, mg/kg) สกัดด้วย DTPA จังหวัด
ลพบุรี โดยวิธี Kriging และวิธี IDW



ภาพที่ 26 แผนที่ระดับแมงกานีสที่สกัดได้ (Extractable Mn, mg/kg) สกัดด้วย DTPA จังหวัดลพบุรี โดยวิธี Kriging (a) และวิธี IDW (b)

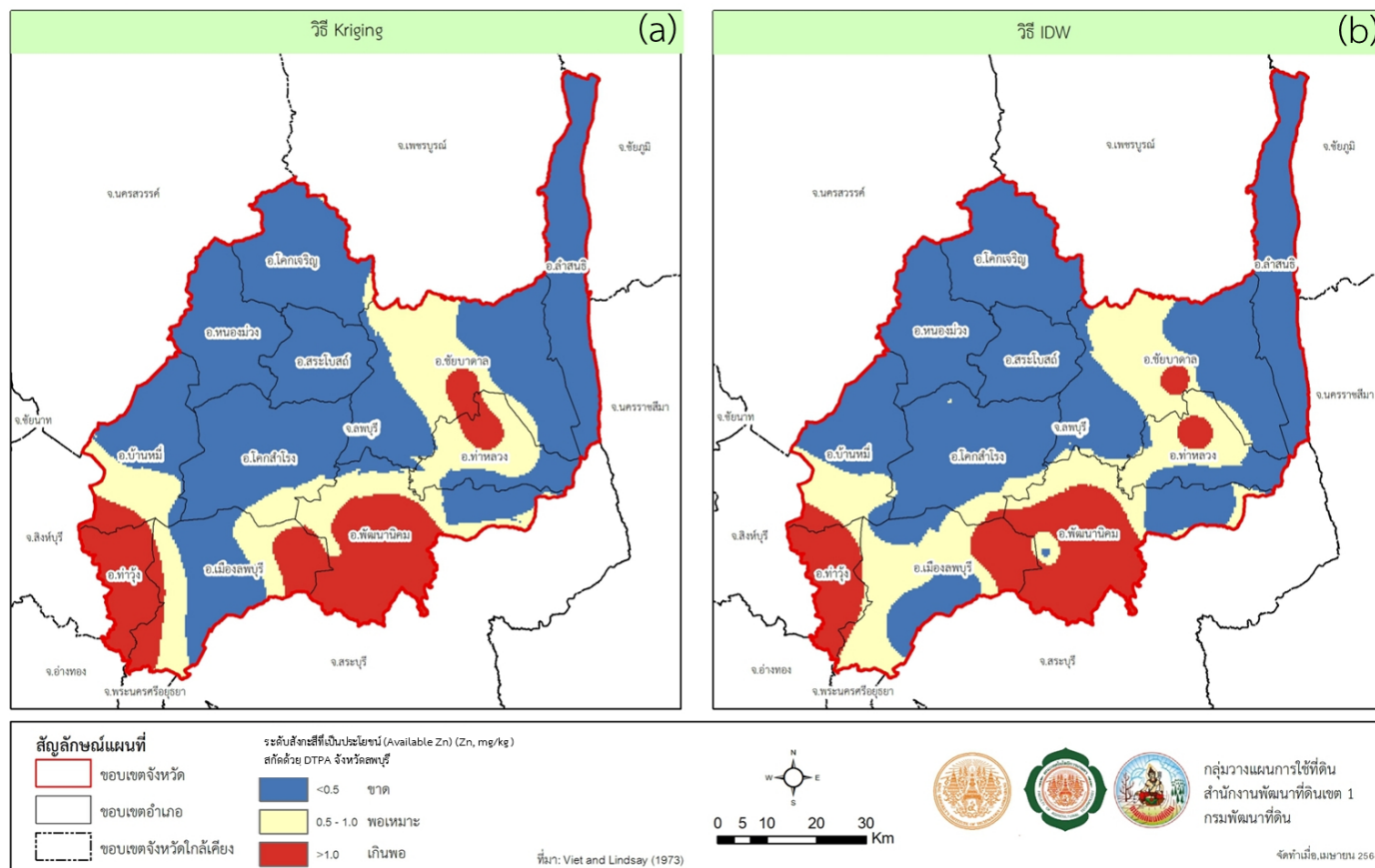
4.7 การประมาณค่าระดับสังกะสีที่สกัดได้ (Extractable Zn)

การประมาณค่าของสังกะสีที่สกัดได้ (Extractable Zn, mg/kg) ของดิน ในพื้นที่จังหวัดลพบุรีโดยการใช้วิธี Kriging และ IDW พบว่าพื้นที่ส่วนใหญ่มีสังกะสีที่สกัดได้ (Extractable Zn, mg/kg) อยู่ในช่วงน้อยกว่า 0.50 mg/kg (ขาดแคลน) (ภาพที่ 28) เมื่อเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการเก็บตัวอย่างและการประมาณค่า พบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.46 และ 0.45 ตามลำดับ (ภาพที่ 27) แสดงว่าสังกะสีที่สกัดได้ (Extractable Zn, mg/kg) จากการประมาณค่าทั้งสองมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับสังกะสีที่สกัดได้ (Extractable Zn, mg/kg) จากจุดเก็บตัวอย่าง โดยวิธี Kriging และวิธี IDW ให้ผลในทางบวกระดับความเชื่อมั่นมากกว่า 95% มีค่า RMSE เท่ากับ 0.80 และ 0.68 ตามลำดับ มีค่า NRMSE เท่ากับ 172.49% และ 146.64% ตามลำดับ ทั้ง 2 วิธี ไม่แตกต่างกัน และมีประสิทธิภาพของการประมาณค่าต่ำ ทั้งนี้เนื่องจากในพื้นที่จังหวัดลพบุรี มีค่าสังกะสีที่สกัดได้ (Extractable Zn, mg/kg) จากภาพที่ 4.16 โดยมีค่ามัธยฐานอยู่ที่ 0.42 mg/kg จะเห็นได้ว่าผลวิเคราะห์มีค่าค่อนข้างต่ำ โดยมีค่าต่ำสุดอยู่ที่ 0.00 mg/kg และสูงสุดอยู่ที่ 5.38 mg/kg (ตารางที่ 5)



ภาพที่ 27 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับสังกะสีที่สกัดได้ (Extractable Zn, mg/kg) จากจุดเก็บตัวอย่าง และระดับสังกะสีที่สกัดได้ (Extractable Zn, mg/kg) จากการประมาณค่า

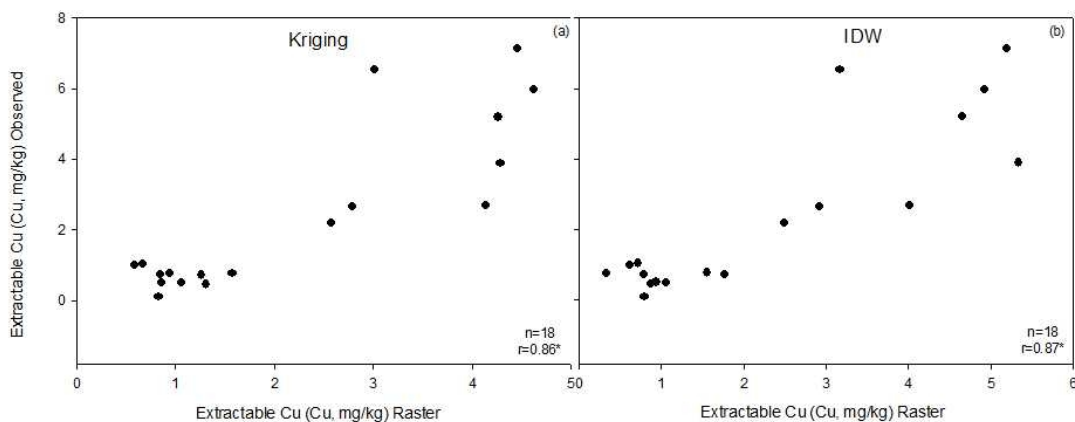
แผนที่ระดับสังกะสีที่เป็นประโยชน์ (Available Zn) (Zn, mg/kg) สกัดด้วย DTPA จังหวัด
ลพบุรี โดยวิธี Kriging และวิธี IDW



ภาพที่ 28 แผนที่ระดับสังกะสีที่สกัดได้ (Extractable Zn, mg/kg) สกัดด้วย DTPA จังหวัดลพบุรี โดยวิธี Kriging (a) และวิธี IDW (b)

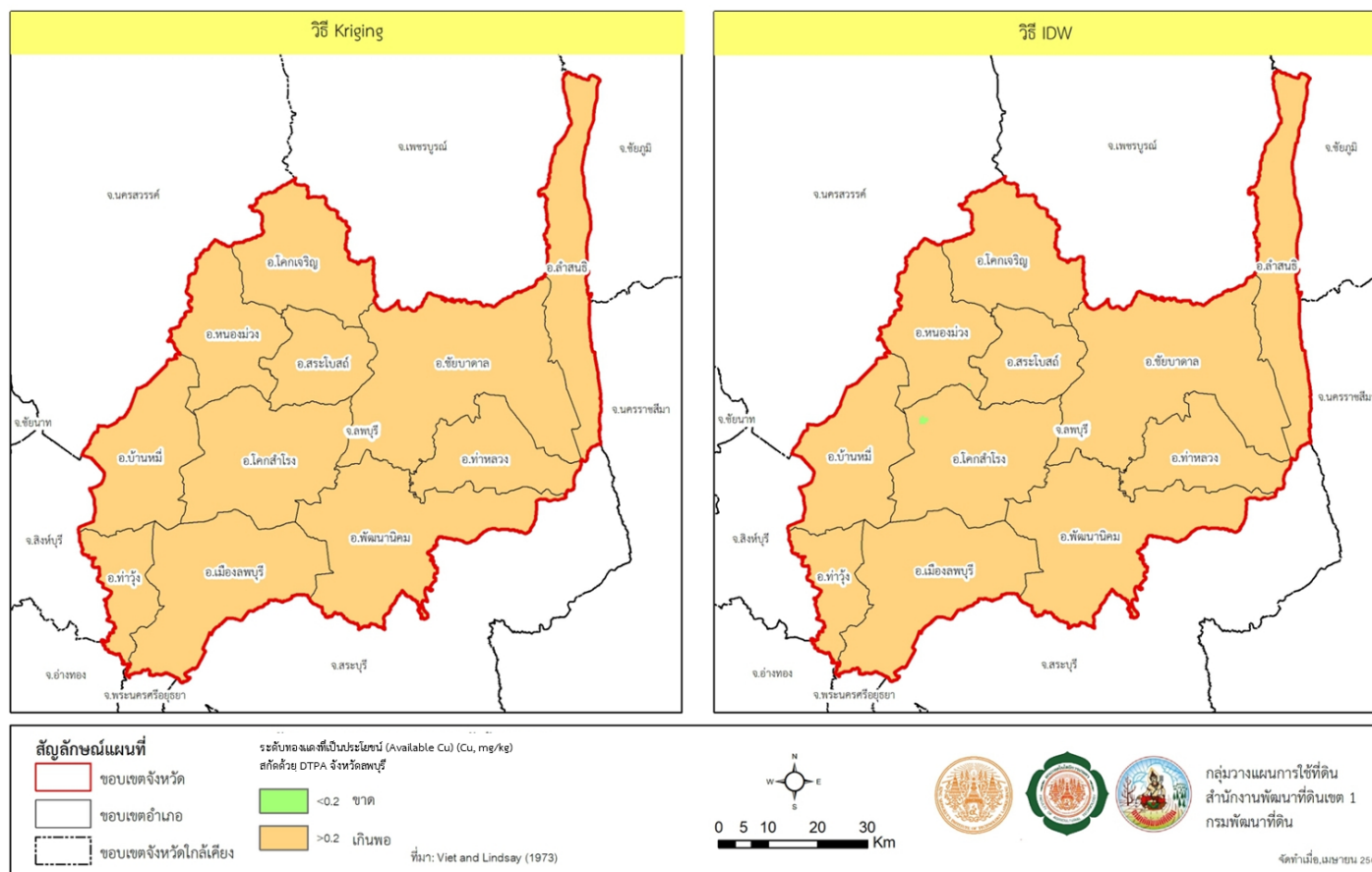
4.8 การประมาณค่าทองแดงที่สกัดได้ (Extractable Cu)

