



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ปรัชญาคุษฎีบัณฑิต (ปฐพีวิทยา)

ปริญญา

ปฐพีวิทยา	ปฐพีวิทยา
สาขา	ภาควิชา
เรื่อง	การตอบสนองของข้าวโพดที่ปลูกในดินเนื้อปูนต่อชนิดและวิธีการใส่ปุ๋ยสังกะสีและประสิทธิภาพของน้ำยาสกัดบางชนิดในการประเมินสังกะสีที่เป็นประโยชน์ในดินเนื้อปูน Response of Corn Grown on Calcareous Soils to Zinc Sources and Methods of Application and Efficiency of Some Extractants for Assessing Available Zinc in Calcareous Soils
نامผู้วิจัย	นางสาวนันทฐา ทักษ์รัตนศรีณย์
ได้พิจารณาเห็นชอบโดย	
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	(รองศาสตราจารย์จรงค์ษ์ จันทร์เจริญสุข, D.Agr.)
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุเทพ ทองแพ, วท.ด.)
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	(รองศาสตราจารย์เอ็จ สโรบล, Ph.D.)
หัวหน้าภาควิชา	(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุเทพ ทองแพ, วท.ด.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญจนา วีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ _____ เดือน _____ พ.ศ. _____

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การตอบสนองของข้าวโพดที่ปลูกในดินเนื้อปูนต่อชนิดและวิธีการใส่ปุ๋ยสังกะสีและประสิทธิภาพของน้ำยาสกัดบางชนิดในการประเมินสังกะสีที่เป็นประโยชน์ในดินเนื้อปูน

Response of Corn Grown on Calcareous Soils to Zinc Sources and Methods of Application and Efficiency of Some Extractants for Assessing Available Zinc in Calcareous Soils

โดย

นางสาวนันทฐา ทักษ์รัตนศรีณย์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต (ปฐพีวิทยา)

พ.ศ. 2553

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

นัทธรา ทักษรัตน์ศรีชัย 2553: การตอบสนองของข้าวโพดที่ปลูกในดินเนื้อปูนต่อชนิดและวิธีการใส่ปุ๋ยสังกะสีและประสิทธิภาพของน้ำยาสกัดบางชนิดในการประเมินสังกะสีที่เป็นประโยชน์ในดินเนื้อปูน ปรินญาปรัชญาคุณฐิบัณฑิต (ปฐพีวิทยา) สาขาปฐพีวิทยา ภาควิชาปฐพีวิทยา
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์จรงค์ชัย จันทร์เจริญสุข, D.Agr. 150 หน้า

