



วิทยานิพนธ์

ประสิทธิภาพของปุ๋ยเหล็กคีเลตในการแก้ปัญหาคารขาดธาตุเหล็ก
ของถั่วลิสงที่ปลูกในชุดดินตาคลี

EFFICIENCY OF FE-CHELATED FERTILIZER FOR
ALLEVIATING IRON DEFICIENCY OF GROUNDNUT
GROWN ON TAKHLI SOIL SERIES

นายพชร อริยะสกุล

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. 2551

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ประสิทธิภาพของปุ๋ยเหล็กคีเลตในการแก้ปัญหาคขาดธาตุเหล็กของถั่วลิสงที่ปลูกในชุดดินตาคลี

Efficiency of Fe-chelated Fertilizer for Alleviating Iron Deficiency of Groundnut Grown on
Takhli Soil Series

โดย

นายเพชร อริยะสกุล

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (ปฐพีวิทยา)

พ.ศ. 2551

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชัยฤกษ์ สุวรรณรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก รองศาสตราจารย์ ดร. จงรักษ์ จันทรเจริญสุข อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือในเรื่องการเรียน การทำวิทยานิพนธ์ ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆจนวิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้อย่างสมบูรณ์ ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. อัญชลี สุทธิประการ และดร. พิชิต พงษ์สกุล ที่กรุณาให้คำแนะนำและตรวจแก้วิทยานิพนธ์เล่มนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณคณาจารย์และบุคลากรทุกท่านในภาควิชาปรัชญา ศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และพี่น้องชาวสโมสรบัณฑิตปรัชญา ที่ได้คอยให้ความช่วยเหลือและสนับสนุนในการเรียนและทำวิทยานิพนธ์ด้วยดีตลอดมา

ขอขอบพระคุณ คุณจรงค์ศักดิ์ อริยะสกุล และคุณพรสิริ อริยะสกุล ที่คอยสนับสนุนช่วยเหลือในการศึกษาและเป็นกำลังใจที่ดีแก่ข้าพเจ้ามาโดยตลอด จนวิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ คุณค่าและความดีอันใดที่ได้รับจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบแด่บุพการี ครู อาจารย์ ญาติ และมิตรที่มีพระคุณต่อข้าพเจ้า

พชร อริยะสกุล

กุมภาพันธ์ 2551

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	18
อุปกรณ์	18
วิธีการ	21
ผลและวิจารณ์	28
สรุปและข้อเสนอแนะ	62
สรุป	62
ข้อเสนอแนะ	63
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	64
ภาคผนวก	71
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	93

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ค่าวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์บางประการของดินที่ทำการศึกษา	29
2	คะแนนเฉลี่ยของอาการคลอโรซิสของถั่วลิสงในตำรับต่างๆ เมื่อพืชอายุ 7 21 35 49 63 และ 100 วันหลังจากวันปลูก	33
3	ผลของการใส่และไม่ใส่ปุ๋ยหลักในรูปต่างๆ ต่อน้ำหนักตอซัง ราก ฟัก และเมล็ดแห้งของถั่วลิสง	37
4	ผลของการใส่และไม่ใส่ปุ๋ยหลักในรูปต่างๆ ต่อความเข้มข้นของหลักในถั่วลิสง	41
5	ผลของการใส่และไม่ใส่ปุ๋ยหลักในรูปต่างๆ ต่อปริมาณการดูดใช้หลักของถั่วลิสง	45
6	ผลของการใส่ปุ๋ยหลักในรูปต่างๆ ที่มีต่อประสิทธิภาพของการดึงดูดปุ๋ยหลักมาใช้ประโยชน์ของถั่วลิสง	47
7	ผลของการใส่และไม่ใส่ปุ๋ยหลักที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การกระจายของธาตุหลักที่ถั่วลิสงดูดใช้ขึ้นมามีอยู่ในส่วนของตอซัง ราก และเมล็ดของถั่วลิสง	48
8	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณหลักที่สกัดได้โดยน้ำยาสกัด 0.005 M DTPA pH 7.3 ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการบ่มดินกับผลผลิตน้ำหนักแห้งของถั่วลิสง	50
9	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณหลักที่สกัดได้โดยน้ำยาสกัด 0.005 M DTPA pH 7.3 ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการบ่มดินกับความเข้มข้นของหลักในถั่วลิสง	52
10	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณหลักที่สกัดได้โดยน้ำยาสกัด 0.005 M DTPA pH 7.3 ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการบ่มดินกับปริมาณการดูดใช้หลักของถั่วลิสง	52
11	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณหลักที่สกัดได้โดยน้ำยาสกัด 0.01 M $CaCl_2$ ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการบ่มดินกับผลผลิตน้ำหนักแห้งของถั่วลิสง	56

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
12	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กที่สกัดได้โดยน้ำยาสกัด 0.01 M CaCl_2 ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการบ่มดินกับความเข้มข้นของเหล็กในถั่วลิสง	58
13	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กที่สกัดได้โดยน้ำยาสกัด 0.01 M CaCl_2 ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการบ่มดินกับปริมาณการดูดใช้เหล็กของถั่วลิสง	58

ตารางผนวกที่

1	ความเป็นประโยชน์ของปุ๋ยเหล็กคีเลตที่ใส่ลงไปดินที่สกัดโดยน้ำยาสกัด 0.005 M DTPA pH 7.3 และ 0.01 M CaCl_2 ที่ระยะเวลาการบ่มดินต่างๆ กัน	72
2	ผลของการใส่ปุ๋ยเหล็กที่มีต่อร้อยละผลผลิตน้ำหนักรากเมล็ดแห้งที่เพิ่มขึ้นจากคาร์บอนที่ไม่ใส่ปุ๋ยเหล็ก	73
3	ข้อจำกัดของสมบัติทางเคมีที่ใช้ประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน	74
4	แสดงระดับความเป็นประโยชน์ของ Zn Cu Fe และ Mn ในดินซึ่งวิเคราะห์โดยวิธี 0.005 M DTPA pH 7.3	77
5	แสดงการเปลี่ยนแปลง non SI unit เป็น SI unit	78

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 โครงสร้างของปุ๋ย Fe-EDTA	8
2 โครงสร้างของปุ๋ย Fe-DTPA	9
3 โครงสร้างของปุ๋ย Fe-EDDHA	9
4 กลไกในการดูดใช้ธาตุเหล็กในรูปคีเลตของพืชใบเลี้ยงคู่และใบเลี้ยงเดี่ยว	10
5 ความเป็นประโยชน์ของปุ๋ยเหล็กคีเลตที่ใส่ลงไปในดินที่สกัดโดยน้ำยาสกัด 0.005 M DTPA pH 7.3 ที่ระยะเวลาการบ่มดินต่างๆ กัน	31
6 ความเป็นประโยชน์ของปุ๋ยเหล็กคีเลตที่ใส่ลงไปในดินที่สกัดโดยน้ำยาสกัด 0.01 M CaCl ₂ ที่ระยะเวลาการบ่มดินต่างๆ กัน	31
7 ผลของการใส่และไม่ใส่ปุ๋ยเหล็กในรูปต่างๆ ต่อน้ำหนักฝักแห้งและเมล็ดแห้งของถั่วลิสง	38
8 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กที่สกัดได้ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการบ่มดินโดยน้ำยาสกัด 0.005 M DTPA pH 7.3 กับน้ำยาสกัด 0.01 M CaCl ₂	61
ภาพผนวกที่	
1 โครงสร้างของสารคีเลต EDTA DTPA และ EDDHA	79
2 อาการคลอโรซิสของถั่วลิสงที่ปลูกในชุดดินตาคลี	80
3 การเจริญเติบโตของถั่วลิสงในคำรับที่ไม่ใส่ปุ๋ยเหล็กและใส่ปุ๋ยเหล็กอัตราสูง ที่อายุ 40 วัน	80
4 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กที่สกัดได้โดยน้ำยาสกัด 0.005 M DTPA pH 7.3 ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการบ่มดินกับผลผลิตน้ำหนักต่อซังแห้งของถั่วลิสง	81

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่	หน้า
5 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กที่สกัดได้โดยน้ำยาสกัด 0.005 M DTPA pH 7.3 ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการบ่มดินกับผลผลิตน้ำหนักรากเมล็ดแห้งของถั่วลิสง	82
6 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กที่สกัดได้โดยน้ำยาสกัด 0.005 M DTPA pH 7.3 ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการบ่มดินกับความเข้มข้นของเหล็กในเมล็ดถั่วลิสง	83
7 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กที่สกัดได้โดยน้ำยาสกัด 0.005 M DTPA pH 7.3 ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการบ่มดินกับปริมาณการดูดใช้เหล็กในตอซังถั่วลิสง	84
8 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กที่สกัดได้โดยน้ำยาสกัด 0.005 M DTPA pH 7.3 ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการบ่มดินกับปริมาณการดูดใช้เหล็กในเมล็ดถั่วลิสง	85
9 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กที่สกัดได้โดยน้ำยาสกัด 0.01 M CaCl_2 ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการบ่มดินกับผลผลิตน้ำหนักรากตอซังแห้งของถั่วลิสง	86
10 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กที่สกัดได้โดยน้ำยาสกัด 0.01 M CaCl_2 ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการบ่มดินกับผลผลิตน้ำหนักรากฝักแห้งของถั่วลิสง	87
11 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กที่สกัดได้โดยน้ำยาสกัด 0.01 M CaCl_2 ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการบ่มดินกับผลผลิตน้ำหนักรากเมล็ดแห้งของถั่วลิสง	88
12 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กที่สกัดได้โดยน้ำยาสกัด 0.01 M CaCl_2 ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการบ่มดินกับความเข้มข้นของเหล็กในเมล็ดถั่วลิสง	89
13 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กที่สกัดได้โดยน้ำยาสกัด 0.01 M CaCl_2 ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการบ่มดินกับปริมาณการดูดใช้เหล็กในตอซังถั่วลิสง	90
14 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กที่สกัดได้โดยน้ำยาสกัด 0.01 M CaCl_2 ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการบ่มดินกับปริมาณการดูดใช้เหล็กในเมล็ดถั่วลิสง	91

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่

หน้า

- 15 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กที่สกัดได้โดยน้ำยาสกัด 0.01 M $CaCl_2$ ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการบ่มดินกับปริมาณการดูดใช้เหล็กทั้งหมดใน
ถั่วลิสง

92

ประสิทธิภาพของปุ๋ยเหล็กคีเลตในการแก้ปัญหาการขาดธาตุเหล็กของถั่วลิสงที่ปลูกใน ชุดดินตาคลี

Efficiency of Fe-chelated Fertilizer for Alleviating Iron Deficiency of Groundnut Grown on Takhli Soil Series

คำนำ

ดินเนื้อปูน (calcareous soil) เป็นดินที่เกิดจากวัตถุต้นกำเนิดดินที่เป็นด่าง เช่น หินปูน และมีอนุภาคของแคลเซียมคาร์บอเนต หรือแมกนีเซียมคาร์บอเนตปะปนอยู่ในดิน (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) ทำให้ดินชนิดนี้มี pH อยู่ในช่วง 7.3-8.5 ประเทศไทยจะพบดินชนิดนี้อยู่บริเวณเทือกเขาสูงตอนกลางและที่ราบภาคกลางของประเทศ ซึ่งส่วนใหญ่กระจายอยู่ในบริเวณจังหวัดลพบุรี สระบุรี นครสวรรค์ และนครราชสีมา ชุดดินสำคัญที่จัดเป็นดินเนื้อปูน ได้แก่ ชุดดินตาคลี ชุดดินชัยบาดาล ชุดดินลพบุรี ชุดดินสบปราบ ชุดดินลำนารายณ์ และชุดดินบุรีรัมย์ โดยเฉพาะชุดดินตาคลีที่เป็นชุดดินหนึ่งที่นิยมใช้ปลูกถั่วลิสง มักพบปัญหาเกี่ยวกับการขาดธาตุอาหาร โดยเฉพาะธาตุเหล็กเมื่อใช้ประโยชน์ในการปลูกถั่วลิสง (สุวพันธ์ และคณะ, 2543) เหล็กเป็นจุลธาตุอาหารชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยเกี่ยวข้องกับกระบวนการเมแทบอลิซึมต่างๆ ในพืช ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของ cytochromes hemes hematin ferrichrome และ leghemoglobin ซึ่งสารเหล่านี้จำเป็นต่อปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชันในการหายใจและสังเคราะห์แสงของพืช (Havlin *et al.*, 2005) พืชที่ขาดธาตุเหล็กอาการผิดปกติจะเริ่มปรากฏขึ้นที่ใบอ่อนเพราะธาตุเหล็กไม่เคลื่อนที่ในพืช ใบอ่อนจะเกิดคลอโรซิสในบริเวณส่วนของเนื้อเยื่อที่เส้นใบยังมีสีเขียว (Epstein, 2005) กรณีขั้นรุนแรงใบพืชจะเปลี่ยนเป็นสีขาวทั้งใบ ในที่สุดเนื้อเยื่อของแผ่นใบทั้งหมดก็จะแห้งตาย แนวทางการแก้ไขการขาดธาตุเหล็กเพื่อเพิ่มผลผลิตของพืชให้สูงขึ้น ทำได้โดยการคัดเลือกพันธุ์พืชที่ต้านทาน การปรับปรุงสมบัติบางประการของดิน และการใส่ปุ๋ยเหล็กโดยตรง ซึ่งการใช้ปุ๋ยในรูปเหล็กคีเลตก็เป็นแนวทางหนึ่งในการแก้ไขปัญหาการขาดธาตุเหล็กของพืช ชัยฤกษ์ และคณะ (2528) รายงานว่า การใส่ปุ๋ยเหล็กคีเลตในรูป Fe-DTPA ลงไปในชุดดินตาคลี มีแนวโน้มทำให้อาการคลอโรซิสของถั่วลิสงลดลงและถั่วลิสงให้ผลผลิตสูงขึ้น ปุ๋ยเหล็กคีเลตที่ขายกันอยู่ในประเทศไทยมีหลายรูปด้วยกัน ที่สำคัญมี 3 ชนิดคือ Fe-EDTA [iron (III) ethylenediamine tetraacetic acid] Fe-DTPA [iron (III) diethylenetriamine pentaacetic acid] และ Fe-EDDHA [iron (III) ethylenediaminedi(o-hydroxyphenylacetic) acid] ซึ่งมีราคาและหาซื้อได้

ยากง่ายแตกต่างกันไป ดังนั้นเพื่อเป็นทางเลือกในการใช้ปุ๋ยเหล็กคีเลตแต่ละชนิดสำหรับนำมาแก้ไข
ปัญหาการขาดธาตุเหล็กของถั่วลิสงที่ปลูกในดินเหนียว จึงได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของปุ๋ย
เหล็กคีเลต 3 ชนิดดังกล่าวในการแก้ปัญหการขาดธาตุเหล็กของถั่วลิสงที่ปลูกในชุดดินดาคี โดย
ปลูกพืชทดลองในกระถาง

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาความเป็นประโยชน์ของปุ๋ยเหล็กคีเลตในรูป Fe-EDTA Fe-DTPA และ Fe-EDDHA ที่ใส่ลงไปดิน โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ดินทางเคมีที่ระยะเวลาต่างๆ ของการบ่มดินในชุดดินตาคี
2. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการใช้ปุ๋ยเหล็กคีเลตในรูป Fe-EDTA Fe-DTPA และ Fe-EDDHA ในการแก้ปัญหการขาดธาตุเหล็กของถั่วลิสงพันธุ์กาสินธุ์ 2 ที่ปลูกในชุดดินตาคี

การตรวจเอกสาร

1. ความสำคัญของธาตุหลัก

หลักเป็นจุลธาตุอาหารหรือธาตุอาหารจุลภาค (micronutrient) ซึ่งอยู่ในกลุ่มเดียวกันกับ แมงกานีส ทองแดง สังกะสี โมลิบดีนัม โบรอน คลอรีน และนิเกิล แม้ว่าพืชต้องการใช้จุลธาตุอาหารเหล่านี้ในปริมาณน้อย แต่ทุกธาตุก็มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช (Plaster, 1992; Miller and Donahue, 1995; คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) หลักเป็นองค์ประกอบของเปลือกโลกประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ โดยมีปริมาณหลักในดินแตกต่างกันตั้งแต่ 0.7-55 เปอร์เซ็นต์ (Havlin *et al.*, 2005) หลักในดินมีสองส่วนคือ หลักในสารประกอบที่สลายตัวช้าและละลายยาก เช่น แร่ไพโรซีน แอมฟิโบล ไฟโรต์ โลมอไนต์ และฮีมาไทต์ จึงไม่เป็นประโยชน์ต่อพืช เมื่อมีการสลายตัวทางเคมีและปลดปล่อยเฟอร์รัสหรือเฟอร์ริกไอออนพืชจึงใช้ประโยชน์ได้ และส่วนที่สองคือรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช ได้แก่ เฟอร์รัสหรือเฟอร์ริกไอออนในสารละลายดินหรือแลกเปลี่ยนได้ และรวมไปถึงหลักที่เล็ดซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างหลักไอออนกับสารที่ลดธรรมชาติ เช่น กรดฮิวมิก (ยงยุทธ, 2546) โดยส่วนมากอาการขาดธาตุหลักมักเกิดกับพืชที่ปลูกบนดินเหนียวหรือดินแคลคาเรียส ซึ่งเรียกปรากฏการณ์นี้ว่าภาวะพร่องคลอโรฟิลล์ซึ่งเหนี่ยวนำด้วยปูน (lime induced chlorosis) (ยงยุทธ, 2546) ลักษณะอาการของพืชที่ขาดหลัก ไบรอนมีขนาดเล็กลงและมีสีเขียวซีดหรือสีเหลือง ซึ่งจะมีผลต่อไบรอนมากกว่าไบแก่ เพราะธาตุหลักไม่เคลื่อนที่ในพืช (Troeh and Thompson, 2005)

2. ปัจจัยที่ควบคุมความเป็นประโยชน์ของธาตุหลักในดิน

2.1 ปฏิกิริยาดิน

หลักเป็นจุลธาตุอาหารประเภทที่ละลายน้ำได้ง่ายและอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ในดินกรด ในดินกรดจัดมักจะมีจุลธาตุอาหารพวกนี้ละลายอยู่ในสารละลายดินมากเกินไป จนเป็นพิษกับพืชที่ปลูกได้ โดยเฉพาะเมื่อใช้พันธุ์ที่ไม่ค่อยทนทานต่อความเป็นพิษ เมื่อปฏิกิริยาดินสูงขึ้น ธาตุหลักจะถูกเปลี่ยนเป็นไฮดรอกไซด์หรือออกไซด์ที่ละลายน้ำได้ยากและตกตะกอน (Brady and Weil, 2002) ดังสมการ

2.5 ชนิดพืช

พืชบางชนิดมีกลไกที่ใช้แก้ปัญหาความขาดแคลนธาตุเหล็กในดิน ตัวอย่างเช่น รากพืชตระกูลหญ้าสามารถปล่อยกรดอะมิโนที่เรียกว่า ไฟโตไซด์โรฟอรัส (phytosiderophores) ซึ่งมีสัมพรรคภาพสูงต่อเฟอร์ริกไอออน ดังนั้นความสามารถในการจับไฟโตไซด์โรฟอรัสออกจากรากเพื่อละลายเหล็กในดินแล้วเคลื่อนย้ายเข้าไปในราก จึงเป็นกลไกสำคัญของพืชตระกูลหญ้าในการเพิ่มความเป็นประโยชน์ของธาตุเหล็กและแก้ปัญหาคขาดธาตุเหล็กในดิน (ยงยุทธ, 2546; Havlin *et al.*, 2005)

3. หน้าที่ของธาตุเหล็กในพืช

ธาตุเหล็กในพืชมีทั้งที่อยู่ในรูปเฟอร์ริก (Fe^{3+}) และเฟอร์รัส (Fe^{2+}) เหล็กในรูปเฟอร์ริกเป็นองค์ประกอบของโปรตีนที่มีเหล็กและกำมะถัน (Fe-S-proteins) ไซโทโครม (cytochromes) และไฟโตเฟอร์ริทิน (phytoferritin) สำหรับรูปเฟอร์รัสใช้เป็นโคแฟกเตอร์ของเอนไซม์ซึ่งต้องการ Fe(II) (ยงยุทธ, 2546) ธาตุเหล็กเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของ cytochromes hemes hematin ferrichrome และ leghemoglobin ซึ่งสารเหล่านี้จำเป็นต่อปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชันในการหายใจและสังเคราะห์แสงของพืช นอกจากนี้ธาตุเหล็กยังเป็นองค์ประกอบสำคัญของโครงสร้างคลอโรพลาสต์ โดย 75 เปอร์เซ็นต์ของคลอโรพลาสต์จะมีธาตุเหล็กเป็นองค์ประกอบ (Havlin *et al.*, 2005) เมื่อพืชขาดธาตุเหล็กจะมีผลกระทบต่อการทำหน้าที่ของคลอโรพลาสต์ เช่น คลอโรพลาสต์ในใบพืชที่ขาดธาตุเหล็กจะมีการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์น้อยลง การรับพลังงานแสงและการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนน้อยลง

4. การขาดธาตุเหล็กของถั่วลิสง

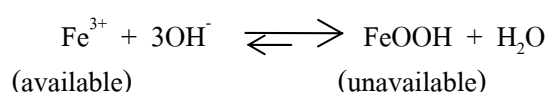
ปัญหาของจุลธาตุอาหารที่เป็นตัวจำกัดผลผลิตของถั่วลิสงที่ปลูกบนดินทั่วไปยังไม่รุนแรงเท่ากับธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ทั้งนี้ยกเว้นในบางบริเวณที่เป็นดินเหนียวสีดำนและมี pH สูง มีปริมาณของปูนเป็นองค์ประกอบอยู่มาก โดยเฉพาะชุดดินดาคี ซึ่งมีรายงานว่าถั่วลิสงที่ปลูกบนชุดดินนี้แสดงอาการคลอโรซิส (chlorosis) เนื่องจากขาดธาตุเหล็ก โดยบริเวณยอดของถั่วลิสงเกิดอาการเหลืองซีด ทั้งที่ค่าวิเคราะห์ทางเคมีของปริมาณเหล็กทั้งหมดของดินดังกล่าวนี้มีอยู่ปริมาณสูง แต่อยู่ในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อพืช (ประเสริฐ, 2528) พืชทั่วไปมีระดับที่เพียงพอ

ของธาตุเหล็กในพืชระหว่าง 50-250 mg kg⁻¹ ถ้าความเข้มข้นต่ำกว่านี้จะแสดงอาการขาดธาตุเหล็ก (Havlin *et al.*, 2005) ซึ่งลักษณะอาการขาดธาตุเหล็กจะเริ่มปรากฏขึ้นที่ใบอ่อนเพราะธาตุเหล็กไม่เคลื่อนที่ในพืช ใบอ่อนจะเกิดคลอโรซิสในส่วนของเนื้อเยื่อขณะที่เส้นใบยังมีสีเขียว (Epstein, 2005) กรณีขั้นรุนแรงใบพืชจะเปลี่ยนเป็นสีขาวทั้งใบ ในที่สุดเนื้อเยื่อของแผ่นใบทั้งหมดก็จะแห้งตาย

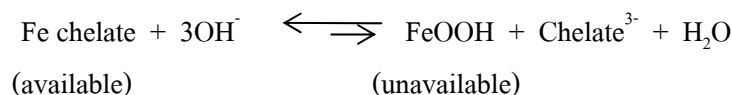
สุวพันธุ์ และคณะ (2543) รายงานว่า ถั่วลิสงที่ขาดธาตุเหล็กจะพบอาการเหลืองซีดระหว่างเส้นใบ โดยที่ปลายใบ ขอบใบและเส้นใบยังคงเขียว พบในใบอ่อนก่อน หากขาดรุนแรง การเจริญเติบโตจะช้า ต้นจะเตี้ย ใบเล็ก เหลืองซีดหรือขาวทั่วทั้งใบ และเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล มีเซลล์ตายเป็นหย่อมๆ (necrotic spots) อาการจะรุนแรงเมื่ออากาศร้อน แดดจัด และฝนทิ้งช่วง มักจะพบเมื่อปลูกในดินที่เป็นด่าง มีหินปูนสูง เช่น ดินเหนียวสีดำชุดดากลิ และสุมิตรา (2549) ยังรายงานอีกว่า อาการขาดธาตุเหล็กและแมงกานีสในพืชมีลักษณะคล้ายคลึงกัน คือใบอ่อนมีพื้นที่ระหว่างเส้นใบเป็นสีเหลือง แต่เส้นใบยังคงเขียวอยู่ โดยทั่วไปใบพืชที่ขาดธาตุเหล็กจะมีสีซีดกว่าอาการขาดธาตุแมงกานีส แต่ผู้ที่ไม่มีประสบการณ์เพียงพออาจวิเคราะห์อาการผิดพลาด เช่น ถ้าพืชขาดธาตุเหล็กแต่ใบใต้ปุ๋ยแมงกานีสจะเป็นการซ้ำเติมอาการให้หนักยิ่งขึ้น เนื่องจากธาตุเหล็กและแมงกานีสเป็นปฏิปักษ์ต่อกัน คือ ถ้ามีธาตุแมงกานีสมากพืชจะดูดธาตุเหล็กได้น้อย และในทางกลับกัน ถ้ามีธาตุเหล็กมากพืชจะดูดธาตุแมงกานีสได้น้อย

5. ปุ๋ยเหล็กคีเลต

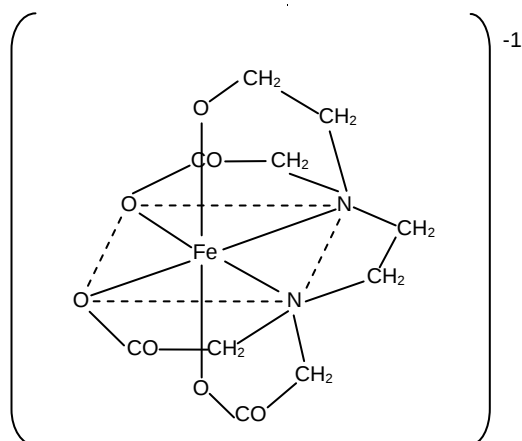
คีเลตเป็นคำที่ได้มาจากภาษากรีกซึ่งมีความหมายว่า “กรงเล็บ” (claw) (Brady and Weil, 2002; Havlin *et al.*, 2005) โดยคีเลตเป็นสารประกอบที่เกิดขึ้นจากการจับตัวของไอออนโลหะอยู่ในส่วนกลางโครงสร้างของสารคีเลต (chelating agent) ด้วยปฏิกิริยาคีเลชัน (chelation) และจับกันด้วยพันธะโคออดิเนตสองหรือมากกว่าสองแห่ง การเชื่อมโยงนี้ทำให้เกิดสารใหม่ที่มี heterocyclic rings ซึ่งมีโลหะเช่น ธาตุเหล็ก เป็นองค์ประกอบในวงแหวนนั้นด้วย ซึ่งปฏิกิริยาคีเลชันจะไม่เกิดขึ้นถ้าเพิ่มเหล็กในรูปเกลืออนินทรีย์ เช่น เฟอริกซัลเฟตลงไปในดินเหนียว โดยเหล็กจะถูกทำให้อยู่ในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อพืชอย่างรวดเร็วด้วยไฮดรอกไซด์ ดังสมการ



ในทางตรงกันข้ามถ้าเหล็กในรูปคีเลตมีปริมาณอยู่มาก จะเป็นประโยชน์ต่อการดูดใช้ของพืช ดังสมการ



ปุ๋ยเหล็กคีเลตนั้นผลิตขึ้นมาเพื่อใช้ในดินค่างหรือดินเนื้อปูน (calcareous soil) เพื่อแก้ไขการขาดธาตุเหล็กแทนการใช้ปุ๋ยในรูปปุ๋ยอนินทรีย์ เช่น FeSO_4 ซึ่งไม่ค่อยได้ผล โดยการใช้ปุ๋ยในรูปคีเลตพืชจะใช้ประโยชน์ได้ดีกว่าเนื่องจากไม่ถูกไอออนในดิน เช่น Ca^{2+} และ Mg^{2+} เข้าแทนที่โดยง่าย จุลธาตุอาหารจึงไม่ตกตะกอนเมื่อดินมี pH สูงถึง 8 หรือ 9 และคีเลตคงสภาพในดินได้นานพอที่พืชจะดูดดึงไปใช้ประโยชน์ได้เต็มที่ (ยงยุทธ, 2549) ซึ่งปุ๋ยเหล็กคีเลตที่ขายกันอยู่ในประเทศไทยมีหลายรูปด้วยกัน ชนิดที่สำคัญมี 3 ชนิดคือ Fe-EDTA Fe-DTPA และ Fe-EDDHA โดยปุ๋ยเหล็กคีเลตในรูป Fe-EDTA (ภาพที่ 1) เป็นสารประกอบที่เกิดขึ้นจากการจับตัวของเหล็กไอออนอยู่ในส่วนกลางโครงสร้างของสารคีเลตอีดีทีเอ (EDTA) (ภาพผนวกที่ 1) มีเหล็กเป็นองค์ประกอบ 5 ถึง 14 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นปุ๋ยเหล็กคีเลตชนิดแรกที่น่ามาใช้เป็นสารละลายธาตุอาหารในไฮโดรพอนิกส์ (hydroponics) บางครั้งนำมาใช้ในการให้ปุ๋ยทางใบ ส่วนมากจะใส่ลงดินเพื่อแก้ปัญหการขาดจุลธาตุของดิน

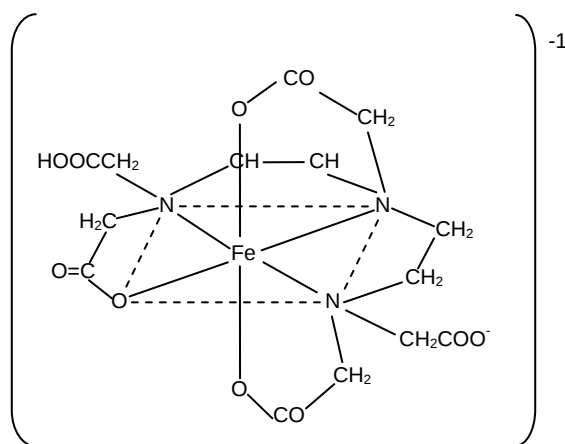


ภาพที่ 1 โครงสร้างของปุ๋ย Fe-EDTA

ที่มา: Havlin *et al.* (2005)

ปุ๋ยเหล็กคีเลตในรูป Fe-DTPA (ภาพที่ 2) เป็นสารประกอบที่เกิดขึ้นจากการจับตัวของเหล็กไอออนอยู่ในส่วนกลางโครงสร้างของสารคีเลตดีทีพีเอ (DTPA) (ภาพผนวกที่ 1) มีเหล็กเป็น

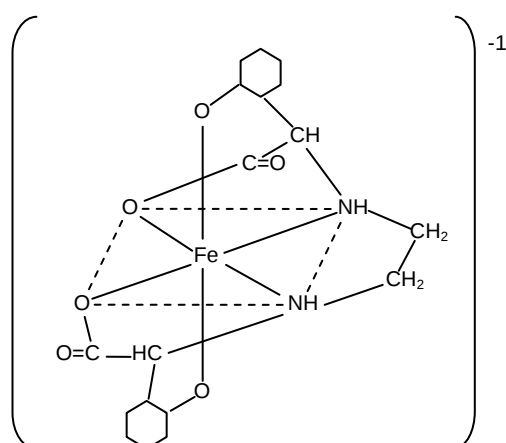
องค์ประกอบประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นปุ๋ยเหล็กที่ผลิตที่นิยมนำมาใช้เป็นสารละลายธาตุอาหารในไฮโดรพอนิกส์กันอย่างกว้างขวาง และใส่ลงดินเพื่อเป็นแหล่งของธาตุเหล็กและสังกะสี