การประมาณค่าของทองแดงที่สกัดได้ (Extractable Cu, mg/kg) ของดิน ในพื้นที่จังหวัดลพบุรีโดยการใช้วิธี Kriging และ IDW พบว่าพื้นที่ส่วนใหญ่มีค่าทองแดงที่สกัดได้ (Extractable Cu, mg/kg) อยู่ในช่วงมากกว่า 0.20 mg/kg (เกินพอ) (ภาพที่ 30) เมื่อเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการเก็บตัวอย่างและจากการประมาณค่า พบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.86 และ 0.87 ตามลำดับ (ภาพที่ 29) แสดงว่าทองแดงที่สกัดได้ (Extractable Cu, mg/kg) จากการประมาณค่าทั้งสองมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับทองแดงที่สกัดได้ (Extractable Cu, mg/kg) จากจุดเก็บตัวอย่าง โดยวิธี Kriging และวิธี IDW ให้ผลในทางบวกระดับความเชื่อมั่นมากกว่า 95% มีค่า RMSE เท่ากับ 1.23 และ 1.15 ตามลำดับ มีค่า NRMSE เท่ากับ 27.48% และ 48.39% ตามลำดับ ทั้ง 2 วิธี ไม่แตกต่างกัน และมีประสิทธิภาพของการประมาณค่าต่ำ ทั้งนี้เนื่องจากในพื้นที่จังหวัดลพบุรี มีค่าทองแดงที่สกัดได้ (Extractable Cu, mg/kg) จากภาพที่ 4.13 โดยมีค่ามัธยฐานอยู่ที่ 1.09 mg/kg จะเห็นได้ว่าผลวิเคราะห์มีค่าอยู่ในช่วงที่เกินพอ โดยมีค่าต่ำสุดอยู่ที่ 0.09 mg/kg และสูงสุดอยู่ที่ 7.11 mg/kg (ตารางที่ 5)



ภาพที่ 29 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับค่าทองแดงที่สกัดได้ (Extractable Cu, mg/kg) จากจุดเก็บตัวอย่าง และระดับค่าทองแดงที่สกัดได้ (Extractable Cu, mg/kg) จากการประมาณค่า

แผนที่ระดับทองแดงที่เป็นประโยชน์ (Available Cu) (Cu, mg/kg) สกัดด้วย DTPA จังหวัดลพบุรี
โดยวิธี Kriging และวิธี IDW



ภาพที่ 30 แผนที่ระดับค่าทองแดงที่สกัดได้ (Extractable Cu, mg/kg) สกัดด้วย DTPA จังหวัดลพบุรี โดยวิธี Kriging (a) และวิธี IDW (b)

สรุปผลการทดลองที่ 1 การศึกษาการกระจายตัวของดินเหนียวเพื่อจัดทำแผนที่สถานภาพของ
จุลธาตุของดินเหนียวบริเวณพื้นที่ภาคกลางของประเทศไทย กรณีศึกษาจังหวัดลพบุรี

จากการประมาณค่าโดยวิธี Kriging และ IDW จุดเก็บตัวอย่างจำนวน 61 ตัวอย่าง ไม่สามารถนำ
ผลวิเคราะห์ดินจากห้องปฏิบัติการของสำนักงานพัฒนาที่ดินเขตมาใช้ได้ เนื่องจากไม่มีค่าพิกัด ส่วนความ
หลากหลายของชุดดิน พบว่าในจังหวัดลพบุรี มีชุดดินที่เป็นดินเหนียว 12 ชุดดิน มีการเก็บตัวอย่างชุดดิน
ที่เป็นตัวแทนสำคัญ 7 ชุดดิน ได้แก่ ชุดดินบ้านหมี่ ชุดดินชัยบาดาล ชุดดินโคกกระเทียม ชุดดินลพบุรี ชุด
ดินตาลีชุดดินช่องแค ชุดดินลำนารายณ์ ส่วนใหญ่มีการเก็บตัวอย่างจากชุดดินลพบุรี ทั้งหมด 29 จุด
เนื่องจากพื้นที่ปลูกพืชเศรษฐกิจส่วนใหญ่ปลูกบนชุดดินลพบุรี ดินมีสมบัติค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง
7.40-7.80 มีความเป็นด่างเล็กน้อย ปริมาณไนโตรเจนอยู่ในระดับต่ำ อยู่ในช่วง 0.10-0.30% ฟอสฟอรัสที่
เป็นประโยชน์อยู่ในระดับปานกลางถึงสูง อยู่ในช่วง 16-45 mg/kg โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ใน
ระดับสูง มาก อยู่ในช่วงมากกว่า 120 mg/kg เหล็กที่สกัดได้อยู่ในระดับขาดแคลน น้อยกว่า 2.50 mg/kg
แมงกานีสที่สกัดได้อยู่ในระดับเกินพออยู่ในช่วงมากกว่า 1 mg/kg สังกะสีที่สกัดได้อยู่ในระดับขาดแคลน
อยู่ในช่วงน้อยกว่า 0.50 mg/kg และทองแดงที่สกัดได้อยู่ในระดับเกินพอ อยู่ในช่วงมากกว่า 0.20 mg/kg
ค่าฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ค่าไม่ถูกต้อง เนื่องจากน้ำยาสกัด Bray II ซึ่งเป็นกรดมาวิเคราะห์ในดินต่าง
ทำให้การวิเคราะห์ ค่าสังกะสีที่สกัดได้มีปริมาณต่ำกว่าที่เครื่องมือจะวัดได้ ทำให้การวิเคราะห์ทางสถิติ มี
ค่าความแม่นยำ (RMSE) ทั้งสองวิธีไม่แตกต่างกัน ประสิทธิภาพ (NRMSE) ของแผนที่ต่ำ ทำให้ความ
น่าเชื่อถือลดลง อย่างไรก็ตามสามารถนำผลการศึกษานี้ไปใช้เป็นแนวทางเพื่อวางแผนการจัดการดินและ
ปุ๋ยในพื้นที่จังหวัดลพบุรีได้ในเบื้องต้น สำหรับการจัดการดินและปุ๋ยรายแปลงควรเก็บตัวอย่างดิน
วิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการเพื่อความแม่นยำมากยิ่งขึ้น

2.การทดลองที่ 2 การศึกษาแนวทางการแก้ไขการขาดจุลธาตุในข้าวโพดที่ปลูกบนดินเหนียว บริเวณพื้นที่ภาคกลางของประเทศไทย

ตารางที่ 6 สมบัติดินก่อนการทดลอง

สมบัติดิน	ผลวิเคราะห์	การแปลผล
Sand (%)	21.20	-
Silt (%)	50.40	-
Clay (%)	28.40	-
Texture	Clay loam	ดินร่วนปนเหนียว
ความหนาแน่นรวม (g/cm ³)	1.10	ต่ำ
pH (1:1)	8.10	ด่างปานกลาง
EC (1:5) (dS/m)	0.12	ไม่เค็ม
%OM	2.45	ปานกลาง
N	0.12	ปานกลาง
Avail.P (mg/kg)	12.00	ปานกลาง
Exch.K (mg/kg)	132.00	สูงมาก
Extract.Fe (mg/kg)	1.49	ขาด
Extract.Mn (mg/kg)	4.95	เกินพอ
Extract.Cu (mg/kg)	0.10	ขาด
Extract.Zn (mg/kg)	0.07	ขาด

หมายเหตุ: วิเคราะห์ตัวอย่างดิน ณ ห้องปฏิบัติการ สำนักงานพัฒนาที่ดินเขต 1

2.1 ผลการเปรียบเทียบเจริญเติบโตของข้าวโพด

2.1.1 ความสูง

ตารางที่ 7 ความสูงของข้าวโพด ณ อายุ 22 วันหลังปลูก

ความสูงข้าวโพดอายุ 22 หลังปลูก (cm.)				
treatments	Fe		Zn	
1	27.37	A	11.73	B
2	27.30	A	23.48	A
3	29.60	A	19.34	AB
4	25.75	A	17.42	AB
5	30.77	A	25.00	A
mean	28.16		19.39	
SD	2.00		5.26	
CV%	7.12		27.13	
LSD	ns		*	

ns และ * คือไม่มีความแตกต่างและ มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรภาษาอังกฤษที่เหมือนกันไม่มีความต่างกันทางสถิติโดยวิธีการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ LSD ที่ $P \leq 0.05$

ตารางที่ 8 ความสูงของข้าวโพด ณ อายุ 36 วันหลังปลูก

ความสูงข้าวโพดอายุ 36 หลังปลูก (cm.)				
treatments	Fe		Zn	
1	70.03	A	58.63	B
2	83.83	A	86.33	A
3	89.77	A	77.37	AB
4	71.20	A	68.13	AB
5	82.63	A	80.23	AB
mean	79.49		74.14	
SD	8.55		10.87	
CV%	10.76		14.66	
LSD	*		**	

ความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรภาษาอังกฤษที่เหมือนกันไม่มีความต่างกันทางสถิติโดยวิธีการเปรียบเทียบ

ค่าเฉลี่ยแบบ LSD ที่ $P \leq 0.05$

ตารางที่ 9 ความสูงของข้าวโพด ณ อายุ 55 วันหลังปลูก

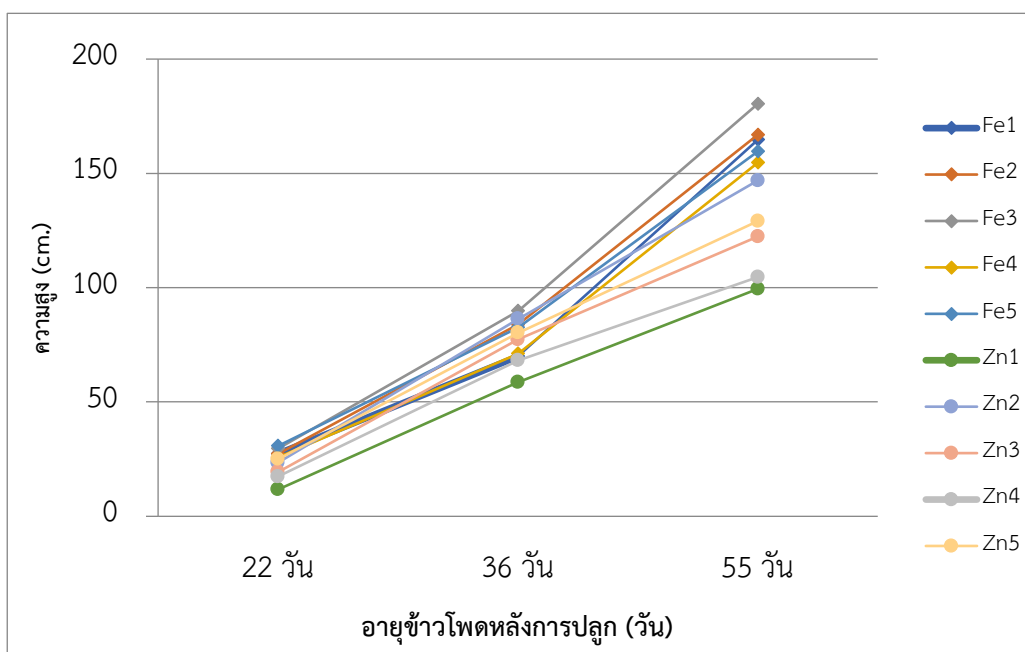
ความสูงข้าวโพดอายุ 55 หลังปลูก (cm.)				
treatments	Fe		Zn	
1	164.70	A	99.47	B
2	166.90	A	146.90	A
3	180.43	A	122.37	AB
4	154.67	A	104.63	AB
5	159.60	A	129.13	AB
mean	165.26		120.50	
SD	9.71		19.16	
CV%	5.88		15.90	
LSD	ns		*	

ns และ * คือไม่มีความแตกต่างและ มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