การศึกษานี้แบ่งเป็น 3 ส่วน ส่วนที่ 1 ศึกษาการตอบสนองของข้าวโพดที่ปลูกในดินเนื้อปูนชุดดินลพบุรี (Lb) ลำนารายณ์ (Ln) ชัยบาดาล (Cd) และตากลิ (Tk) ซึ่งมีปริมาณ Zn ที่เป็นประโยชน์ต่ำต่อปุ๋ย Zn ที่ใส่ในรูปแบบซิงค์ซัลเฟต ($ZnSO_4$), ซิงค์อีดีทีเอ ($ZnEDTA$) และ ซิงค์ซิเตรท ($Zn\ citrate$) (อัตรา 0.5, 1, 2 และ 4 $mg\ Zn\ kg^{-1}\ soil$) ในเรือนทดลอง ผลการศึกษาพบว่าข้าวโพดที่ปลูกในดินเนื้อปูนทั้ง 4 ชุดดินที่นำมาศึกษาขาด Zn การใส่ปุ๋ย Zn มีผลทำให้การเจริญเติบโต, ผลผลิตน้ำหนักแห้งและปริมาณการดูดใช้ Zn ของข้าวโพดเพิ่มขึ้นมากกว่าที่ไม่ได้รับการใส่ปุ๋ย Zn อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ผลผลิตน้ำหนักแห้งของข้าวโพดที่ปลูกในดินเนื้อปูนที่ศึกษาสูงสุดที่ช่วงอัตราการใส่ปุ๋ย Zn 2-4 $mg\ Zn\ kg^{-1}\ soil$ ประสิทธิภาพในการเพิ่มการเจริญเติบโต ผลผลิตน้ำหนักแห้งและปริมาณการดูดใช้ Zn ของข้าวโพดของ $ZnSO_4$, $ZnEDTA$ และ $Zn\ citrate$ ไม่แตกต่างกัน ส่วนที่ 2 ศึกษาผลการใส่ปุ๋ย Zn โดยการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ย Zn (สารละลาย $ZnSO_4$ เข้มข้น 0.4, 0.8 และ 1.6% Zn) 16 ชั่วโมง และการใส่ปุ๋ย Zn ทางดิน ($ZnSO_4$ อัตรา 2 $mg\ Zn\ kg^{-1}\ soil$) ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพดที่ปลูกในดินเนื้อปูนชุดดิน Lb, Ln, Cd และ Tk ในเรือนทดลอง ผลการศึกษาในทั้ง 4 ชุดดิน พบว่าการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลาย $ZnSO_4$ และการใส่ปุ๋ย Zn ทางดินมีผลในการเพิ่มปริมาณการดูดใช้ Zn, การเจริญเติบโตและผลผลิตฝักของข้าวโพดอย่างเด่นชัด เมื่อเปรียบเทียบกับที่ไม่ใส่ปุ๋ย Zn (ไม่มีการแช่เมล็ดข้าวโพดในสารละลายปุ๋ย Zn) ประสิทธิภาพในการเพิ่มการเจริญเติบโตและผลผลิตฝักข้าวโพดของการใส่ปุ๋ย Zn โดยวิธีการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ย Zn ใกล้เคียงกับที่ใส่ปุ๋ย Zn ทางดิน การให้ปุ๋ย Zn แก่ข้าวโพดทางเมล็ดโดยวิธีการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ย Zn มีประสิทธิภาพในการแก้การขาด Zn ของข้าวโพดที่ปลูกในดินเนื้อปูนและยังจะช่วยลดปริมาณปุ๋ย Zn ที่ใส่ซึ่งเป็นการลดต้นทุนในการผลิตด้วย ส่วนที่ 3 เป็นการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของน้ำยาสกัด DTPA, ammonium bicarbonate-DTPA (AB-DTPA), Mehlich3 และ EDTA-ammonium carbonate ($EDTA-(NH_4)_2CO_3$) ในการประเมิน Zn ที่เป็นประโยชน์ในดินเนื้อปูนชุดดิน Tk (2 ตัวอย่าง), Lb (2 ตัวอย่าง), Ln, Cd และ ชุดดินบ้านหมี่ (Bm) โดยศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ Zn ที่สกัดได้จากดินเนื้อปูน (7 ตัวอย่าง) โดยน้ำยาสกัด 4 ชนิดที่ศึกษากับปริมาณ Zn ที่ข้าวโพดดูดใช้ ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณ Zn ที่สกัดได้โดยน้ำยาสกัด DTPA, AB-DTPA, Mehlich3 และ $EDTA-(NH_4)_2CO_3$ มีความสัมพันธ์กับปริมาณการดูดใช้ Zn ของข้าวโพด ($r = 0.919^{**}, 0.924^{**}, 0.953^{**}$ และ 0.806^* ตามลำดับ) โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (r^2) เท่ากับ 0.845, 0.855, 0.910 และ 0.650 ตามลำดับ ผลการศึกษาดังกล่าวชี้ให้เห็นว่าน้ำยาสกัด DTPA, AB-DTPA และ Mehlich3 มีประสิทธิภาพในการประเมิน Zn ที่เป็นประโยชน์ในดินเนื้อปูนสูงกว่าน้ำยาสกัด $EDTA-(NH_4)_2CO_3$ และประสิทธิภาพของน้ำยาสกัด Mehlich3 สูงที่สุด

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Natta Takrattanasaran 2010: Response of Corn Grown on Calcareous Soils to Zinc Sources and Methods of Application and Efficiency of Some Extractants for Assessing Available Zinc in Calcareous Soils. Doctor of Philosophy (Soil Science), Major Field: Soil Science, Department of Soil Science. Thesis Advisor: Associate Professor Jongruk Chanchareonsook, D.Agr. 150 pages.