ภาพที่ 2 โครงสร้างของปุ๋ย Fe-DTPA

ที่มา: Clemens *et al.*(1990)

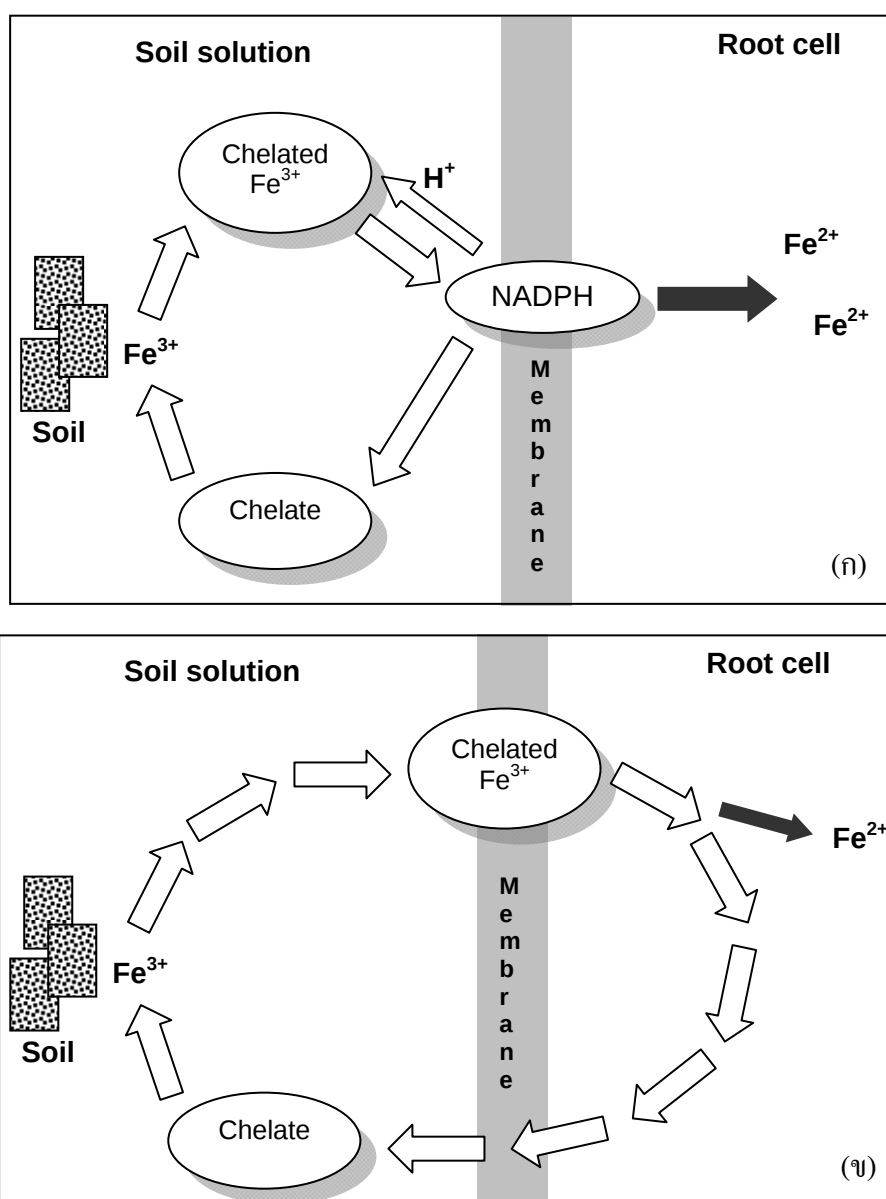
ส่วนปุ๋ยเหล็กที่ผลิตในรูป Fe-EDDHA (ภาพที่ 3) เป็นสารประกอบที่เกิดขึ้นจากการจับตัวของเหล็กไอออนอยู่ในส่วนกลางโครงสร้างของสารคีเลตเอ็ดดีเอชเอ (EDDHA) (ภาพผนวกที่ 1) มีเหล็กเป็นองค์ประกอบประมาณ 6 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากความแข็งแรงของพันธะระหว่างหมู่ฟีนอลิกกับ Fe(III) ทำให้ปุ๋ยเหล็กที่ผลิตชนิดนี้มีความคงทนมากกว่าคีเลตชนิดอื่นๆ และยังทำให้ปุ๋ยเหล็กที่ผลิตชนิดนี้มีสีแดงถึงสีม่วงอีกด้วย



ภาพที่ 3 โครงสร้างของปุ๋ย Fe-EDDHA

ที่มา: Clemens *et al.*(1990)

กลไกในการดูดใช้ธาตุเหล็กในรูปคีเลตของพืชนั้นแตกต่างกันตามชนิดของพืช โดยพืชใบเลี้ยงคู่ เช่น แตงกวาและถั่วลิสง จะสร้าง reducing agent (NADPH) มารีดิวซ์เหล็กบริเวณภายนอกผิวเยื่อหุ้มเซลล์ของราก โดยดูดใช้เฉพาะเหล็กที่ถูกรีดิวซ์ (Fe^{2+}) แล้วปล่อยคีเลตกลับไปยังสารละลายดินกับอะตอมของเหล็กในสารละลายดินต่อไป ส่วนในพืชใบเลี้ยงเดี่ยว เช่น ข้าวสาลีหรือข้าวโพด จะดูดใช้เหล็กคีเลตทั้งโครงสร้างเข้าไปในเซลล์ของราก โดยเหล็กจะถูกรีดิวซ์ในเซลล์ของราก แล้วปล่อยคีเลตกลับสู่สารละลายดิน (Brady and Weil, 2002) ดังแสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 กลไกในการดูดใช้ธาตุเหล็กในรูปคีเลตของพืช (ก) ใบเลี้ยงคู่และ (ข) ใบเลี้ยงเดี่ยว (Brady and Weil, 2002)

6. ปฏิกริยาดินกับความเป็นประโยชน์ของปุ๋ยเหล็กคีเลต

Havlin *et al.* (2005) กล่าวว่า Fe-EDDHA มีความเสถียรตลอดทุกช่วงของ pH ของดิน ส่วน Fe-DTPA จะมีความเสถียรที่ pH ของดินน้อยกว่า 7.5 และ Fe-EDTA จะมีความเสถียรที่ pH ของดินน้อยกว่า 6.5 เมื่อใช้ Fe-EDTA Fe-DTPA และ Fe-EDDHA กับดินเนื้อปูนหรือดินที่มี pH สูง การใช้ปุ๋ยเหล็กคีเลตในรูป Fe-EDDHA จะให้เหล็กในรูปที่เป็นประโยชน์แก่พืชมากกว่าเหล็กคีเลตชนิดอื่น

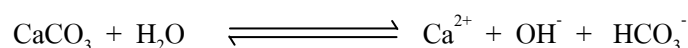
7. การแจกกระจายของดินเนื้อปูนในประเทศไทย

เนื่องจากดินเนื้อปูนเป็นดินที่พบส่วนใหญ่ในสภาพแห้งแล้งหรือกึ่งแห้งแล้ง (Havlin *et al.*, 2005) ดังนั้นในประเทศไทยจึงพบดินชนิดนี้อยู่บริเวณเทือกเขาสูงตอนกลางและที่ราบภาคกลางของประเทศ (เอิบ, 2533) ซึ่งส่วนใหญ่กระจายอยู่ในบริเวณจังหวัดลพบุรี สระบุรี นครสวรรค์ และนครราชสีมา หูดินสำคัญที่จัดเป็นดินเนื้อปูน ได้แก่ หูดินตาคี หูดินชัยบาดาล หูดินลพบุรี หูดินสบปราบ หูดินลำานารายณ์ และหูดินบุรีรัมย์ โดยปกติดินเนื้อปูนเป็นดินที่มีปัญหาทางด้านเกษตรกรรมไม่มากนักถ้าหากเป็นพื้นที่ที่มีการชลประทาน พื้นที่ที่เป็นดินประเภทนี้จึงเป็นแหล่งปลูกข้าวโพดและถั่วลิสงที่สำคัญแหล่งหนึ่งของประเทศ นอกจากนี้ยังใช้ปลูกพืชอื่น ๆ อีกเช่น กล้วยน้ำว้า ขนุน และมะพร้าว สำหรับบริเวณที่ลุ่มใช้ปลูกข้าวได้เช่นเดียวกัน (สรสิทธิ์ และคณะ, 2533)

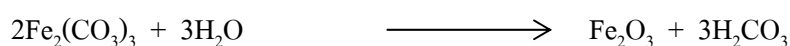
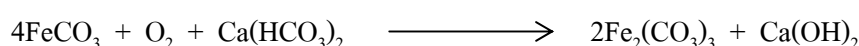
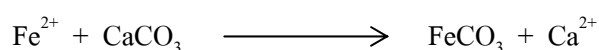
8. คุณสมบัติของดินเนื้อปูนในประเทศไทย

ดินเนื้อปูน (calcareous soil) เป็นดินที่เกิดจากวัตถุต้นกำเนิดดินที่เป็นด่าง เช่น หินปูน และมีอนุภาคของแคลเซียมคาร์บอเนตหรือแมกนีเซียมคาร์บอเนตปะปนอยู่ในดิน หากมีอนุภาคปูนเทียบเท่ากับแคลเซียมคาร์บอเนต 10-200 g kg⁻¹ เมื่อหยดกรดเจือจาง 0.1 โมลาร์ ลงไปจะปรากฏฟองให้เห็น จึงเรียกดินชนิดนี้ว่า ดินเนื้อปูนหรือดินแคลคาเรียส (คณะกรรมการจัดทำปทานุกรมปฐพีวิทยา, 2541; คณะกรรมาธิการปฐพีวิทยา, 2548) ดินเนื้อปูนที่พบในประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นหูดินในอันดับ Vertisols หรือ Mollisols ที่เกิดจากหินปูน หรือได้รับอิทธิพลจากหินปูนภายในหน้าตัดดินและบริเวณผิวดินจึงมักจะพบเศษหินปูนหรือหินมาร์ลที่กำลังสลายตัวซึ่งมีสีเทาอ่อนหรือขาว ดินในอันดับทั้งสองนี้เป็นดินที่มีปริมาณของอนุภาคดินเหนียวสูง มีสีคล้ำ ดินบนมี

โครงสร้างดี และมีอินทรีย์วัตถุสูง แร่ที่พบในกลุ่มอนุภาคดินเหนียวส่วนใหญ่เป็นแร่ในกลุ่ม smectite illite และมี kaolinite อยู่บ้างในปริมาณไม่มากนัก (กิจจา, 2529) การสะสมของเกลือแคลเซียมและแมกนีเซียมไบคาร์บอเนตในดิน ทำให้ดินมี pH สูง การที่ดินมี pH สูง ก็เนื่องจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของ CaCO_3 และ MgCO_3 ในปูน มีสมการดังนี้



เนื่องมาจากการสะสมไบคาร์บอเนต (HCO_3^-) ในดินมาก จึงทำให้ดินมี pH สูงและมีผลในการเหนียวน้ำทำให้เกิดการขาดธาตุเหล็กในดินเนื้อปูน (Havlin *et al.*, 2005) นอกจากนี้ความเป็นประโยชน์ของธาตุเหล็กต่อพืชจะลดลงในดินเนื้อปูน เพราะการละลายได้ของธาตุเหล็กถูกควบคุมโดยปฏิกิริยาต่างๆ ดังนี้ (เพิ่มพูน, 2528)



Suwannarat and Suwannarit (1983) ทำการสำรวจสภาพการปลูกถั่วลิสงและเก็บตัวอย่างดินจากไร่เกษตรกรในภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคกลางของประเทศไทย ในระหว่างปี 2525 ถึงฤดูฝนปี 2526 และนำตัวอย่างดินมาวิเคราะห์หาปริมาณธาตุอาหารพืชต่างๆ ของดินโดยวิธีการทางเคมี พบว่า ดินไร่ที่เก็บจากบริเวณจังหวัดนครสวรรค์ ลพบุรี และสระบุรี มีเนื้อดินเป็นดินเหนียว สีดำ และเป็นดินเนื้อปูนที่มีหินมาร์ลปะปนอยู่กับหน้าดิน ผลการวิเคราะห์ค่าปริมาณเหล็กที่เป็นประโยชน์ด้วยน้ำยาสกัด DTPA pH 7.3 ของดิน 5 ตัวอย่างพบว่ามียู้อยู่ในระดับต่ำมาก คือ 3.2 6.0 4.4 5.0 และ 3.0 mg Fe kg^{-1}

9. ลักษณะของชุดดินตาคลี (Takhli: Tk)

ชุดดินตาคลีจัดอยู่ใน Loamy-Skeletal, carbonatic, isohyperthermic Entic Haplustolls มีวัตถุต้นกำเนิดเกิดจากตะกอนน้ำพาที่ทับถมอยู่บนชั้นปูนมาร์ล บริเวณหินตะกอนรูปพัด สภาพพื้นที่

เป็นแบบลูกคลื่นลอนลาดเล็กน้อยถึงลูกคลื่นลอนลาด มีความลาดชัน 3-12 เปอร์เซ็นต์ เป็นดินต้นถึงชั้นปูนมาร์ลที่พบภายใน 50 เซนติเมตรจากผิวดิน มีการระบายน้ำดี น้ำซึมผ่านได้ปานกลาง การไหลบ่าของน้ำบนผิวดินเข้าถึงปานกลาง ดินบนเป็นดินร่วนปนดินเหนียวหรือดินเหนียวปนทรายแป้ง สีดำ สีเทาเข้มมาก สีน้ำตาลปนเทาเข้มมาก หรือสีน้ำตาลเข้มมาก มี pH อยู่ในช่วง 7.0-8.0 ดินล่างเป็นดินร่วนปนดินเหนียวหรือดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง และมีเม็ดปูนปน สีน้ำตาลหรือสีน้ำตาลเข้ม และมีสีขาวของผงปูนทุติยภูมิหรือปูนมาร์ล มี pH อยู่ในช่วง 8.0 ได้ชั้นดินลงไปเป็นชั้นปูนมาร์ลสีขาวทั้งที่เป็นเม็ดและที่เชื่อมต่อกันหนาแน่น

จากผลการวิเคราะห์ทางเคมีของตัวแทนดินชุดดินนี้ ปรากฏว่า ดินตอนบนหนาประมาณ 25 เซนติเมตร มีปริมาณอินทรีย์วัตถุปานกลาง มีความอิ่มตัวด้วยประจุบวกที่เป็นค่าสูง มีความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกสูง มีปริมาณธาตุฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชปานกลาง และมีปริมาณธาตุโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืชสูง ส่วนตอนล่างลึกตั้งแต่ 25 เซนติเมตรลงไป มีปริมาณอินทรีย์วัตถุต่ำ มีความอิ่มตัวด้วยประจุบวกที่เป็นค่าสูง มีความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกสูง มีปริมาณธาตุฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชต่ำ ปริมาณธาตุโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืชปานกลาง และมีปริมาณธาตุเหล็กที่เป็นประโยชน์ต่ำ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2548) ซึ่งสอดคล้องกับ ชัยฤกษ์ และคณะ (2527) ศึกษาปัญหาจุลธาตุที่เป็นปัจจัยจำกัดผลผลิตของถั่วลิสงที่ปลูกในดินชุดตาคี พบว่า ชุดดินตาคีมีธาตุเหล็กอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ในช่วง 5-9 mg Fe kg⁻¹ ซึ่งเป็นปริมาณที่ไม่เพียงพอสำหรับการเจริญเติบโตของถั่วลิสง เช่นเดียวกับ ประเสริฐ (2528) รายงานว่า ถั่วลิสงที่ปลูกบนชุดดินตาคีแสดงอาการคลอโรซิสเนื่องจากขาดธาตุเหล็ก ซึ่งมีปริมาณเหล็กที่เป็นประโยชน์เท่ากับ 9 mg Fe kg⁻¹

10. แนวทางการแก้ไขการขาดธาตุเหล็กในดิน

แนวทางในการแก้ไขการขาดธาตุเหล็กในดินมีหลายรูปแบบ ซึ่งสามารถทำได้ทั้งการเลือกชนิดและพันธุ์พืชที่เหมาะสม (สุริรา, 2544) หรือการปรับปรุงสมบัติบางประการของดิน เช่น การลด pH ของดินเพื่อให้ธาตุอาหารพืชอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์เพิ่มขึ้น การให้น้ำอย่างเหมาะสมเพื่อให้เกิด HCO₃⁻ น้อยที่สุด และหลีกเลี่ยงการใช้ปุ๋ยฟอสเฟตมากเกินไป นอกจากนั้นการเพิ่มอินทรีย์วัตถุเพื่อให้เกิดสารเชิงซ้อนกับจุลธาตุประจุบวกและลดผลของ CaCO₃ ที่มีต่อความเป็นประโยชน์ของจุลธาตุประจุบวกได้ หรืออาจทำได้โดยให้ปุ๋ยที่มีธาตุเหล็ก (Rending and Taylor, 1989)

ชัยฤกษ์ และคณะ (2528) ศึกษาวิธีการแก้ไขอาการคลอโรซิสของถั่วลิสงที่ขาดธาตุเหล็กที่ปลูกบนดินเหนียว มีปริมาณเหล็กที่เป็นประโยชน์เท่ากับ $7.8 \text{ mg Fe kg}^{-1}$ โดยการใส่ Fe-DTPA อัตรา 8 กิโลกรัมต่อไร่ FeSO_4 อัตรา 3.36 กิโลกรัมต่อไร่ ปุ๋ยคอก (มูลไก่) อัตรา 320 กิโลกรัมต่อไร่ สารอินทรีย์ฮิวมัส pH 2 อัตรา 800 กิโลกรัมต่อไร่ FeSO_4 อัตรา 3.36 กิโลกรัมต่อไร่ร่วมกับปุ๋ยคอก อัตรา 320 กิโลกรัมต่อไร่ และ FeSO_4 อัตรา 3.36 กิโลกรัมต่อไร่ร่วมกับสารอินทรีย์ฮิวมัส pH 2 อัตรา 800 กิโลกรัมต่อไร่ พบว่า ดำรับที่ไม่ใส่ปุ๋ยถั่วลิสงจะแสดงอาการคลอโรซิสมากที่สุด ส่วนการใช้ Fe-DTPA หรือ FeSO_4 ร่วมกับปุ๋ยคอกลงไปดินมีแนวโน้มทำให้อาการคลอโรซิสของถั่วลิสงลดลง ซึ่งการใส่ FeSO_4 ร่วมกับปุ๋ยคอกมีผลทำให้น้ำหนักแห้งของฝักและต่อซังสูงสุด คือ 302 และ 535 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ

ประเสริฐ (2528) ทำการศึกษาปัญหาการขาดธาตุเหล็ก แมงกานีส สังกะสี และทองแดงที่เป็นปัจจัยจำกัดผลผลิตของถั่วลิสงพันธุ์ไทนาน 9 ที่ปลูกในชุดดินตาคลิ ซึ่งเป็นบริเวณที่พืชแสดงอาการผิดปกติ มีปริมาณเหล็กที่เป็นประโยชน์เท่ากับ 9 mg Fe kg^{-1} พบว่า ถั่วลิสงมีการตอบสนองต่อการใช้ปุ๋ยเหล็กในรูป Fe-DTPA ปุ๋ยคอก ปุ๋ยคอกร่วมกับ FeSO_4 ผงกำมะถันและสารประกอบอินทรีย์ฮิวมัสอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งการใช้ปุ๋ยเหล็กในรูป Fe-DTPA ให้ผลผลิตน้ำหนักต่อซัง ฝัก และเมล็ดแห้งสูงสุด คือ 41.95 11.12 และ 7.94 กรัมต่อกระถาง ตามลำดับ การทดลองดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการใช้ปุ๋ยเป็นสิ่งจำเป็นมากสำหรับพืช

สุวพันธ์ และคณะ (2530) ศึกษาเปรียบเทียบวิธีการในการแก้ปัญหาผลผลิตต่ำเนื่องจากการขาดธาตุเหล็กของถั่วลิสงที่ปลูกในชุดดินตาคลิ โดยการพ่นปุ๋ยเหล็กทางใบในรูป $\text{FeSO}_4 \cdot 0.5$ เปอร์เซนต์ จำนวน 5 ครั้ง เมื่ออายุ 10 20 30 40 และ 50 วันหลังออก การโรยผงกำมะถันบริเวณแถวถั่วลิสงก่อนปลูก อัตรา 60 กิโลกรัมต่อไร่ และการหว่านปุ๋ยอินทรีย์ก่อนปลูก อัตรา 1 ตันต่อไร่ โดยทดลองกับถั่วลิสงพันธุ์ไทนาน 9 และพันธุ์ RCM 387 พบว่า การพ่นปุ๋ยเหล็กทางใบ สามารถแก้ไขอาการเหลืองซีดเนื่องจากการขาดธาตุเหล็กได้ทั้ง 2 พันธุ์ ส่วนการโรยผงกำมะถันหรือการหว่านปุ๋ยอินทรีย์สามารถแก้ไขได้บ้าง การพ่นปุ๋ยเหล็กทำให้น้ำหนักแห้งสูงสุดและดีกว่าวิธีอื่นๆอย่างชัดเจน ทั้ง 2 พันธุ์

สุริยา (2544) ศึกษาผลของการใช้ปุ๋ยเหล็กในรูป Fe-EDDHA และ $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ในอัตรา 1 3 และ 5 กิโลกรัมต่อไร่ ที่มีต่อถั่วเขียวสองพันธุ์ที่ปลูกในชุดดินชัยบาดาล ซึ่งมีปริมาณเหล็กที่เป็นประโยชน์เท่ากับ $2.02 \text{ mg Fe kg}^{-1}$ พบว่าปุ๋ย Fe-EDDHA ในอัตรา 5 กิโลกรัมต่อไร่ให้ผลผลิต

น้ำหนักแห้งสูงสุด รองลงมาคือ ปุ๋ย $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ในอัตรา 3 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งการใช้ปุ๋ยเหล็กในรูปแบบ Fe-EDDHA ให้ผลผลิตเพิ่มสูงขึ้นจากถั่วเขียวที่ไม่ได้รับปุ๋ยเหล็กทางใบประมาณ 100 เปอร์เซ็นต์

Singh and Sinha (1977) ศึกษาการใช้ปุ๋ยเหล็กคีเลตในรูปแบบ Fe-DTPA Fe-EDTA Fe-citrate และ FeSO_4 อัตรา 0 2.8 5.6 8.4 และ 11.3 mg Fe kg^{-1} ที่มีต่อผลผลิตน้ำหนักแห้งและปริมาณเหล็กทั้งหมดที่พืชดูดใช้ของข้าวโพดที่ปลูกบนดินเหนียว ซึ่งมีปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตเท่ากับ 4.12 เปอร์เซ็นต์และปริมาณเหล็กที่เป็นประโยชน์เท่ากับ 2.2 mg Fe kg^{-1} พบว่าการใช้ปุ๋ยเหล็กคีเลตในรูปแบบ Fe-DTPA อัตรา 11.3 mg Fe kg^{-1} ให้ผลผลิตน้ำหนักแห้งและปริมาณเหล็กทั้งหมดที่ข้าวโพดดูดใช้สูงสุด รองลงมาคือ Fe-DTPA อัตรา 8.4 mg Fe kg^{-1} และ Fe-EDTA อัตรา 11.3 mg Fe kg^{-1} ตามลำดับ

Thomas and Mathers (1979) ศึกษาผลของการใช้ปุ๋ยคอกอัตรา 0.5 1 2 และ 4 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับปุ๋ยเหล็กในรูปแบบ FeSO_4 ที่มีต่อผลผลิตน้ำหนักแห้งของข้าวฟ่างที่ปลูกบนดินเหนียว ซึ่งมีปริมาณเหล็กทั้งหมดเท่ากับ 1.51 เปอร์เซ็นต์ โดยทำการทดลองในกระถาง พบว่า การใช้ปุ๋ยคอกอัตรา 2 และ 4 เปอร์เซ็นต์สามารถแก้ไขอาการคลอโรซิสเนื่องจากขาดธาตุเหล็กในข้าวฟ่างได้ และทำให้ผลผลิตน้ำหนักแห้งของข้าวฟ่างเพิ่มขึ้นด้วย แต่การใช้ FeSO_4 เพียงอย่างเดียวไม่ทำให้ผลผลิตน้ำหนักแห้งของข้าวฟ่างเพิ่มขึ้น

Al-Mustafa *et al.* (2001) ศึกษาผลของการใช้ปุ๋ยเหล็กคีเลตในรูปแบบ Fe-EDDHA อัตรา 0 10 และ 20 mg Fe kg^{-1} ที่มีต่อผลผลิตน้ำหนักแห้งของข้าวฟ่างที่ปลูกบนดินเหนียว 42 ชนิด ซึ่งมีค่าวิเคราะห์เหล็กที่เป็นประโยชน์อยู่ระหว่าง 1.9-12.3 mg Fe kg^{-1} (วิธี DTPA pH 7.3) พบว่า การใช้ปุ๋ยเหล็กคีเลตในรูปแบบ Fe-EDDHA อัตรา 10 และ 20 mg Fe kg^{-1} มีผลทำให้น้ำหนักแห้งของข้าวฟ่างเพิ่มขึ้น 34 และ 60 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ เนื่องจากการใส่ปุ๋ยธาตุเหล็กไปเพิ่มระดับฮอร์โมน indole-3-acetic acid (IAA) ปริมาณคลอโรฟิลล์ และปริมาณสารที่ได้จากการสังเคราะห์แสงสุทธิ (NAR)

Goos and Germain (2001) ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของปุ๋ยเหล็ก 12 ชนิดในอัตรา 50 mg Fe kg^{-1} ในดินเหนียวที่เก็บจากแปลงปลูกถั่วเหลืองของประเทศสหรัฐอเมริกาและสวนกีวของประเทศอิตาลีที่แสดงอาการคลอโรซิสเนื่องจากการขาดธาตุเหล็ก ซึ่งมีปริมาณเหล็กที่เป็นประโยชน์เท่ากับ 8 และ 6 mg Fe kg^{-1} ตามลำดับ ทดสอบโดยการบ่มดินเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ พบว่า การใช้ปุ๋ยเหล็กในรูปแบบ Fe-DTPA Fe-EDDHA และ Fe-EDDHA ที่ระยะเวลา 8 สัปดาห์ยังคง

มีปริมาณเหล็กเหลืออยู่ในสารละลายดินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การใส่ปุ๋ยเหล็กในรูป Fe-EDTA มีปริมาณเหล็กในสารละลายดินต่ำมากเมื่อระยะเวลาผ่านไป 4 สัปดาห์ ส่วนการใส่ปุ๋ยเหล็กในรูป FeSO_4 และ Fe-lignosulfonate มีปริมาณเหล็กในสารละลายดินต่ำมากเมื่อระยะเวลาผ่านไปเพียง 1 วัน

Moral (2002) ศึกษาผลของการใช้ตะกอนน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการหมัก (compost) และไม่ผ่านการหมัก (non-compost) อัตรา 30 และ 50 กรัมของน้ำหนักแห้งตะกอนน้ำเสียต่อดิน 1 กิโลกรัม ในการแก้ไขความเป็นประโยชน์ของจุลธาตุ (Fe Mn Zn Cu) ในดินเนื้อปูน 2 ชนิด ซึ่งมีปริมาณเหล็กที่เป็นประโยชน์เท่ากับ 13 และ 26 mg Fe kg^{-1} สกัดโดยน้ำยาสกัด AB-DTPA โดยทำการบ่มดินที่ระยะเวลา 0 15 30 90 120 และ 150 วันพบว่า การใช้ตะกอนน้ำเสียจะช่วยเพิ่มความเป็นประโยชน์ของจุลธาตุในดินเนื้อปูน โดยตะกอนน้ำเสียที่หมักจะให้ค่าความเป็นประโยชน์มากกว่าตะกอนน้ำเสียที่ไม่หมัก และความเป็นประโยชน์ของ Fe Mn Zn Cu จะเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆตลอดระยะเวลาการบ่มดิน

Wiersma (2005) ศึกษาผลของการใส่ปุ๋ยเหล็กคีเลตในรูป Fe-EDDHA อัตรา 0 2.24 4.48 6.72 8.96 และ 11.20 kg Fe ha^{-1} ที่มีต่อน้ำหนักเมล็ดแห้งและจำนวนเมล็ดของถั่วเหลือง 4 พันธุ์ คือ พันธุ์ทนทานต่อการขาดธาตุเหล็ก 2 พันธุ์ และพันธุ์ไม่ทนทานต่อการขาดธาตุเหล็ก 2 พันธุ์ ซึ่งปลูกบนดินที่มีปริมาณเหล็กที่เป็นประโยชน์ในช่วง 4.6-6.0 mg Fe kg^{-1} (วิธี DTPA pH 7.3) พบว่า ถั่วเหลืองทั้ง 4 พันธุ์ตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ย โดยที่อัตรา 0 2.24 และ 4.48 kg Fe ha^{-1} พันธุ์ทนทานจะให้ผลผลิตน้ำหนักเมล็ดแห้งและจำนวนเมล็ดสูงกว่าพันธุ์ไม่ทนทาน ส่วนที่อัตรา 6.72 8.96 และ 11.20 kg Fe ha^{-1} ให้ผลผลิตน้ำหนักเมล็ดแห้งและจำนวนเมล็ดใกล้เคียงกัน

Xian and Qing-Sheng (2006) ศึกษาผลของการใส่กากโลหะจากโรงงานอุตสาหกรรมเป็นปุ๋ยเหล็กในอัตรา 0 10 20 และ 40 g kg^{-1} ที่มีต่อผลผลิตน้ำหนักแห้งของข้าวโพดที่ปลูกบนดินเนื้อปูน 2 ชนิดในประเทศจีน ซึ่งมีปริมาณเหล็กที่เป็นประโยชน์เท่ากับ 3.9 และ 3.4 mg Fe kg^{-1} โดยทำการทดลองในกระถาง พบว่า การใช้กากโลหะอัตรา 10 และ 20 g kg^{-1} ทำให้ผลผลิตน้ำหนักแห้งของข้าวโพดสูงสุด คือ 7.94 และ 7.54 กรัมต่อกระถาง ตามลำดับ การทดลองดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการใส่กากโลหะจากโรงงานอุตสาหกรรมเป็นปุ๋ยเหล็กสามารถแก้ไขอาการคลอโรซิสเนื่องจากขาดธาตุเหล็กในข้าวโพดได้อีกด้วย

11. ความสำคัญของถั่วลิสง

ถั่วลิสง (*Arachis hypogaea* L.) เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญและทำรายได้ให้ประเทศไทยชนิดหนึ่ง ซึ่งสามารถปลูกได้ทั้งปี และนำมาใช้บริโภคได้หลายรูปแบบ ทั้งการบริโภคสด นำไปประกอบอาหารและขนมต่างๆ ในปี พ.ศ. 2548 พื้นที่เก็บเกี่ยวถั่วลิสงทั่วโลกมีประมาณ 157.4 ล้านไร่ มีผลผลิตรวม 36.4 ล้านตัน ประเทศผู้ผลิตรายใหญ่ที่สุดของโลก คือ จีน รองลงมาได้แก่ อินเดีย ไนจีเรีย สหรัฐอเมริกา อินโดนีเซีย ชูแดน พม่า เซเนกัล ชาด กานา ไทย ตามลำดับ ประเทศไทยมีพื้นที่เก็บเกี่ยวถั่วลิสงประมาณ 0.26 ล้านไร่ มีผลผลิตรวม 0.067 ล้านตัน และมีผลผลิตต่อไร่เฉลี่ย 256 กิโลกรัมต่อไร่ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2548)