ตามลำดับ

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรภาษาอังกฤษที่เหมือนกันไม่มีความต่างกันทางสถิติโดยวิธีการเปรียบเทียบ

ค่าเฉลี่ยแบบ LSD ที่ $P \leq 0.05$



ภาพที่ 31 กราฟแสดงความสูงของข้าวโพดทั้ง 3 ช่วงอายุ

2.1.2 ความกว้างทรงพุ่ม

ตารางที่ 10 ความกว้างทรงพุ่มของข้าวโพด ณ อายุ 22 วันหลังปลูก

ความกว้างทรงพุ่มของข้าวโพดอายุ 22 วันหลังปลูก (cm.)				
treatments	Fe		Zn	
1	57.07	A	15.81	A
2	47.37	A	31.28	A
3	65.07	A	25.10	A
4	52.55	A	18.73	A
5	65.97	A	27.22	A
mean	57.60		23.63	
SD	8.01		6.30	
CV%	13.90		26.66	
LSD	*		*	

* มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรภาษาอังกฤษที่เหมือนกันไม่มีความต่างกันทางสถิติโดย วิธีการเปรียบเทียบ

ค่าเฉลี่ยแบบ LSD ที่ $P \leq 0.05$

ตารางที่ 11 ความกว้างทรงพุ่มของข้าวโพด ณ อายุ 36 วันหลังปลูก

ความกว้างทรงพุ่มของข้าวโพดอายุ 36 วันหลังปลูก (cm.)				
treatments	Fe		Zn	
1	107.53	A	77.67	B
2	111.57	A	105.33	A
3	117.75	A	93.82	AB
4	109.77	A	84.90	AB
5	111.36	A	96.30	AB
mean	111.60		91.60	
SD	3.80		10.66	
CV%	3.41		11.64	
LSD	ns		*	

ns และ * คือ ไม่มีความแตกต่างและมีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ตามลำดับ

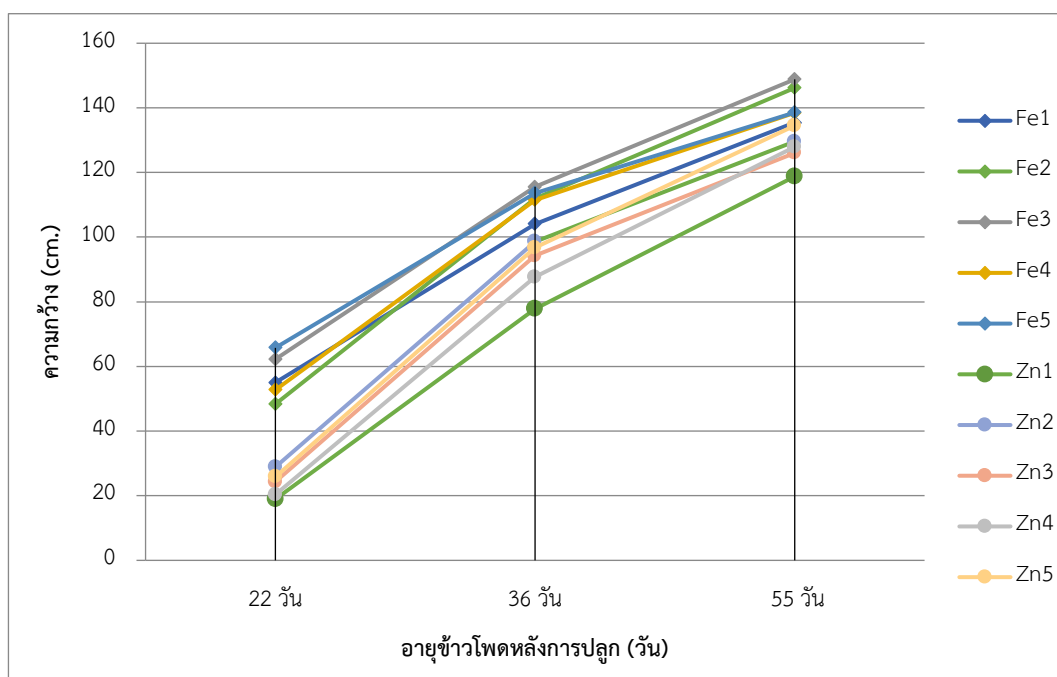
ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรภาษาอังกฤษที่เหมือนกันไม่มีความต่างกันทางสถิติโดยวิธีการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ LSD ที่ $P \leq 0.05$

ตารางที่ 12 ความกว้างทรงพุ่มของข้าวโพด ณ อายุ 55 วันหลังปลูก

ความกว้างทรงพุ่มของข้าวโพดอายุ 55 วันหลังปลูก (cm.)				
treatments	Fe		Zn	
1	148.10	A	124.50	B
2	154.33	A	134.60	A
3	154.17	A	125.70	B
4	137.60	A	123.33	B
5	131.31	A	128.37	AB
mean	145.10		127.30	
SD	10.28		4.49	
CV%	7.09		3.53	
LSD	*		**	

* และ ** คือ มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99 เปอร์เซนต์ ตามลำดับ

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรภาษาอังกฤษที่เหมือนกันไม่มีความต่างกันทางสถิติโดยวิธีการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ LSD ที่ $P \leq 0.05$



ภาพที่ 32 กราฟแสดงความกว้างทรงพุ่มของข้าวโพดทั้ง 3 ช่วงอายุ

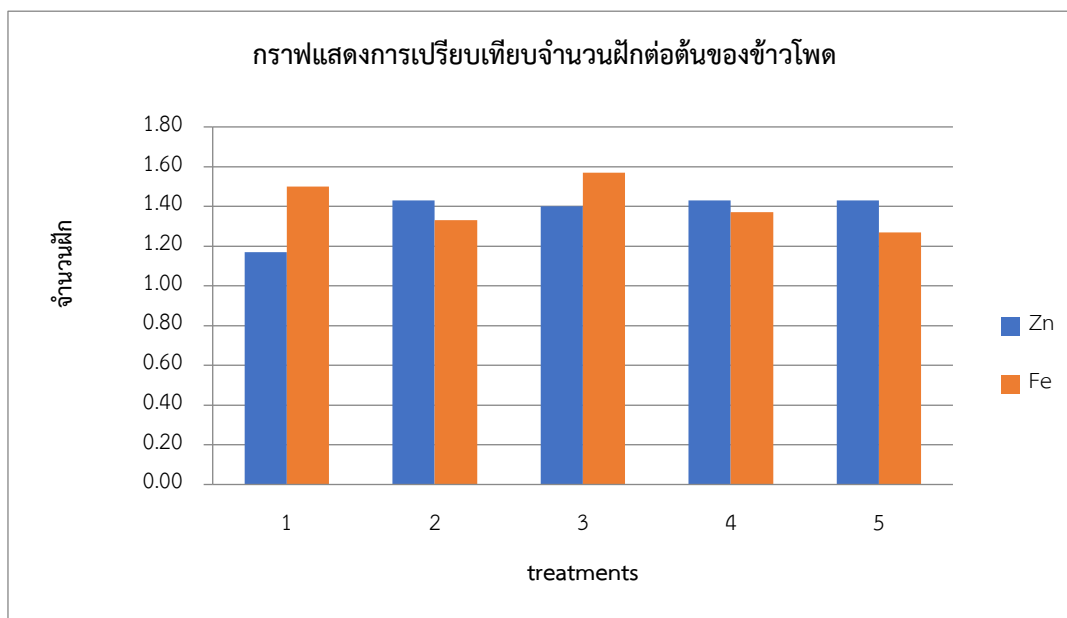
ตารางที่ 13 จำนวนฝักต่อต้น

จำนวนฝักต่อต้น				
treatments	Fe		Zn	
1	1.60	A	1.23	A
2	1.37	A	1.53	A
3	1.53	A	1.43	A
4	1.33	A	1.47	A
5	1.20	A	1.33	A
mean	1.41		1.40	
SD	0.16		0.12	
CV%	11.41		8.42	
LSD	*		ns	

ns และ * คือ ไม่มีความแตกต่างและมีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ตามลำดับ

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรภาษาอังกฤษที่เหมือนกันไม่มีความต่างกันทางสถิติโดยวิธีการเปรียบเทียบ

ค่าเฉลี่ยแบบ LSD ที่ $P \leq 0.05$



ผลการเปรียบเทียบเจริญเติบโตของข้าวโพด

ความสูงของข้าวโพด

การประเมินความสูงเฉลี่ย ของข้าวโพดที่อายุ 22 36 และ 55 วันหลังปลูกจำนวน 5 treatment (ดังตารางที่ 7 8 และ 9) พบว่าข้าวโพด 55 วันหลังปลูก treatment Fe3 (Fe 12.80 กก./ไร่) มีความสูงเฉลี่ยของต้นข้าวโพดสูงที่สุดและไม่แตกต่างทางสถิติ และ Zn2 (Zn 0.64 กก./ไร่) มีความสูงเฉลี่ยของต้นข้าวโพดสูงที่สุดและมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ ที่ 180.43 ซม. และ 146.90 ซม. ตามลำดับ และ treatment ที่มีความสูงเฉลี่ยน้อยที่สุดคือ treatment Fe4 และ Zn1 (Fe 25.60 และ Zn 0.32 กก./ไร่) โดยมีความสูงเฉลี่ย ณ อายุ 55 วันหลังปลูก อยู่ที่ 154.76 ซม. และ 99.47 ซม. ตามลำดับ

ความกว้างทรงพุ่มของข้าวโพด

การประเมินค่าเฉลี่ยความกว้างทรงพุ่มของข้าวโพดที่อายุ 22 36 และ 55 วันหลังปลูกจำนวน 5 treatment (ดังตารางที่ 10 11 และ 12) พบว่า ข้าวโพด 55 วันหลังปลูก treatment Fe2 (Fe 3.20 กก./ไร่) และ Zn2 (Zn 0.64 กก./ไร่) มีความกว้างทรงพุ่มเฉลี่ยของต้นข้าวโพดสูงที่สุด 154.33 ซม. และ 134.60 ซม. ตามลำดับ และพบว่า treatment Fe5 และ Zn4 (ไม่ใส่ Fe และ Zn 2.56 กก./ไร่) มีความกว้างทรงพุ่มเฉลี่ยของต้นข้าวโพดต่ำที่สุด ที่ 131.31 ซม. และ 123.33 ซม. ตามลำดับ พบความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

จำนวนฝักต่อต้น

การประเมินค่าเฉลี่ยจำนวนฝักต่อต้น จำนวน 5 treatment (ดังตารางที่ 13) พบว่าทั้ง Zn และ Fe ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ treatment Fe1 (Fe 3.20 กก./ไร่) Zn2 (Zn 0.64 กก./ไร่) มีจำนวนฝักต่อต้นเฉลี่ยของต้นข้าวโพดสูงที่สุด ที่ 1.60 ฝัก/ต้น และ 1.53 ฝัก/ต้น ตามลำดับ ส่วน treatment Fe5 (ไม่ใส่ Fe) และ Zn1 (Zn 0.32 กก./ไร่) จำนวนฝักต่อต้นเฉลี่ยของต้นข้าวโพดต่ำที่สุด ที่ 1.20 ฝักต่อต้นและ 1.23 ฝักต่อต้น ตามลำดับ