This investigation consisted of three parts. The first part was carried out in greenhouse to study the response of corn grown on calcareous soils, Lop Buri (Lb), Lum Narai (Ln), Chai Badan (Cd) and Takhli (Tk) series, low in available Zn content, to ZnSO₄, ZnEDTA and Zn citrate (application rate of 0.5, 1, 2 and 4 mg Zn kg⁻¹ soil). The results showed that corn grown on the four calcareous soils were deficient in Zn. Application of Zn fertilizers significantly increased the growth, dry matter yield and Zn uptake of corn as compared with the control (without Zn application). Maximum dry matter yield of corn was associated with fertilizer rates between 2 and 4 mg Zn kg⁻¹ soil. The effectiveness of ZnSO₄, ZnEDTA and Zn citrate in increasing growth, dry matter yield and Zn uptake of corn were similar. The second part was also conducted in the greenhouse to elucidate the effect of seed soaking with ZnSO₄ solution (at concentration of 0.4, 0.8 or 1.6% Zn, 16 hours) prior to planting and soil applied Zn (using ZnSO₄ at the rate of 2 mg Zn kg⁻¹) on growth and yield of corn grown on calcareous soils (Lb, Ln, Cd and Tk series). Results from four calcareous soils showed that seed soaking with ZnSO₄ solution and soil applied Zn increased Zn uptake, enhanced growth rate and increased corn yield (dry ear weight) significantly comparing with the control (unsoaked-seed). The effectiveness of seed soaking with ZnSO₄ solution and soil applied Zn in increasing growth and yield of corn were rather similar. These results suggested that seed soaked with ZnSO₄ solution prior to planting is effective and economical method for correcting Zn deficiency in corn grown on the calcareous soils of Thailand. In the third part, comparative study on the efficiency of four extractants including DTPA, ammonium bicarbonate-DTPA (AB-DTPA), Mehlich3 and EDTA-ammonium carbonate (EDTA-(NH₄)₂CO₃) for assessing available Zn in calcareous soils was investigated. The amount of Zn extracted from 7 calcareous soils by four extractants, was related to the amount of Zn taken up by corn grown in the greenhouse. The results showed that the amount of Zn extracted by DTPA, AB-DTPA, Mehlich3 and EDTA-(NH₄)₂CO₃ was significantly correlated with that absorbed by corn ($r = 0.919^{**}$, 0.924^{**} , 0.953^{**} and 0.806^* , respectively). The coefficient of determination (r^2) for the relationship between the amount of Zn taken up by corn and extracted by the four extractants was 0.845 (DTPA), 0.855 (AB-DTPA), 0.910 (Mehlich3) and 0.650 (EDTA-(NH₄)₂CO₃). This indicated that the efficiency of DTPA, AB-DTPA and Mehlich3 for estimating Zn availability in the calcareous soils were higher than that of EDTA-(NH₄)₂CO₃. Moreover, Mehlich3 was superior to AB-DTPA and DTPA.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.จรงค์ จันท์เจริญสุข อาจารย์ที่ปรึกษา
วิทยานิพนธ์หลักที่ได้กรุณาให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ทั้งในด้านการเรียนและแนวทางการ
ดำเนินชีวิตด้วยดีเสมอมา ตลอดจนให้ความดูแลเอาใจใส่และตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จน
สำเร็จลุล่วงได้อย่างสมบูรณ์ ขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุเทพ ทองแพ และ
รองศาสตราจารย์ ดร. เอ็จ สโรบล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วมที่กรุณาให้คำปรึกษาและเสนอ
ข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ ขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนุชัย กองแก้ว และ
ดร.พิชิต พงษ์สกุล ที่กรุณาให้คำแนะนำและตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยาทุกท่านที่ให้คำแนะนำและให้ความรู้
จนถึงปัจจุบัน ขอขอบคุณบุคลากรและเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาปฐพีวิทยาและโครงการ
พัฒนาวิชาการดิน ปุ๋ย และสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขนที่อนุเคราะห์ให้
ใช้สถานที่และอุปกรณ์ ตลอดจนให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำในการวิเคราะห์ตัวอย่างดินและ
พืช ขอกราบขอบพระคุณผู้อำนวยการสำนักงานพัฒนาที่ดินเขต 1 ที่สนับสนุนการศึกษามาโดย
ตลอด และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่มีส่วนช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์ ขอขอบคุณพี่ ๆ
เพื่อน ๆ ส่วนสำรวจดิน กรมพัฒนาที่ดิน ที่ช่วยเหลือให้คำแนะนำในการจำแนกดิน ตลอดจน
อนุเคราะห์อุปกรณ์และแผนที่ในการสำรวจและเก็บตัวอย่างดิน ขอขอบคุณสมาชิกสโมสรบัณฑิต
ปฐพีวิทยาทุกท่านที่สละเวลาให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ตลอดมา