ถั่วลิสงเป็นพืชที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง เป็นแหล่งของอาหารประเภทโปรตีนและพลังงาน เพราะมีโปรตีนร้อยละ 25-30 ไขมันร้อยละ 45-50 และคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 20 โปรตีนในถั่วลิสงมีปริมาณเทียบเท่ากับถั่วเขียว ถั่วแดง และถั่วดำ แต่ต่ำกว่าถั่วเหลือง และมีกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกาย คือ lysine threonine และ methionine (อารีย์, 2544) ถั่วลิสงมีธาตุอาหารต่างๆ เป็นองค์ประกอบ คือ ไนโตรเจน 2.86 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัส 0.24 เปอร์เซ็นต์ และโพแทสเซียม 1.46 เปอร์เซ็นต์ (วัลลีย์, 2542)

12. ลักษณะถั่วลิสงพันธุ์กาฬสินธุ์ 2

เป็นพันธุ์ที่สถานีทดลองพืชไร่กาฬสินธุ์ ได้รวบรวมไว้ตั้งแต่ปี 2516 ในชื่อว่า Kalasin Accession # 431 โดยนำเข้าจากสถาบันวิจัยพืชนาชาติกึ่งร้อนและแห้งแล้ง (ICRISAT) ประเทศอินเดีย มีชื่อเดิมว่า ICG1703 SBNCAc 17127 ถั่วลิสงพันธุ์นี้เป็นพันธุ์ใหม่ที่ตลาดถั่วต้มและเกษตรกรให้ความสนใจมาก ในปัจจุบันมีชื่อเรียกอื่นๆว่า ถั่วพระราชทาน ถั่วราชินี ถั่วจัมโบ้ลาย ลักษณะประจำพันธุ์ ลำต้นสีเขียว มีขนน้อย ทรงพุ่มแคบ ใบรูปหอกสีเขียว ดอกสีเหลือง เข้มสีเขียว ฝักเป็นกระจุกที่โคนต้น เปลือกฝักเป็นร่องลึกชัดเจน เนื้อหุ้มเมล็ดสีชมพูลายขีดสีม่วง อายุออกดอก 30-35 วัน อายุเก็บเกี่ยวฝักสด 90-95 วัน ฝักแห้ง 100-115 วัน ฝักเรียวยาว มี 2-4 เมล็ดต่อฝัก น้ำหนัก 100 เมล็ดหนัก 38.9 กรัม ให้ผลผลิตฝักสดเฉลี่ย 579 กิโลกรัมต่อไร่ ฝักแห้งเฉลี่ย 204 กิโลกรัมต่อไร่ มีความต้านทานต่อโรคราสนิมและใบจุดสีน้ำตาล (กรมวิชาการเกษตร, 2550)

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. ดินที่นำมาศึกษาเป็นชุดดินตาคลี (Takhli Soil Series) ซึ่งเก็บจากแปลงเกษตรกร อำเภอพัฒนานิคม จังหวัดลพบุรี พิกัด 47P 0705962N 1638995E โดยเก็บที่ระดับความลึก 0-20 เซนติเมตรจากผิวดิน

2. เมล็ดถั่วลิสงพันธุ์กาฬสินธุ์ 2

3. น้ำกรองสำหรับรดเพื่อให้ความชื้นแก่พืช

4. ปุ๋ยเคมี

4.1 ปุ๋ยยูเรีย ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$)

4.2 ปุ๋ย Fe-EDTA (13.2%Fe)

4.3 ปุ๋ย Fe-DTPA (11.3%Fe)

4.4 ปุ๋ย Fe-EDDHA (5.7%Fe)

4.5 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (19%Fe)

5. สารเคมีที่ใช้สำหรับป้องกันกำจัดโรคและแมลง

6. อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ดินและพืช

6.1 เครื่องบดดิน

6.2 ตะแกรงร่อนดินมาตรฐานขนาด 0.5 และ 2 มิลลิเมตร

6.3 เครื่องบดตัวอย่างพืช

6.4 ตู้อบควบคุมอุณหภูมิ

6.5 เครื่องชั่ง 3 และ 4 ตำแหน่ง

6.6 pH meter

6.7 Electrical conductivity meter

6.8 Digestion apparatus

6.9 Fume hood

6.10 Automatic pipette

6.11 Spectrophotometer

6.12 Atomic absorption spectrophotometer

6.13 อุปกรณ์อื่นๆ ที่จำเป็นในห้องปฏิบัติการ

7. อุปกรณ์และเครื่องมือในการทดลองปลูกพืช

7.1 กระถางพลาสติก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร สูง 25 เซนติเมตร

7.2 บัวรดน้ำปริมาตร 5 ลิตร

7.3 พั่วตักดินขนาดเล็ก

7.4 ถังพลาสติกขนาด 14 x 22 นิ้ว

7.5 ถังกระดาษ

7.6 กรรไกรสำหรับเก็บตัวอย่างพืช

8. สารเคมีชนิด analytical grade ที่ใช้ในการวิเคราะห์ดินและพืช

วิธีการ

การทดลองในห้องปฏิบัติการ

1. การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ และทางเคมีของดิน

1.1 เตรียมตัวอย่างดินโดยนำตัวอย่างดินที่เก็บมาจากแปลงเกษตรกร ที่ระดับความลึก 0-20 เซนติเมตรจากผิวดิน นำมาผึ่งให้แห้งในที่ร่ม คลุกเคล้าให้เข้ากัน บดละเอียด แล้วร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานขนาด 0.5 และ 2 มิลลิเมตร เพื่อทำการวิเคราะห์ต่อไป

1.2 การกระจายของอนุภาคดิน (soil particle size distribution) โดยวิธี pipette method (Kilmer and Alexander, 1949; Day, 1965) ผลที่ได้จากการวิเคราะห์นำมาแจกแจงประเภทของดิน (soil textural class) โดยการเปรียบเทียบกับชั้นเนื้อดินตามเกณฑ์ของกระทรวงเกษตรสหรัฐอเมริกา (USDA textural class) (Soil Survey Division Staff, 1993)

1.3 ปฏิกริยาของดิน (pH) วัดโดยใช้ pH meter อัตราส่วนระหว่างดินต่อน้ำ เท่ากับ 1:1 (ทัศนีย์ และจรงค์, 2542)

1.4 สภาพการนำไฟฟ้าของดิน (electrical conductivity, EC) โดยการเตรียม saturation extract และวิเคราะห์ค่าโดยใช้ electrical conductivity meter (ทัศนีย์ และจรงค์, 2542)

1.5 ค่าความจุแลกเปลี่ยนไอออนบวก (cation exchange capacity, CEC) โดยวิธี NH_4OAc pH 7.0 saturation (ทัศนีย์ และจรงค์, 2542)

1.6 ปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนต (calcium carbonate, CaCO_3) วิเคราะห์โดยใช้ hydrochloric acid 1 N เป็นตัวสกัด แล้วไทเทรตด้วย 0.5 N NaOH (Black *et al.*, 1965)

1.7 ปริมาณอินทรียวัตถุ (organic matter) โดยวิธี Walkley and Black Titration (ทัศนีย์ และจรงค์, 2542; Walkley and Black, 1934)

1.8 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available phosphorus) ทำการสกัดดินโดยวิธี Bray 2 (Bray and Kurtz, 1945) และวิเคราะห์ปริมาณโดยวิธี molybdate ascorbic acid (ทัศนีย์ และ จงรักษ์, 2542; Kuo, 1996)

1.9 ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ (available K, Ca, Mg) ทำการสกัดด้วยสารละลาย 1 N NH_4OAc pH 7.0 และวิเคราะห์ปริมาณโดยใช้ atomic absorption spectrophotometer (ทัศนีย์ และจงรักษ์, 2542)

1.10 ปริมาณเหล็กทั้งหมด (total Fe) ย่อยสลายตัวอย่างด้วย $\text{HNO}_3\text{--H}_2\text{SO}_4\text{--HClO}_4$ acid mixture digestion และวิเคราะห์ปริมาณโดยใช้ atomic absorption spectrophotometer (ทัศนีย์ และ จงรักษ์, 2542)

1.11 ปริมาณเหล็ก แมงกานีส สังกะสี และทองแดงที่เป็นประโยชน์ (available Fe, Mn, Zn, Cu) ทำการสกัดด้วยสารละลาย 0.005 M DTPA pH 7.3 และวิเคราะห์ปริมาณโดยใช้ atomic absorption spectrophotometer (Lindsay and Norvell, 1978)

2. การศึกษาความเป็นประโยชน์ของปุ๋ยเหล็กคีเลตในดิน ที่ระยะเวลาต่างๆของการบ่มดิน

ซึ่งตัวอย่างดิน 20 กรัม ผสมกับปุ๋ยเหล็กคีเลต 5 ดำรับการทดลอง ได้แก่ ไม่ใส่ปุ๋ยเหล็ก ใส่ปุ๋ย Fe-EDTA ใส่ปุ๋ย Fe-DTPA ใส่ปุ๋ย Fe-EDDHA และใส่ปุ๋ย $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ อัตรา 50 mg Fe kg^{-1} ทุกดำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ย ใส่ในกรงโดยทำให้ดินมีความชื้นที่ระดับความจุความชื้นสนาม (field moisture capacity) ในขวดพลาสติก เดิมโทลูอินลงไปในขวดละ 2 หยด แล้วทำการปิดฝา จากนั้นทำการบ่ม (incubation) ในสภาพ aeration ที่อุณหภูมิห้อง ระยะเวลาในการบ่มดิน 1 3 5 และ 7 สัปดาห์ ตามลำดับ เมื่อครบกำหนดทำการสกัดดินด้วยสารละลาย 0.005 M DTPA pH 7.3 และ 0.01 M CaCl_2 แล้วนำมาวิเคราะห์ปริมาณเหล็กโดยใช้ atomic absorption spectrophotometer

3. การวิเคราะห์พืช

การนำตัวอย่างพืชที่เก็บมาได้จากการทดลองปลูกพืชในกระถาง มาอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จนกระทั่งตัวอย่างพืชแห้ง (มีน้ำหนักคงที่) แล้วนำมาบดด้วยเครื่องบดพืช จน

ละเอียดขนาดที่ผ่านตะแกรงร่อนมาตรฐานขนาด 40 เมช แล้วนำไปวิเคราะห์ปริมาณเหล็กทั้งหมด (total Fe) ย่อยสลายตัวอย่างด้วย $\text{HNO}_3\text{--H}_2\text{SO}_4\text{--HClO}_4$ acid mixture digestion และวิเคราะห์ปริมาณโดยใช้ atomic absorption spectrophotometer (ทัศนีย์ และจรงค์, 2542)

การทดลองในเรือนทดลอง

นำตัวอย่างดินที่เก็บมาจากแปลงเกษตรกร ที่ระดับความลึก 0-20 เซนติเมตรจากผิวดิน นำมาผึ่งให้แห้งในที่ร่ม แล้วย่อยให้มีขนาดเล็กลง คลุกเคล้าให้เข้ากัน ชั่งดินจำนวน 10 กิโลกรัมต่อกระถางแล้วผสมกับปุ๋ยตามดำรับการทดลองให้เข้ากันอย่างดีที่สุด ทำการปลูกถั่วลิสงพันธุ์กาฬสินธุ์ 2 เป็นพืชทดสอบ

1. การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design จำนวน 4 ซ้ำ ประกอบด้วย 9 ดำรับการทดลอง ดังนี้

ดำรับที่ 1 ไม่ใส่ปุ๋ยเหล็ก (Control)

ดำรับที่ 2 ใส่ปุ๋ย Fe-EDTA 5 mg Fe kg⁻¹ (Fe-EDTA5)

ดำรับที่ 3 ใส่ปุ๋ย Fe-EDTA 10 mg Fe kg⁻¹ (Fe-EDTA10)

ดำรับที่ 4 ใส่ปุ๋ย Fe-DTPA 5 mg Fe kg⁻¹ (Fe-DTPA5)

ดำรับที่ 5 ใส่ปุ๋ย Fe-DTPA 10 mg Fe kg⁻¹ (Fe-DTPA10)

ดำรับที่ 6 ใส่ปุ๋ย Fe-EDDHA 5 mg Fe kg⁻¹ (Fe-EDDHA5)

ดำรับที่ 7 ใส่ปุ๋ย Fe-EDDHA 10 mg Fe kg⁻¹ (Fe-EDDHA10)

ตำรับที่ 8 ใส่ปุ๋ย $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 5 mg Fe kg^{-1} ($\text{FeSO}_4 5$)

ตำรับที่ 9 ใส่ปุ๋ย $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 10 mg Fe kg^{-1} ($\text{FeSO}_4 10$)

2. การปลูก

หยอดเมล็ดถั่วลิสงพันธุ์กาฬสินธุ์ 2 กระถางละ 3 เมล็ด ซึ่งได้กลุ่กล่้ากับขามาแตก
ซิด เพื่อป้องกันเชื้อรา เมื่อถั่วลิสงอายุได้ 21 วันหลังปลูก ถอนแยกให้เหลือ 1 ต้นต่อกระถาง โดย
อัตราปุ๋ยที่ใช้คือ ไนโตรเจน 5 mg N kg^{-1} ในรูปปุ๋ยยูเรีย

3. การดูแลรักษา

การรักษาระดับความชื้นของดินในกระถางทดลอง โดยใช้ น้ำกรองเติมลงไปดิน
ประมาณวันละ 2 ครั้ง คือเช้าและเย็น โดยคำนึงถึงการรักษาความชื้นของดินให้อยู่ใกล้เคียงระดับความจุ
ความชื้นสนาม (field moisture capacity)

การป้องกันกำจัดศัตรูพืช ทำโดยการใช้น้ำฉีดป้องกัน โรคและแมลงเป็นระยะๆ และ
กำจัดวัชพืชโดยการถอนด้วยมือ

4. การเก็บเกี่ยว

ทำการเก็บเกี่ยวถั่วลิสงเมื่ออายุ 110 วัน แยกออกเป็นส่วนตัวต้น ราก ฝักดี และฝักอ่อน
ล้างทุกส่วนด้วยน้ำกรองให้สะอาด นำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักแห้ง
คงที่ชั่งน้ำหนัก แล้วบดให้ละเอียด เพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณธาตุหลักในพืชต่อไป

5. การบันทึกข้อมูล

1) ลักษณะอาการคลอโรซิสของถั่วลิสงในตำรับต่างๆ หลังจากวันปลูก 7 21 35 49 63
และ 100 วัน โดยการให้คะแนนจาก 0 ถึง 3 โดยถือหลักเกณฑ์ดังนี้

0 คะแนน สำหรับคำรับการทดลองที่ไม่มีลักษณะคลอโรซีสหรือใบเขียว
เข้มปกติ

1 คะแนน สำหรับคำรับการทดลองที่มีลักษณะคลอโรซีสน้อย

2 คะแนน สำหรับคำรับการทดลองที่มีลักษณะคลอโรซีสปานกลาง

3 คะแนน สำหรับคำรับการทดลองที่มีลักษณะคลอโรซีสรุนแรง

2) อายุวันออกดอก การเจริญเติบโตหรือทรงต้น

3) น้ำหนักแห้งของลำต้น ราก ฝัก และเมล็ดที่อายุเก็บเกี่ยว

4) ประสิทธิภาพของการดึงดูดยูมาใช้ประโยชน์ (recovery) ในอัตราปุ๋ยต่างๆ
สามารถคำนวณได้โดยใช้สูตร (ชัยฤกษ์, 2515)

$$\text{ประสิทธิภาพของการดึงดูดยูมาใช้ประโยชน์ (\%)} = \frac{(C - P) + (D - Q) + (E - R)}{M} \times 100$$

C = ปริมาณการดูดใช้ธาตุหลักในเมล็ดที่อัตราปุ๋ยต่างๆ

D = ปริมาณการดูดใช้ธาตุหลักในลำต้นที่อัตราปุ๋ยต่างๆ

E = ปริมาณการดูดใช้ธาตุหลักในรากที่อัตราปุ๋ยต่างๆ

P = ปริมาณการดูดใช้ธาตุหลักในเมล็ดที่ไม่ใส่ปุ๋ย

Q = ปริมาณการดูดใช้ธาตุหลักในลำต้นที่ไม่ใส่ปุ๋ย

R = ปริมาณการดูดใช้ธาตุหลักในรากที่ไม่ใส่ปุ๋ย

M = อัตราปุ๋ยที่ใส่แต่ละระดับ เช่น การใส่ปุ๋ย Fe-EDTA อัตรา 5 mg Fe kg⁻¹ ค่า

M จะเท่ากับ 50

5) เพอร์เซ็นต์การกระจายของธาตุเหล็กในลำต้น ราก และเมล็ด (distribution of Fe in stubble root and grain) สามารถคำนวณได้โดยใช้สูตร

$$\text{การกระจายของธาตุเหล็กในลำต้น (\%)} = \frac{\text{ปริมาณการดูดใช้ธาตุเหล็กในส่วน of ลำต้น} \times 100}{\text{ปริมาณการดูดใช้ธาตุเหล็กทั้งหมด}}$$

$$\text{การกระจายของธาตุเหล็กในราก (\%)} = \frac{\text{ปริมาณการดูดใช้ธาตุเหล็กในส่วน of ราก} \times 100}{\text{ปริมาณการดูดใช้ธาตุเหล็กทั้งหมด}}$$

$$\text{การกระจายของธาตุเหล็กในเมล็ด (\%)} = \frac{\text{ปริมาณการดูดใช้ธาตุเหล็กในส่วน of เมล็ด} \times 100}{\text{ปริมาณการดูดใช้ธาตุเหล็กทั้งหมด}}$$

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ข้อมูลน้ำหนักแห้งของตอซัง ราก เมล็ด และปริมาณการดูดใช้ธาตุเหล็กของพืชทดสอบนำไปวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (analysis of variance) เพื่อหาค่า F-value และค่าทางสถิติอื่นๆ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี DMRT (Duncan's multiple range test) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ

นำค่าวิเคราะห์ปริมาณเหล็กที่เป็นประโยชน์ที่ระยะเวลาต่างๆของการบ่มดิน มาหาสหสัมพันธ์กับผลผลิตน้ำหนักแห้งและปริมาณเหล็กทั้งหมดที่พืชดูดใช้ และประเมินค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient, r)

สถานที่และระยะเวลาในการศึกษา

สถานที่ศึกษา

เรือนทดลองและห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ดินและพืช ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ระยะเวลาในการทดลอง

เดือนธันวาคม พ.ศ. 2549 – เดือนมกราคม พ.ศ. 2551

ผลและวิจารณ์

1. สมบัติของชุดดินตาคลี

ดินที่ศึกษาเป็นชุดดินตาคลี (Takhli series) จากการวิเคราะห์ดินก่อนทำการทดลอง พบว่ามีเนื้อดินเป็นดินเหนียว มีอนุภาคทราย 190 g kg^{-1} อนุภาคทรายแป้ง 320 g kg^{-1} และอนุภาคดินเหนียว 490 g kg^{-1} มีปฏิกิริยาดินเป็นด่างปานกลางค่า pH เท่ากับ 8.2 (Land Classification Division and FAO Project Staff, 1973) สภาพการนำไฟฟ้าของดิน (EC) เท่ากับ 0.6 dS m^{-1} ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนสูงมากค่า CEC เท่ากับ $58 \text{ cmol(+)kg}^{-1}$ สมมูลแคลเซียมคาร์บอเนต (CCE) เท่ากับ 62 g kg^{-1} ปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่ในระดับค่อนข้างสูง เท่ากับ 2.7 g kg^{-1} ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินสูงมาก เท่ากับ 60 mg P kg^{-1} มีปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์สูงมาก เท่ากับ 220 mg K kg^{-1} $12,005 \text{ mg Ca kg}^{-1}$ และ $378 \text{ mg Mg kg}^{-1}$ ตามลำดับ มีปริมาณแมงกานีส สังกะสี และทองแดงที่เป็นประโยชน์เท่ากับ $4.4 \text{ mg Mn kg}^{-1}$ $0.5 \text{ mg Zn kg}^{-1}$ และ $0.8 \text{ mg Cu kg}^{-1}$ ตามลำดับ มีปริมาณเหล็กที่เป็นประโยชน์ต่ำเท่ากับ $4.4 \text{ mg Fe kg}^{-1}$ และปริมาณเหล็กทั้งหมดเท่ากับ $30,700 \text{ mg Fe kg}^{-1}$ (ตารางที่ 1)

เนื่องจากดินตาคลีที่นำมาศึกษามีปฏิกิริยาดินเป็นด่างปานกลาง มีปริมาณสมมูลแคลเซียมคาร์บอเนตเท่ากับ 62 g kg^{-1} และมีปริมาณเหล็กที่เป็นประโยชน์ต่ำ สอดคล้องกับผลการศึกษาของประเสริฐ (2528); จำเป็น (2535) และ ชนิษฐา (2548) และสอดคล้องกับรายงานของคณะกรรมการจัดทำปทานุกรมปฐพีวิทยา (2541) ที่กล่าวว่าดินเนื้อปูน (calcareous soil) เป็นดินที่เกิดจากวัตถุต้นกำเนิดดินที่เป็นด่าง โดยทั่วไปจะมีปริมาณสมมูลแคลเซียมคาร์บอเนตอยู่ในช่วง 10 จนเกือบถึง 1,000 กรัมต่อกิโลกรัมของดินเช่นเดียวกับรายงานของ Havlin *et al.* (2005) กล่าวว่าดินเนื้อปูนเป็นดินที่มี pH สูงและมีผลในการเหนียวน้ำทำให้เกิดการขาดธาตุเหล็กในดินสำหรับพืชที่ปลูกบางชนิด โดยเฉพาะพืชตระกูลถั่ว เช่น ถั่วลิสง (ชัยฤกษ์และคณะ, 2527, 2528) ดังแสดงในภาพผนวกที่ 2

ตารางที่ 1 แสดงค่าวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์บางประการของดินที่ทำการศึกษา

สมบัติบางประการของดิน	ค่าวิเคราะห์
Texture ^{1/}	Clay
Sand (g kg ⁻¹)	190
Silt (g kg ⁻¹)	320
Clay (g kg ⁻¹)	490
pH ^{2/}	8.2
EC _e (dS m ⁻¹) ^{3/}	0.6
CEC (cmol(+)kg ⁻¹) ^{4/}	58
CCE (g kg ⁻¹) ^{5/}	62
Organic matter (g kg ⁻¹) ^{6/}	2.7
Available P (mg P kg ⁻¹) ^{7/}	60
Available K (mg K kg ⁻¹) ^{8/}	220
Available Ca (mg Ca kg ⁻¹) ^{8/}	12,005
Available Mg (mg Mg kg ⁻¹) ^{8/}	378
Available Mn (mg Mn kg ⁻¹) ^{9/}	4.4
Available Zn (mg Zn kg ⁻¹) ^{9/}	0.5
Available Cu (mg Cu kg ⁻¹) ^{9/}	0.8
Available Fe (mg Fe kg ⁻¹) ^{9/}	4.4
Total Fe (mg Fe kg ⁻¹) ^{10/}	30,700

^{1/} Pipette method

^{6/} Walkley and Black method (Walkley and Black, 1934)

^{2/} pH meter (soil : water, 1:1)

^{7/} Bray 2 method (Bray and Kurtz, 1945)

^{3/} Electric conductometer

^{8/} Ammonium acetate method (Brown and Warnke, 1988)

^{4/} NH₄OAc pH 7.0 replacement method

^{9/} DTPA pH 7.3 (Lindsay and Norvell, 1978)

^{5/} HCl 1 N (Black *et al.*, 1965)

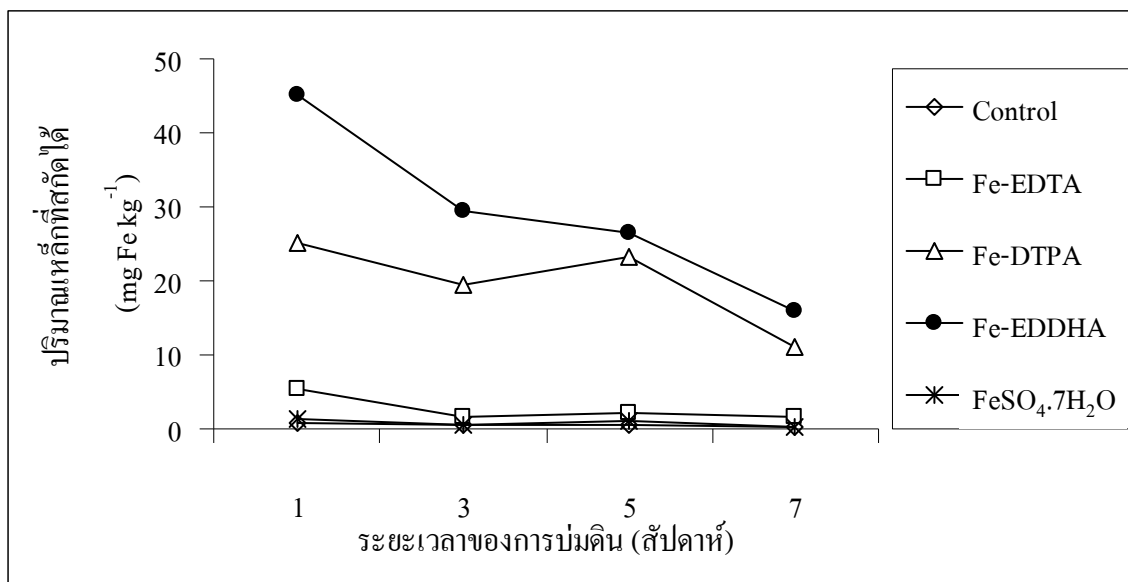
^{10/} HNO₃–H₂SO₄–HClO₄ acid mixture digestion

2. ความเป็นประโยชน์ของปุ๋ยเหล็กคีเลตที่ใส่ลงในดิน ที่ระยะเวลาการบ่มดินต่างๆ กัน

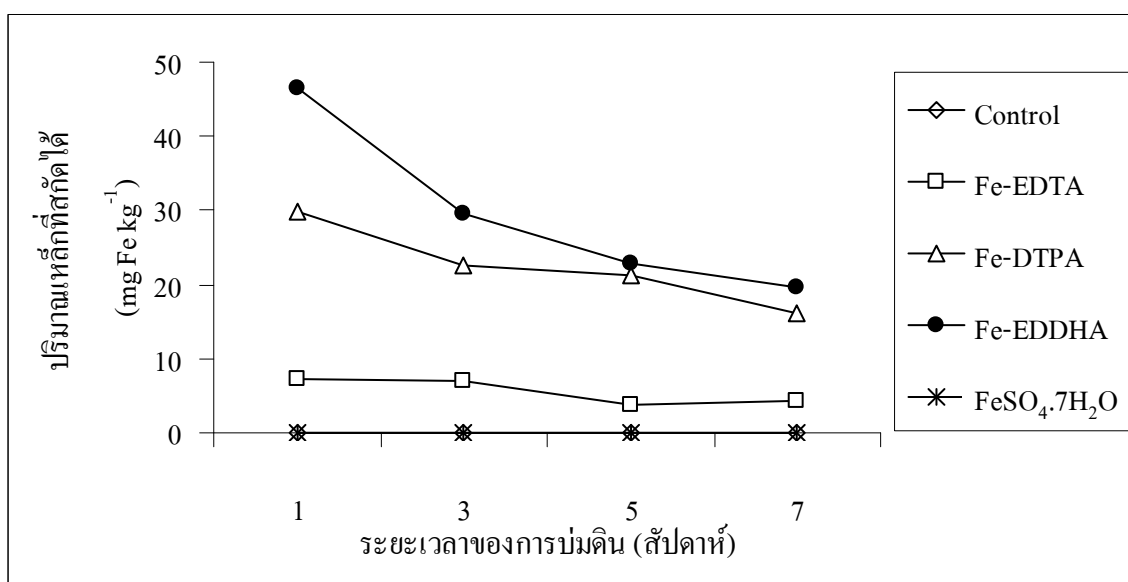
การศึกษาความเป็นประโยชน์ของปุ๋ยเหล็กคีเลต 3 ชนิดที่ใส่ลงไปในดินอัตรา 50 mg Fe kg⁻¹ โดยวิเคราะห์ปริมาณเหล็กที่สกัดได้ (extractable Fe) ที่สกัดด้วยน้ำยาสกัด 2 ชนิด คือน้ำยาสกัด 0.005 M DTPA pH 7.3 และน้ำยาสกัด 0.01 M CaCl₂ ที่ระยะเวลาการบ่มดิน 1 3 5 และ 7 สัปดาห์ แสดงดังภาพที่ 5, 6 และตารางผนวกที่ 1 พบว่า ความเป็นประโยชน์ของปุ๋ยเหล็กคีเลตทุกรูปที่ใส่ลงไปในดินจะลดลงเมื่อระยะเวลาของการบ่มดินนานขึ้น โดยปริมาณเหล็กที่เป็นประโยชน์ในดินทั้งที่สกัดด้วยน้ำยาสกัด 0.005 M DTPA pH 7.3 หรือน้ำยาสกัด 0.01 M CaCl₂ มีปริมาณลดลงตั้งแต่ สัปดาห์ที่ 1 ของการบ่มดิน โดยปุ๋ยเหล็กคีเลตในรูป Fe-EDTA ที่ใส่ลงไปและสกัดด้วยน้ำยาสกัด 0.005 M DTPA pH 7.3 หรือน้ำยาสกัด 0.01 M CaCl₂ มีปริมาณเหล็กที่สกัดได้ในดินเหลืออยู่เพียง 5.4 หรือ 7.3 mg Fe kg⁻¹ คิดเป็น 10 หรือ 15 เปอร์เซ็นต์ของปุ๋ยเหล็กที่ใส่ลงไปในดิน ขณะที่ในส่วน ของปุ๋ย Fe-DTPA และปุ๋ย Fe-EDDHA มีปริมาณเหล็กที่สกัดได้สูงกว่า คือ มีเหลืออยู่ 25 หรือ 30 และ 45 หรือ 47 mg Fe kg⁻¹ คิดเป็น 50 หรือ 60 เปอร์เซ็นต์และ 90 หรือ 93 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณ ปุ๋ยเหล็กที่ใส่ลงไปในดิน ตามลำดับ หลังจากนั้นในสัปดาห์ที่ 3 5 และ 7 ค่าวิเคราะห์เหล็กที่สกัดใน ดินที่มีการใส่ปุ๋ยเหล็กคีเลตทั้ง 3 รูปมีปริมาณลดลงตามลำดับ ทั้งนี้ในสัปดาห์ที่ 7 ของการบ่มดิน พบว่า ค่าวิเคราะห์เหล็กที่สกัดได้หรือเหล็กที่เป็นประโยชน์ในดินที่มีการใส่ปุ๋ยเหล็กคีเลตในรูป Fe-EDTA Fe-DTPA และ Fe-EDDHA มีเหลืออยู่ในปริมาณ 1.6 หรือ 4.3 11 หรือ 16 และ 16 หรือ 20 mg Fe kg⁻¹ ตามลำดับ คิดเป็น 3 หรือ 8 22 หรือ 32 และ 32 หรือ 39 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณปุ๋ยเหล็ก ที่ใส่ลงไปในดินตามลำดับ ส่วนปุ๋ยเหล็ก FeSO₄·7H₂O พบว่าให้ผลต่ำสุด