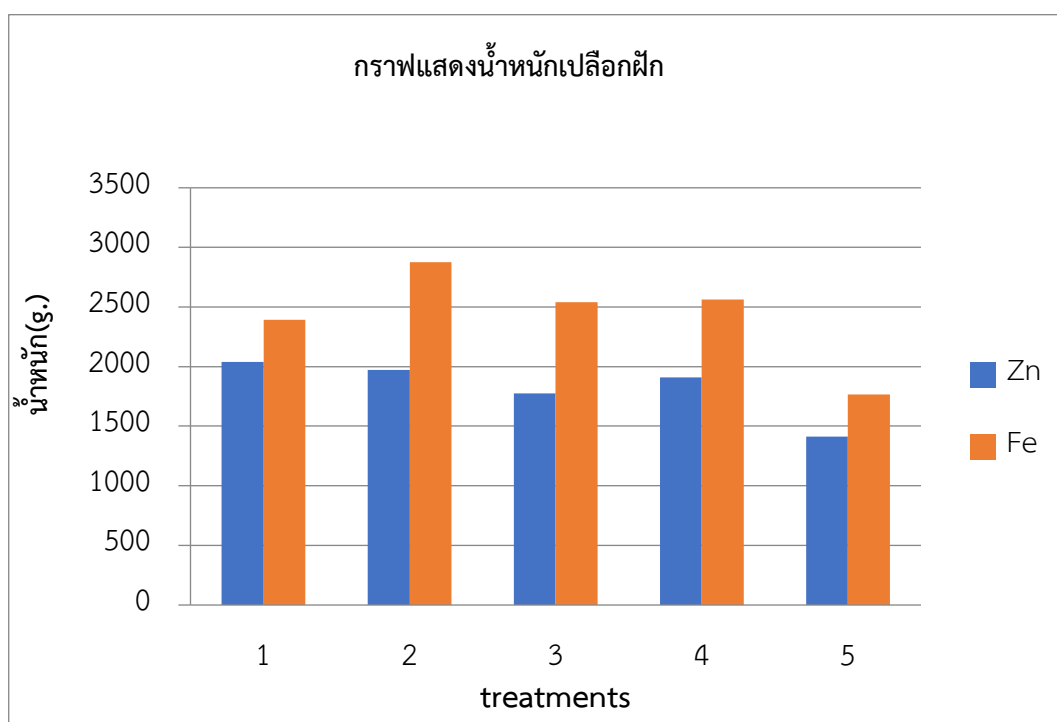
2.1.3 ผลเปรียบเทียบผลผลิตของข้าวโพด

ตารางที่ 14 น้ำหนักเปลือกฝักข้าวโพด

treatments	น้ำหนักเปลือกฝัก(g)			
	Fe		Zn	
1	2392.30	A	2038.00	A
2	2877.70	A	1973.30	A
3	2542.30	A	1777.00	AB
4	2561.30	A	1909.00	AB
5	1768.00	B	1412.70	B
mean	2428.32		1822.00	
SD	409.25		248.33	
CV%	16.85		13.63	
LSD	**		*	

* และ ** คือไม่มีความแตกต่างและ มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99 เปอร์เซนต์ตามลำดับ

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรภาษาอังกฤษที่เหมือนกันไม่มีความต่างกันทางสถิติโดยวิธีการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ LSD ที่ $P \leq 0.05$

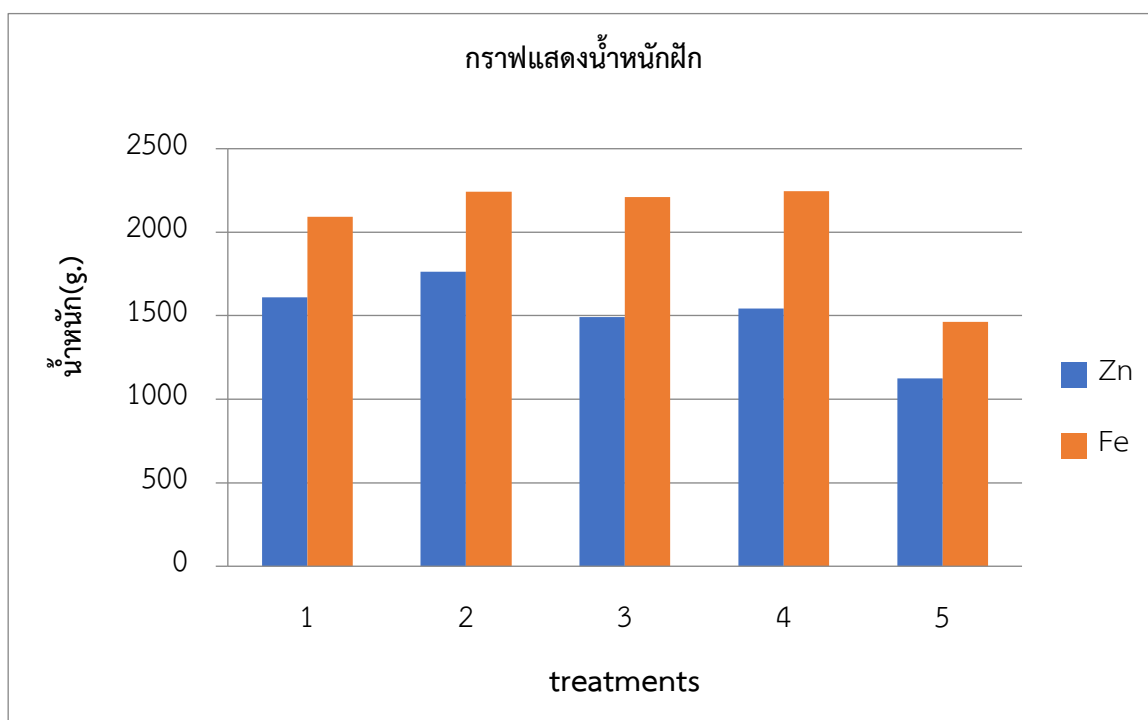


ตารางที่ 15 น้ำหนักฝักข้าวโพด

treatments	น้ำหนักฝัก(g)			
	Fe		Zn	
1	2091.70	A	1611.30	AB
2	2242.00	A	1764.00	A
3	2209.00	A	1492.30	AB
4	2245.30	A	1543.30	AB
5	1463.70	B	1126.30	B
mean	2050.34		1507.44	
SD	333.83		236.32	
CV%	16.28		15.68	
LSD	**		*	

* และ ** คือไม่มีความแตกต่างและ มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรภาษาอังกฤษที่เหมือนกันไม่มีความต่างกันทางสถิติโดยวิธีการ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ LSD ที่ $P \leq 0.05$



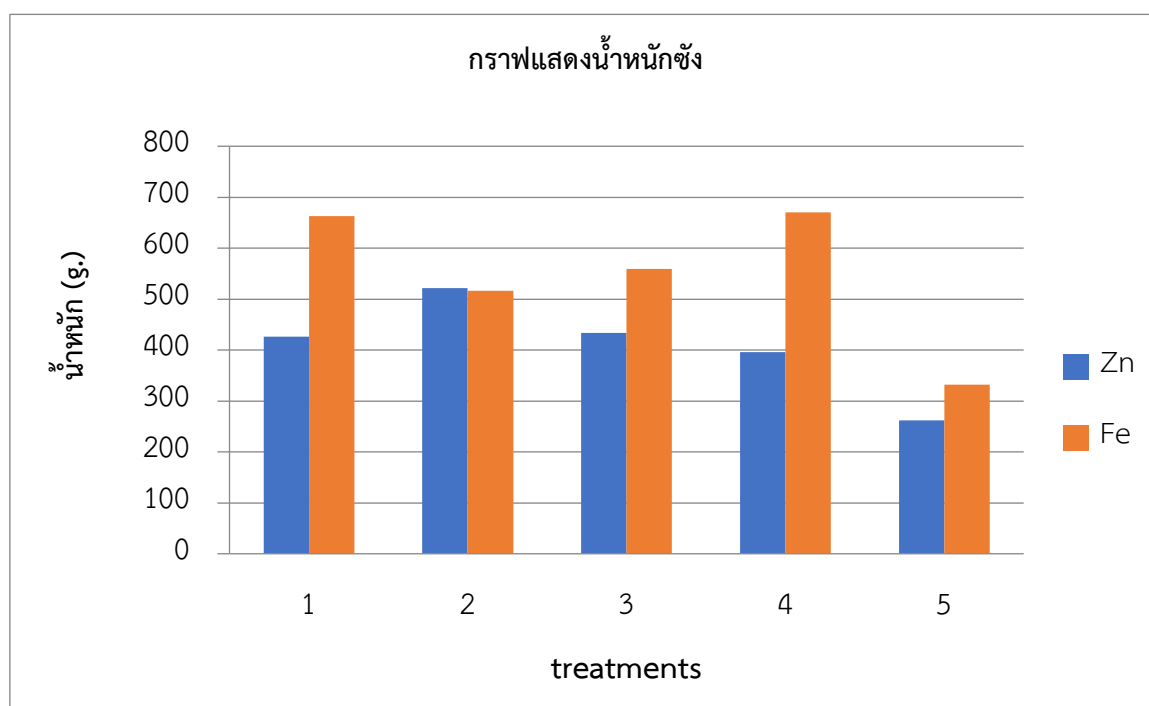
ตารางที่ 16 น้ำหนักชั่งข้าวโพด

treatments	น้ำหนักชั่ง(g)			
	Fe		Zn	
1	663.33	A	426.33	A
2	516.33	AB	522.00	A
3	559.00	AB	434.00	A
4	670.00	A	395.67	AB
5	332.33	B	262.33	B
mean	548.20		408.07	
SD	137.68		94.05	
CV%	25.11		23.05	
LSD	**		**	

** คือ มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซนต์

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรภาษาอังกฤษที่เหมือนกันไม่มีความต่างกันทางสถิติโดยวิธีการเปรียบเทียบ

ค่าเฉลี่ยแบบ LSD ที่ $P \leq 0.05$

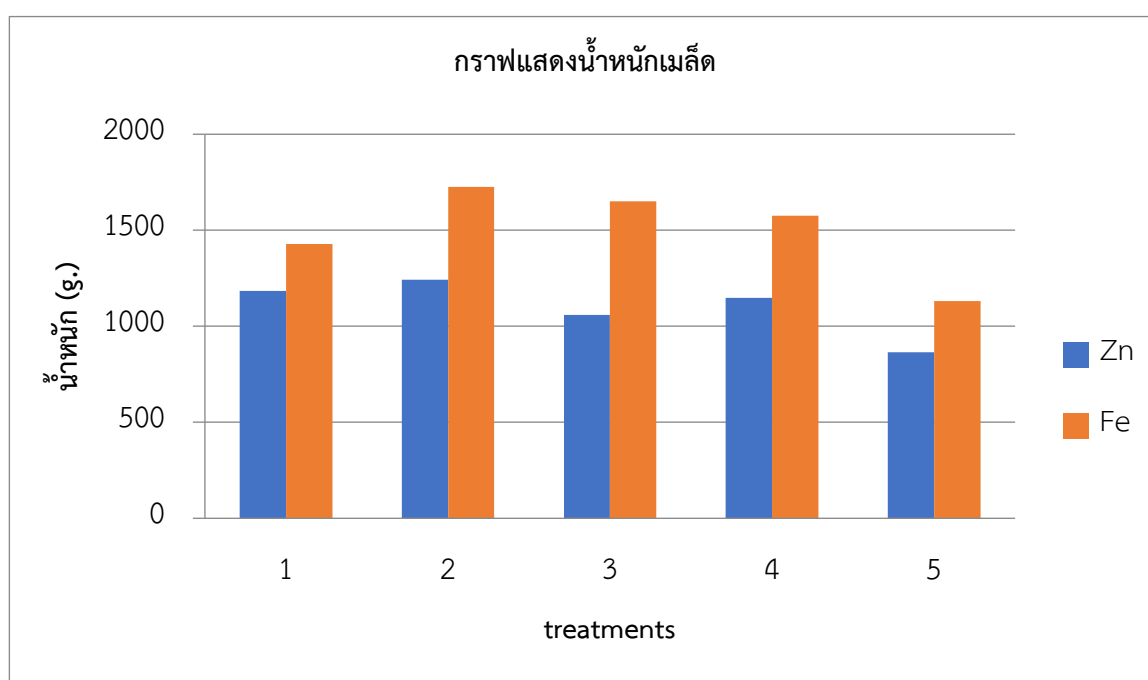


ตารางที่ 17 น้ำหนักเมล็ดข้าวโพดต่อพื้นที่ 4 ตารางเมตร

น้ำหนักเมล็ดต่อพื้นที่ 4 ตร.ม (g)				
treatments	Fe		Zn	
1	1428.30	AB	1185.00	A
2	1725.70	A	1242.00	A
3	1650.00	AB	1058.30	A
4	1575.30	AB	1147.70	A
5	1131.30	B	864.00	A
mean	1502.12		1099.40	
SD	234.61		147.56	
CV%	15.62		13.42	
LSD	*		ns	

ns และ * คือไม่มีความแตกต่างและมีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ตามลำดับ