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อทักษ์ และคุณแม่แสงทอง ทักษิ์รัตนศรีณย์ ที่เลี้ยงดู อบรมสั่ง
สอนและสนับสนุนในทุกด้าน ตลอดจนให้คำปรึกษาและกำลังใจแก่ข้าพเจ้าเสมอมา ขอกราบ
ขอบพระคุณ คุณนิ่มนวล ชนะหาญ คุณแสงเงิน วัฒนมาลา ที่ช่วยเลี้ยงดู สนับสนุนด้านการศึกษา
และให้กำลังใจมาโดยตลอด ขอกราบขอบพระคุณ Assoc. Prof. Paul G. Johnson และครอบครัว
จาก Utah State University ที่ให้กำลังใจและให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทดลองเพื่อ
ทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น ประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ขอบแต่ คุณพ่อ
คุณแม่ ครู อาจารย์ ญาติพี่น้อง ตลอดจนผู้มีพระคุณทุกท่านที่อบรม ขัดเกลาและให้ความรู้แก่
ข้าพเจ้ามาจนถึงปัจจุบัน

นัทธาทักษิ์รัตนศรีณย์

กันยายน 2553

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(7)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(10)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	20
อุปกรณ์	20
วิธีการ	22
ผลและวิจารณ์	36
สรุปและข้อเสนอแนะ	117
สรุป	117
ข้อเสนอแนะ	121
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	122
ภาคผนวก	133
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	150

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ชนิดของปุ๋ยสังกะสี	9
2	รายละเอียดน้ำยาสกัดสังกะสีที่เป็นประโยชน์ด้วยน้ำยาสกัดชนิดต่าง ๆ	33
3	สมบัติทางเคมีและฟิสิกส์บางประการของดินที่ทำการศึกษา	37
4	ผลการใส่ปุ๋ยสังกะสีในรูป ZnSO ₄ , ZnEDTA และ Zn citrate ต่อความสูงของข้าวโพดอายุ 20 วันที่ปลูกในดินเนื้อปูนชุดดินลพบุรี	39
5	ผลการใส่ปุ๋ยสังกะสีในรูป ZnSO ₄ , ZnEDTA และ Zn citrate ต่อความสูงของข้าวโพดอายุ 40 วันที่ปลูกในดินเนื้อปูนชุดดินลพบุรี	40
6	ผลการใส่ปุ๋ยสังกะสีในรูป ZnSO ₄ , ZnEDTA และ Zn citrate ต่อผลผลิตน้ำหนักแห้งของข้าวโพดที่ปลูกในดินเนื้อปูนชุดดินลพบุรี	42
7	ผลการใส่ปุ๋ยสังกะสีในรูป ZnSO ₄ , ZnEDTA และ Zn citrate ต่อปริมาณการดูดใช้สังกะสีทั้งหมดของข้าวโพดที่ปลูกในดินเนื้อปูนชุดดินลพบุรี	44
8	ผลการใส่ปุ๋ยสังกะสีในรูป ZnSO ₄ , ZnEDTA และ Zn citrate ต่อความสูงของข้าวโพดอายุ 20 วันที่ปลูกในดินเนื้อปูนชุดดินลำนารายณ์	47
9	ผลการใส่ปุ๋ยสังกะสีในรูป ZnSO ₄ , ZnEDTA และ Zn citrate ต่อความสูงของข้าวโพดอายุ 40 วันที่ปลูกในดินเนื้อปูนชุดดินลำนารายณ์	48
10	ผลการใส่ปุ๋ยสังกะสีในรูป ZnSO ₄ , ZnEDTA และ Zn citrate ต่อผลผลิตน้ำหนักแห้งของข้าวโพดที่ปลูกในดินเนื้อปูนชุดดินลำนารายณ์	50
11	ผลการใส่ปุ๋ยสังกะสีในรูป ZnSO ₄ , ZnEDTA และ Zn citrate ต่อปริมาณการดูดใช้สังกะสีทั้งหมดของข้าวโพดที่ปลูกในดินเนื้อปูนชุดดินลำนารายณ์	52
12	ผลการใส่ปุ๋ยสังกะสีในรูป ZnSO ₄ , ZnEDTA และ Zn citrate ต่อความสูงของข้าวโพดอายุ 20 วันที่ปลูกในดินเนื้อปูนชุดดินชัยบาดาล	55
13	ผลการใส่ปุ๋ยสังกะสีในรูป ZnSO ₄ , ZnEDTA และ Zn citrate ต่อความสูงของข้าวโพดอายุ 40 วันที่ปลูกในดินเนื้อปูนชุดดินชัยบาดาล	56
14	ผลการใส่ปุ๋ยสังกะสีในรูป ZnSO ₄ , ZnEDTA และ Zn citrate ต่อผลผลิตน้ำหนักแห้งของข้าวโพดที่ปลูกในดินเนื้อปูนชุดดินชัยบาดาล	58