จากการศึกษาพบว่าความเป็นประโยชน์ของปุ๋ยเหล็กคีเลตทุกรูปที่ใส่ลงไปในดินจะลดลง เมื่อระยะเวลาของการบ่มดินนานขึ้น โดยปริมาณเหล็กที่สกัดได้ของน้ำยาสกัดทั้ง 2 ชนิดพบว่า ดำรับที่ใส่ปุ๋ยเหล็กในรูป Fe-EDTA มีปริมาณเหล็กที่สกัดได้เหลืออยู่เพียง 10-15 เปอร์เซ็นต์ของปุ๋ย เหล็กที่ใส่ลงไปในดินตั้งแต่สัปดาห์ที่ 1 ของการบ่มดิน ซึ่งสอดคล้องกับผลงานวิจัยของ Norvell and Lindsay (1969) และ Boxma and De Groot (1971) ที่กล่าวว่า Fe³⁺ จากปุ๋ยเหล็กคีเลตในรูป Fe-EDTA ที่ใส่ลงไปในดินจะถูกแทนที่อย่างรวดเร็วโดย Ca²⁺ ในดินเหนียวทำให้เกิดการ ตกตะกอนของ Fe³⁺ ที่มาจากปุ๋ยเหล็ก ส่วนดำรับที่ใส่ปุ๋ยเหล็กในรูป Fe-EDDHA มีปริมาณเหล็กที่ สกัดได้เหลืออยู่ปริมาณสูงสุด รองลงมาคือปุ๋ยเหล็กในรูป Fe-DTPA ทั้งนี้เนื่องจากปุ๋ยเหล็กคีเลตใน รูป Fe-EDDHA มีเสถียรภาพสูงกว่าปุ๋ยเหล็กคีเลตในรูป Fe-DTPA และ Fe-EDTA (Havlin *et al.*, 2005) สอดคล้องกับ Goos and Germain (2001) ที่ทำการศึกษาประสิทธิภาพของปุ๋ยเหล็กโดยการ

บ่มดินในดินเนื้อปูน 2 ชนิด พบว่าที่ระยะเวลาการบ่ม 8 สัปดาห์ ค่ารับที่ใส่ปุ๋ยเหล็กคีเลตในรูป Fe-DTPA และ Fe-EDDHA มีปริมาณเหล็กที่สกัดได้เหลืออยู่ปริมาณสูง



ภาพที่ 5 ความเป็นประโยชน์ของปุ๋ยเหล็กคีเลตที่ใส่ลงไปในดินที่สกัดโดยน้ำยาสกัด 0.005 M DTPA pH 7.3 ที่ระยะเวลาการบ่มดินต่างๆ กัน



ภาพที่ 6 ความเป็นประโยชน์ของปุ๋ยเหล็กคีเลตที่ใส่ลงไปในดินที่สกัดโดยน้ำยาสกัด 0.01 M CaCl₂ ที่ระยะเวลาการบ่มดินต่างๆ กัน

3. การตอบสนองของถั่วลิสงที่ปลูกในชุดดินตาคีต่อการใส่ปุ๋ยเหล็ก

3.1 อาการคลอโรซิสของถั่วลิสง

การสังเกตอาการคลอโรซิสของถั่วลิสงในแต่ละช่วงการเจริญเติบโตที่ได้รับอิทธิพลมาจากการใส่และไม่ใส่ปุ๋ยเหล็กในรูปแบบต่างๆ ลงไปในชุดดินตาคีโดยให้เป็นคะแนน ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 2 และภาพผนวกที่ 2 พบว่า ถั่วลิสงเริ่มแสดงอาการคลอโรซิสที่อายุ 7 วันหลังจากวันปลูก โดยดำรับที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยเหล็กถั่วลิสงจะแสดงอาการคลอโรซิสมากที่สุดคือได้คะแนนโดยเฉลี่ยเท่ากับ 2 และเมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างดำรับที่มีการใส่ปุ๋ยเหล็กพบว่า การใส่ปุ๋ยเหล็กในรูปแบบ $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ และ Fe-EDTA ถั่วลิสงแสดงอาการคลอโรซิสมากที่สุดคือได้คะแนนโดยเฉลี่ยเท่ากับ 1.3-1.5 รองลงมาคือการใส่ปุ๋ยเหล็กในรูปแบบ Fe-EDTA ได้คะแนนโดยเฉลี่ยเท่ากับ 0.3-0.5 ส่วนดำรับที่มีการใส่ปุ๋ยเหล็กในรูปแบบ Fe-DTPA และ Fe-EDDHA ถั่วลิสงไม่แสดงอาการคลอโรซิส โดยได้คะแนนโดยเฉลี่ยเท่ากับ 0 เมื่อถั่วลิสงอายุมากขึ้น คือที่ระยะ 21 35 49 และ 63 วันหลังจากวันปลูก อาการคลอโรซิสของถั่วลิสงในทุกดำรับการทดลองจะรุนแรงมากขึ้น โดยดำรับที่มีการใส่ปุ๋ยเหล็กในรูปแบบ Fe-DTPA และ Fe-EDDHA เริ่มแสดงอาการคลอโรซิสเมื่อถั่วลิสงมีอายุ 49 วันหลังจากวันปลูก แต่มีความรุนแรงน้อยกว่าดำรับที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยเหล็ก เมื่อถั่วลิสงมีอายุ 100 วันหลังจากวันปลูกพบว่า ดำรับที่ไม่ใส่และใส่ปุ๋ยเหล็กในรูปแบบ Fe-EDTA และ $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ถั่วลิสงแสดงอาการคลอโรซิสอย่างรุนแรงคือได้คะแนนโดยเฉลี่ยเท่ากับ 3 ส่วนดำรับที่ใส่ปุ๋ยเหล็กในรูปแบบ Fe-DTPA และ Fe-EDDHA ถั่วลิสงแสดงอาการคลอโรซิสรุนแรงน้อยกว่าคือได้คะแนนโดยเฉลี่ยเท่ากับ 1 และเมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างอัตราปุ๋ยเหล็กที่ใส่พบว่า ทั้ง 2 อัตราให้ผลไปในทางเดียวกัน

ถั่วลิสงในดำรับที่ไม่ใส่ปุ๋ยเหล็กจะแสดงอาการคลอโรซิสเมื่อมีอายุเพียง 7 วันหลังจากวันปลูก ทั้งนี้เนื่องจากดินมีค่าวิเคราะห์เหล็กที่สกัดได้ต่ำ คือ $4.4 \text{ mg Fe kg}^{-1}$ ซึ่งสอดคล้องกับผลงานวิจัยของชัยฤกษ์และคณะ (2527) และประเสริฐ (2528) รายงานว่า ถั่วลิสงที่ปลูกบนชุดดินตาคีที่มีค่าวิเคราะห์เหล็กที่สกัดได้ต่ำอยู่ในช่วง $5-9 \text{ mg Fe kg}^{-1}$ จะแสดงอาการคลอโรซิสเนื่องมาจากขาดธาตุเหล็ก และเมื่อพิจารณาในดำรับที่มีการใส่ปุ๋ยเหล็กในแต่ละรูปพบว่า ถั่วลิสงในดำรับที่มีการใส่ปุ๋ยเหล็กในรูปแบบ Fe-EDTA และ $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ จะแสดงอาการคลอโรซิสเมื่อมีอายุเพียง 7 วันหลังจากวันปลูกและรุนแรงมากขึ้นเมื่อพืชมีอายุมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองเกี่ยวกับการบ่มดินที่พบว่า ที่ระยะเวลาของการบ่มดินในสัปดาห์ที่ 1 ดำรับที่ใส่ปุ๋ยเหล็กก็เกิดในรูปแบบ Fe-EDTA และ $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ มีค่าวิเคราะห์เหล็กที่สกัดได้ต่ำและลดลงเมื่อระยะเวลาของการบ่มดินนานขึ้น

ตารางที่ 2 คะแนนเฉลี่ยของอาการคลอโรซิสของถั่วลิสงในตำรับต่างๆ เมื่อพืชอายุ 7 21 35 49 63 และ 100 วันหลังจากวันปลูก

ตำรับการทดลอง	อายุหลังวันปลูก (วัน)					
	7	21	35	49	63	100
Control	2.0	2.0	2.4	3.0	3.0	3.0
Fe-EDTA5	0.5	1.5	2.1	2.8	3.0	3.0
Fe-EDTA10	0.3	1.3	1.9	2.8	3.0	3.0
Fe-DTPA5	0.0	0.0	0.0	0.8	1.0	1.0
Fe-DTPA10	0.0	0.0	0.0	0.3	1.0	1.0
Fe-EDDHA5	0.0	0.0	0.3	0.5	1.0	1.0
Fe-EDDHA10	0.0	0.0	0.0	0.3	1.0	1.0
FeSO ₄ 5	1.5	2.0	2.0	3.0	3.0	3.0
FeSO ₄ 10	1.3	1.8	2.4	3.0	3.0	3.0

หมายเหตุ คะแนนลักษณะอาการคลอโรซิสของถั่วลิสง

<u>คะแนน</u>	<u>คลอโรซิส</u>
0.0	ไม่มีลักษณะคลอโรซิสหรือใบเขียวเข้มปกติ
1.0	คลอโรซิสน้อย
2.0	คลอโรซิสปานกลาง
3.0	คลอโรซิสรุนแรง

3.2 น้ำหนักฝักแห้งของถั่วลิสง

ผลของการใส่และไม่ใส่ปุ๋ยเหล็กที่มีต่อผลผลิตน้ำหนักฝักแห้งของถั่วลิสง แสดงในตารางที่ 3 และภาพที่ 7 (ก) พบว่า ถั่วลิสงตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยเหล็ก โดยทำให้ผลผลิตน้ำหนักฝักแห้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งการใส่ปุ๋ยเหล็กทำให้ผลผลิตน้ำหนักฝักแห้งสูงกว่าการไม่ใส่ปุ๋ยเหล็ก

เมื่อพิจารณาจากการใส่ปุ๋ยเหล็กแต่ละรูปพบว่า การใส่ปุ๋ยเหล็กก็เกิดในรูป Fe-DTPA ทั้ง 2 อัตราให้ผลผลิตน้ำหนักฝักแห้งโดยเฉลี่ยสูงสุด ทั้งนี้เป็นความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับการใส่ปุ๋ยเหล็กก็เกิดในรูป Fe-EDDHA และ Fe-EDTA รวมทั้งการใส่ปุ๋ยเหล็กในรูป $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ทั้ง 2 อัตรา

เมื่อเปรียบเทียบกันในระหว่างการใส่ปุ๋ยเหล็ก 2 อัตราพบว่า ในกรณีของการใส่ปุ๋ยเหล็กก็เกิดในรูป Fe-DTPA ให้ผลผลิตน้ำหนักฝักแห้งไม่แตกต่างกัน และการใส่ปุ๋ยเหล็กก็เกิดในรูป Fe-EDDHA และ Fe-EDTA อัตราต่ำให้ผลผลิตน้ำหนักฝักแห้งสูงกว่า ส่วนการใส่ปุ๋ยเหล็กในรูป $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ อัตราสูงให้ผลผลิตน้ำหนักฝักแห้งสูงกว่า

3.3 น้ำหนักเมล็ดแห้งของถั่วลิสง

ผลของการใส่และไม่ใส่ปุ๋ยเหล็กที่มีต่อผลผลิตน้ำหนักเมล็ดแห้งของถั่วลิสง แสดงในตารางที่ 3 และภาพที่ 7 (ข) พบว่า ถั่วลิสงตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยเหล็ก ซึ่งทำให้ผลผลิตน้ำหนักเมล็ดแห้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการใส่ปุ๋ยเหล็กทำให้ผลผลิตน้ำหนักเมล็ดแห้งสูงกว่าการไม่ใส่ปุ๋ยเหล็ก ทั้งนี้การใส่ปุ๋ยเหล็กในด้านการทดลอง Fe-DTPA5, Fe-DTPA10, Fe-EDDHA5, Fe-EDTA5, Fe-EDDHA10, FeSO_4 10, FeSO_4 5, และ Fe-EDTA10 ทำให้ถั่วลิสงมีน้ำหนักเมล็ดแห้งเพิ่มขึ้นจากค่ารับที่ไม่ใส่ปุ๋ยเหล็ก คิดเป็นร้อยละ 1100, 1036, 312, 174, 169, 125, 76 และ 18 ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาจากการใส่ปุ๋ยเหล็กแต่ละรูปพบว่า การใส่ปุ๋ยเหล็กก็เกิดในรูป Fe-DTPA ทั้ง 2 อัตราให้ผลผลิตน้ำหนักเมล็ดแห้งโดยเฉลี่ยสูงสุด ทั้งนี้เป็นความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ยังทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับ การใส่ปุ๋ยเหล็กที่ผลิตในรูป Fe-EDDHA และ Fe-EDTA รวมทั้งการใส่ปุ๋ยเหล็กในรูป $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ทั้ง 2 อัตรา

เมื่อเปรียบเทียบกันในระหว่างการใส่ปุ๋ยเหล็กแต่ละชนิดใน 2 อัตราพบว่า การใส่ปุ๋ยเหล็กที่ผลิตในรูป Fe-DTPA Fe-EDDHA และ Fe-EDTA รวมทั้งการใส่ปุ๋ยเหล็กในรูป $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ให้ผลผลิตน้ำหนักรากแห้งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

3.4 น้ำหนักตอซังแห้งของถั่วลิสง

ผลของการใส่และไม่ใส่ปุ๋ยเหล็กที่มีต่อผลผลิตน้ำหนักรากแห้งของถั่วลิสง แสดงในตารางที่ 3 พบว่า ถั่วลิสงตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยเหล็ก โดยทำให้ผลผลิตน้ำหนักรากแห้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งการใส่ปุ๋ยเหล็กทำให้ผลผลิตน้ำหนักรากแห้งสูงกว่าการไม่ใส่ปุ๋ยเหล็ก

เมื่อพิจารณาจากการใส่ปุ๋ยเหล็กแต่ละรูปพบว่า การใส่ปุ๋ยเหล็กที่ผลิตในรูป Fe-DTPA ทั้ง 2 อัตราให้ผลผลิตน้ำหนักรากแห้งโดยเฉลี่ยสูงสุด ทั้งนี้เป็นความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับ การใส่ปุ๋ยเหล็กที่ผลิตในรูป Fe-EDDHA และ Fe-EDTA รวมทั้งการใส่ปุ๋ยเหล็กในรูป $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ทั้ง 2 อัตรา

เมื่อเปรียบเทียบกันในระหว่างการใส่ปุ๋ยเหล็ก 2 อัตราพบว่า ในกรณีของการใส่ปุ๋ยเหล็กที่ผลิตในรูป Fe-DTPA และ Fe-EDDHA รวมทั้งการใส่ปุ๋ยเหล็กในรูป $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ให้ผลผลิตน้ำหนักรากแห้งไม่แตกต่างกัน ส่วนการใส่ปุ๋ยเหล็กที่ผลิตในรูป Fe-EDTA อัตราสูงให้ผลผลิตน้ำหนักรากแห้งสูงกว่า

3.5 น้ำหนักรากแห้งของถั่วลิสง

ผลของการใส่และไม่ใส่ปุ๋ยเหล็กที่มีต่อผลผลิตน้ำหนักรากแห้งของถั่วลิสง แสดงในตารางที่ 3 พบว่า ถั่วลิสงตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยเหล็ก โดยทำให้ผลผลิตน้ำหนักรากแห้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งการใส่ปุ๋ยเหล็กทำให้ผลผลิตน้ำหนักรากแห้งสูงกว่าการไม่ใส่ปุ๋ยเหล็ก

เมื่อพิจารณาจากการใส่ปุ๋ยเหล็กแต่ละรูปพบว่า การใส่ปุ๋ยเหล็กที่ละลายในรูป Fe-DTPA ทั้ง 2 อัตราให้ผลผลิตน้ำหนักรากแห้งโดยเฉลี่ยสูงสุด ทั้งนี้เป็นความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับ การใส่ปุ๋ยเหล็กที่ละลายในรูป Fe-EDDHA และ Fe-EDTA รวมทั้งการใส่ปุ๋ยเหล็กในรูป $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ทั้ง 2 อัตรา

เมื่อเปรียบเทียบกันในระหว่างการใส่ปุ๋ยเหล็ก 2 อัตราพบว่า การใส่ปุ๋ยเหล็กที่ละลายในรูป Fe-DTPA ให้ผลผลิตน้ำหนักรากแห้งไม่แตกต่างกัน และการใส่ปุ๋ยเหล็กที่ละลายในรูป Fe-EDDHA และ Fe-EDTA อัตราต่ำให้ผลผลิตน้ำหนักรากแห้งสูงกว่า ส่วนการใส่ปุ๋ยเหล็กในรูป $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ อัตราสูงให้ผลผลิตน้ำหนักรากแห้งสูงกว่า

จากผลการทดลองพบว่า ถั่วลิสงตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยเหล็กมีผลทำให้น้ำหนักต่อชั่ง ราก ผักและเมล็ดแห้งของถั่วลิสงสูงกว่าการไม่ใส่ปุ๋ยเหล็กอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ทั้งนี้เนื่องจากดินมีค่าวิเคราะห์เหล็กที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับต่ำเท่ากับ $4.4 \text{ mg Fe kg}^{-1}$ ซึ่งสอดคล้องกับผลงานวิจัยของชัยฤกษ์และคณะ (2528) ที่ทำการทดลองปลูกถั่วลิสงบนดินเหนียวที่มีค่าวิเคราะห์เหล็กที่เป็นประโยชน์ในช่วง $7.8\text{-}8.0 \text{ mg Fe kg}^{-1}$ พบว่าการใส่ปุ๋ยเหล็กในรูป Fe-DTPA จะทำให้ผลผลิตของถั่วลิสงสูงกว่าการไม่ใส่ปุ๋ยเหล็ก และเมื่อพิจารณาจากการใส่ปุ๋ยเหล็กที่ละลายแต่ละรูปพบว่า การใส่ปุ๋ยเหล็กที่ละลายในรูป Fe-DTPA ทั้ง 2 อัตราทำให้น้ำหนักต่อชั่ง ราก ผักและเมล็ดแห้งของถั่วลิสงโดยเฉลี่ยสูงสุด ซึ่งเป็นความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับ การใส่ปุ๋ยเหล็กที่ละลายในรูป Fe-EDDHA และ Fe-EDTA รวมทั้งการใส่ปุ๋ยเหล็กในรูป $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ทั้ง 2 อัตรา ซึ่งสอดคล้องกับผลงานวิจัยของ Singh and Sinha (1977) ที่รายงานว่าการใส่ปุ๋ยเหล็กที่ละลายในรูป Fe-DTPA ทำให้ผลผลิตน้ำหนักรากแห้งของพืชสูงกว่าการไม่ใส่ปุ๋ยเหล็ก และจากผลการทดลองในส่วนของการศึกษาความเป็นประโยชน์ของปุ๋ยเหล็กที่ละลายในดิน ที่ระยะเวลาการบ่มดินต่างๆ กันพบว่า การใส่ปุ๋ยเหล็กที่ละลายในรูป Fe-EDDHA มีปริมาณเหล็กที่สกัดได้สูงสุดตลอดระยะเวลาการบ่มดิน แต่ในด้านผลผลิตของถั่วลิสง พบว่าการใส่ปุ๋ยเหล็กที่ละลายในรูป Fe-DTPA ทำให้น้ำหนักเมล็ดแห้งของถั่วลิสงสูงกว่าการใส่ปุ๋ยเหล็กที่ละลายในรูป Fe-EDDHA ทั้งนี้เนื่องจากการใส่ปุ๋ยเหล็กที่ละลายในรูป Fe-DTPA ทำให้ถั่วลิสงมีการเจริญเติบโตทางด้านทรงพุ่มและการแตกกิ่งก้าน ส่วนการใส่ปุ๋ยเหล็กที่ละลายในรูป Fe-EDDHA ทำให้ถั่วลิสงมีการเจริญเติบโตทางด้านความสูง ดังแสดงในภาพผนวกที่ 3

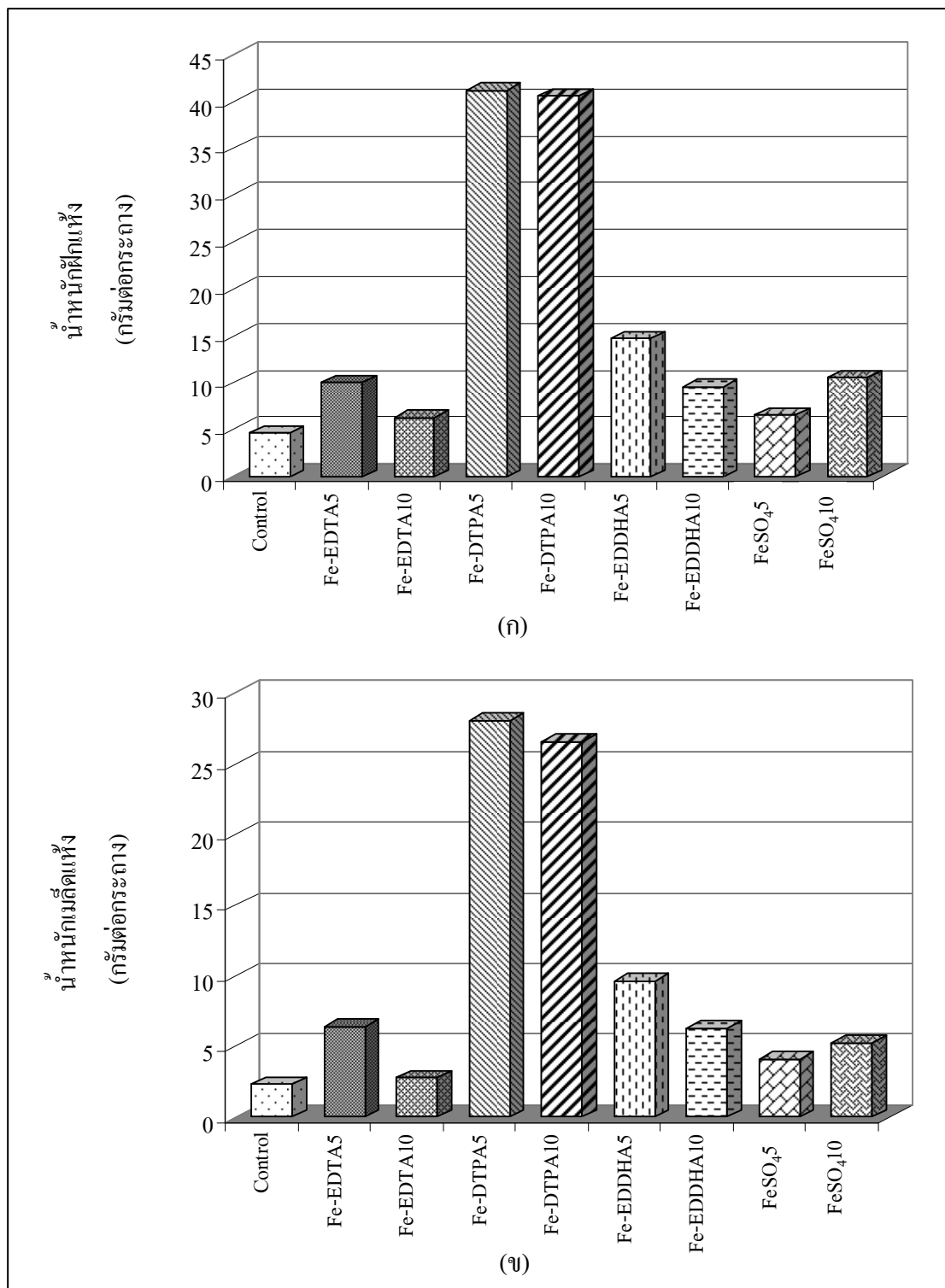
ตารางที่ 3 ผลของการใส่และไม่ใส่ปุ๋ยเหล็กในรูปแบบต่างๆ ต่อน้ำหนักตอซัง ราก ฝัก และเมล็ดแห้งของถั่วลิสง

ตำรับการทดลอง	น้ำหนักแห้ง (กรัมต่อต้น)			
	ตอซัง ^{1/}	ราก ^{1/}	ฝัก ^{1/}	เมล็ด ^{1/}
Control	8.85c	2.36b	4.59 d	2.34 c
Fe-EDTA5	10.57c	2.47b	10.00 bcd	6.40 bc
Fe-EDTA10	10.92bc	1.62cd	6.28 cd	2.76 c
Fe-DTPA5	33.02a	3.89a	41.16 a	28.09 a
Fe-DTPA10	30.91a	3.67a	40.58 a	26.59 a
Fe-EDDHA5	17.29b	1.40de	14.70 b	9.63 b
Fe-EDDHA10	13.23bc	1.04e	9.59 cd	6.30 bc
FeSO ₄ 5	12.18bc	1.28de	6.50 cd	4.12 bc
FeSO ₄ 10	14.16bc	1.87c	10.58 bc	5.27 bc
F-test	**	**	**	**
CV (%)	24.0	12.3	18.4	28.9

หมายเหตุ ** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซนต์

^{1/} ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรที่เหมือนกันมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์โดยวิธี DMRT

Control	คือ ไม่ใส่ปุ๋ยเหล็ก
Fe-EDTA5	คือ ปุ๋ยเหล็กในรูปแบบ Fe-EDTA อัตรา 5 mg Fe kg ⁻¹
Fe-EDTA10	คือ ปุ๋ยเหล็กในรูปแบบ Fe-EDTA อัตรา 10 mg Fe kg ⁻¹
Fe-DTPA5	คือ ปุ๋ยเหล็กในรูปแบบ Fe-DTPA อัตรา 5 mg Fe kg ⁻¹
Fe-DTPA10	คือ ปุ๋ยเหล็กในรูปแบบ Fe-DTPA อัตรา 10 mg Fe kg ⁻¹
Fe-EDDHA5	คือ ปุ๋ยเหล็กในรูปแบบ Fe-EDDHA อัตรา 5 mg Fe kg ⁻¹
Fe-EDDHA10	คือ ปุ๋ยเหล็กในรูปแบบ Fe-EDDHA อัตรา 10 mg Fe kg ⁻¹
FeSO ₄ 5	คือ ปุ๋ยเหล็กในรูปแบบ FeSO ₄ .7H ₂ O อัตรา 5 mg Fe kg ⁻¹
FeSO ₄ 10	คือ ปุ๋ยเหล็กในรูปแบบ FeSO ₄ .7H ₂ O อัตรา 10 mg Fe kg ⁻¹



ภาพที่ 7 ผลของการใส่และไม่ใส่ปุ๋ยเหล็กในรูปแบบต่างๆ ต่อ (ก) น้ำหนักผักแห้งและ (ข) เมล็ดแห้งของถั่วลิสง

3.6 ความเข้มข้นของเหล็กในถั่วลิสง

3.6.1 ความเข้มข้นของเหล็กในต่อซังถั่วลิสง

ผลของการใส่และไม่ใส่ปุ๋ยเหล็กที่มีต่อความเข้มข้นของเหล็กในส่วนของต่อซังถั่วลิสง แสดงในตารางที่ 4 พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่มีแนวโน้มว่าการใส่ปุ๋ยเหล็กก็เกิดในรูป Fe-EDTA และ Fe-EDDHA ทั้ง 2 อัตรา และ Fe-DTPA อัตราสูง ให้ความเข้มข้นของเหล็กในต่อซังสูงกว่าการใส่ปุ๋ยเหล็กในรูป $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ทั้ง 2 อัตรา และ Fe-DTPA อัตราต่ำ รวมทั้งการไม่ใส่ปุ๋ยเหล็ก

3.6.2 ความเข้มข้นของเหล็กในรากถั่วลิสง

ผลของการใส่และไม่ใส่ปุ๋ยเหล็กที่มีต่อความเข้มข้นของเหล็กในส่วนของรากถั่วลิสง แสดงในตารางที่ 4 พบว่า ถั่วลิสงตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยเหล็ก โดยทำให้ความเข้มข้นของเหล็กในรากถั่วลิสงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ซึ่งการใส่ปุ๋ยเหล็กทำให้ความเข้มข้นของเหล็กในรากถั่วลิสงสูงกว่าการไม่ใส่ปุ๋ยเหล็ก

เมื่อพิจารณาจากการใส่ปุ๋ยเหล็กแต่ละรูปพบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยการใส่ปุ๋ยเหล็กในรูป Fe-DTPA หรือ Fe-EDTA ทั้ง 2 อัตราทำให้ความเข้มข้นของเหล็กในรากถั่วลิสงโดยเฉลี่ยสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการใส่ปุ๋ยเหล็กในรูป Fe-EDDHA

เมื่อเปรียบเทียบกันในระหว่างการใส่ปุ๋ยเหล็กแต่ละรูปใน 2 อัตราพบว่า การใส่ปุ๋ยเหล็กก็เกิดในรูป Fe-DTPA ทำให้ความเข้มข้นของเหล็กในรากถั่วลิสงไม่แตกต่างกัน และการใส่ปุ๋ยเหล็กในรูป Fe-EDTA และ $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ อัตราสูงทำให้ความเข้มข้นของเหล็กในรากถั่วลิสงสูงกว่า ส่วนการใส่ปุ๋ยเหล็กก็เกิดในรูป Fe-EDDHA อัตราต่ำให้ความเข้มข้นของเหล็กในรากถั่วลิสงสูงกว่า

3.6.3 ความเข้มข้นของเหล็กในเมล็ดถั่วลิสง

ผลของการใส่และไม่ใส่ปุ๋ยเหล็กที่มีต่อความเข้มข้นของเหล็กในส่วนของเมล็ดถั่วลิสง แสดงในตารางที่ 4 พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งการใส่ปุ๋ยเหล็กก็เกิดในรูป Fe-EDDHA ให้ผลดีที่สุด และเป็นความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับตำรับการทดลองอื่น

จากผลการทดลองพบว่า ถั่วลิสงมีความเข้มข้นของเหล็กในส่วนของรากสูงสุด รองลงมาคือตอซังและเมล็ด ตามลำดับ สอดคล้องกับผลงานวิจัยของ O'Hara *et al.* (1988) ที่รายงานว่าความเข้มข้นของเหล็กในส่วนของรากและปมรากของถั่วลิสงจะมีปริมาณสูงขึ้นเมื่อมีการใส่ปุ๋ยเหล็ก และเมื่อพิจารณาจากการใส่ปุ๋ยเหล็กแต่ละรูปพบว่า การไม่ใส่และไม่ใส่ปุ๋ยเหล็กในรูปต่างๆ ทั้ง 2 อัตรา ทำให้ความเข้มข้นของเหล็กในตอซังไม่แตกต่างกันทางสถิติ และเมื่อพิจารณาในรากของถั่วลิสงพบว่า การใส่ปุ๋ยเหล็กก็เกิดทั้ง 3 รูปทั้ง 2 อัตรา มีผลทำให้ความเข้มข้นเหล็กในส่วนของรากถั่วลิสงสูงกว่าอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเปรียบเทียบกับ การไม่ใส่ปุ๋ยเหล็กและการใส่ปุ๋ยเหล็กในรูป $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ส่วนความเข้มข้นเหล็กในส่วนของเมล็ดถั่วลิสงพบว่า การใส่ปุ๋ยเหล็กก็เกิดทั้ง 3 รูปทั้ง 2 อัตราให้ผลใกล้เคียงกัน โดยการใส่ปุ๋ยเหล็กก็เกิดในรูป Fe-EDDHA ให้ผลดีที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับการทดลองอื่นๆ

ตารางที่ 4 ผลของการใส่และไม่ใส่ปุ๋ยเหล็กในรูปแบบต่างๆ ต่อความเข้มข้นของเหล็กในถั่วลิสง

ตำรับการทดลอง	ความเข้มข้นธาตุเหล็ก (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)		
	ต่อซัง ^{1/}	ราก ^{1/}	เมล็ด ^{1/}
Control	298	966 d	17 b
Fe-EDTA5	650	2,037 bc	16 b
Fe-EDTA10	489	3,333 a	14 b
Fe-DTPA5	346	2,719 ab	15 b
Fe-DTPA10	520	3,041 a	19 b
Fe-EDDHA5	563	2,080 bc	33 a
Fe-EDDHA10	521	1,894 c	30 a
FeSO ₄ 5	308	745 d	14 b
FeSO ₄ 10	326	1,323 cd	19 b
F-test	ns	**	**
CV (%)	38.5	25.4	28.3

หมายเหตุ ** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซนต์

^{ns} ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

^{1/} ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรที่เหมือนกันมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์โดยวิธี DMRT