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรภาษาอังกฤษที่เหมือนกันไม่มีความต่างกันทางสถิติโดยวิธีการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ LSD ที่ $P \leq 0.05$

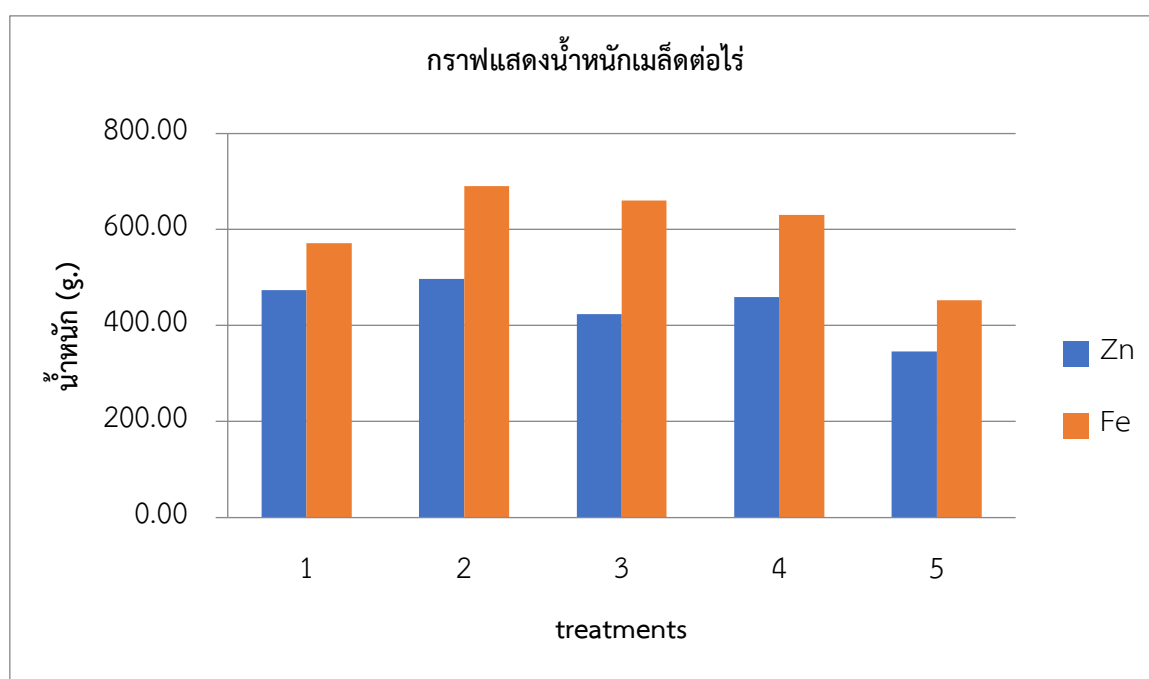


ตารางที่ 18 น้ำหนักเมล็ดข้าวโพดต่อพื้นที่ 1 ไร่

น้ำหนักเมล็ดต่อไร่(kg)				
treatments	Fe		Zn	
1	571.33	AB	474.00	A
2	690.27	A	496.80	A
3	660.00	AB	423.33	A
4	630.13	AB	459.07	A
5	452.53	B	345.60	A
mean	600.85		439.76	
SD	93.84		59.02	
CV%	15.62		13.42	
LSD	*		ns	

ns และ * คือไม่มีความแตกต่างและ มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ตามลำดับ

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรภาษาอังกฤษที่เหมือนกันไม่มีความต่างกันทางสถิติโดยวิธีการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ LSD ที่ $P \leq 0.05$



ผลการเปรียบเทียบเจริญเติบโตของข้าวโพด

น้ำหนักเปลือกฝักข้าวโพด

การประเมินค่าเฉลี่ยน้ำหนักเปลือกฝักข้าวโพด ที่อายุ 117 วันหลังปลูกจำนวน 5 treatments (ดังตารางที่ 14) พบว่า treatment Zn1 (Zn 0.32 กก./ไร่) มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และ Fe2 (Fe 6.40 กก./ไร่) มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์ มีน้ำหนักเปลือกฝักข้าวโพดเฉลี่ยสูงที่สุด คือ 2038.00 และ 2877.70 ตามลำดับ โดย treatment ที่มีน้ำหนักเปลือกฝักข้าวโพดเฉลี่ยน้อยที่สุดคือ treatment ที่ Zn5 และ Fe5 (ไม่ใส่ Zn และ Fe) โดยมีน้ำหนักเปลือกฝักข้าวโพดเฉลี่ยอยู่ที่ 1412.70 และ 1768.00 ตามลำดับ

น้ำหนักฝักข้าวโพด

การประเมินค่าเฉลี่ยน้ำหนักฝักข้าวโพดที่อายุ 117 วันหลังปลูกจำนวน 5 treatments (ดังตารางที่ 15) พบว่า treatment Zn2 (Zn 0.64 กก./ไร่) มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และ Fe4 (Fe 12.80 กก./ไร่) มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักฝักเฉลี่ยของข้าวโพดสูงที่สุด ที่ 1764.00 กรัม และ 2245.30 กรัม ตามลำดับ และพบว่า treatment Zn5 และ Fe5 (ไม่ใส่ Zn และ Fe) มีน้ำหนักฝักเฉลี่ยของข้าวโพดต่ำที่สุด ที่ 1126.30 กรัม และ 1463.70 กรัม ตามลำดับ

น้ำหนักชังข้าวโพด

การประเมินค่าเฉลี่ยน้ำหนักชังของข้าวโพดที่อายุ 117 วันหลังปลูกจำนวน 5 treatments (ดังตารางที่ 16) พบว่า treatment Zn2 (Zn 0.64 กก./ไร่) และ Fe4 (Fe 12.80 กก./ไร่) น้ำหนักชังของข้าวโพดเฉลี่ยสูงที่สุด 522 กรัม และ 670 กรัม ตามลำดับ และพบว่า treatment Zn5 และ Fe5 (ไม่ใส่ Zn และ Fe) มีน้ำหนักฝักเฉลี่ยของข้าวโพดต่ำที่สุด ที่ 262.33 กรัม และ 332.33 กรัม ตามลำดับ และพบความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

น้ำหนักเมล็ดข้าวโพด (น้ำหนักเมล็ดข้าวโพดต่อพื้นที่ 1 ไร่)

การประเมินน้ำหนักเมล็ดข้าวโพด ที่อายุ 117 วันหลังปลูกจำนวน 5 treatments (ดังตารางที่ 17) พบว่า treatment Zn2 (Zn 0.64 กก./ไร่) ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ และ Fe2 (Fe 6.40 กก./ไร่) มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักเมล็ดเฉลี่ยของข้าวโพดสูงที่สุด ที่ 1242 กรัม (496.80 กก./ไร่) และ 690.27 กรัม (690.27 กก./ไร่) ตามลำดับ และพบว่า treatment Zn5 และ Fe5 (ไม่ใส่ Zn และ Fe) มีน้ำหนักเมล็ดเฉลี่ยของข้าวโพดต่ำที่สุด ที่ 864 กรัม (345.60 กก./ไร่) และ 1131.30 กรัม (452.53 กก./ไร่) ตามลำดับ

สรุปผลการทดลองที่ 2 การศึกษาแนวทางการแก้ไขการขาดจุลธาตุในข้าวโพดที่ปลูกบนดินเหนียวบริเวณพื้นที่ภาคกลางของประเทศไทย

สรุปผลการศึกษาการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ต่อ Fe และ Zn ดังนี้

1. ความสูงของข้าวโพด พบว่าข้าวโพด 55 วันหลังปลูก treatment Fe3 (Fe 12.80 กก./ไร่) มีความสูงเฉลี่ยของต้นข้าวโพดสูงที่สุดและไม่แตกต่างทางสถิติ และ Zn2 (Zn 0.64 กก./ไร่) มีความสูงเฉลี่ยของต้นข้าวโพดสูงที่สุดและมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ ที่ 180.43 ซม. และ 146.90 ซม. ตามลำดับ และ treatment ที่มีความสูงเฉลี่ยน้อยที่สุดคือ treatment Fe4 และ Zn1 (Fe 25.60 และ Zn 0.32 กก./ไร่) อยู่ที่ 154.76 ซม. และ 99.47 ซม. ตามลำดับ
2. ความกว้างทรงพุ่มของข้าวโพด พบว่าข้าวโพด 55 วันหลังปลูก treatment Fe2 (Fe 3.20 กก./ไร่) และ Zn2 (Zn 0.64 กก./ไร่) มีความกว้างทรงพุ่มเฉลี่ยของต้นข้าวโพดสูงที่สุด 154.33 ซม. และ 134.60 ซม. ตามลำดับ และพบว่า treatment Fe5 และ Zn4 (ไม่ใส่ Fe และ Zn 2.56 กก./ไร่) มีความกว้างทรงพุ่มเฉลี่ยของต้นข้าวโพดต่ำที่สุด ที่ 131.31 ซม. และ 123.33 ซม. ตามลำดับ พบความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์
3. จำนวนฝักต่อต้น พบว่าทั้ง Zn และ Fe ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ treatment Fe1 (Fe 3.20 กก./ไร่) Zn2 (Zn 0.64 กก./ไร่) มีจำนวนฝักต่อต้นเฉลี่ยของต้นข้าวโพดสูงที่สุด ที่ 1.60 ฝัก/ต้น และ 1.53 ฝัก/ต้น ตามลำดับ ส่วน treatment Fe5 (ไม่ใส่ Fe) และ Zn1 (Zn 0.32 กก./ไร่) จำนวนฝักต่อต้นเฉลี่ยของต้นข้าวโพดต่ำที่สุด ที่ 1.20 ฝักต่อต้น และ 1.23 ฝักต่อต้น ตามลำดับ
4. น้ำหนักเปลือกฝักข้าวโพด พบว่า treatment Zn1 (Zn 0.32 กก./ไร่) มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ และ Fe2 (Fe 6.4 กก./ไร่) มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซนต์ มีน้ำหนักเปลือกฝักข้าวโพดเฉลี่ยสูงที่สุด คือ 2038.00 และ 2877.70 ตามลำดับ โดย treatment ที่มีน้ำหนักเปลือกฝักข้าวโพดเฉลี่ยน้อยที่สุดคือ treatment ที่ Zn5 และ Fe5 (ไม่ใส่ Zn และ Fe) โดยมีน้ำหนักเปลือกฝักข้าวโพดเฉลี่ยอยู่ที่ 1412.70 และ 1768.00 ตามลำดับ
5. น้ำหนักฝักข้าวโพด พบว่า treatment Zn2 (เติม Zn 0.64 กก./ไร่) มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ และ Fe4 (Fe 12.80 กก./ไร่) มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซนต์ น้ำหนักฝักเฉลี่ยของข้าวโพดสูงที่สุด ที่ 1764.00 กรัม และ 2245.30 กรัม ตามลำดับ และพบว่า treatment Zn5 และ Fe5 (ไม่ใส่ Zn และ Fe) มีน้ำหนักฝักเฉลี่ยของข้าวโพดต่ำที่สุด ที่ 1126.30 กรัม และ 1463.70 กรัม ตามลำดับ
6. น้ำหนักชังข้าวโพด พบว่า treatment Zn2 (Zn 0.64 กก./ไร่) และ Fe4 (Fe 12.80 กก./ไร่) น้ำหนักชังของข้าวโพดเฉลี่ยสูงที่สุด 522 กรัม และ 670 กรัม ตามลำดับ และพบว่า treatment Zn5 และ Fe5 (ไม่ใส่ Zn และ Fe) มีน้ำหนักฝักเฉลี่ยของข้าวโพดต่ำที่สุด ที่ 262.33 กรัม และ 332.33 กรัม ตามลำดับ และพบความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซนต์