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
15	ผลการใส่ปุ๋ยสังกะสีในรูป ZnSO ₄ , ZnEDTA และ Zn citrate ต่อปริมาณการดูดใช้สังกะสีทั้งหมดของข้าวโพดที่ปลูกในดินเนื้อปูนชุดดินชัยบาดาล	60
16	ผลการใส่ปุ๋ยสังกะสีในรูป ZnSO ₄ , ZnEDTA และ Zn citrate ต่อความสูงของข้าวโพดอายุ 20 วันที่ปลูกในดินเนื้อปูนชุดดินตาคลี	63
17	ผลการใส่ปุ๋ยสังกะสีในรูป ZnSO ₄ , ZnEDTA และ Zn citrate ต่อความสูงของข้าวโพดอายุ 40 วันที่ปลูกในดินเนื้อปูนชุดดินตาคลี	64
18	ผลการใส่ปุ๋ยสังกะสีในรูป ZnSO ₄ , ZnEDTA และ Zn citrate ต่อผลผลิตน้ำหนักร้อยละของข้าวโพดที่ปลูกในดินเนื้อปูนชุดดินตาคลี	66
19	ผลการใส่ปุ๋ยสังกะสีในรูป ZnSO ₄ , ZnEDTA และ Zn citrate ต่อปริมาณการดูดใช้สังกะสีทั้งหมดของข้าวโพดที่ปลูกในดินเนื้อปูนชุดดินตาคลี	68
20	ความเข้มข้นของสังกะสีในเมล็ดข้าวโพดก่อนและหลังจากการแช่เมล็ดในสารละลาย ZnSO ₄ เข้มข้น 0.4% 0.8% และ 1.6% สังกะสี	73
21	ร้อยละผลผลิตน้ำหนักร้อยละของข้าวโพดที่ได้รับการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในดินเนื้อปูนชุดดินลพบุรีในสารละลายปุ๋ยสังกะสีและที่ได้รับการใส่ปุ๋ยทางดิน	76
22	ร้อยละผลผลิตน้ำหนักร้อยละของข้าวโพดที่ได้รับการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในดินเนื้อปูนชุดดินลำนารายณ์สารละลายปุ๋ยสังกะสีและที่ได้รับการใส่ปุ๋ยทางดิน	81
23	ร้อยละผลผลิตน้ำหนักร้อยละของข้าวโพดที่ได้รับการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในดินเนื้อปูนชุดดินชัยบาดาลในสารละลายปุ๋ยสังกะสีและที่ได้รับการใส่ปุ๋ยทางดิน	87
24	ร้อยละผลผลิตน้ำหนักร้อยละของข้าวโพดที่ได้รับการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในดินเนื้อปูนชุดดินตาคลีในสารละลายปุ๋ยสังกะสีและที่ได้รับการใส่ปุ๋ยทางดิน	92

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
25	ค่าวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและฟิสิกส์บางประการของดินที่ทำการศึกษา	100
26	ปริมาณสังกะสีในดินเนื้ปฐที่สกัดด้วยน้ำยาสกัด DTPA, AB-DTPA, Mehlich3 และ EDTA-(NH ₄) ₂ CO ₃ (เฉลี่ย 3 ซ้ำ)	104
27	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสังกะสีที่สกัดได้โดยวิธีที่ใช้น้ำยาสกัดต่าง ๆ	105
28	สมการถดถอยเชิงเส้นตรงแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสังกะสีที่สกัดจากดินโดยน้ำยาสกัด DTPA, Mehlich3, AB-DTPA และ EDTA-(NH ₄) ₂ CO ₃ และค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด	106
29	พารามิเตอร์การเจริญเติบโตของข้าวโพด (เฉลี่ย 3 ซ้ำ) ที่ใช้หาความสัมพันธ์กับค่าวิเคราะห์ปริมาณสังกะสีในดินที่สกัดด้วยน้ำยาสกัด DTPA, AB-DTPA, Mehlich3 และ EDTA-(NH ₄) ₂ CO ₃	108
30	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสังกะสีที่สกัดโดยวิธีสกัดต่าง ๆ กับพารามิเตอร์การเจริญเติบโตของข้าวโพด	109
31	สมการถดถอยเชิงเส้นตรงแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์การเจริญเติบโตของข้าวโพด (Y) และปริมาณสังกะสีที่สกัดได้โดยน้ำยาสกัด DTPA, AB-DTPA, Mehlich3 และ EDTA-(NH ₄) ₂ CO ₃ (X) และค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (r ²)	110