Control	คือ ไม่ใส่ปุ๋ยเหล็ก
Fe-EDTA5	คือ ปุ๋ยเหล็กในรูปแบบ Fe-EDTA อัตรา 5 mg Fe kg ⁻¹
Fe-EDTA10	คือ ปุ๋ยเหล็กในรูปแบบ Fe-EDTA อัตรา 10 mg Fe kg ⁻¹
Fe-DTPA5	คือ ปุ๋ยเหล็กในรูปแบบ Fe-DTPA อัตรา 5 mg Fe kg ⁻¹
Fe-DTPA10	คือ ปุ๋ยเหล็กในรูปแบบ Fe-DTPA อัตรา 10 mg Fe kg ⁻¹
Fe-EDDHA5	คือ ปุ๋ยเหล็กในรูปแบบ Fe-EDDHA อัตรา 5 mg Fe kg ⁻¹
Fe-EDDHA10	คือ ปุ๋ยเหล็กในรูปแบบ Fe-EDDHA อัตรา 10 mg Fe kg ⁻¹
FeSO ₄ 5	คือ ปุ๋ยเหล็กในรูปแบบ FeSO ₄ .7H ₂ O อัตรา 5 mg Fe kg ⁻¹
FeSO ₄ 10	คือ ปุ๋ยเหล็กในรูปแบบ FeSO ₄ .7H ₂ O อัตรา 10 mg Fe kg ⁻¹

3.7 ปริมาณการดูดใช้เหล็กของถั่วลิสง

3.7.1 ปริมาณการดูดใช้เหล็กในต่อซังถั่วลิสง

ผลของการใส่และไม่ใส่ปุ๋ยเหล็กที่มีต่อปริมาณการดูดใช้เหล็กในต่อซังถั่วลิสง แสดงในตารางที่ 5 พบว่า ถั่วลิสงตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยเหล็ก โดยทำให้ปริมาณการดูดใช้เหล็กในต่อซังถั่วลิสงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งการใส่ปุ๋ยเหล็กทำให้ปริมาณการดูดใช้เหล็กในต่อซังถั่วลิสงสูงกว่าการไม่ใส่ปุ๋ยเหล็ก

เมื่อพิจารณาจากการใส่ปุ๋ยเหล็กแต่ละรูปพบว่า การใส่ปุ๋ยเหล็กคิเลตในรูป Fe-DTPA โดยเฉพาะอัตราสูงทำให้ปริมาณการดูดใช้เหล็กในต่อซังถั่วลิสงสูงสุด ทั้งนี้เป็นความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับดำรับการทดลองอื่น

เมื่อเปรียบเทียบกันในระหว่างการใส่ปุ๋ยเหล็ก 2 อัตราพบว่า การใส่ปุ๋ยเหล็กในรูป Fe-EDTA และ $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ทำให้ปริมาณการดูดใช้เหล็กในต่อซังถั่วลิสงไม่แตกต่างกัน ส่วนการใส่ปุ๋ยเหล็กคิเลตในรูป Fe-DTPA อัตราสูงทำให้ปริมาณการดูดใช้เหล็กในต่อซังถั่วลิสงสูงกว่า และการใส่ปุ๋ยเหล็กคิเลตในรูป Fe-EDDHA อัตราต่ำทำให้ปริมาณการดูดใช้เหล็กในต่อซังถั่วลิสงสูงกว่า

3.7.2 ปริมาณการดูดใช้เหล็กในรากถั่วลิสง

ผลของการใส่และไม่ใส่ปุ๋ยเหล็กที่มีต่อปริมาณการดูดใช้เหล็กในรากถั่วลิสง แสดงในตารางที่ 5 พบว่า ถั่วลิสงตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยเหล็ก โดยทำให้ปริมาณการดูดใช้เหล็กในรากถั่วลิสงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งการใส่ปุ๋ยเหล็กทำให้ปริมาณการดูดใช้เหล็กในรากถั่วลิสงสูงกว่าการไม่ใส่ปุ๋ยเหล็ก

เมื่อพิจารณาจากการใส่ปุ๋ยเหล็กแต่ละรูปพบว่า การใส่ปุ๋ยเหล็กคิเลตในรูป Fe-DTPA ทั้ง 2 อัตรามีแนวโน้มทำให้ปริมาณการดูดใช้เหล็กในรากถั่วลิสงโดยเฉลี่ยสูงสุด ทั้งนี้เป็นความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับการใส่ปุ๋ยเหล็กคิเลตในรูป Fe-EDDHA และ Fe-EDTA รวมทั้งการใส่ปุ๋ยเหล็กในรูป $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ โดยเฉลี่ยทั้ง 2 อัตรา

เมื่อเปรียบเทียบกันในการใส่ปุ๋ยเหล็ก 2 อัตราพบว่า การใส่ปุ๋ยเหล็กก็เกิดในรูป Fe-DTPA Fe-EDTA และ Fe-EDDHA รวมทั้งการใส่ปุ๋ยเหล็กในรูป $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ทำให้ปริมาณการดูดใช้เหล็กในรากถั่วลิสงไม่แตกต่างกัน

3.7.3 ปริมาณการดูดใช้เหล็กในเมล็ดถั่วลิสง

ผลของการใส่และไม่ใส่ปุ๋ยเหล็กที่มีต่อปริมาณการดูดใช้เหล็กในเมล็ดถั่วลิสง แสดงในตารางที่ 5 พบว่า ถั่วลิสงตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยเหล็ก โดยทำให้ปริมาณการดูดใช้เหล็กในเมล็ดถั่วลิสงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งการใส่ปุ๋ยเหล็กทำให้ปริมาณการดูดใช้เหล็กในเมล็ดถั่วลิสงสูงกว่าการไม่ใส่ปุ๋ยเหล็ก

เมื่อพิจารณาจากการใส่ปุ๋ยเหล็กแต่ละรูปพบว่า การใส่ปุ๋ยเหล็กก็เกิดในรูป Fe-DTPA ทั้ง 2 อัตรามีแนวโน้มทำให้ปริมาณการดูดใช้เหล็กในเมล็ดถั่วลิสงโดยเฉลี่ยสูงสุด ทั้งนี้เป็นความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับ การใส่ปุ๋ยเหล็กก็เกิดในรูป Fe-EDDHA และ Fe-EDTA รวมทั้งการใส่ปุ๋ยเหล็กในรูป $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ โดยเฉลี่ยทั้ง 2 อัตรา

เมื่อเปรียบเทียบกันในการใส่ปุ๋ยเหล็ก 2 อัตราพบว่า การใส่ปุ๋ยเหล็กก็เกิดในรูป Fe-DTPA ทำให้ปริมาณการดูดใช้เหล็กในเมล็ดถั่วลิสงไม่แตกต่างกัน และการใส่ปุ๋ยเหล็กก็เกิดในรูป Fe-EDDHA และ Fe-EDTA อัตราต่ำทำให้ปริมาณการดูดใช้เหล็กในเมล็ดถั่วลิสงสูงกว่า ส่วนการใส่ปุ๋ยเหล็กในรูป $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ อัตราสูงทำให้ปริมาณการดูดใช้เหล็กในเมล็ดถั่วลิสงสูงกว่า

3.7.4 ปริมาณการดูดใช้เหล็กทั้งหมดของถั่วลิสง

ผลของการใส่และไม่ใส่ปุ๋ยเหล็กที่มีต่อปริมาณการดูดใช้เหล็กทั้งหมดของถั่วลิสง แสดงในตารางที่ 5 พบว่า ถั่วลิสงตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยเหล็ก โดยทำให้ปริมาณการดูดใช้เหล็กทั้งหมดของถั่วลิสงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งการใส่ปุ๋ยเหล็กทำให้ปริมาณการดูดใช้เหล็กทั้งหมดของถั่วลิสงสูงกว่าการไม่ใส่ปุ๋ยเหล็ก

เมื่อพิจารณาจากการใส่ปุ๋ยเหล็กแต่ละรูปพบว่า การใส่ปุ๋ยเหล็กคีเลตในรูป Fe-DTPA ทั้ง 2 อัตรา มีแนวโน้มทำให้ปริมาณการดูดใช้เหล็กทั้งหมดของถั่วลิสงโดยเฉลี่ยสูงสุด ทั้งนี้ เป็นความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับ การใส่ปุ๋ยเหล็กคีเลตในรูป Fe-EDDHA และ Fe-EDTA รวมทั้งการใส่ปุ๋ยเหล็กในรูป $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ โดยเฉลี่ยทั้ง 2 อัตรา

เมื่อเปรียบเทียบกับในระหว่าง การใส่ปุ๋ยเหล็ก 2 อัตราพบว่า การใส่ปุ๋ยเหล็กคีเลตในรูป Fe-EDTA ทำให้ปริมาณการดูดใช้เหล็กทั้งหมดของถั่วลิสงไม่แตกต่างกัน และการใส่ปุ๋ยเหล็กในรูป Fe-DTPA และ $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ อัตราสูงให้ผลดีกว่า ส่วนการใส่ปุ๋ยเหล็กคีเลตในรูป Fe-EDDHA อัตราต่ำให้ผลดีกว่า

จากผลการทดลองพบว่า ถั่วลิสงตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยเหล็ก มีผลทำให้ปริมาณการดูดใช้เหล็กในส่วนต่างๆ (ตอซัง ราก เมล็ด) ของถั่วลิสงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ซึ่งการใส่ปุ๋ยเหล็กทำให้ปริมาณการดูดใช้เหล็กในส่วนต่างๆ ของถั่วลิสงสูงกว่าการไม่ใส่ปุ๋ยเหล็ก โดยมีปริมาณการดูดใช้เหล็กในตอซังถั่วลิสงโดยเฉลี่ยสูงสุด รองลงมาคือ ในรากถั่วลิสง ส่วนปริมาณการดูดใช้เหล็กในเมล็ดถั่วลิสงมีค่าโดยเฉลี่ยต่ำสุด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Singh and Sinha (1977) ที่รายงานว่า การใส่ปุ๋ยเหล็กคีเลตในรูป Fe-DTPA ทำให้ปริมาณการดูดใช้ธาตุเหล็กของพืชสูงกว่าการไม่ใส่ปุ๋ยเหล็ก และเมื่อพิจารณาจากการใส่ปุ๋ยเหล็กแต่ละรูปพบว่า การใส่ปุ๋ยเหล็กคีเลตในรูป Fe-DTPA ทั้ง 2 อัตรา มีแนวโน้มทำให้ปริมาณการดูดใช้เหล็กในส่วนต่างๆ ของถั่วลิสงโดยเฉลี่ยสูงสุด ซึ่งเป็นความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับ การใส่ปุ๋ยเหล็กคีเลตในรูป Fe-EDDHA และ Fe-EDTA โดยเฉลี่ยทั้ง 2 อัตรา เมื่อเปรียบเทียบกับในระหว่าง การใส่ปุ๋ยเหล็ก 2 อัตราพบว่า การใส่ปุ๋ยเหล็กคีเลตในรูป Fe-DTPA อัตราสูงมีแนวโน้มทำให้ความเข้มข้นธาตุเหล็กและปริมาณการดูดใช้เหล็กทั้งหมดในถั่วลิสงสูงกว่าอัตราต่ำ แต่เมื่อพิจารณาในส่วนของน้ำหนักเมล็ดแห้งพบว่าไม่แตกต่างกัน แสดงให้เห็นว่าการใส่ปุ๋ยเหล็กคีเลตในรูป Fe-DTPA อัตราสูงไม่ได้ทำให้ผลผลิตของถั่วลิสงมากขึ้น

ตารางที่ 5 ผลของการใส่และไม่ใส่ปุ๋ยเหล็กในรูปแบบต่างๆ ต่อปริมาณการดูดใช้เหล็กของถั่วลิสง

ตำรับการทดลอง	ปริมาณเหล็กที่ถั่วลิสงดูดใช้ (มิลลิกรัมต่อน้ำต้น)			
	ต่อซัง ^{1/}	ราก ^{1/}	เมล็ด ^{1/}	รวม ^{1/}
Control	2.57 d	2.28 c	0.04 d	4.88 e
Fe-EDTA5	5.89 c	5.05 b	0.10 cd	11.01 cd
Fe-EDTA10	5.30 cd	5.39 b	0.04 d	10.72 cd
Fe-DTPA5	11.47 b	10.53 a	0.41 a	22.41 b
Fe-DTPA10	16.08 a	10.97 a	0.47 a	27.41 a
Fe-EDDHA5	9.72 b	2.95 c	0.31 b	12.98 c
Fe-EDDHA10	5.09 cd	1.97 c	0.20 c	7.26 de
FeSO ₄ 5	3.73 cd	1.03 c	0.06 d	4.78 e
FeSO ₄ 10	4.63 cd	2.48 c	0.09 cd	7.17 de
F-test	**	**	**	**
CV (%)	26.9	28.0	33.4	21.5

หมายเหตุ ** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซนต์

^{1/} ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรที่เหมือนกันมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์โดยวิธี DMRT

Control	คือ ไม่ใส่ปุ๋ยเหล็ก
Fe-EDTA5	คือ ปุ๋ยเหล็กในรูปแบบ Fe-EDTA อัตรา 5 mg Fe kg ⁻¹
Fe-EDTA10	คือ ปุ๋ยเหล็กในรูปแบบ Fe-EDTA อัตรา 10 mg Fe kg ⁻¹
Fe-DTPA5	คือ ปุ๋ยเหล็กในรูปแบบ Fe-DTPA อัตรา 5 mg Fe kg ⁻¹
Fe-DTPA10	คือ ปุ๋ยเหล็กในรูปแบบ Fe-DTPA อัตรา 10 mg Fe kg ⁻¹
Fe-EDDHA5	คือ ปุ๋ยเหล็กในรูปแบบ Fe-EDDHA อัตรา 5 mg Fe kg ⁻¹
Fe-EDDHA10	คือ ปุ๋ยเหล็กในรูปแบบ Fe-EDDHA อัตรา 10 mg Fe kg ⁻¹
FeSO ₄ 5	คือ ปุ๋ยเหล็กในรูปแบบ FeSO ₄ .7H ₂ O อัตรา 5 mg Fe kg ⁻¹
FeSO ₄ 10	คือ ปุ๋ยเหล็กในรูปแบบ FeSO ₄ .7H ₂ O อัตรา 10 mg Fe kg ⁻¹

3.8 ประสิทธิภาพการดึงดูปุ๋ยเหล็กมาใช้ประโยชน์ของถั่วลิสง

เมื่อพิจารณาสัดส่วนของปริมาณเหล็กที่ถั่วลิสงดูดใช้ในส่วนต่างๆ (คอก้าง ราก เมล็ด) กับปริมาณปุ๋ยเหล็กที่ใส่ลงไปในดิน พบว่า ประสิทธิภาพของการดึงดูปุ๋ยเหล็กมาใช้ประโยชน์ของตำรับการทดลองต่างๆ มีประสิทธิภาพที่แตกต่างกัน โดยการใส่ปุ๋ยเหล็กก็เกิดในรูป Fe-DTPA มีประสิทธิภาพของการดึงดูปุ๋ยเหล็กมาใช้ประโยชน์โดยเฉลี่ยสูงสุด รองลงมาคือการใส่ปุ๋ยเหล็กในรูป Fe-EDDHA Fe-EDTA และ $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ตามลำดับ เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกันในระหว่างการใส่ปุ๋ยเหล็ก 2 อัตรา พบว่าการใส่ปุ๋ยเหล็กก็เกิดทุกรูปในอัตราต่ำมีประสิทธิภาพสูงกว่าอัตราสูง (ตารางที่ 6)

3.9 เปอร์เซ็นต์การกระจายของธาตุเหล็กที่ถั่วลิสงดูดใช้ขึ้นมากอยู่ในส่วนของคอก้าง ราก และเมล็ดของถั่วลิสง

ผลของการใส่และไม่ใส่ปุ๋ยเหล็กที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การกระจายของธาตุเหล็กที่ถั่วลิสงดูดใช้ขึ้นมากอยู่ในส่วนของคอก้าง ราก และเมล็ดของถั่วลิสง แสดงในตารางที่ 7 พบว่า ตำรับการทดลองต่างๆ มีสัดส่วนของธาตุเหล็กที่กระจายอยู่ในส่วนของคอก้าง ราก และเมล็ด อยู่ในช่วง 49.4-78.0 21.5-50.3 และ 0.4-2.8 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยการใส่ปุ๋ยเหล็กก็เกิดในรูป Fe-DTPA และ Fe-EDDHA ทั้ง 2 อัตราทำให้สัดส่วนของธาตุเหล็กที่กระจายอยู่ในส่วนเมล็ดสูงกว่าการไม่ใส่ปุ๋ยเหล็ก และเมื่อพิจารณาทางด้านคุณค่าของธาตุเหล็กในถั่วลิสงที่สามารถนำไปเป็นอาหารของมนุษย์ อาหารเลี้ยงสัตว์ และนำไปใช้เป็นปุ๋ยพืชสดหรือปุ๋ยหมัก พบว่าการใส่ปุ๋ยเหล็กทำให้คุณค่าของธาตุเหล็กมากขึ้น

ตารางที่ 6 ผลของการใส่ปุ๋ยเหล็กในรูปแบบต่างๆ ที่มีต่อประสิทธิภาพของการดึงดูดปุ๋ยเหล็กมาใช้ประโยชน์ของถั่วลิสง

ตำรับการทดลอง	ประสิทธิภาพของการดึงดูดปุ๋ยเหล็กมาใช้ประโยชน์ (เปอร์เซ็นต์)
Fe-EDTA5	12.3
Fe-EDTA10	5.6
Fe-DTPA5	35.0
Fe-DTPA10	22.6
Fe-EDDHA5	16.2
Fe-EDDHA10	2.4
FeSO ₄ 5	0.0
FeSO ₄ 10	2.3

หมายเหตุ	Control	คือ ไม่ใส่ปุ๋ยเหล็ก
	Fe-EDTA5	คือ ปุ๋ยเหล็กในรูปแบบ Fe-EDTA อัตรา 5 mg Fe kg ⁻¹
	Fe-EDTA10	คือ ปุ๋ยเหล็กในรูปแบบ Fe-EDTA อัตรา 10 mg Fe kg ⁻¹
	Fe-DTPA5	คือ ปุ๋ยเหล็กในรูปแบบ Fe-DTPA อัตรา 5 mg Fe kg ⁻¹
	Fe-DTPA10	คือ ปุ๋ยเหล็กในรูปแบบ Fe-DTPA อัตรา 10 mg Fe kg ⁻¹
	Fe-EDDHA5	คือ ปุ๋ยเหล็กในรูปแบบ Fe-EDDHA อัตรา 5 mg Fe kg ⁻¹
	Fe-EDDHA10	คือ ปุ๋ยเหล็กในรูปแบบ Fe-EDDHA อัตรา 10 mg Fe kg ⁻¹
	FeSO ₄ 5	คือ ปุ๋ยเหล็กในรูปแบบ FeSO ₄ .7H ₂ O อัตรา 5 mg Fe kg ⁻¹
	FeSO ₄ 10	คือ ปุ๋ยเหล็กในรูปแบบ FeSO ₄ .7H ₂ O อัตรา 10 mg Fe kg ⁻¹

ตารางที่ 7 ผลของการใส่และไม่ใส่ปุ๋ยเหล็กที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การกระจายของธาตุเหล็กที่ถั่วลิสงดูด
ใช้ขึ้นมาอยู่ในส่วนของตอซัง ราก และเมล็ดของถั่วลิสง

ดำรับการทดลอง	เปอร์เซ็นต์การกระจายของธาตุเหล็ก (เปอร์เซ็นต์)		
	ตอซัง	ราก	เมล็ด
Control	52.6	46.6	0.8
Fe-EDTA5	53.4	45.8	0.8
Fe-EDTA10	49.4	50.3	0.3
Fe-DTPA5	51.2	47.0	1.8
Fe-DTPA10	58.5	40.0	1.5
Fe-EDDHA5	74.9	22.7	2.4
Fe-EDDHA10	70.1	27.1	2.8
FeSO ₄ 5	77.7	21.2	1.1
FeSO ₄ 10	64.4	34.5	1.1

หมายเหตุ	Control	คือ ไม่ใส่ปุ๋ยเหล็ก
	Fe-EDTA5	คือ ปุ๋ยเหล็กในรูป Fe-EDTA อัตรา 5 mg Fe kg ⁻¹
	Fe-EDTA10	คือ ปุ๋ยเหล็กในรูป Fe-EDTA อัตรา 10 mg Fe kg ⁻¹
	Fe-DTPA5	คือ ปุ๋ยเหล็กในรูป Fe-DTPA อัตรา 5 mg Fe kg ⁻¹
	Fe-DTPA10	คือ ปุ๋ยเหล็กในรูป Fe-DTPA อัตรา 10 mg Fe kg ⁻¹
	Fe-EDDHA5	คือ ปุ๋ยเหล็กในรูป Fe-EDDHA อัตรา 5 mg Fe kg ⁻¹
	Fe-EDDHA10	คือ ปุ๋ยเหล็กในรูป Fe-EDDHA อัตรา 10 mg Fe kg ⁻¹
	FeSO ₄ 5	คือ ปุ๋ยเหล็กในรูป FeSO ₄ .7H ₂ O อัตรา 5 mg Fe kg ⁻¹
	FeSO ₄ 10	คือ ปุ๋ยเหล็กในรูป FeSO ₄ .7H ₂ O อัตรา 10 mg Fe kg ⁻¹

4. ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กที่สกัดได้โดยน้ำยาสกัด 0.005 M DTPA pH 7.3 ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการบ่มดินกับการเจริญเติบโตของถั่วลิสง

4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กที่สกัดได้โดยน้ำยาสกัด 0.005 M DTPA pH 7.3 ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการบ่มดินกับผลผลิตน้ำหนักรากแห้งของถั่วลิสง

4.1.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กที่สกัดได้ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการบ่มดินกับผลผลิตน้ำหนักรากแห้งของถั่วลิสง

เมื่อนำปริมาณเหล็กที่สกัดได้ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการบ่มดินมาหาสหสัมพันธ์กับน้ำหนักรากแห้งของถั่วลิสง ดังแสดงในตารางที่ 8 และภาพผนวกที่ 4 พบว่าปริมาณเหล็กที่สกัดได้ในสัปดาห์ที่ 5 มีสหสัมพันธ์กับน้ำหนักรากแห้งของถั่วลิสงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีความสัมพันธ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.661* ส่วนปริมาณเหล็กที่สกัดได้ในสัปดาห์ที่ 1 3 และ 7 ไม่มีสหสัมพันธ์กับน้ำหนักรากแห้งของถั่วลิสง โดยมีความสัมพันธ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.410^{ns} 0.509^{ns} และ 0.537^{ns} ตามลำดับ

4.1.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กที่สกัดได้ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการบ่มดินกับผลผลิตน้ำหนักรากแห้งของถั่วลิสง

เมื่อนำปริมาณเหล็กที่สกัดได้ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการบ่มดินมาหาสหสัมพันธ์กับน้ำหนักรากแห้งของถั่วลิสง ดังแสดงในตารางที่ 8 พบว่าปริมาณเหล็กที่สกัดได้ในสัปดาห์ที่ 1 3 5 และ 7 ไม่มีสหสัมพันธ์กับน้ำหนักรากแห้งของถั่วลิสง โดยมีความสัมพันธ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.058^{ns} 0.042^{ns} 0.218^{ns} และ 0.078^{ns} ตามลำดับ

4.1.3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กที่สกัดได้ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการบ่มดินกับผลผลิตน้ำหนักรากแห้งของถั่วลิสง

เมื่อนำปริมาณเหล็กที่สกัดได้ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการบ่มดินมาหาสหสัมพันธ์กับน้ำหนักรากแห้งของถั่วลิสง ดังแสดงในตารางที่ 8 พบว่าปริมาณเหล็กที่สกัดได้ในสัปดาห์ที่ 1 3

5 และ 7 ไม่มีสหสัมพันธ์กับน้ำหนักฝักแห้งของถั่วลิสง โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.370^{ns} 0.468^{ns} 0.627^{ns} และ 0.500^{ns} ตามลำดับ

4.1.4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กที่สกัดได้ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการบ่มดินกับผลผลิตน้ำหนักเมล็ดแห้งของถั่วลิสง

เมื่อนำปริมาณเหล็กที่สกัดได้ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการบ่มดินมาหาสหสัมพันธ์กับน้ำหนักเมล็ดแห้งของถั่วลิสง ดังแสดงในตารางที่ 8 และภาพผนวกที่ 5 พบว่าปริมาณเหล็กที่สกัดได้ในสัปดาห์ที่ 5 มีสหสัมพันธ์กับน้ำหนักเมล็ดแห้งของถั่วลิสงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.648^* ส่วนปริมาณเหล็กที่สกัดได้ในสัปดาห์ที่ 1 3 และ 7 ไม่มีสหสัมพันธ์กับน้ำหนักเมล็ดแห้งของถั่วลิสง โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.395^{ns} 0.492^{ns} และ 0.528^{ns} ตามลำดับ

ตารางที่ 8 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กที่สกัดได้โดยน้ำยาสกัด $0.005\ M$ DTPA pH 7.3 ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการบ่มดินกับผลผลิตน้ำหนักเมล็ดแห้งของถั่วลิสง

ระยะเวลา การบ่มดิน	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ระหว่างปริมาณเหล็กที่สกัดได้กับ			
	น้ำหนักตอซังแห้ง (กรัม)	น้ำหนักรากแห้ง (กรัม)	น้ำหนักฝักแห้ง (กรัม)	น้ำหนักเมล็ดแห้ง (กรัม)
สัปดาห์ที่ 1	0.410^{ns}	0.058^{ns}	0.370^{ns}	0.395^{ns}
สัปดาห์ที่ 3	0.509^{ns}	0.042^{ns}	0.468^{ns}	0.492^{ns}
สัปดาห์ที่ 5	0.661^*	0.218^{ns}	0.627^{ns}	0.648^*
สัปดาห์ที่ 7	0.537^{ns}	0.078^{ns}	0.500^{ns}	0.528^{ns}

หมายเหตุ * = มีสหสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ns = ไม่มีสหสัมพันธ์กันทางสถิติ

4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กที่สกัดได้โดยน้ำยาสกัด 0.005 M DTPA pH 7.3 ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการบ่มดินกับความเข้มข้นของเหล็กในถั่วลิสง

4.2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กที่สกัดได้ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการบ่มดินกับความเข้มข้นของเหล็กในต่อซังถั่วลิสง

เมื่อนำปริมาณเหล็กที่สกัดได้ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการบ่มดินมาหาสหสัมพันธ์กับความเข้มข้นของเหล็กในต่อซังถั่วลิสง ดังแสดงในตารางที่ 9 พบว่าปริมาณเหล็กที่สกัดได้ในสัปดาห์ที่ 1 3 5 และ 7 ไม่มีสหสัมพันธ์กับความเข้มข้นของเหล็กในต่อซังถั่วลิสง โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.458^{ns} 0.399^{ns} 0.358^{ns} และ 0.414^{ns} ตามลำดับ

4.2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กที่สกัดได้ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการบ่มดินกับความเข้มข้นของเหล็กในรากถั่วลิสง

เมื่อนำปริมาณเหล็กที่สกัดได้ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการบ่มดินมาหาสหสัมพันธ์กับความเข้มข้นของเหล็กในรากถั่วลิสง ดังแสดงในตารางที่ 9 พบว่าปริมาณเหล็กที่สกัดได้ในสัปดาห์ที่ 1 3 5 และ 7 ไม่มีสหสัมพันธ์กับความเข้มข้นของเหล็กในรากถั่วลิสง โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.335^{ns} 0.351^{ns} 0.437^{ns} และ 0.389^{ns} ตามลำดับ

4.2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กที่สกัดได้ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการบ่มดินกับความเข้มข้นของเหล็กในเมล็ดถั่วลิสง

เมื่อนำปริมาณเหล็กที่สกัดได้ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการบ่มดิน มาหาสหสัมพันธ์กับความเข้มข้นของเหล็กในเมล็ดถั่วลิสง ดังแสดงในตารางที่ 9 และภาพผนวกที่ 6 พบว่าปริมาณเหล็กที่สกัดได้ในสัปดาห์ที่ 1 และ 3 มีสหสัมพันธ์กับความเข้มข้นของเหล็กในเมล็ดถั่วลิสงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.830** และ 0.786** ตามลำดับ ส่วนปริมาณเหล็กที่สกัดได้ในสัปดาห์ที่ 5 และ 7 มีสหสัมพันธ์กับความเข้มข้นของเหล็กในเมล็ดถั่วลิสงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.670* และ 0.762* ตามลำดับ

ตารางที่ 9 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กที่สกัดได้โดยน้ำยาสกัด 0.005 M DTPA pH 7.3 ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการบ่มดินกับความเข้มข้นของเหล็กในถั่วลิสง

ระยะเวลาการบ่มดิน	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ระหว่างปริมาณเหล็กที่สกัดได้กับความเข้มข้นเหล็กในส่วนต่างๆ ของถั่วลิสง		
	ต่อซัง	ราก	เมล็ด
สัปดาห์ที่ 1	0.458 ^{ns}	0.335 ^{ns}	0.830**
สัปดาห์ที่ 3	0.399 ^{ns}	0.351 ^{ns}	0.786**
สัปดาห์ที่ 5	0.358 ^{ns}	0.437 ^{ns}	0.670*
สัปดาห์ที่ 7	0.414 ^{ns}	0.389 ^{ns}	0.762*

ตารางที่ 10 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กที่สกัดได้โดยน้ำยาสกัด 0.005 M DTPA pH 7.3 ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการบ่มดินกับปริมาณการดูดใช้เหล็กของถั่วลิสง

ระยะเวลาการบ่มดิน	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ระหว่างปริมาณเหล็กที่สกัดได้กับปริมาณการดูดใช้เหล็กในส่วนต่างๆ ของถั่วลิสง			
	ต่อซัง	ราก	เมล็ด	รวม
สัปดาห์ที่ 1	0.502 ^{ns}	0.168 ^{ns}	0.672*	0.372 ^{ns}
สัปดาห์ที่ 3	0.575 ^{ns}	0.252 ^{ns}	0.747*	0.453 ^{ns}
สัปดาห์ที่ 5	0.701*	0.421 ^{ns}	0.854**	0.604 ^{ns}
สัปดาห์ที่ 7	0.580 ^{ns}	0.294 ^{ns}	0.769**	0.490 ^{ns}

หมายเหตุ ** = มีสหสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

* = มีสหสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

^{ns} = ไม่มีสหสัมพันธ์กันทางสถิติ

4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กที่สกัดได้โดยน้ำยาสกัด 0.005 M DTPA pH 7.3 ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการบ่มดินกับปริมาณการดูดใช้เหล็กของถั่วลิสง

4.3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กที่สกัดได้ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการบ่มดินกับปริมาณการดูดใช้เหล็กในตอซังถั่วลิสง

เมื่อนำปริมาณเหล็กที่สกัดได้ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการบ่มดินมาหาสหสัมพันธ์กับปริมาณการดูดใช้เหล็กในตอซังถั่วลิสง ดังแสดงในตารางที่ 10 และภาพผนวกที่ 7 พบว่าปริมาณเหล็กที่สกัดได้ในสัปดาห์ที่ 5 มีสหสัมพันธ์กับปริมาณการดูดใช้เหล็กในตอซังถั่วลิสงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.701^* ส่วนปริมาณเหล็กที่สกัดได้ในสัปดาห์ที่ 1 3 และ 7 ไม่มีสหสัมพันธ์กับปริมาณการดูดใช้เหล็กในตอซังถั่วลิสง โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.502^{ns} 0.575^{ns} และ 0.580^{ns} ตามลำดับ

4.3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กที่สกัดได้ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการบ่มดินกับปริมาณการดูดใช้เหล็กในรากถั่วลิสง