7. น้ำหนักเมล็ดข้าวโพด (น้ำหนักเมล็ดข้าวโพดต่อพื้นที่ 1 ไร่) พบว่า treatment Zn2 (Zn 0.64 กก./ไร่) ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ และ Fe2 (Fe 6.40 กก./ไร่) มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ น้ำหนักเมล็ดเฉลี่ยของข้าวโพดสูงที่สุด ที่ 1242 กรัม (496.80 กก./ไร่) และ 690.27 กรัม (690.27 กก./ไร่) ตามลำดับ และพบว่า treatment Zn5 และ Fe5 (ไม่ใส่ Zn และ Fe) มีน้ำหนักเมล็ดเฉลี่ยของข้าวโพดต่ำที่สุด ที่ 864 กรัม (345.60 กก./ไร่) และ 1131.30 กรัม (452.53 กก./ไร่) ตามลำดับ

8. อัตราแนะนำสำหรับการใส่ปุ๋ยจุลธาตุสำหรับปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในพื้นที่วิจัย ชุดดินตาคี (Tk soil series) และพื้นที่ใกล้เคียง ดังนี้ ปุ๋ยสังกะสี ZnSO_4 อัตรา 2 mg Zn/ Kg soil (0.64 กก. Zn/ไร่) และ ปุ๋ยเหล็ก FeEDDHA อัตรา 40 mg Fe/ Kg soil (Fe 12.80 กก. Fe /ไร่)

สรุปและข้อเสนอแนะ

ทรัพยากรดินเนื้อปูนมีชุดดินทั้งหมด 12 ชุดดิน มีเนื้อที่ประมาณ 2,105,789 ไร่ หรือ 52% ของเนื้อที่ทั้งหมด เป็นพื้นที่พืชไร่โดยส่วนใหญ่ มีเนื้อที่ประมาณ 1,804,383 ไร่ หรือ 44% ของเนื้อที่ทั้งหมด และพื้นที่นาข้าว มีเนื้อที่ประมาณ 875,495 ไร่ หรือ 21% ของเนื้อที่ทั้งหมด ชุดดินที่พบมากที่สุดในจังหวัด คือ ชุดดินลพบุรี มีเนื้อที่ 801,147 ไร่ หรือ 38% ของเนื้อที่ทั้งหมด

จากจุดเก็บตัวอย่างดิน 61 ตัวอย่าง ดินส่วนใหญ่เป็น ชุดดินลพบุรี พบว่ามีค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ยอยู่ที่ 7.3 ซึ่งเป็นระดับปานกลาง ความเข้มข้นของไนโตรเจน (%N) เฉลี่ย 0.13 ระดับฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ เฉลี่ย 30.88 mg/kg ระดับโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ เฉลี่ย 194.91 mg/kg ระดับเหล็กที่สกัดได้ เฉลี่ย 23.71 mg/kg ระดับแมงกานีสที่สกัดได้ เฉลี่ย 10.52 mg/kg ระดับสังกะสีที่สกัดได้ เฉลี่ย 0.70 mg/kg ระดับทองแดงที่สกัดได้ เฉลี่ย 1.86 mg/kg

จากการสร้างแผนที่ด้วยการประมาณพบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่าง ไนโตรเจน (%N) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (P) โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (K) เหล็กที่สกัดได้ (Fe) แมงกานีสที่สกัดได้ (Mn) สังกะสีที่สกัดได้ (Zn) และทองแดงที่สกัดได้ (Cu) ทั้งวิธี Kriging และ IDW ให้ผลความแม่นยำ (RMSE) ที่ไม่แตกต่างกัน ส่วนประสิทธิภาพของแผนที่ (NRMSE) จากการประมาณค่า ทั้งวิธี Kriging และ IDW ค่าความเป็นกรด-ด่าง มีประสิทธิภาพดีมาก แผนที่ไนโตรเจน (%N) มีประสิทธิภาพพอใช้ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (P) โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (K) เหล็กที่สกัดได้ (Fe) แมงกานีสที่สกัดได้ (Mn) สังกะสีที่สกัดได้ (Zn) และทองแดงที่สกัดได้ (Cu) วิธี Kriging มีประสิทธิภาพพอใช้ ส่วนวิธี IDW มีประสิทธิภาพต่ำ อาจเนื่องจากจำนวนตัวอย่างน้อยและส่วนใหญ่เป็นชุดดินลพบุรีจึงทำให้การประมาณค่ามีประสิทธิภาพต่ำ อย่างไรก็ตามสามารถนำผลการศึกษานี้ไปใช้เป็นแนวทางเพื่อวางแผนการจัดการดินและปุ๋ยในพื้นที่จังหวัดลพบุรีได้ในเบื้องต้น สำหรับการจัดการดินและปุ๋ยรายแปลงควรเก็บตัวอย่างดินวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการเพื่อความแม่นยำมากยิ่งขึ้น

ควรมีการศึกษาอาจมีการเก็บตัวอย่างดินเพิ่มเติมในบางจุด เพื่อเพิ่มความถูกต้อง ของแผนที่ หรือมีการเก็บตัวอย่างพืชเพิ่มเติมเพื่อวิเคราะห์ปริมาณจุลธาตุควบคู่กับการวิเคราะห์ดิน เนื่องจากจุลธาตุในดินอยู่ในระดับต่ำ อาจทำให้ไม่ตอบสนองต่อน้ำยากัดเพราะเครื่องมือไม่สามารถตรวจวัดได้ อาจจะต้องมีการใช้น้ำยากัดที่มีความเฉพาะกับดินเนื้อปูน และเครื่องมือที่มีความละเอียดมากกว่า

อัตราแนะนำสำหรับการใส่ปุ๋ยจุลธาตุสำหรับปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในพื้นที่วิจัย ชุดดินตาคลี (Tk soil series) และพื้นที่ใกล้เคียง ดังนี้ ปุ๋ยสังกะสี ZnSO_4 อัตรา 2 mg Zn/Kg soil (0.64 กก. Zn/ไร่) และ ปุ๋ยเหล็ก FeEDDHA อัตรา 40 mg Fe/Kg soil (Fe 12.80 กก. Fe/ไร่)

ควรมีการศึกษาทดลองในดินเนื้อปูนชุดอื่นๆ เพื่อทดสอบอัตราปุ๋ยจุลธาตุและวิธีการใส่ปุ๋ยที่เหมาะสมกับพืชเศรษฐกิจและพืชสมุนไพรที่มีมูลค่าทางเศรษฐกิจสูง ซึ่งพืชบางชนิดมี sensitivity สูงต่อการขาดจุลธาตุ ทำให้ผลผลิตและคุณภาพลดลง เช่น ข้าว ข้าวโพด มันสำปะหลัง ถั่วเขียว และถั่วเหลือง เป็นต้น

ประโยชน์ที่ได้รับ

- 1.ได้ข้อมูลการกระจายตัวของดินเนื้อปูนบริเวณพื้นที่ภาคกลางของประเทศไทย
- 2.มีฐานข้อมูลในรูปแบบดิจิทัลของสถานภาพจุลธาตุของดินเนื้อปูน บริเวณพื้นที่ภาคกลางของประเทศไทยที่เชื่อมโยงกับข้อมูลชุดดินตัวแทนหลักของประเทศไทย
- 3.สามารถประยุกต์ใช้ข้อมูลแผนที่สถานภาพของจุลธาตุ เพื่อระบุสภาพปัญหาการขาดจุลธาตุเชิงพื้นที่สำหรับการจัดการด้านธาตุอาหารพืช
- 4.ทราบชนิดและอัตราปุ๋ยที่เหมาะสมในการแก้ไขปัญหาการขาดจุลธาตุบางชนิด ที่ปลูกข้าวโพดในดินเนื้อปูนภาคกลางของประเทศไทย

การเผยแพร่ผลงานวิจัย

รายงานผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์ กลุ่มวางแผนการใช้ที่ดิน สำนักงานพัฒนาที่ดินเขต 1 กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์กรมพัฒนาที่ดิน

เอกสารอ้างอิง

- กรมพัฒนาที่ดิน. 2553. **กลุ่มชุดดิน 62 กลุ่ม**. สืบค้นจาก http://oss101.ddd.go.th/thaisoils_museum/62_soilgroup/main_62soilgroup.htm
- กรมทรัพยากรธรณี. 2550. **การจำแนกเขตเพื่อจัดการด้านธรณีวิทยาและทรัพยากรธรณี จังหวัดลพบุรี**. สืบค้นจาก http://www.dmr.go.th/download/pdf/Central_East/lopburi.pdf
- ขวัญตา ขาวมี. 2550. **ผลการใส่เหล็ก สังกะสี และเปลือกสับปะรด ต่อความเป็นประโยชน์ของเหล็กสังกะสี และผลผลิตของข้าวโพดหวานที่ปลูกในดินเหนียวปน**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- คณะกรรมการจัดทำพจนานุกรมศัพท์ปฐพีศาสตร์. 2562. **พจนานุกรมศัพท์ปฐพีศาสตร์ ฉบับราชบัณฑิตยสภา**. กรุงเทพฯ: บริษัทอมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง จำกัด (มหาชน). 452 น.
- คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2544. **ปฐพีวิทยาเบื้องต้น**. คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 547 น.
- จรรยาลักษณ์ อินคำ. 2559. **ธรณีเคมีและลักษณะการดูดซับธาตุสังกะสี ทองแดง เหล็ก และแมงกานีส ในดินเหนียวปนของประเทศไทย**. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 117 น.
- ชิดชนก อัครโภคี. 2550. **ผลของคีเลตต่อการสะสมแคดเมียมของทานตะวัน *Helianthus annuus* Linn.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- นัทธนา ทักษิรัตน์ศรีณย์. 2553. **การตอบสนองของข้าวโพดที่ปลูกในดินเหนียวปนต่อชนิดและวิธีการใส่ปุ๋ยสังกะสี และประสิทธิภาพของน้ำยาสกัดบางชนิดในการประเมินสังกะสีที่เป็นประโยชน์ในดินเหนียวปน** วิทยานิพนธ์ปริญญาเอก, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- มุกดา สุขสวัสดิ์. 2544. **ความอุดมสมบูรณ์ของดิน**. กรุงเทพฯ: โอ.เอส. พริ้นติ้ง. เข้าสำ
- ยงยุทธ โอสภสสา. 2546. **ธาตุอาหารพืช**. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 548 น.
- เรืองรอง มอยสุรินทร์. 2010. **การตอบสนองต่อปุ๋ยเหล็กดีทีพีเอและเหล็กอีดีดีเอชเอของถั่วลิสงที่ปลูกในดินเหนียวปน**. *Agricultural Science Journal* (วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร). 41. 221-230.
- สรศรีใจ กลั่นดาว. 2542. **ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์: หลักการเบื้องต้น**. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- สุเพชร จิรัชจรกุล. 2552. **เรียนรู้ระบบภูมิสารสนเทศด้วยโปรแกรม ArcGIS Desktop 9.3.1**. ตำราประกอบการศึกษาวิชาภูมิศาสตร์สารสนเทศ. พิมพ์ครั้งที่1 เมษายน พ.ศ. 2551
- สุณิสา ผิวน้ำไฟ. 2553. **ผลของเหล็กอีดีทีพีเอ เหล็กดีทีพีเอ และเหล็กอีดีดีเอชเอต่อปริมาณเหล็กที่เป็นประโยชน์ในดินเหนียวปนและผลผลิตของข้าวโพดหวาน**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์/กรุงเทพฯ.