เมื่อนำปริมาณเหล็กที่สกัดได้ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการบ่มดินมาหาสหสัมพันธ์กับปริมาณการดูดใช้เหล็กในรากถั่วลิสง ดังแสดงในตารางที่ 10 พบว่าปริมาณเหล็กที่สกัดได้ในสัปดาห์ที่ 1 3 5 และ 7 ไม่มีสหสัมพันธ์กับปริมาณการดูดใช้เหล็กในรากถั่วลิสง โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.168^{ns} 0.252^{ns} 0.421^{ns} และ 0.294^{ns} ตามลำดับ

4.3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กที่สกัดได้ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการบ่มดินกับปริมาณการดูดใช้เหล็กในเมล็ดถั่วลิสง

เมื่อนำปริมาณเหล็กที่สกัดได้ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการบ่มดิน มาหาสหสัมพันธ์กับปริมาณการดูดใช้เหล็กในเมล็ดถั่วลิสง ดังแสดงในตารางที่ 10 และภาพผนวกที่ 8 พบว่าปริมาณเหล็กที่สกัดได้ในสัปดาห์ที่ 5 และ 7 มีสหสัมพันธ์กับปริมาณการดูดใช้เหล็กในเมล็ดถั่วลิสงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.854^{**} และ 0.769^{**} ตามลำดับ ส่วนปริมาณเหล็กที่สกัดได้ในสัปดาห์ที่ 1 และ 3 มีสหสัมพันธ์กับปริมาณการ

ดูค่าใช้จ่ายในเมล็ดถั่วลิสงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.672* และ 0.747* ตามลำดับ

4.3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กที่สกัดได้ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการบ่มดินกับปริมาณการดูค่าใช้จ่ายทั้งหมดของถั่วลิสง

เมื่อนำปริมาณเหล็กที่สกัดได้ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการบ่มดินมาหาสหสัมพันธ์กับปริมาณการดูค่าใช้จ่ายทั้งหมดของถั่วลิสง ดังแสดงในตารางที่ 10 พบว่าปริมาณเหล็กที่สกัดได้ในสัปดาห์ที่ 1 3 5 และ 7 ไม่มีสหสัมพันธ์กับปริมาณการดูค่าใช้จ่ายทั้งหมดของถั่วลิสง โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.372^{ns} 0.453^{ns} 0.604^{ns} และ 0.490^{ns} ตามลำดับ

5. ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กที่สกัดได้โดยน้ำยาสกัด 0.01 M CaCl₂ ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการบ่มดินกับการเจริญเติบโตของถั่วลิสง

5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กที่สกัดได้โดยน้ำยาสกัด 0.01 M CaCl₂ ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการบ่มดินกับผลผลิตน้ำหนักแห้งของถั่วลิสง

5.1.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กที่สกัดได้ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการบ่มดินกับผลผลิตน้ำหนักต่อชั่งแห้งของถั่วลิสง

เมื่อนำปริมาณเหล็กที่สกัดได้ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการบ่มดินมาหาสหสัมพันธ์กับน้ำหนักต่อชั่งแห้งของถั่วลิสง ดังแสดงในตารางที่ 11 และภาพผนวกที่ 9 พบว่าปริมาณเหล็กที่สกัดได้ในสัปดาห์ที่ 5 มีสหสัมพันธ์กับน้ำหนักต่อชั่งแห้งของถั่วลิสงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.673* ส่วนปริมาณเหล็กที่สกัดได้ในสัปดาห์ที่ 1 3 และ 7 ไม่มีสหสัมพันธ์กับน้ำหนักต่อชั่งแห้งของถั่วลิสง โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.480^{ns} 0.673^{ns} และ 0.597^{ns} ตามลำดับ

5.1.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กที่สกัดได้ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการบ่มดินกับผลผลิตน้ำหนักรากแห้งของถั่วลิสง

เมื่อนำปริมาณเหล็กที่สกัดได้ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการบ่มดินมาหาสหสัมพันธ์กับน้ำหนักรากแห้งของถั่วลิสง ดังแสดงในตารางที่ 11 พบว่าปริมาณเหล็กที่สกัดได้ในสัปดาห์ที่ 1 3 5 และ 7 ไม่มีสหสัมพันธ์กับน้ำหนักรากแห้งของถั่วลิสง โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.030^{ns} 0.132^{ns} 0.257^{ns} และ 0.175^{ns} ตามลำดับ

5.1.3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กที่สกัดได้ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการบ่มดินกับผลผลิตน้ำหนักรากฝักแห้งของถั่วลิสง

เมื่อนำปริมาณเหล็กที่สกัดได้ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการบ่มดินมาหาสหสัมพันธ์กับน้ำหนักรากฝักแห้งของถั่วลิสง ดังแสดงในตารางที่ 11 และภาพผนวกที่ 10 พบว่าปริมาณเหล็กที่สกัดได้ในสัปดาห์ที่ 5 มีสหสัมพันธ์กับน้ำหนักรากฝักแห้งของถั่วลิสงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.649* ส่วนปริมาณเหล็กที่สกัดได้ในสัปดาห์ที่ 1 3 และ 7 ไม่มีสหสัมพันธ์กับน้ำหนักรากฝักแห้งของถั่วลิสง โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.446^{ns} 0.532^{ns} และ 0.573^{ns} ตามลำดับ

5.1.4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กที่สกัดได้ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการบ่มดินกับผลผลิตน้ำหนักรากเมล็ดแห้งของถั่วลิสง

เมื่อนำปริมาณเหล็กที่สกัดได้ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการบ่มดินมาหาสหสัมพันธ์กับน้ำหนักรากเมล็ดแห้งของถั่วลิสง ดังแสดงในตารางที่ 11 และภาพผนวกที่ 11 พบว่าปริมาณเหล็กที่สกัดได้ในสัปดาห์ที่ 5 มีสหสัมพันธ์กับน้ำหนักรากเมล็ดแห้งของถั่วลิสงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.669* ส่วนปริมาณเหล็กที่สกัดได้ในสัปดาห์ที่ 1 3 และ 7 ไม่มีสหสัมพันธ์กับน้ำหนักรากเมล็ดแห้งของถั่วลิสง โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.470^{ns} 0.555^{ns} และ 0.597^{ns} ตามลำดับ

ตารางที่ 11 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กที่สกัดได้โดยน้ำยาสกัด 0.01 M CaCl₂ ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการบ่มดินกับผลผลิตน้ำหนักแห้งของถั่วลิสง

ระยะเวลา การบ่มดิน	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ระหว่างปริมาณเหล็กที่สกัดได้กับ			
	น้ำหนักตอซังแห้ง	น้ำหนักรากแห้ง	น้ำหนักฝักแห้ง	น้ำหนักเมล็ดแห้ง
	(กรัม)	(กรัม)	(กรัม)	(กรัม)
สัปดาห์ที่ 1	0.480 ^{ns}	0.030 ^{ns}	0.446 ^{ns}	0.470 ^{ns}
สัปดาห์ที่ 3	0.557 ^{ns}	0.132 ^{ns}	0.532 ^{ns}	0.555 ^{ns}
สัปดาห์ที่ 5	0.673*	0.257 ^{ns}	0.649*	0.669*
สัปดาห์ที่ 7	0.597 ^{ns}	0.175 ^{ns}	0.573 ^{ns}	0.597 ^{ns}

หมายเหตุ * = มีสหสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

^{ns} = ไม่มีสหสัมพันธ์กันทางสถิติ

5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กที่สกัดได้โดยน้ำยาสกัด 0.01 M CaCl₂ ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการบ่มดินกับความเข้มข้นของเหล็กในถั่วลิสง

5.2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กที่สกัดได้ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการบ่มดินกับความเข้มข้นของเหล็กในตอซังถั่วลิสง

เมื่อนำปริมาณเหล็กที่สกัดได้ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการบ่มดินมาหาสหสัมพันธ์กับความเข้มข้นของเหล็กในตอซังถั่วลิสง ดังแสดงในตารางที่ 12 พบว่าปริมาณเหล็กที่สกัดได้ในสัปดาห์ที่ 1 3 5 และ 7 ไม่มีสหสัมพันธ์กับความเข้มข้นของเหล็กในตอซังถั่วลิสง โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.482^{ns} 0.507^{ns} 0.419^{ns} และ 0.481^{ns} ตามลำดับ

5.2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กที่สกัดได้ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการบ่มดินกับความเข้มข้นของเหล็กในรากถั่วลิสง

เมื่อนำปริมาณเหล็กที่สกัดได้ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการบ่มดินมาหาสหสัมพันธ์กับความเข้มข้นของเหล็กในรากถั่วลิสง ดังแสดงในตารางที่ 12 พบว่าปริมาณเหล็กที่สกัดได้ในสัปดาห์ที่ 1 3 5 และ 7 ไม่มีสหสัมพันธ์กับความเข้มข้นของเหล็กในรากถั่วลิสง โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.414^{ns} 0.506^{ns} 0.515^{ns} และ 0.513^{ns} ตามลำดับ

5.2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กที่สกัดได้ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการบ่มดินกับความเข้มข้นของเหล็กในเมล็ดถั่วลิสง

เมื่อนำปริมาณเหล็กที่สกัดได้ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการบ่มดิน มาหาสหสัมพันธ์กับความเข้มข้นของเหล็กในเมล็ดถั่วลิสง ดังแสดงในตารางที่ 12 และภาพผนวกที่ 12 พบว่าปริมาณเหล็กที่สกัดได้ในสัปดาห์ที่ 1 มีสหสัมพันธ์กับความเข้มข้นของเหล็กในเมล็ดถั่วลิสงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.778** และปริมาณเหล็กที่สกัดได้ในสัปดาห์ที่ 3 และ 7 มีสหสัมพันธ์กับความเข้มข้นของเหล็กในเมล็ดถั่วลิสงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.703* และ 0.679* ตามลำดับ ส่วนปริมาณเหล็กที่สกัดได้ในสัปดาห์ที่ 5 ไม่มีสหสัมพันธ์กับความเข้มข้นของเหล็กในเมล็ดถั่วลิสง โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.630^{ns}

ตารางที่ 12 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กที่สกัดได้โดยน้ำยาสกัด 0.01 M CaCl₂ ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการบ่มดินกับความเข้มข้นของเหล็กในถั่วลิสง

ระยะเวลาการบ่มดิน	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ระหว่างปริมาณเหล็กที่สกัดได้กับความเข้มข้นเหล็กในส่วนต่างๆ ของถั่วลิสง		
	ต่อซัง	ราก	เมล็ด
สัปดาห์ที่ 1	0.482 ^{ns}	0.414 ^{ns}	0.778**
สัปดาห์ที่ 3	0.507 ^{ns}	0.506 ^{ns}	0.703*
สัปดาห์ที่ 5	0.419 ^{ns}	0.515 ^{ns}	0.630 ^{ns}
สัปดาห์ที่ 7	0.481 ^{ns}	0.513 ^{ns}	0.679*

ตารางที่ 13 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กที่สกัดได้โดยน้ำยาสกัด 0.01 M CaCl₂ ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการบ่มดินกับปริมาณการดูดใช้เหล็กของถั่วลิสง

ระยะเวลาการบ่มดิน	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ระหว่างปริมาณเหล็กที่สกัดได้กับปริมาณการดูดใช้เหล็กในส่วนต่างๆ ของถั่วลิสง			
	ต่อซัง	ราก	เมล็ด	รวม
สัปดาห์ที่ 1	0.572 ^{ns}	0.266 ^{ns}	0.727*	0.457 ^{ns}
สัปดาห์ที่ 3	0.649*	0.338 ^{ns}	0.782**	0.554 ^{ns}
สัปดาห์ที่ 5	0.730*	0.479 ^{ns}	0.863**	0.647*
สัปดาห์ที่ 7	0.678*	0.415 ^{ns}	0.811**	0.588 ^{ns}

หมายเหตุ ** = มีสหสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

* = มีสหสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

^{ns} = ไม่มีสหสัมพันธ์กันทางสถิติ

5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กที่สกัดได้โดยน้ำยาสกัด 0.01 M CaCl₂ ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการบ่มดินกับปริมาณการดูดใช้เหล็กของถั่วลิสง

5.3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กที่สกัดได้ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการบ่มดินกับปริมาณการดูดใช้เหล็กในตอซังถั่วลิสง

เมื่อนำปริมาณเหล็กที่สกัดได้ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการบ่มดินมาหาสหสัมพันธ์กับปริมาณการดูดใช้เหล็กในตอซังถั่วลิสง ดังแสดงในตารางที่ 13 และภาพผนวกที่ 13 พบว่าปริมาณเหล็กที่สกัดได้ในสัปดาห์ที่ 3 5 และ 7 มีสหสัมพันธ์กับปริมาณการดูดใช้เหล็กในตอซังถั่วลิสงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.649* 0.730* และ 0.678* ตามลำดับ ส่วนปริมาณเหล็กที่สกัดได้ในสัปดาห์ที่ 1 ไม่มีสหสัมพันธ์กับปริมาณการดูดใช้เหล็กในตอซังถั่วลิสง โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.572^{ns}

5.3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กที่สกัดได้ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการบ่มดินกับปริมาณการดูดใช้เหล็กในรากถั่วลิสง

เมื่อนำปริมาณเหล็กที่สกัดได้ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการบ่มดินมาหาสหสัมพันธ์กับปริมาณการดูดใช้เหล็กในรากถั่วลิสง ดังแสดงในตารางที่ 13 พบว่าปริมาณเหล็กที่สกัดได้ในสัปดาห์ที่ 1 3 5 และ 7 สัปดาห์ ไม่มีสหสัมพันธ์กับปริมาณการดูดใช้เหล็กในรากถั่วลิสง โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.266^{ns} 0.338^{ns} 0.479^{ns} และ 0.415^{ns} ตามลำดับ

5.3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กที่สกัดได้ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการบ่มดินกับปริมาณการดูดใช้เหล็กในเมล็ดถั่วลิสง

เมื่อนำปริมาณเหล็กที่สกัดได้ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการบ่มดิน มาหาสหสัมพันธ์กับปริมาณการดูดใช้เหล็กในเมล็ดถั่วลิสง ดังแสดงในตารางที่ 13 และภาพผนวกที่ 14 พบว่าปริมาณเหล็กที่สกัดได้ในสัปดาห์ที่ 3 5 และ 7 มีสหสัมพันธ์กับปริมาณการดูดใช้เหล็กในเมล็ดถั่วลิสงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.782** 0.863** และ 0.811** ตามลำดับ ส่วนปริมาณเหล็กที่สกัดได้ในสัปดาห์ที่ 1 มีสหสัมพันธ์กับ

ปริมาณการดูดใช้เหล็กในเมล็ดถั่วลิสงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.727*

5.3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กที่สกัดได้ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการบ่มดินกับปริมาณการดูดใช้เหล็กทั้งหมดของถั่วลิสง

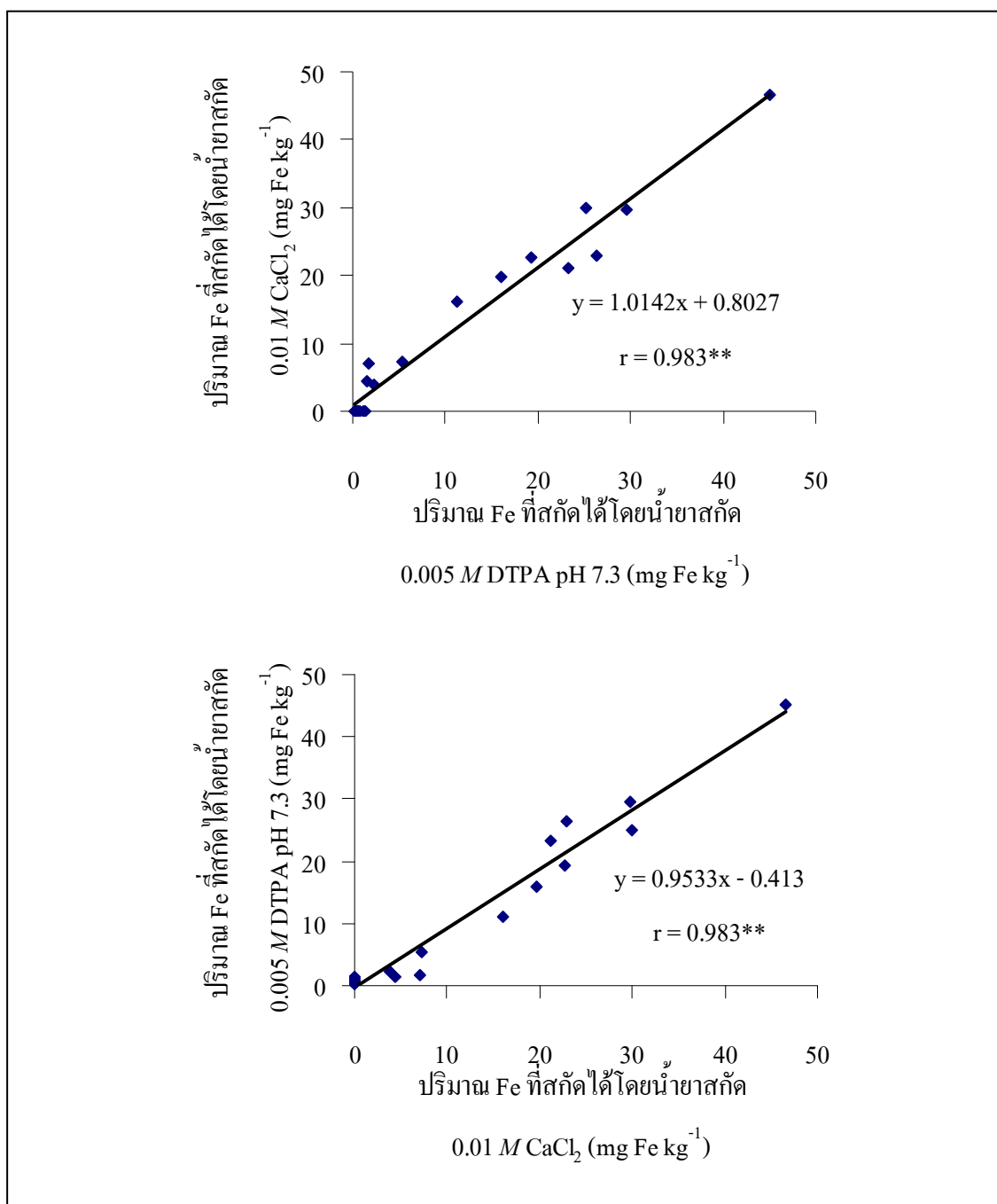
เมื่อนำปริมาณเหล็กที่สกัดได้ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการบ่มดินมาหาสหสัมพันธ์กับปริมาณการดูดใช้เหล็กทั้งหมดของถั่วลิสง ดังแสดงในตารางที่ 13 และภาพผนวกที่ 15 พบว่าปริมาณเหล็กที่สกัดได้ในสัปดาห์ที่ 5 มีสหสัมพันธ์กับปริมาณการดูดใช้เหล็กทั้งหมดของถั่วลิสงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.647* ส่วนปริมาณเหล็กที่สกัดได้ในสัปดาห์ที่ 1 3 และ 7 ไม่มีสหสัมพันธ์กับปริมาณการดูดใช้เหล็กทั้งหมดของถั่วลิสง โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.457^{ns} 0.554^{ns} 0.647* และ 0.558^{ns} ตามลำดับ

6. ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กที่สกัดได้ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการบ่มดินโดยน้ำยาสกัด

0.005 M DTPA pH 7.3 กับน้ำยาสกัด 0.01 M CaCl₂

เมื่อนำปริมาณเหล็กที่สกัดได้ที่ระยะเวลาการบ่มดิน 1 3 5 และ 7 สัปดาห์โดยน้ำยาสกัด 0.005 M DTPA pH 7.3 มาหาสหสัมพันธ์กับน้ำยาสกัด 0.01 M CaCl₂ ดังภาพที่ 8 พบว่าปริมาณเหล็กที่สกัดได้โดยน้ำยาสกัด 0.005 M DTPA pH 7.3 กับปริมาณเหล็กที่สกัดได้โดยน้ำยาสกัด 0.01 M CaCl₂ มีสหสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.983** เมื่อพิจารณาจากพิสัยและค่าเฉลี่ยของปริมาณเหล็กที่สกัดได้ พบว่าน้ำยาสกัด 0.01 M CaCl₂ มีพิสัยและค่าเฉลี่ยของปริมาณเหล็กที่สกัดได้สูงกว่าน้ำยาสกัด 0.005 M DTPA pH 7.3

จากผลการทดลองพบว่า น้ำยาสกัด 0.01 M CaCl₂ สามารถใช้ประเมินความเป็นประโยชน์ของเหล็กในดินที่มีการใส่ปุ๋ยเหล็กได้เทียบเท่ากับน้ำยาสกัด 0.005 M DTPA pH 7.3 ที่ส่วนใหญ่นิยมใช้ในห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ดินในประเทศไทย อนึ่งน้ำยาสกัด 0.01 M CaCl₂ เป็นวิธีที่สะดวก รวดเร็วและประหยัดเวลา เนื่องจากใช้เวลาในการสกัดเพียง 30 นาที ซึ่งน้อยกว่า 0.005 M DTPA pH 7.3 ที่ใช้เวลาในการสกัดนาน 120 นาที (Lindsay and Norvell, 1978)



ภาพที่ 8 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กที่สกัดได้ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการบ่มดิน โดยน้ำยาสกัด 0.005 M DTPA pH 7.3 กับน้ำยาสกัด 0.01 M CaCl₂

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

จากการศึกษาประสิทธิภาพของปุ๋ยเหล็กคีเลตในการแก้ปัญหาการขาดธาตุเหล็กของถั่วลิสงที่ปลูกในชุดดินตาคลี สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. ชุดดินตาคลีที่นำมาศึกษามีเนื้อดินเป็นดินเหนียว ปฏิกริยาดินเป็นด่างปานกลาง ค่า pH เท่ากับ 8.2 มีปริมาณสมมูลแคลเซียมคาร์บอเนต เท่ากับ 62 g kg^{-1} มีปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่ในระดับค่อนข้างสูง ปริมาณฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์สูงมาก มีปริมาณเหล็กที่เป็นประโยชน์ต่ำเท่ากับ $4.4 \text{ mg Fe kg}^{-1}$ ทำให้ถั่วลิสงไม่สามารถเจริญเติบโตได้เป็นปกติในชุดดินตาคลี โดยแสดงอาการใบอ่อนเป็นสีเหลืองซีด (chlorosis) ลำต้นแคระแกร็น และไม่สามารถให้ผลผลิต

2. ความเป็นประโยชน์ของปุ๋ยเหล็กคีเลตทุกรูปที่ใส่ลงไปดินซึ่งสกัดโดยน้ำยาสกัด 0.005 M DTPA pH 7.3 และน้ำยาสกัด 0.01 M CaCl_2 มีปริมาณเหล็กที่สกัดได้ลดลง เมื่อระยะเวลาของการบ่มดินนานขึ้น โดยในสัปดาห์ที่ 1 3 5 และ 7 ของการบ่มดิน การใส่ปุ๋ยเหล็กคีเลตในรูป Fe-EDDHA มีค่าวิเคราะห์เหล็กที่สกัดได้หรือเหล็กที่เป็นประโยชน์ในดินสูงสุด รองลงมาคือการใส่ปุ๋ยเหล็กคีเลตในรูป Fe-DTPA และรูป Fe-EDTA ตามลำดับ ส่วนการใส่ปุ๋ยเหล็กในรูป $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ มีปริมาณเหล็กที่สกัดได้ต่ำสุด

3. การใส่ปุ๋ยเหล็กคีเลตในรูป Fe-DTPA ให้ผลผลิตน้ำหนักแห้งของต่อซัง ราก และเมล็ด ปริมาณเหล็กทั้งหมดที่พืชดูดใช้ และประสิทธิภาพการดึงดูดปุ๋ยของพืชสูงสุด รองลงมาคือการใส่ปุ๋ยเหล็กคีเลตในรูป Fe-EDDHA รูป Fe-EDTA และปุ๋ยเหล็ก $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ตามลำดับ การใส่ปุ๋ยเหล็กคีเลต 3 รูปในอัตราต่ำให้ผลผลิตเมล็ดไม่แตกต่างจากการใส่ในอัตราสูง โดยปุ๋ยเหล็กคีเลตในรูป Fe-DTPA อัตราต่ำมีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาการขาดธาตุเหล็กของถั่วลิสงพันธุ์กพลินธุ์ 2 สูงสุด

4. ถั่วลิสงมีปริมาณการดูดใช้ธาตุเหล็กมาสะสมในต่อซังสูงสุด รองลงมาคือราก ส่วนเมล็ดมีปริมาณการดูดใช้ธาตุเหล็กน้อยที่สุด

5. ปริมาณเหล็กที่สกัดได้โดยน้ำยาสกัด 0.005 M DTPA pH 7.3 และน้ำยาสกัด 0.01 M CaCl_2 มีสหสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.983**

ข้อเสนอแนะ

จากผลการทดลองดังกล่าวเป็นเพียงข้อมูลพื้นฐานที่จะเป็นประโยชน์ในการเลือกชนิดของปุ๋ยเหล็กคีเลตที่ใช้ใส่ลงไปในดิน เพื่อแก้ปัญหการขาดธาตุเหล็กในดินเหนียวและเพิ่มผลผลิตของถั่วลิสง หากจะเป็นประโยชน์และได้ข้อมูลมากกว่านี้ ต้องมีการทดสอบกับชุดดินอื่นที่มีปัญหการขาดธาตุเหล็ก และควรมีการทดสอบในภาคสนามต่อไปในอนาคต

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- กรมวิชาการเกษตร. 2550. ถั่วลิสงพันธุ์ภาพสินธุ์ 1 และภาพสินธุ์ 2. ข้อมูลพันธุ์พืช กรมวิชาการเกษตร. แหล่งที่มา: <http://www.doa.go.th/germplasm/rai4.htm>, 28 มิถุนายน 2550.
- กรมพัฒนาที่ดิน. 2548. รายงานการจัดการทรัพยากรดินเพื่อการปลูกพืชเศรษฐกิจหลักตามกลุ่มชุดดิน เล่ม 2 ดินบนพื้นที่ดอน. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- กิจจา โกสะโยดม. 2529. สมบัติทางเคมีและแร่ธาตุของดินอันดับเวอร์ติโซลส์ในจังหวัดลพบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- คณะกรรมการจัดทำปทานุกรมปฐพีวิทยา. 2541. ปทานุกรมปฐพีวิทยา. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2548. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. ครั้งที่ 10. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- จำเริญ อ่อนทอง. 2535. การศึกษาการใช้ชีวมีสจากโรงงานผงชูรสแก้ปัญหาการขาดจุลินทรีย์ประจำตัวของพืชที่ปลูกบนดินชนิดชุดดินตาคลี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ชนิษฐา พันธุ์เมือง. 2548. การใช้มูลไก่เป็นปุ๋ยฟอสฟอรัสสำหรับข้าวโพดที่ปลูกในชุดดินเลยและชุดดินตาคลี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ชัยฤกษ์ สุวรรณรัตน์, อำนาจ สุวรรณฤทธิ์ และ แจ่มจันทร์ วิจารณ์. 2527. รายงานการวิจัยดินและปุ๋ยถั่วลิสงของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, น. 229-250. ใน รายงานการสัมมนาเชิงปฏิบัติการ งานวิจัยถั่วลิสง ครั้งที่ 3. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ชัยฤกษ์ สุวรรณรัตน์, อำนาจ สุวรรณฤทธิ์ และ แจ่มจันทร์ วิจารณ์. 2528. การศึกษาวิธีการแก้ไขอาการคลอโรซิสของถั่วลิสงที่ขาดธาตุเหล็กที่ปลูกบนดินคัลคาเรียสสีดำนไไร่เกษตรกร, น. 409-414. ใน รายงานการสัมมนา งานวิจัยถั่วลิสง ครั้งที่ 4. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ทัศนีย์ อัดตะนันท์ และ จงรักษ์ จันท์เจริญสุข. 2542. แบบฝึกหัดและคู่มือการปฏิบัติการวิเคราะห์ดินและพืช. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ประเสริฐ อมริต. 2528. การศึกษาปัญหาจุลธาตุ (เหล็ก แมงกานีส สังกะสี ทองแดง) ที่เป็นปัจจัยจำกัดผลผลิตของถั่วลิสงที่ปลูกในดินชุดตาคลีและแนวทางแก้ไข. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

เพิ่มพูน กิริติกสิกร. 2528. เหมืองดิน. ภาควิชาปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

ขยยุทธ โอสดสภา. 2546. ธาตุอาหารพืช. ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

_____. 2549. ศัพท์ในวงการปฐพี. ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

วัลลีย์ สังขารา. 2542. การใช้ถั่วลิสงเป็นปุ๋ยพืชสดเพื่อเพิ่มความสามารถในการให้ผลผลิตของชุดดินห้วยโป่ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สรสิทธิ์ วัชรโรทยาน, ทัศนีย์ อัดตะนันท์, ชัยฤกษ์ สุวรรณรัตน์ และจงรักษ์ จันท์เจริญสุข. 2533. การแก้ปัญหาคาดขาดธาตุอาหารจุลธาตุของพืชเศรษฐกิจที่ปลูกในดินต่าง. รายงานการวิจัย โครงการวิจัยการใช้ประโยชน์วัสดุเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรมเพื่อการเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สุมิตรา ภู่วโรดม. 2549. การวิเคราะห์ปัญหาการขาดธาตุรองและจุลธาตุในดินกับพืชสวน-ไม้ยืนต้นและแนวทางแก้ไข. วารสารดินและปุ๋ย. 28: 135-141.

สุวพันธ์ รัตนะรัต, ชลวดี ละเอียด, เฉลียว ดิษฐ์สันเทียะ และสุภาพร รัตนะรัต. 2530. การแก้ไขอาการขาดธาตุหลักของถั่วลิสงที่ปลูกในดินเหนียวสีดำชุดดาคี, น. 478-482. ใน รายงานการสัมมนา งานวิจัยถั่วลิสง ครั้งที่ 6. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สุวพันธ์ รัตนะรัต, นงลักษณ์ วิบูลสุข, พิชิต พงษ์สกุล, จิรพงษ์ ประสิทธิ์เขตร, มณเฑียร จินดา และสุรสิทธิ์ อรรถจารุสิทธิ์. 2543. ลักษณะอาการขาดธาตุอาหารของพืช. กองปฐพีวิทยา กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.

สุธีรา ยอดดี. 2544. ผลของการใช้ปุ๋ยหลักทางใบที่มีต่อถั่วเขียวสองพันธุ์ที่ปลูกในชุดดินชัยบาดาล. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2548. สถิติการเกษตรของประเทศไทยปีเพาะปลูก 2546-2548. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

อารีย์ วรบุญวัฒน์. 2544. ถั่วเหลือง ถั่วลิสง และสะหู่. สำนักพิมพ์โชติวงศ์, กรุงเทพฯ.

เอิบ เขียวรื่นรมณ์. 2533. ดินของประเทศไทย. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

Al-Mustafa, W.A., A.E. Abdallah and A.M. Falatah. 2001. Assessment of five extractants for their ability to predict iron uptake and response of sorghum grown in calcareous soils. **Commun. Soil Sci. Plant Anal.** 32: 907-919.

Black, C.A., D.D. Evans, L.E. Ensminger, J.L. White, F.E. Clark and R.S. Dinaber. 1965. **Methods of Soil Analysis Part 2. Chemical and Microbiological Properties.** American Society of Agronomy Inc., Wisconsin, USA.

- Boxma, R. and A.J. De Groot. 1971. Behaviour of iron and manganese chelates in calcareous soils and their effectiveness for plants. **Plant and Soil** 34: 741-749.
- Brady, N.C. and R.R. Weil. 2002. **The Nature and Properties of Soils**. 13th ed. The Macmillan Co., New York.
- Bray, R.H. and L.T. Kurtz. 1945. Determination of total organic and available forms of phosphorus in soil. **Soil Sci.** 59: 39-45.
- Brown, J.R. and D. Warnke. 1988. Recommended cation tests and measures of cation exchange capacity. *In* W.C. Dahnke (ed). **Recommended chemical soil test procedures for the North Central Region**. North Dakota Agric. Exp. Stn. Bull. 499.
- Clemens, D.F., B.M. Whitehurst and G.B. Whitehurst. 1990. Chelates in agriculture. **Fertilizer Research** 25: 127-131.
- Epstein, E. and A.J. Bloom. 2005. **Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspective**. 2nd ed. Sinauer Associates, Sunderland.
- Day, P.R. 1965. Particle fractionation and particle size analysis, pp. 545-567. *In* C.A. Black (ed.). **Methods of Soil Analysis Part I**. Agronomy, No. 9. Amer. Soc. of Agron. Inc., Madison, Wisconsin, USA.
- Goos, R.J. and S. Germain. 2001. Solubility of twelve iron fertilizer products in alkaline soils. **Commun. Soil Sci. Plant Anal.** 32: 2317-2323.
- Havlin, J.L., J.D. Beaton, S.L. Tisdale and W.L. Nelson. 2005. **Soil Fertility and Fertilizers: An Introduction to Nutrient Management**. 7th ed. Pearson Prentice Hall Inc., New Jersey.

- Kilmer, V.J. and L.T. Alexander. 1949. Method of making mechanical analysis of soils. **Soil Sci.** 68: 15-24.
- Kuo, S. 1996. Phosphorus, pp. 869-919. *In* D.L. Sparks, ed. **Methods of Soil Analysis Part 3: Chemical Methods.** SSSA Inc., ASA Inc., Madison, Wisconsin, USA.
- Land Classification Division and FAO Project Staff. 1973. **Soil Interpretation Handbook for Thailand.** Dept. of Land Development, Min. of Agri. And Coop., Bangkok.
- Lindsay, W.L. and W.A. Norvell. 1978. Development of a DTPA test for zinc, iron, manganese and copper. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 42: 421-428.
- Lindsay, W.L. 1979. **Chemical Equilibria in Soils.** John Wiley and Sons, Inc., New York.
- Martens, D.C. and W.L. Lindsay. 1990. Testing soils for copper, iron, manganese and zinc. pp. 229 – 264. *In* R.L. Westerman, ed. **Soil Testing and Plant Analysis.** 3rd ed. Soil Sci. Soc. Am., Madison, WI, USA.
- Miller, R.W. and R.L. Donahue. 1995. **Soils in Our Environment.** Prentice Hall, Eaglewood Cliffs, New Jersey.
- Moral, R., J. Moreno-Caselles, M. Perez-Murcia and A. Perez-Espinosa. 2002. Improving the micronutrient availability in calcareous soils by sewage sludge amendment. **Commun. Soil Sci. Plant Anal.** 33: 3015-3022.
- Norvell, W.A. and W.L. Lindsay. 1969. Reactions of EDTA Complexes of Fe, Zn, Mn, and Cu with Soils. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.** 33: 86-91.

- O'Hara, G.W. and M.J. Dilworth, N. Boonkerd and P. Parkpian. 1988. Iron-deficiency specifically limits nodule development in peanut inoculated with *Bradyrhizobium* sp. **New Phytol.** 108: 51-57.
- Paster, E.J. 1992. **Soil Science and Management.** Delma Publishers Inc., New York.
- Ryan, J., G. Estefan and A. Rashid. 2001. **Soil and Plant Analysis Laboratory Manual.** 3rd ed. International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA) and the National Agricultural Research Center (NARC).
- Rending, V.V. and H.M. Taylor. 1989. **Principle of soil-plant Interrelationships.** McGraw-Hill Publishing Co., Inc., New York.
- Singh R. and M. K. Sinha. 1977. Reactions of iron chelates in calcareous soil and their relative efficiency in iron nutrition of corn. **Plant and Soil** 46: 17-29.
- Soil Survey Division Staff. 1993. **Soil Survey Manual.** U.S. Dep. Of Agr. Handbook No. 18 U.S. Government Printing Office. Washington D.C.
- Suwannarat C. and A. Suwannarat. 1983. Soil Fertility, pp. 13-28. *In* **Research Report on Groundnut, October 1983.**
- Thomas, J.D. and A.G. Mathers. 1979. Manure and iron effects on sorghum growth on iron-deficient soil. **Agronomy Journal** 71: 792-794.
- Troeh, F.R. and L.M. Thompson. 2005. **Soils and Soil Fertility.** 6th ed. Blackwell Publishing Professional, USA.

- Walkley, A. and I.A. Black. 1934. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chronic acid titration method. **Soil Sci.** 37: 29-38.
- Wiersma, J.V. 2005. High rates of Fe-EDDHA and seed iron concentration suggest partial solutions to iron deficiency in soybean. **Agronomy Journal** 97: 924-934.
- Xian, W. and C. Qing-Sheng. 2006. Steel slag as an iron fertilizer for corn growth and soil improvement in a pot experiment. **Pedosphere** 16: 519-524.

ภาคผนวก

ตารางผนวกที่ 1 ความเป็นประโยชน์ของปุ๋ยเหล็กที่สกัดที่ใส่ลงไปดินที่สกัดด้วยน้ำยาสกัด 0.005 M DTPA pH 7.3 และ 0.01 M CaCl₂ ที่ระยะเวลาการบ่มดินต่างๆ กัน

ดำรับการทดลอง	ปริมาณเหล็กที่สกัดได้ (mg Fe kg ⁻¹) ที่ระยะเวลาการบ่มดินต่างๆ กัน (สัปดาห์)							
	น้ำยาสกัด 0.005 M DTPA pH 7.3				น้ำยาสกัด 0.01 M CaCl ₂			
	1	3	5	7	1	3	5	7
Control	0.8	0.4	0.5	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0
Fe-EDTA	5.4	1.7	2.2	1.6	7.3	7.0	3.9	4.3
Fe-DTPA	25	19	23	11	30	23	21	16
Fe-EDDHA	45	30	26	16	47	30	23	20
FeSO ₄ ·7H ₂ O	1.3	0.5	1.1	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0

หมายเหตุ	Control	คือ ไม่ใส่ปุ๋ยเหล็ก
	Fe-EDTA	คือ ปุ๋ยเหล็กในรูป Fe-EDTA อัตรา 50 mg Fe kg ⁻¹
	Fe-DTPA	คือ ปุ๋ยเหล็กในรูป Fe-DTPA อัตรา 50 mg Fe kg ⁻¹
	Fe-EDDHA	คือ ปุ๋ยเหล็กในรูป Fe-EDDHA อัตรา 50 mg Fe kg ⁻¹
	FeSO ₄ ·7H ₂ O	คือ ปุ๋ยเหล็กในรูป FeSO ₄ ·7H ₂ O อัตรา 50 mg Fe kg ⁻¹

ตารางผนวกที่ 2 ผลของการใส่ปุ๋ยเหล็กที่มีต่อร้อยละผลผลิตน้ำหนักเมล็ดแห้งที่เพิ่มขึ้นจากดำรับที่ไม่ใส่ปุ๋ยเหล็ก

ดำรับการทดลอง	น้ำหนักเมล็ดแห้ง (กรัมต่อกระถาง)	ร้อยละผลผลิตที่เพิ่มขึ้นจากดำรับที่ไม่ใส่ปุ๋ยเหล็ก
Control	2.34 c	-
Fe-EDTA5	6.40 bc	174
Fe-EDTA10	2.76 c	18
Fe-DTPA5	28.09 a	1,100
Fe-DTPA10	26.59 a	1,036
Fe-EDDHA5	9.63 b	312
Fe-EDDHA10	6.30 bc	169
FeSO ₄ 5	4.12 bc	76
FeSO ₄ 10	5.27 bc	125
F-test	**	-
CV (%)	28.9	-

หมายเหตุ ** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซนต์

^{1/} ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรที่เหมือนกันมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์โดยวิธี DMRT

Control	คือ ไม่ใส่ปุ๋ยเหล็ก
Fe-EDTA5	คือ ปุ๋ยเหล็กในรูป Fe-EDTA อัตรา 5 mg Fe kg ⁻¹
Fe-EDTA10	คือ ปุ๋ยเหล็กในรูป Fe-EDTA อัตรา 10 mg Fe kg ⁻¹
Fe-DTPA5	คือ ปุ๋ยเหล็กในรูป Fe-DTPA อัตรา 5 mg Fe kg ⁻¹
Fe-DTPA10	คือ ปุ๋ยเหล็กในรูป Fe-DTPA อัตรา 10 mg Fe kg ⁻¹
Fe-EDDHA5	คือ ปุ๋ยเหล็กในรูป Fe-EDDHA อัตรา 5 mg Fe kg ⁻¹
Fe-EDDHA10	คือ ปุ๋ยเหล็กในรูป Fe-EDDHA อัตรา 10 mg Fe kg ⁻¹
FeSO ₄ 5	คือ ปุ๋ยเหล็กในรูป FeSO ₄ .7H ₂ O อัตรา 5 mg Fe kg ⁻¹
FeSO ₄ 10	คือ ปุ๋ยเหล็กในรูป FeSO ₄ .7H ₂ O อัตรา 10 mg Fe kg ⁻¹

ตารางผนวกที่ 3 ข้อจำกัดของสมบัติทางเคมีที่ใช้ประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน (Land Classification Division and FAO Project Staff, 1973)

1. ปฏิกริยาดิน (Soils reation), pH (ดินต่อน้ำ = 1:1)

ระดับ (rating)		พิสัย (range)
กรดจัดมาก	Extremely acid	< 4.5
กรดจัด	Very strong acid	4.5-5.0
กรดแก่	Strongly acid	5.1-5.5
กรดปานกลาง	Moderately acid	5.6-6.0
กรดเล็กน้อย	Slightly acid	6.1-6.5
กลาง	Neutral	6.6-7.3
ด่างอ่อน	Mildly alkaline	7.4-7.8
ด่างปานกลาง	Moderately alkaline	7.9-8.4
ด่างแก่	Strong alkaline	8.5-9.0
ด่างจัด	Extremely alkaline	> 9.0

2. อินทรียวัตถุ (Organic matter) (% organic carbon x 1.724)

ระดับ (rating)		พิสัย (range) (g kg ⁻¹)
ต่ำมาก	(VL)	< 5
ต่ำ	(L)	5-10
ค่อนข้างต่ำ	(ML)	10-15
ปานกลาง	(M)	15-25
ค่อนข้างสูง	(MH)	25-35
สูง	(H)	35-45
สูงมาก	(VH)	> 45

3. ปริมาณไนโตรเจนรวม (Total nitrogen)

ระดับ (rating)		พิสัย (range) (g kg ⁻¹)
ต่ำมาก	(VL)	< 0.25
ต่ำ	(L)	0.50-0.75
ปานกลาง	(M)	0.75-1.25
สูง	(H)	1.25-1.75
สูงมาก	(VH)	> 2.25

4. ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P) (Bray 2)

ระดับ (rating)		พิสัย (range) (g kg ⁻¹)
ต่ำมาก	(VL)	< 3
ต่ำ	(L)	3-6
ค่อนข้างต่ำ	(ML)	6-10
ปานกลาง	(M)	10-15
ค่อนข้างสูง	(MH)	15-25
สูง	(H)	25-45
สูงมาก	(VH)	> 45

5. ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (Available K) (NH₄OAc)

ระดับ (rating)		พิสัย (range) (g kg ⁻¹)
ต่ำมาก	(VL)	< 30
ต่ำ	(L)	30-60
ปานกลาง	(M)	60-90
สูง	(H)	90-120
สูงมาก	(VH)	> 120

6. ค่าที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable base) (NH_4OAc)

ระดับ (rating)	พิสัย (range) (cmol (+) kg^{-1})			
	Exch. Ca	Exch. Mg	Exch. K	Exch. Na
ต่ำมาก (VL)	< 2	< 0.3	< 0.2	< 0.1
ต่ำ (L)	2-5	0.3-1.0	0.2-0.3	0.1-0.3
ปานกลาง (M)	5-10	1.0-3.0	0.3-0.6	0.3-0.7
สูง (H)	10-20	3.0-8.0	0.6-1.2	0.7-2.0
สูงมาก (VH)	> 20	> 8.0	> 1.2	> 2.0

7. ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (cation exchange capacity)

ระดับ (rating)	พิสัย (range) (cmol (+) kg^{-1})
ต่ำมาก	(VL) < 3
ต่ำ	(L) 3-5
ค่อนข้างต่ำ	(ML) 5-10
ปานกลาง	(M) 10-15
ค่อนข้างสูง	(MH) 15-20
สูง	(H) 20-30
สูงมาก	(VH) > 30

หมายเหตุ	VL = ต่ำมาก (Very low)
	V = ต่ำ (Low)
	ML = ค่อนข้างต่ำ (Moderately low)
	M = ปานกลาง (Moderately)
	MH = ค่อนข้างสูง (Moderately high)
	H = สูง (High)
	VH = สูงมาก (Very high)

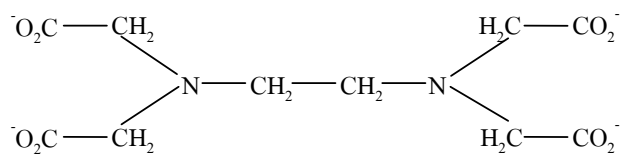
ตารางผนวกที่ 4 แสดงระดับความเป็นประโยชน์ของ Zn Cu Fe และ Mn ในดินซึ่งวิเคราะห์โดยวิธี
0.005 M DTPA pH 7.3

Measurement	Low	Marginal	Adequate
	(ppm)		
Zinc	< 0.5	0.5 - 1.0	> 1.0
Copper	< 0.2	0.2 - 0.5	> 0.2
Iron	< 4.5	4.5	> 4.5
Manganese	< 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0

ที่มา: Martens and Lindsay (1990); Ryan *et al.* (2001)

ตารางผนวกที่ 5 แสดงการเปลี่ยนแปลง non SI unit เป็น SI unit

Quantity	SI unit	Conversion equation
Electrical conductivity	dS m ⁻¹	1 mS/cm = dS m ⁻¹ 1 μ / cm = 0.001 dS m ⁻¹
Cation exchange capacity	cmol (+) kg ⁻¹	1 meq/100g = cmol (+) kg ⁻¹
Anion exchange capacity	cmol (-) kg ⁻¹	1 meq/100g = cmol (-) kg ⁻¹
Exchange cation	cmol (+) kg ⁻¹	1 meq/100g = cmol (+) kg ⁻¹
Mass ratio	g kg ⁻¹	1% = 10 mg kg ⁻¹
	mg kg ⁻¹	1 ppm = 1 mg kg ⁻¹
		1 mg/100g = 10 mg kg ⁻¹
	μg kg ⁻¹	1 ppb = 1 μg kg ⁻¹
	ng kg ⁻¹	1 ppt = 1 ng kg ⁻¹
Mass concentration	g L ⁻¹	1% = 10 g L ⁻¹
	mg L ⁻¹	1 ppm = 1 mg L ⁻¹
	μg L ⁻¹	1 ppb = 1 μg L ⁻¹
Density	Mg m ⁻³	1g/cm ³ = 1 Mg m ⁻³
Specific surface	m ² kg ⁻¹	1 m ² /g = 1000 m ² kg ⁻¹
Pressure	kPa, Mpa	1 bar = 0.1 Mpa
Radioactivity	Bq	1 Ci = 3.7 x 10 ¹⁰
Rate, Yield	kg ha ⁻¹	1 kg/10a = 10 kg ha ⁻¹
	Mg ha ⁻¹	1t/10a = 10 Mg ha ⁻¹

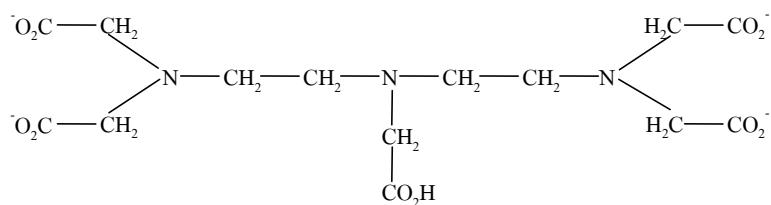


หมายเหตุ

–N< = หมู่เอมีน 2 หมู่

$-\text{CO}_2^-$ = หมู่คาร์บอกซิลิก 4 หมู่

(၇)

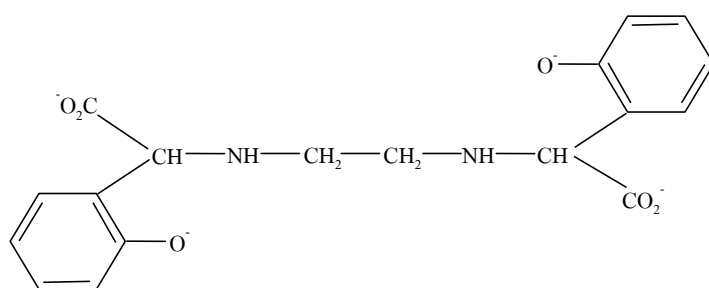


หมายเหตุ

–N< = หมูเอมिन 3 หมู

$-\text{CO}_2^-$ = หมู่คาร์บอกซิลิก 5 หมู่

(۷)



หมายเหตุ

–N< = หมู่เอมีน 2 หมู่

$-\text{CO}_2^-$ = หมู่คาร์บอกซิลิก 2 หมู่

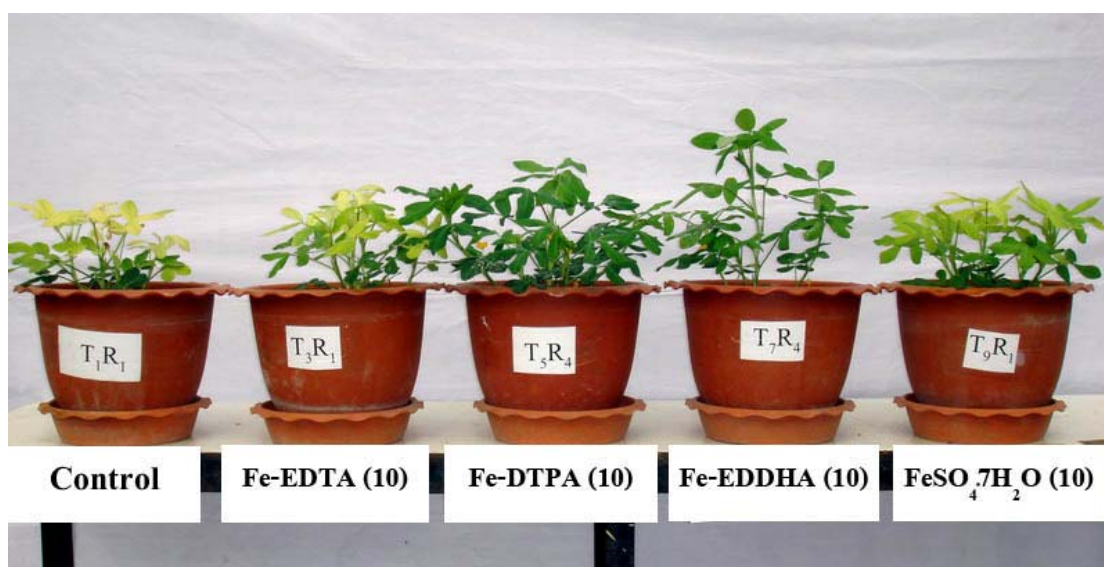
[O-]c1ccccc1 = หมู่ฟีนอลิก 2 หมู่

(๑)

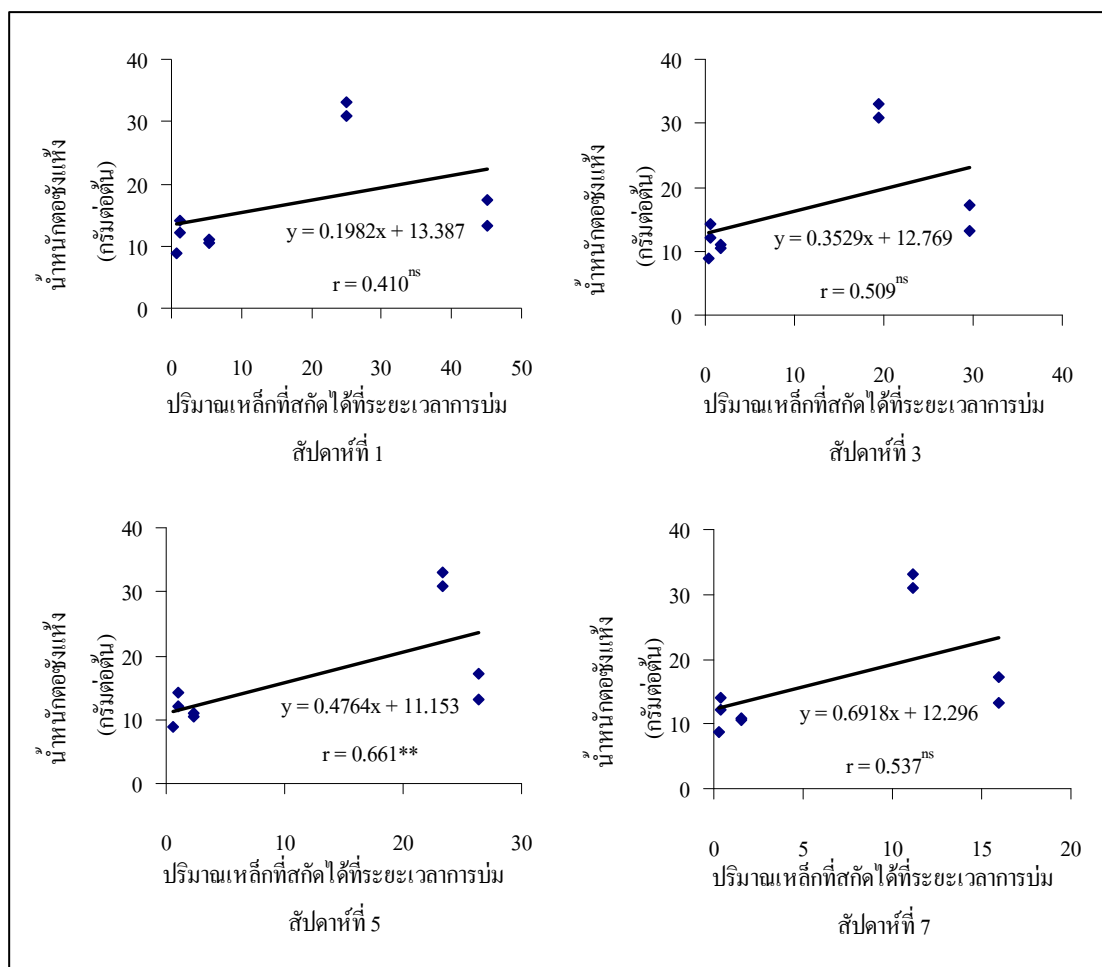
ภาพผนวกที่ 1 แสดงโครงสร้างสารคีเลต (ก) EDTA (ข) DTPA และ (ค) EDDHA



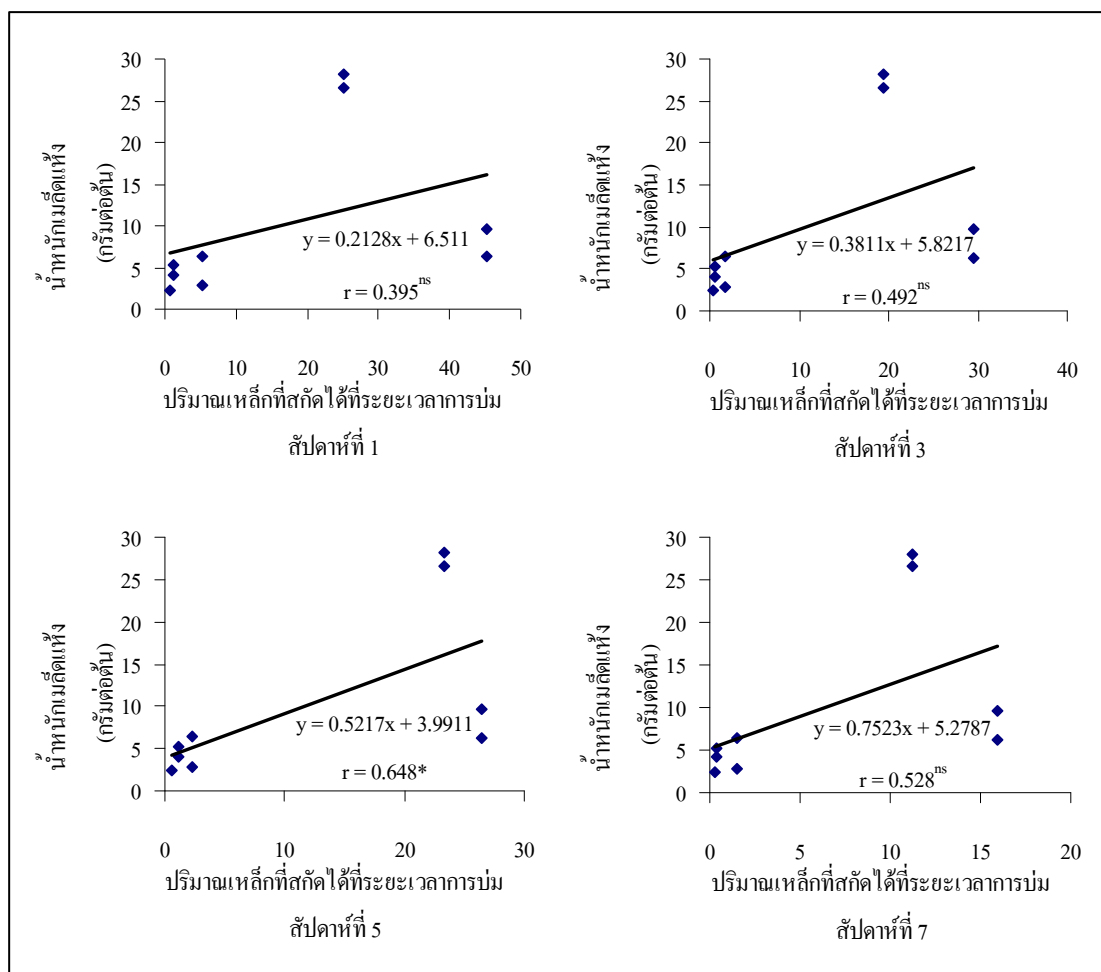
ภาพผนวกที่ 2 แสดงอาการคลอโรซิส (chlorosis) ของถั่วลิสงที่ปลูกในชุดดินตาคลี



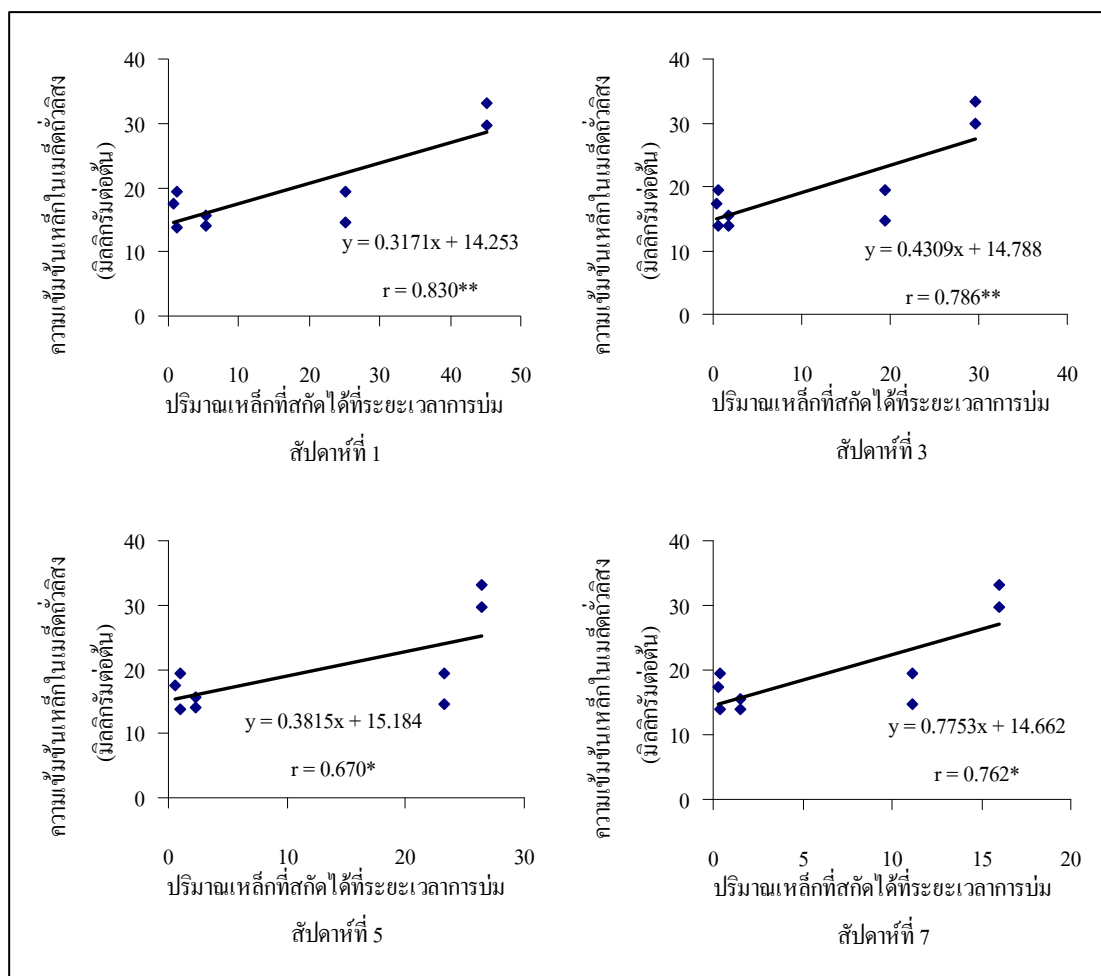
ภาพผนวกที่ 3 แสดงการเจริญเติบโตของถั่วลิสงในดำรับที่ไม่ใส่ปุ๋ยหลักและใส่ปุ๋ยหลักอัตราสูงที่อายุ 40 วัน



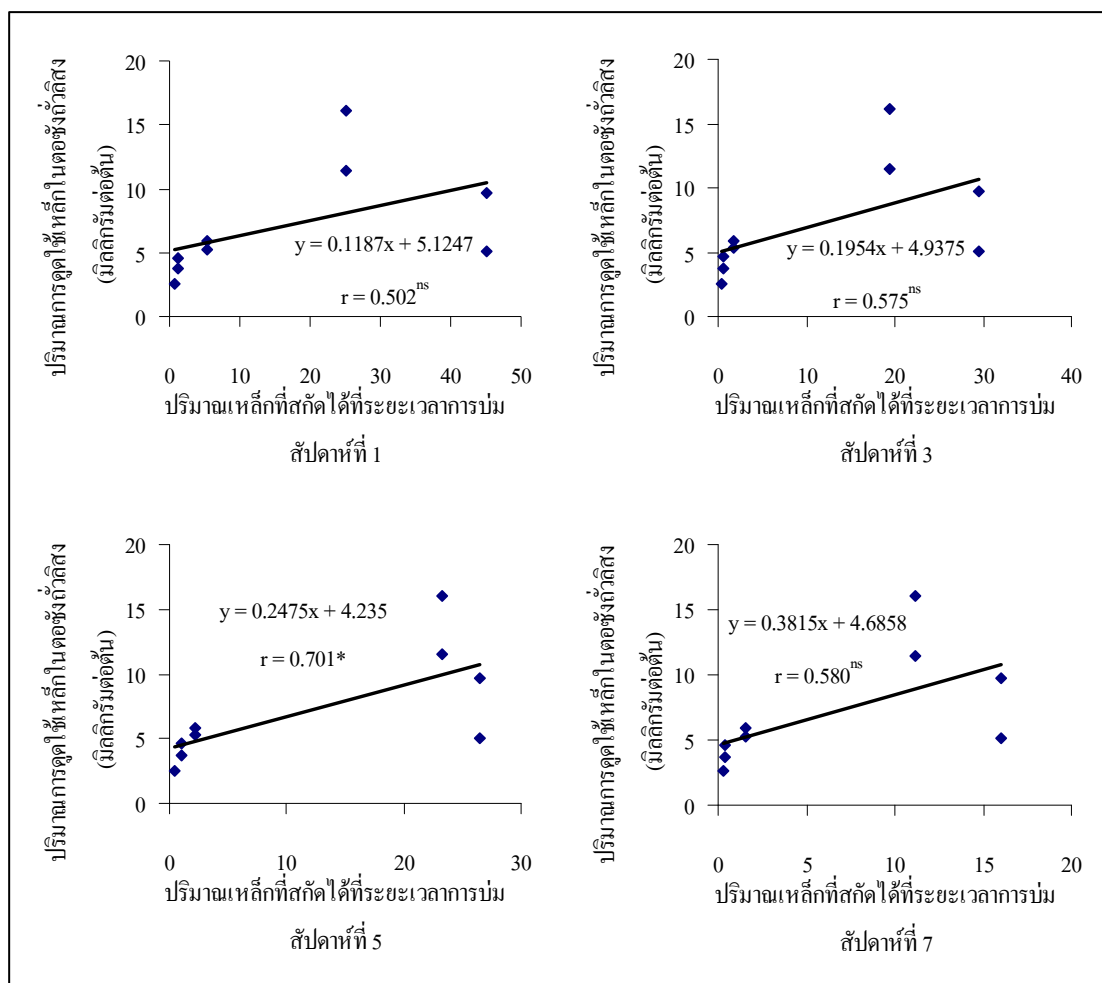
ภาพผนวกที่ 4 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กที่สกัดได้โดยน้ำยาสกัด 0.005 M DTPA pH 7.3 ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการบ่มดินกับผลผลิตน้ำหนักรากต่อชั่งแห้งของ ถั่วลิสง