- เอิบ เขียวรีนนรณ. 2533. **ดินของประเทศไทย:ลักษณะ การแจกกระจาย และการใช้**. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 649 น.
- Alloway, B.J. 2008. **Zinc in Soils and Crop Nutrition**. 2nded. IZA and IFA Publ., Brussel, Belgium and Paris, France.
- Aries Agro Ltd. n.d. **Manganese deficiency**. Retrieved from <https://ariesagro.com/chilli/#>
- Brown, D.H., R.A. Cappellini and C.A. Price. 1966. **Actinomycin D inhibition of zinc-induced formation of cytochrome C in Ustilago**. Plant Physiol. 87: 393-404.
- Chang, Kang-tsung. 2002. **Introduction to Geographic Information Systems**. New York: McGraw Hill Higher Education
- El-Fouly, M., Nofal, O., Mobarak, Z., 2001. **Effects of soil treatment with iron manganese and zinc on growth and micronutrient uptake of sunflower**
- Gavin Mathews. 2016. **Most common nutrient deficiency symptoms in maize**. Retrieved from <https://www.grainsa.co.za/most-common-nutrient-deficiency-symptoms-in-maize>
- Havlin, J.L., J.D. Beaton, S.L. Tisdale and W.L. Nelson. 2005. **Soil Fertility and Fertilizers: An Introduction to nutrient Management**. 7thed. Pearson Prentice Hall Inc., New Jersey.
- Jacek, Malczewski. 1999. **GIS and Multicriteria Decision Analysis**. New York:John Wiley&Son, Inc
- Jamieson, P.D., Porter, J.R., Wilson, D.R., 1991. **A test of computer simulation model ARC-WHEAT1 on wheat crops grown in New Zealand**. Field Crops Res. 27,337–350
- Land Development Department. 2012. **Thailand Soil and Land ResourcesSituation**. Bangkok. Ministry of Agriculture and Cooperatives. P.304.
- Lindsay, W.L., J.J. Mortvedt and P.M. Giordano. 1972. **Micronutrients in Agriculture**. SSSA Inc, Madison, WI, USA.
- Marshner, H. 1995. **Mineral Nutrition of Higher Plants**. 2nd ed. Academic Press, New York. 312-404.
- Sauchelli, V. 1969. **Trace Elements in Agriculture**. Van Nostrand Reinhold Company, New York.

Westfall and. T.A. Bauder, Zinc and Iron Deficiencies. n.d. **Zinc and Iron Deficiencies.**

Retrieved from <https://extension.colostate.edu/topic-areas/agriculture/zinc-and-iron-deficiencies-0-545/>

Yara. n.d. **De rol van koper in de tomatenteelt.** Retrieved from <https://www.yara.nl/>

gewasvoeding/tomaat/tomaat-groeistadia-en-de-rol-van-voedingselementen/rol-van-koper-in-de-tomatenteelt/

ภาคผนวก

ภาคผนวกที่ 1 ข้อมูลทรัพยากรดินเนื้อปูน จากแผนที่ดินของกรมพัฒนาที่ดิน มาตรฐาน 1:25,000
จังหวัดลพบุรี

ชุดดินบ้านหมี่ (Banmi series: Bm) กลุ่มชุดดินที่ 1 เกิดจากการสะสมของตะกอนดินเหนียวในพื้นที่ราบลุ่มที่น้ำท่วมหรือรอยต่อระหว่างลานตะพักขั้นต่ำกับพื้นที่ราบลุ่มน้ำท่วม ลักษณะดินเป็นดินลึก ดินบนเนื้อดินเป็นดินเหนียวมีสีดำหรือสีเทา มีจุดประสีน้ำตาลถึงสีแดงปนเหลือง ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดถึงกรดเล็กน้อย (pH 5.5-6.5) ดินบนตอนล่างมีสีเทา มีจุดประสีน้ำตาลเข้มหรือสีน้ำตาลปนเหลือง ปฏิกริยาดินเป็นกลาง (pH 7.0) ดินล่างตอนล่างเนื้อดินเป็นดินเหนียว สีเทาเข้ม มีจุดประสีน้ำตาล ปฏิกริยาดินเป็นด่างปานกลาง (pH 8.0) ในฤดูแล้งหน้าดินจะแตกกระแหง จะพบรอยไถล อาจพบก้อนหินปูนสะสมในดินล่าง



ภาพที่ 1 ชุดดินบ้านหมี่

ที่มา: กรมพัฒนาที่ดิน (2553)

ชุดดินชัยบาดาล (Chai Badan series: Cd) กลุ่มชุดดินที่ 28 เกิดจากการผุพังสลายตัวของหินบะซอลต์ หินแอนดีไซต์ บริเวณพื้นที่ภูเขา รวมถึงที่เกิดจากวัสดุดินหรือหินที่เคลื่อนย้ายมาเป็นระยะทางไกลๆ โดยแรงโน้มถ่วงบริเวณเชิงเขา หรือเกิดจากตะกอนน้ำพาบริเวณเนินตะกอนรูปพัด ลักษณะดินเป็นดินลึกปานกลาง พบชั้นหินผุที่ระดับความลึก 50-100 ซม. ดินบนเป็นดินเหนียวหรือดินเหนียวปนทรายแป้ง สีเทาเข้มมากหรือสีน้ำตาลปนเทาเข้มมาก ปฏิกริยาดินเป็นกรดเล็กน้อยถึงเป็นด่างปานกลาง (pH 6.5-8.0) ดินล่างเป็นดินเหนียวหรือดินเหนียวปนทรายแป้ง สีน้ำตาลปนเทาเข้ม สีน้ำตาลเข้มหรือสีน้ำตาล ปฏิกริยา

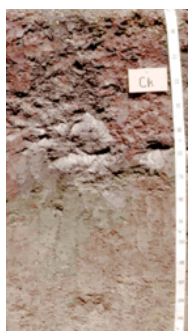
ดินเป็นกรดเล็กน้อยถึงเป็นด่างปานกลาง (pH 6.5-8.0) ดินชั้นล่างจะพบรอยไถลเป็นมัน เมื่อดินเปียกและแห้ง สลับกัน ดินล่างบางบริเวณอาจพบเม็ดปูนสะสม โดยปกติเมื่อดินแห้ง หน้าดินจะแตกกระแหงเป็นร่องลึก



ภาพที่ 2 ชุดดินชัยบาดาล

ที่มา: กรมพัฒนาที่ดิน (2553)

ชุดดินช่องแค (Chong Khae Seies: Ck) กลุ่มชุดดินที่ 1 เกิดจากตะกอนน้ำพามาทับถม อยู่บนส่วนต่ำของตะพักลำน้ำค่อนข้างใหม่ ลักษณะของดินเป็นดินลึกมาก ดินเป็นกรดแก่ถึงเป็นกรดปานกลาง (pH 5.5-6.0) เนื้อดินเป็นดินเหนียวตลอด ดินบนมีสีเทาเข้มถึงสีน้ำตาลปนเทา ดินล่างมีสีน้ำตาลปนเทาหรือสีเทา มีจุดประสีแดงตลอด ในฤดูแล้งหน้าดินจะมีรอยแตกกระแหงกว้างและลึก จะพบรอยไถลในดินล่าง ปฏิกริยาดินเป็นกรดปานกลาง (pH 6.0)



ภาพที่ 3 ชุดดินช่องแค

ที่มา: กรมพัฒนาที่ดิน (2553)

ชุดดินชัยนาท (Chai Nat Series: Cn) กลุ่มชุดดินที่ 4 เกิดจากตะกอนน้ำพา ลักษณะของดิน เป็นดินลึก ดินบนเนื้อดินเป็นดินเหนียวปนทรายแป้งหรือดินเหนียว สีผสมของสี น้ำตาลปนเทาเข้มกับสีเทาเข้ม มีจุดประสีน้ำตาลปนเหลืองเข้ม ปฏิกริยาดินเป็นกรดเล็กน้อยถึงเป็นด่างปานกลาง (pH 6.5-8.0) พบ

รอยไถและหน้าอัฒันในดินล่าง ในฤดูแล้งหน้าดินจะแตกกระแหง ดินล่างเนื้อดินเป็นดินเหนียว สีผสมของสีเทากับสี น้ำตาลปนเหลืองเข้มถึงสีเทา ปฏิกริยาดินเป็นกลางถึงเป็นด่างปานกลาง (pH 7.0-8.0)



ภาพที่ 4 ชุดดินชัยนาท

ที่มา: กรมพัฒนาที่ดิน (2553)

ชุดดินโคกกระเทียม (Khok Krathiam Series: Kk) กลุ่มชุดดินที่ 1 เกิดจากตะกอนที่มีแร่ดินเหนียวพวกมอนด์โมริลโลไนต์มากถูกน้ำพัดพามาทับถมอยู่บนตะพักลำน้ำค่อนข้างใหม่หรือที่ราบน้ำท่วมถึง ลักษณะของดิน เป็นดินลึก เนื้อดินเป็นดินเหนียวตลอด ดินบนเป็นดินเหนียวสีดำหรือสีเทาเข้ม จุดประสีน้ำตาลเข้ม และสีแดงปนเหลือง ปฏิกริยาดินกรดจัดถึงกรดเล็กน้อย (pH 5.5-6.5) ดินบนตอนล่างเป็นดินเหนียวสีเทาหรือสีเทาเข้ม มีจุดประสีน้ำตาลแก่และสีแดงปนเหลือง ปฏิกริยาดินเป็นกลางถึงด่างอ่อน (pH 7.0-8.0) ในดินล่างลึกลงไป หน้าดินจะแตกกระแหงในฤดูแล้ง จะพบรอยไถ ก้อนเหล็กและแมงกานีสสะสมและก้อนหินปูนสะสมในดินล่างลึกมาก 80 ซม. ดินล่างตอนล่าง เป็นดินเหนียว สีน้ำตาลปนเขียวมะกอกและพบจุดประสีน้ำตาลปนเหลือง สีเหลืองปนเขียวมะกอก ปฏิกริยาดินเป็นกลางถึงด่างอ่อน (pH 7.0-8.0)



ภาพที่ 5 ชุดดินโคกกระเทียม

ที่มา: กรมพัฒนาที่ดิน (2553)

ชุดดินลพบุรี (Lop Buri Series: Lb) กลุ่มชุดดินที่ 28 เกิดจากตะกอนน้ำพาที่มีแร่ดินเหนียวส่วนใหญ่เป็นพวกมอนด์โมริลโลไนต์ทับถมอยู่บนชั้นปูนมาร์ล หรือตะพักเขาหินปูน ลักษณะดินเป็นดิน

ลึก ดินบนเป็นดินเหนียว สีดำหรือสีเทาเข้ม ปฏิกริยาดินเป็นกรดเล็กน้อยถึงด่างปานกลาง (pH 6.5-8.0) ดินบนตอนล่างเป็นดินเหนียว สีดำหรือสีเทาเข้มมาก พบชั้นปูนมาร์ลในระดับลึก 80 ซม. ลงไป ในฤดูแล้งจะแตกกระแหงเป็นร่อง กว้างกว่า 1 ซม. หรือมากกว่า ที่ความลึก 50 ซม. และรอยแตกนี้จะคงอยู่นาน จะพบรอยไถลและหน้าตัดดินมีมวลก้อนกลมปูนสะสมอยู่ทั่วไป ปฏิกริยาดินเป็นด่างปานกลางถึงด่างจัด (pH 8.0-9.0) ดินล่างตอนล่างเป็นดินเหนียว สีดำหรือสีน้ำตาลปนเทา ปฏิกริยาดินเป็นด่างปานกลาง (pH 8.0)