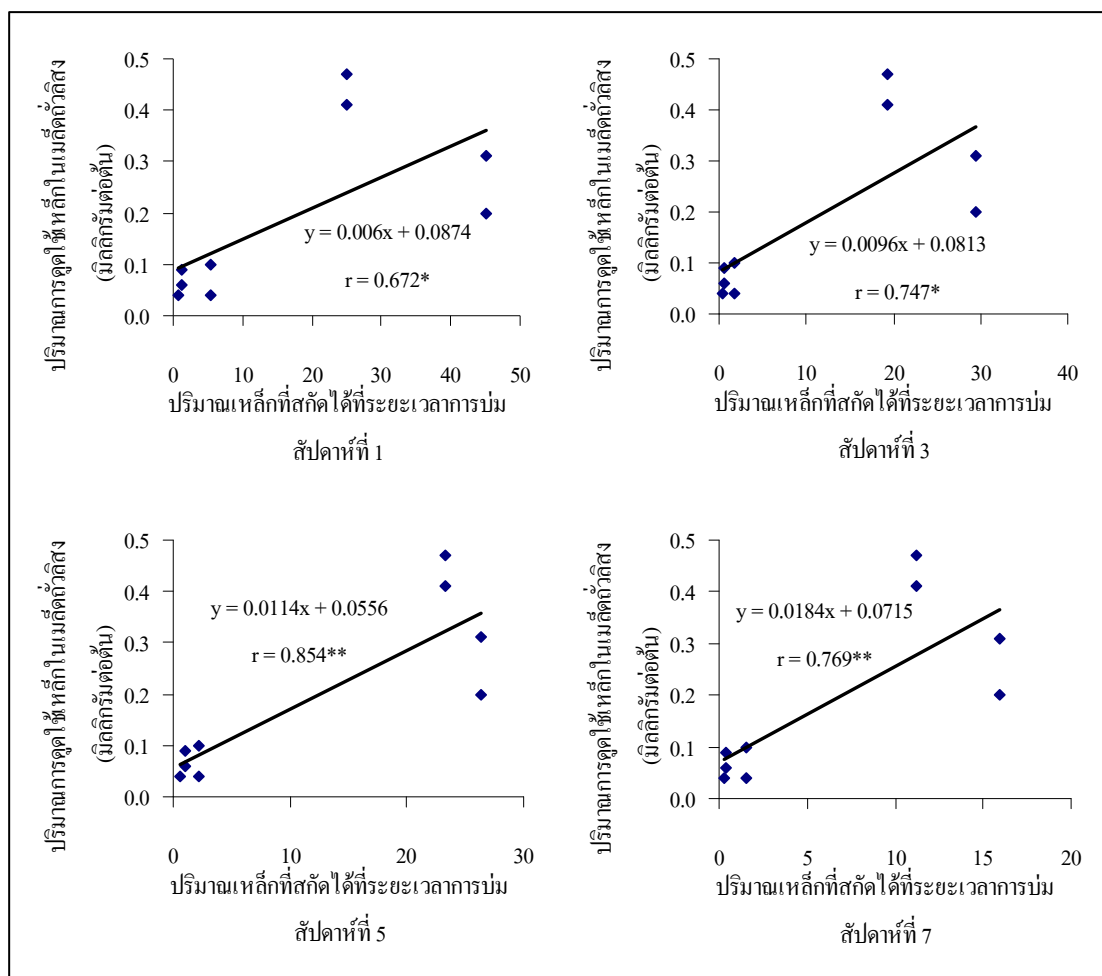
ภาพผนวกที่ 5 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กที่สกัดได้โดยน้ำยาสกัด 0.005 M DTPA pH 7.3 ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการบ่มดินกับผลผลิตน้ำหนักรวมแห้งของถั่วลิสง



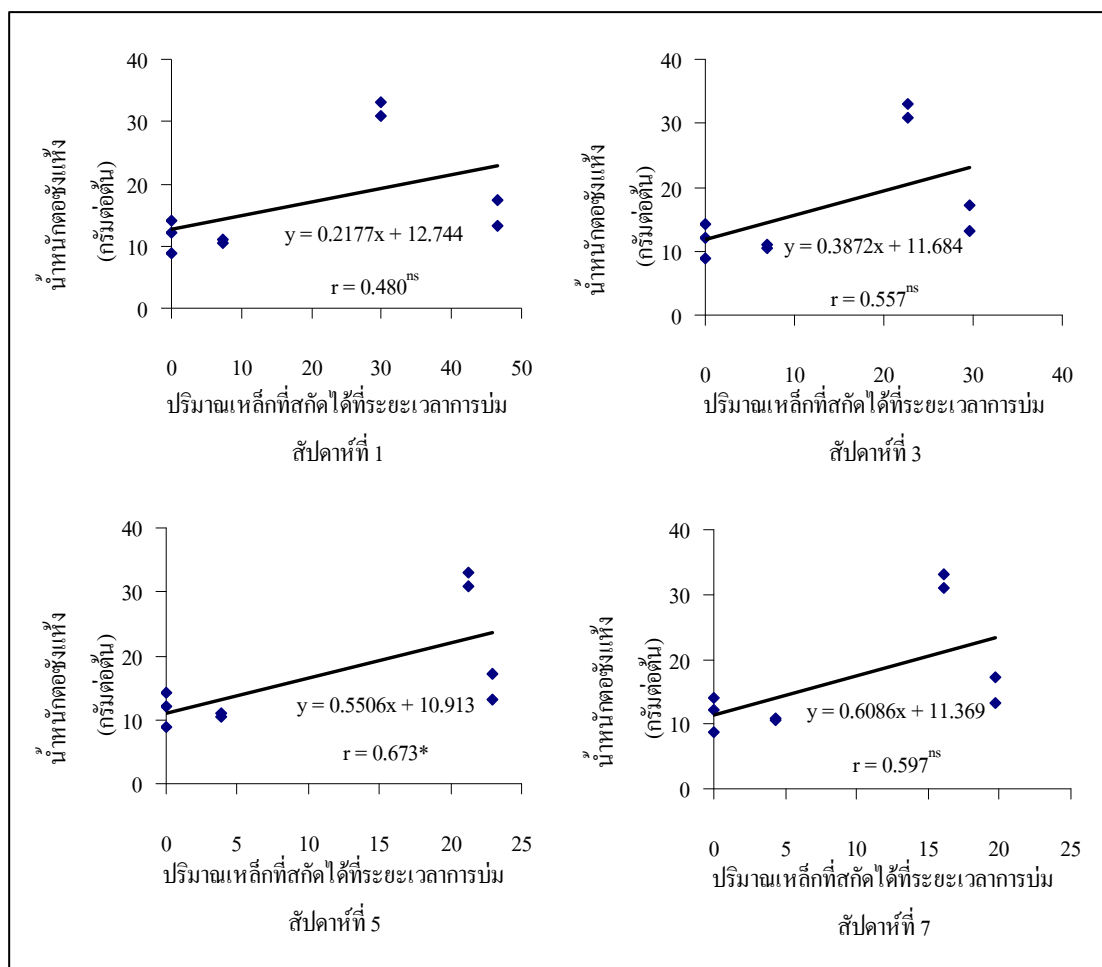
ภาพผนวกที่ 6 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กที่สกัดได้โดยน้ำยาสกัด 0.005 M DTPA pH 7.3 ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการบ่มดินกับความเข้มข้นของเหล็กในเมล็ดถั่วลิสง



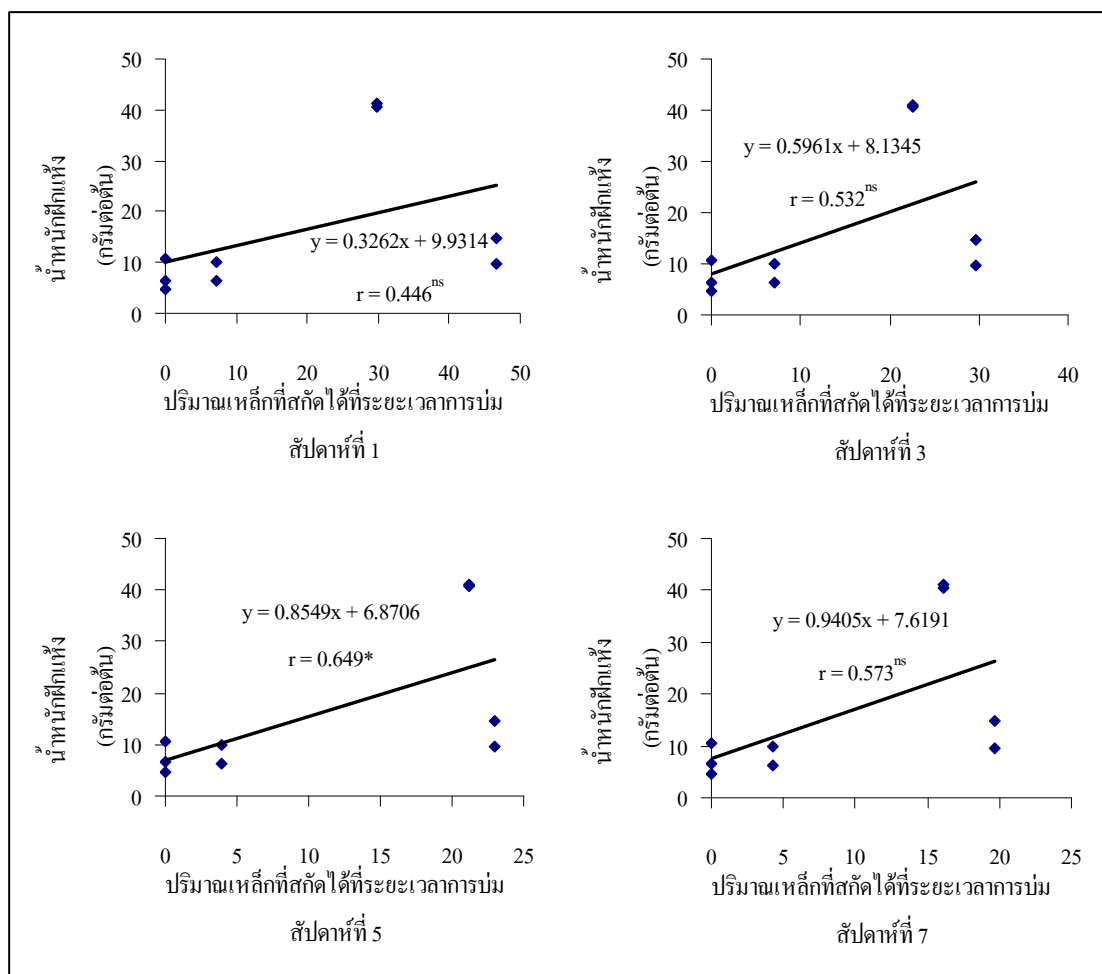
ภาพผนวกที่ 7 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กที่สกัดได้โดยน้ำยาสกัด 0.005 M DTPA pH 7.3 ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการบ่มดินกับปริมาณการดูดใช้เหล็กในต่อช่วงถั่วลิสง



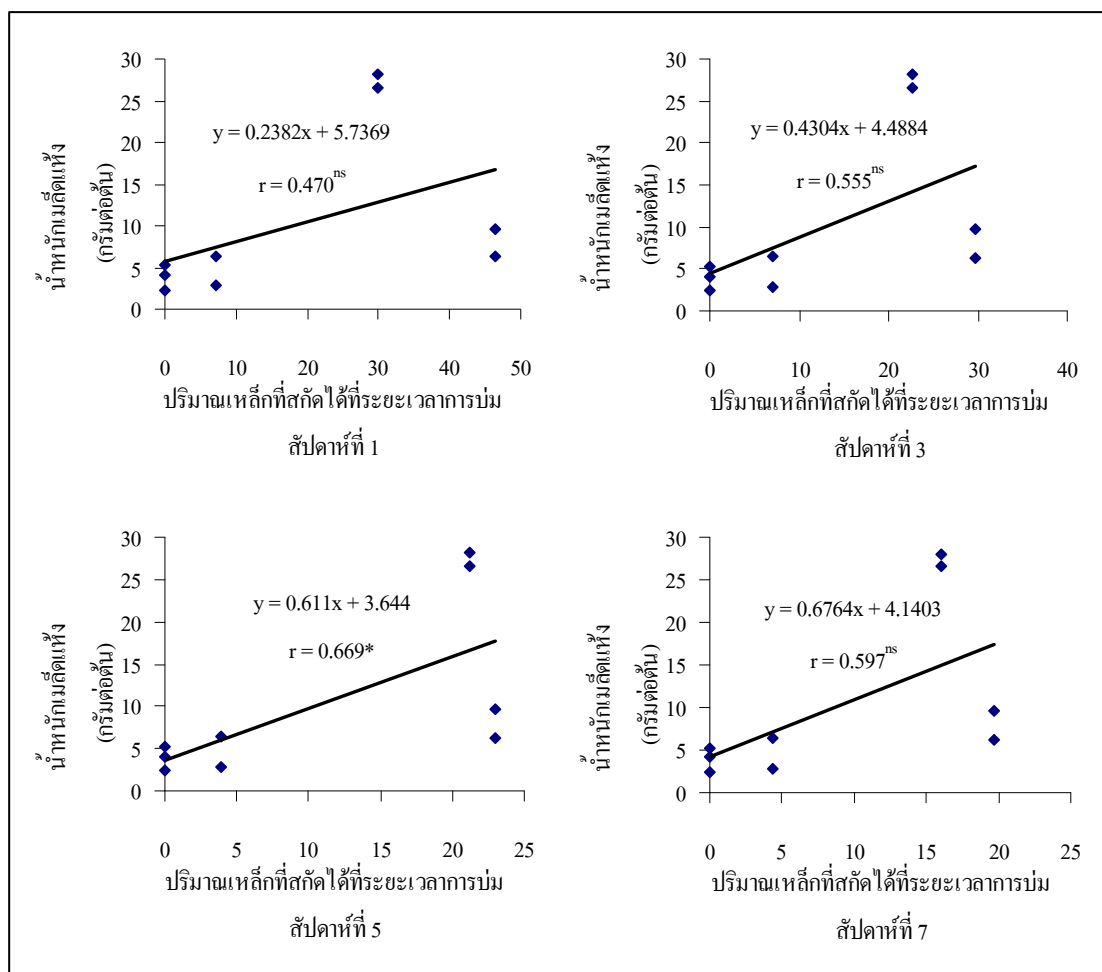
ภาพผนวกที่ 8 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กที่สกัดได้โดยน้ำยาสกัด 0.005 M DTPA pH 7.3 ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการบ่มดินกับปริมาณการดูดใช้เหล็กในเมล็ดถั่วลิสง



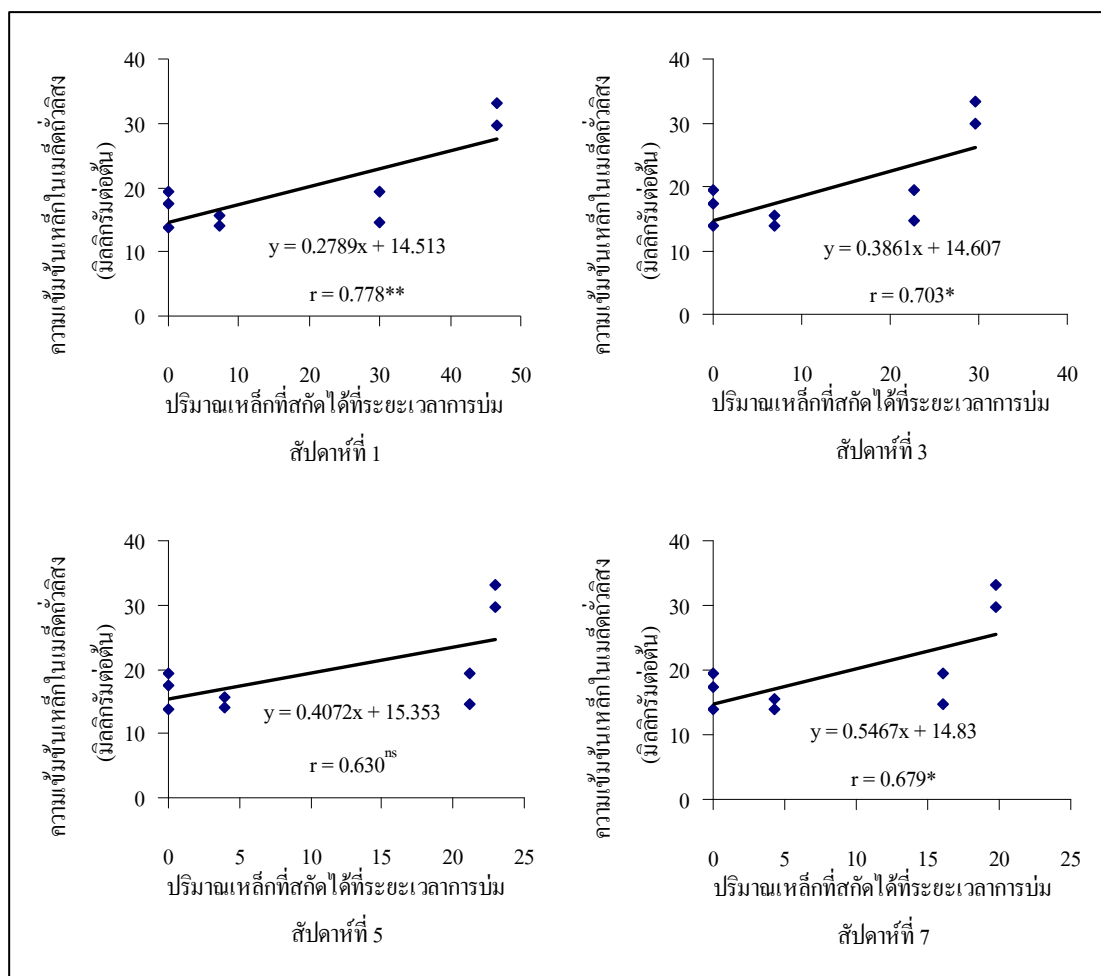
ภาพผนวกที่ 9 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเมล็ดที่สกัดได้โดยนำยาสกัด 0.01 M CaCl_2 ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการบ่มดินกับผลผลิตน้ำหนักต่อชั่งแห้งของถั่วลิสง



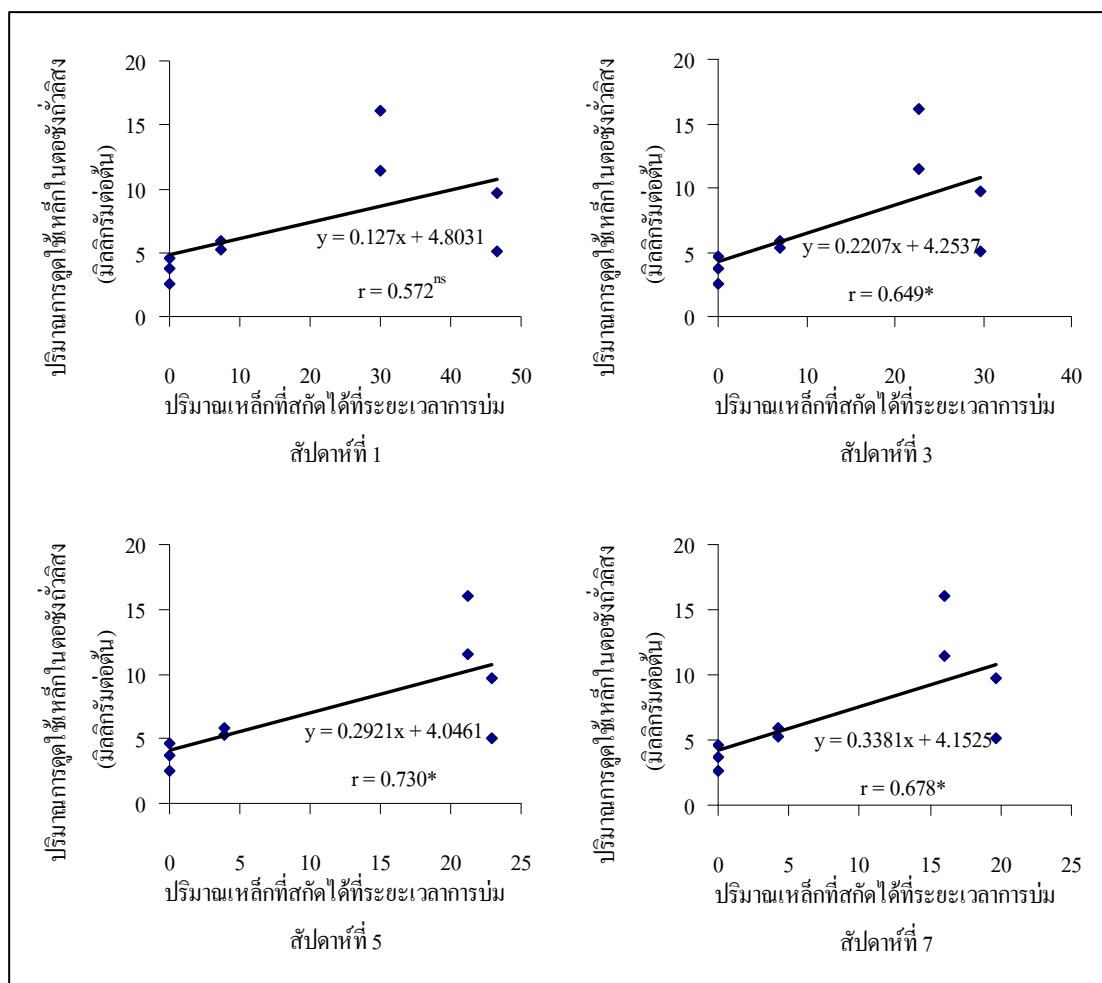
ภาพผนวกที่ 10 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเกลือที่สกัดได้โดยน้ำยาสกัด 0.01 M CaCl_2 ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการบ่มดินกับผลผลิตน้ำนํักฝักแห้งของถั่วลิสง



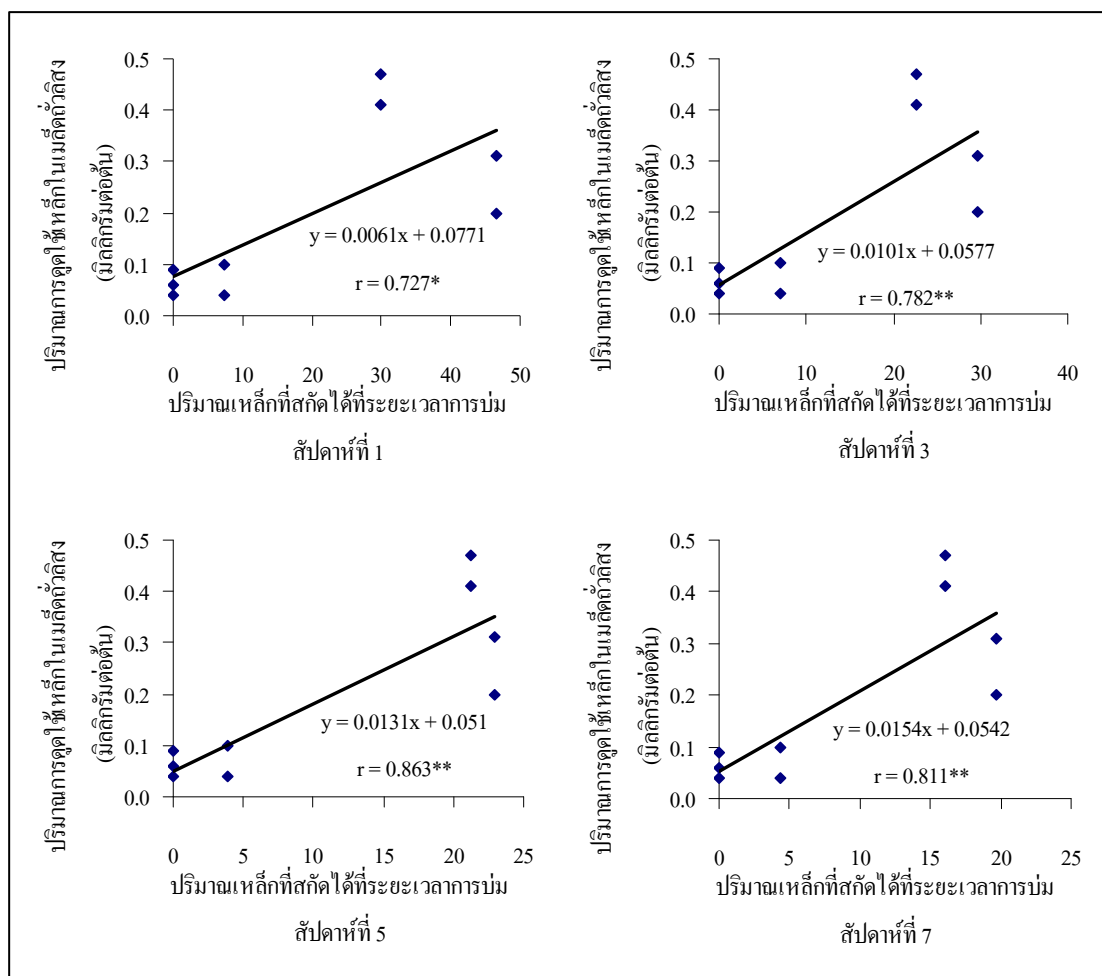
ภาพผนวกที่ 11 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กที่สกัดได้โดยน้ำยาสกัด $0.01\ M\ \text{CaCl}_2$ ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการบ่มดินกับผลผลิตน้ำหนักรวมของถั่วลิสง



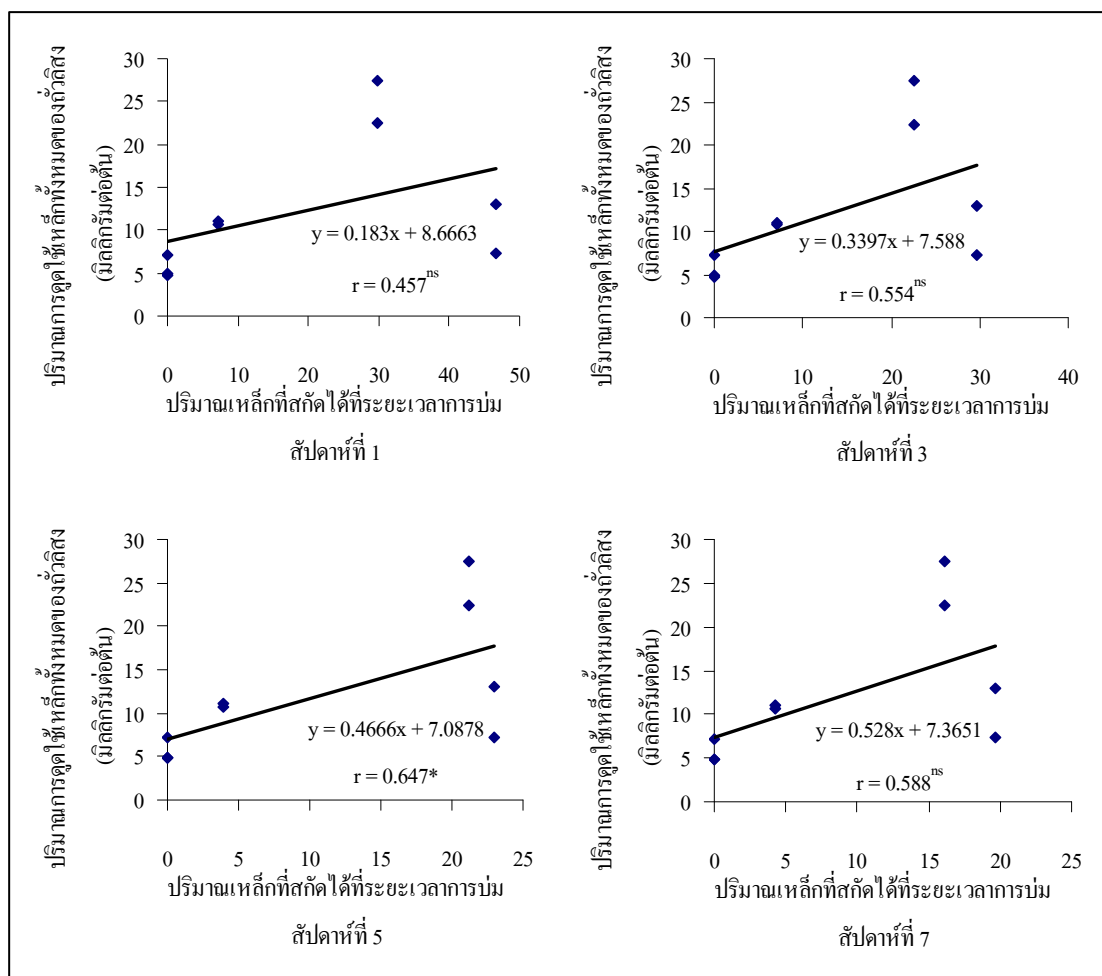
ภาพผนวกที่ 12 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเกลือที่สกัดได้โดยน้ำยาสกัด 0.01 M CaCl_2 ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการบ่มดินกับความเข้มข้นของเกลือในเมสส์ตัวลิส



ภาพผนวกที่ 13 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กที่สกัดได้โดยน้ำยาสกัด 0.01 M CaCl_2 ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการบ่มดินกับปริมาณการดูดใช้เหล็กในตอซังถั่วลิสง



ภาพผนวกที่ 14 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กที่สกัดได้โดยน้ำยาสกัด 0.01 M CaCl_2 ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการบ่มดินกับปริมาณการดูดใช้เหล็กในเมล็ดถั่วลิสง



ภาพผนวกที่ 15 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กที่สกัดได้โดยน้ำยาสกัด 0.01 M CaCl_2 ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการบ่มดินกับปริมาณการดูดใช้เหล็กทั้งหมดในถั่วลิสง

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล

นายพชร อริยะสกุล

วัน เดือน ปี ที่เกิด

วันที่ 3 เมษายน 2527

สถานที่เกิด

นนทบุรี

ประวัติการศึกษา

วท.บ. (เคมีเกษตร)