ภาพที่ 6 ชุดดินลพบุรี

ที่มา: กรมพัฒนาที่ดิน (2553)

ชุดดินลำนารายณ์ (Lam Narai series: Ln) กลุ่มชุดดินที่ 54 เกิดจากการผุพังสลายตัวของหินบะซอลต์ หินแอนดีไซต์ และหินปูน บริเวณพื้นที่ภูเขา รวมถึงที่เกิดจากวัสดุดินหรือหินที่เคลื่อนย้ายมาเป็นระยะทางไกลๆ โดยแรงโน้มถ่วงบริเวณเชิงเขา หรือเกิดจากตะกอนน้ำพา บริเวณเนินตะกอนรูปพัด ลักษณะดินเป็นดินลึกปานกลาง พบชั้นหินผุและก้อนปูนทุติยภูมิที่ระดับความลึก 50-100 ซม. ดินบนเป็นดินร่วนปนดินเหนียวหรือดินเหนียว สีน้ำตาลเข้มหรือสีน้ำตาลปนแดงเข้ม ปฏิกริยาดินเป็นกลางถึงเป็นด่างปานกลาง (pH 7.0-8.0) ดินล่างเป็นดินเหนียวหรือดินเหนียวปนทรายแป้ง และพบก้อนปูนทุติยภูมิปะปนในดินล่างๆ และเศษหินผุ สีน้ำตาลปนแดงหรือสีแดง ปฏิกริยาดินเป็นด่างปานกลาง (pH 8.0) เมื่อดินแห้ง อาจแตกกระแหงเป็นร่องลึก ดินชั้นล่างจะพบรอยถูไถเป็นมัน



ภาพที่ 7 ชุดดินลำนารายณ์

ที่มา: กรมพัฒนาที่ดิน (2553)

ชุดดินลำสนธิ (Lam Sonthi series: Ls) กลุ่มชุดดินที่ 31 เกิดจากตะกอนน้ำพาบริเวณสันดินริมน้ำหรือเนินตะกอนรูปพัดลักษณะดินเป็นดินลึ้มมาก ดินบนเป็นดินร่วนหรือดินร่วนปนดินเหนียว สีน้ำตาลเข้มหรือสีน้ำตาลปนเทาเข้มมาก ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดถึงเป็นกรดเล็กน้อย (pH 5.5-6.5) ดินล่างตอนบนเป็นดินร่วนเหนียวถึงดินเหนียว สีน้ำตาลถึงสีน้ำตาลเข้ม มีจุดประสีแดงและสีน้ำตาลปนเหลือง ปฏิกริยาดินเป็นกรดเล็กน้อยถึงเป็นด่างปานกลาง (pH 6.5-8.0) ดินล่างตอนล่างเป็นดินเหนียวสีน้ำตาลสีน้ำตาลปนเทา มีจุดประสีแดงปนเหลืองและสีแดง และพบก้อนปูนทุติยภูมิปะปน ปฏิกริยาดินเป็นกลางถึงเป็นด่างปานกลาง (pH 7.0-8.0)



ภาพที่ 8 ชุดดินลำสนธิ

ที่มา: กรมพัฒนาที่ดิน (2553)

ชุดดินป่าสัก (Pasak Series Pa) กลุ่มชุดดินที่ 33 เกิดจากตะกอนน้ำพา ลักษณะของดินเป็นดินลึ้มมาก ที่มีการสลับชั้นของเนื้อดินต่างๆ เนื่องจากการทับถมเป็นประจำเมื่อน้ำท่วมฝั่ง ดินบนเป็นดินร่วนหรือดินร่วนปนทรายแป้งหรือดินร่วนปนทราย สีน้ำตาลหรือสีน้ำตาลปนเทา ปฏิกริยาดินเป็นกรดปานกลางถึงเป็นกลาง (pH 6.0-7.0) ดินล่างเป็นดินร่วนปนทราย ดินร่วนปนทรายแป้ง หรือดินร่วน สีน้ำตาลหรือสีน้ำตาลปนเหลือง มีจุดประสีน้ำตาลแก่ ปฏิกริยาดินเป็นกรดปานกลางถึงเป็นกรดเล็กน้อย (pH 6.0-6.5) ปกติจะพบเกล็ดไมกาตลอดชั้นดิน รวมทั้งอาจมีชั้นทรายแทรกสลับในหน้าตัดดิน



ภาพที่ 9 ชุดดินป่าสัก

ที่มา: กรมพัฒนาที่ดิน (2553)

ชุดดินตากลี (Takhli series: Tk) กลุ่มชุดดินที่ 52 เกิดจากตะกอนน้ำพาที่บถมอยู่บนชั้นปูนมาร์ล บริเวณเนินตะกอนรูปพัดลักษณะดิน เป็นดินตื้นถึงชั้นปูนมาร์ลที่พบภายใน 50 ซม.จากผิวดิน ดินบนเป็นดินร่วนปนดินเหนียวหรือดินเหนียวปนทรายแป้ง สีดำ สีเทาเข้มมาก สีนํ้าตาลปนเทาเข้มมาก หรือสีนํ้าตาลเข้มมาก ปฏิกริยาดินเป็นกลางถึงเป็นด่างปานกลาง (pH 7.0-8.0) ดินล่างเป็นดินร่วนปนดินเหนียวหรือดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง และมีเม็ดปูนปน สีนํ้าตาลหรือสีนํ้าตาลเข้ม และมีสีขาวของผงปูนทุติยภูมิหรือปูนมาร์ล ปฏิกริยาดินเป็นด่างปานกลาง (pH 8.0) ใต้ชั้นดินลงไปเป็นชั้นปูนมาร์ลสีขาวทั้งที่เป็นเม็ดและที่เชื่อมต่อกันหนาแน่น



ภาพที่ 10 ชุดดินตากลี

ที่มา: กรมพัฒนาที่ดิน (2553)

ชุดดินทับทวน (Thap Kwang Series: Tw) กลุ่มชุดดินที่ 55 เกิดจากการผุพังสลายตัวอยู่กับที่ และ/หรือ เคลื่อนย้ายมาเป็นระยะทาง ไม่ไกลนักของหินตะกอนเนื้อละเอียดหรือหินในกลุ่ม และได้รับอิทธิพลจากหินปูน ลักษณะของดินเป็นดินลึกปานกลาง พบเศษหินและก้อนปูนทุติยภูมิที่ระดับความลึก 50-100 ซม. ดินบนเป็นดินร่วนปนดินเหนียวหรือดินเหนียว สีนํ้าตาลเข้มหรือสีนํ้าตาลปนแดงเข้ม ปฏิกริยาดินเป็นกรดปานกลางถึงเป็นกลาง (pH 6.0-7.0) ดินล่างเป็นดินเหนียวหรือดินเหนียวปนทรายแป้ง สีนํ้าตาลปนแดงหรือสีนํ้าตาลปนเหลือง มักพบเศษหินและก้อนปูนทุติยภูมิปะปน ในดินตอนล่าง ปฏิกริยาดินเป็น กลางถึงเป็นด่างจัด (pH 7.0-8.5)



ภาพที่ 11 ชุดดินทับทวน

ที่มา: กรมพัฒนาที่ดิน (2553)

ภาพที่ 12 แผนที่ธรณีวิทยาจังหวัดลพบุรี

ที่มา: กรมทรัพยากรธรณี, 2550

ภาคผนวกที่ 2 ภาพแสดงผลผลิตฝักสด น้ำหนักฝักข้าวโพด ข้าวโพดที่อายุ 117 วันหลังปลูก

แปลงทดสอบปุ๋ยสังกะสี

พบว่า T2 (ZnSO_4 0.64 กก./ไร่) น้ำหนักฝักเฉลี่ยของข้าวโพดสูงที่สุด 1,764 กรัม ส่วน T5 (ไม่ใส่ปุ๋ย Zn) มีน้ำหนักฝักเฉลี่ยของข้าวโพดต่ำที่สุด 1,126.30 กรัม



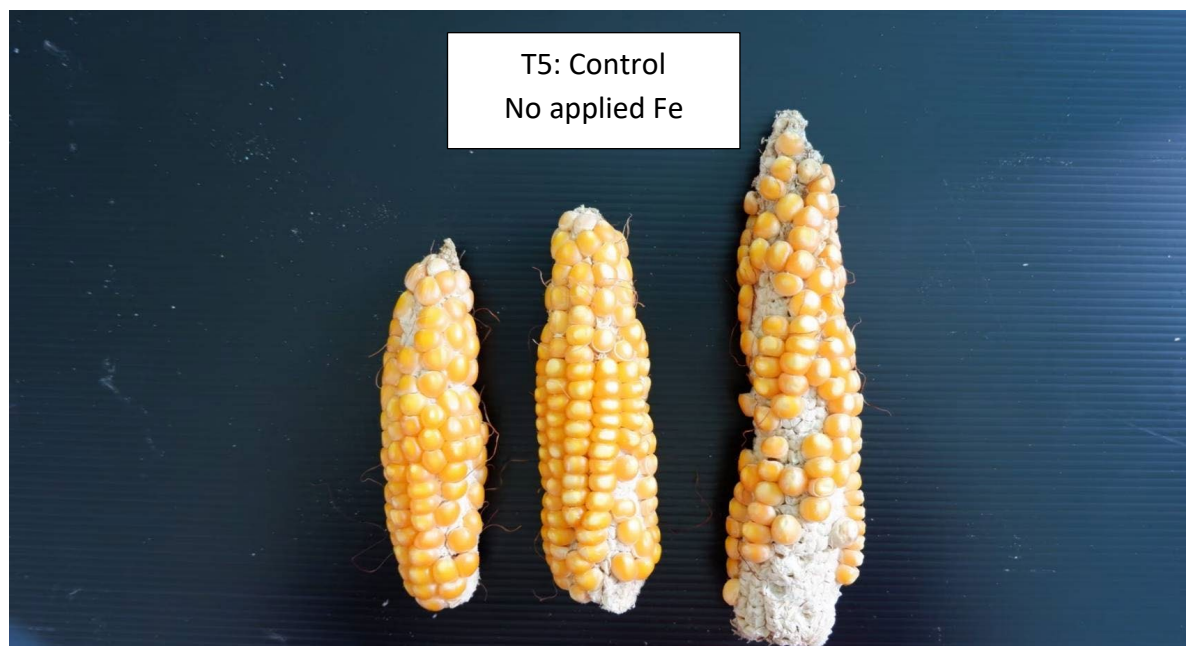
ภาพที่ 13 ข้าวโพดที่ไม่ได้ใส่ปุ๋ยธาตุสังกะสี



ภาพที่ 14 ข้าวโพดที่ใส่ปุ๋ยธาตุสังกะสี

แปลงทดสอบปุ๋ยเหล็ก

พบว่า T3 (เติม FeEDDHA 12.8 กก./ไร่) มีน้ำหนักฝักเฉลี่ยของข้าวโพดสูงที่สุด ที่ 2245.30 กรัม และพบว่า T5 (ไม่ใส่ปุ๋ย Fe) มีน้ำหนักฝักเฉลี่ยของข้าวโพดต่ำที่สุด ที่ 1463.70 กรัม ตามลำดับ



ภาพที่ 15 ข้าวโพดที่ไม่ได้ใส่ปุ๋ยธาตุเหล็ก



ภาพที่ 16 ข้าวโพดที่ใส่ปุ๋ยธาตุเหล็ก

ภาคผนวกที่ 3 ภาพการปฏิบัติงานสำรวจ จำแนกดิน และเก็บตัวอย่างดินเนื้อปูน