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
1 ปริมาณสังกะสีที่เป็นประโยชน์ในดินหลังจากปลูกข้าวโพดจากการปุ๋ยสังกะสี ในรูปแบบ ZnSO ₄ , ZnEDTA และ Zn citrate	134
2 ผลการใส่ปุ๋ยสังกะสีโดยวิธีการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ย สังกะสีและการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางดิน ต่อความสูง, ผลผลิตน้ำหนักรากแห้ง และ ปริมาณการดูดใช้สังกะสีทั้งหมดของข้าวโพดที่ปลูกในชุดดินลพบุรี	135
3 ผลการใส่ปุ๋ยสังกะสีโดยวิธีการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ย สังกะสีและการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางดิน ต่อความสูง, ผลผลิตน้ำหนักรากแห้ง และ ปริมาณการดูดใช้สังกะสีทั้งหมดของข้าวโพดที่ปลูกในชุดดินถ่านารายณ์	136
4 ผลการใส่ปุ๋ยสังกะสีโดยวิธีการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ย สังกะสีและการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางดิน ต่อความสูง, ผลผลิตน้ำหนักรากแห้ง และ ปริมาณการดูดใช้สังกะสีทั้งหมดของข้าวโพดที่ปลูกในชุดดินชัยบาดาล	137
5 ผลการใส่ปุ๋ยสังกะสีโดยวิธีการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ย สังกะสีและการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางดิน ต่อความสูง, ผลผลิตน้ำหนักรากแห้ง และ ปริมาณการดูดใช้สังกะสีทั้งหมดของข้าวโพดที่ปลูกในชุดดินตาคลี	138
6 ผลผลิตน้ำหนักรากแห้งเฉลี่ยของข้าวโพด (g pot ⁻¹) ที่ปลูกในดินทั้ง 7 ตัวอย่างใน ตำรับทดลองต่าง ๆ	139
7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนผลผลิตน้ำหนักรากแห้งของข้าวโพดที่ปลูกในดินทั้ง 7 ตัวอย่างในตำรับทดลองต่าง ๆ	140
8 ปริมาณสังกะสีทั้งหมดที่ข้าวโพดดูดใช้ (mg Zn pot ⁻¹) ที่ปลูกในดินทั้ง 7 ตัวอย่างในตำรับทดลองต่าง ๆ	141
9 การวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณสังกะสีทั้งหมดที่ข้าวโพดดูดใช้ที่ปลูกใน ดินทั้ง 7 ตัวอย่างในตำรับทดลองต่าง ๆ	142

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
10	ความเข้มข้นของสังกะสีในข้าวโพด (mg Zn kg^{-1}) ในตำรับทดลองต่าง ๆ	143
11	การวิเคราะห์ความแปรปรวนความเข้มข้นของสังกะสีในข้าวโพดที่ปลูกในดิน ทั้ง 7 ตัวอย่าง ในตำรับทดลองต่าง ๆ	144
12	ข้อจำกัดของสมบัติทางเคมีที่ใช้ประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน	145
13	แสดงระดับความเป็นประโยชน์ Zn, Cu, Fe และ Mn ในดินซึ่งวิเคราะห์โดย วิธี DTPA และ AB-DTPA	148
14	แสดงการเปลี่ยน non SI unit เป็น SI unit	149

สารบัญญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ปริมาณสังกะสีที่เป็นประโยชน์ (DTPA-Zn) ในดินเนื้อปูนชุดดินลพบุรีหลังการเก็บเกี่ยวข้าวโพดที่ได้รับการใส่ ZnSO ₄ , ZnEDTA และ Zn citrate	45
2	ปริมาณสังกะสีที่เป็นประโยชน์ (DTPA-Zn) ในดินเนื้อปูนชุดดินถ่านารายณ์หลังการเก็บเกี่ยวข้าวโพดที่ได้รับการใส่ ZnSO ₄ , ZnEDTA และ Zn citrate	53
3	ปริมาณสังกะสีที่เป็นประโยชน์ (DTPA-Zn) ในดินเนื้อปูนชุดดินชัยบาดาลหลังการเก็บเกี่ยวข้าวโพดที่ได้รับการใส่ ZnSO ₄ , ZnEDTA และ Zn citrate	61
4	ปริมาณสังกะสีที่เป็นประโยชน์ (DTPA-Zn) ในดินเนื้อปูนชุดดินตากลิหลังการเก็บเกี่ยวข้าวโพดที่ได้รับการใส่ ZnSO ₄ , ZnEDTA และ Zn citrate	69
5	ผลของการใส่ปุ๋ยสังกะสีโดยวิธีการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสีและการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางดิน ต่อความสูงข้าวโพด (a) อายุ 20 วัน และ (b) 40 วัน น้ำหนักแห้ง (c) ตอซัง และ (d) ฝัก ที่ปลูกในดินเนื้อปูนชุดดินลพบุรี	75
6	ผลของการใส่ปุ๋ยสังกะสีโดยวิธีการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสีและการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางดิน ต่อปริมาณการดูดใช้สังกะสีทั้งหมดในข้าวโพดที่ปลูกในดินเนื้อปูนชุดดินลพบุรี	77
7	ปริมาณสังกะสีที่เป็นประโยชน์ในดินหลังการเก็บเกี่ยวข้าวโพดที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีโดยวิธีการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสีและที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางดินในดินเนื้อปูนชุดดินลพบุรี	78
8	ผลของการใส่ปุ๋ยสังกะสีโดยวิธีการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสีและการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางดิน ต่อความสูงข้าวโพด (a) อายุ 20 วัน และ (b) 40 วัน น้ำหนักแห้ง (c) ตอซังและ (d) ฝัก ที่ปลูกในดินเนื้อปูนชุดดินถ่านารายณ์	80
9	ผลของการใส่ปุ๋ยสังกะสีโดยวิธีการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสีและการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางดิน ต่อปริมาณการดูดใช้สังกะสีทั้งหมดในข้าวโพดที่ปลูกในดินเนื้อปูนชุดดินถ่านารายณ์	82

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
10	ปริมาณสังกะสีที่เป็นประโยชน์ในดินหลังการเก็บเกี่ยวข้าวโพดที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีโดยวิธีการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสีและที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางดินในดินเนื้อปูนชุดดินลำนารายณ์	83
11	ผลของการใส่ปุ๋ยสังกะสีโดยวิธีการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสีและการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางดิน ต่อความสูงข้าวโพด (a) อายุ 20 วัน และ (b) 40 วัน น้ำหนักแห้ง (c) ตอซังและ (d) ฟัก ที่ปลูกในดินเนื้อปูนชุดดินชัยบาดาล	86
12	ผลของการใส่ปุ๋ยสังกะสีโดยวิธีการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสีและการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางดิน ต่อปริมาณการดูดใช้สังกะสีทั้งหมดในข้าวโพดที่ปลูกในดินเนื้อปูนชุดดินชัยบาดาล	88
13	ปริมาณสังกะสีที่เป็นประโยชน์ในดินหลังการเก็บเกี่ยวข้าวโพดที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีโดยวิธีการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสีและที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางดินในดินเนื้อปูนชุดดินชัยบาดาล	89
14	ผลของการใส่ปุ๋ยสังกะสีโดยวิธีการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสีและการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางดิน ต่อความสูงข้าวโพด (a) อายุ 20 วัน และ (b) 40 วัน น้ำหนักแห้ง (c) ตอซังและ (d) ฟัก ที่ปลูกในดินเนื้อปูนชุดดินตาคลี	91
15	ผลของการใส่ปุ๋ยสังกะสีโดยวิธีการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสีและการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางดิน ต่อปริมาณการดูดใช้สังกะสีทั้งหมดในข้าวโพดที่ปลูกในดินเนื้อปูนชุดดินตาคลี	93
16	ปริมาณสังกะสีที่เป็นประโยชน์ในดินหลังการเก็บเกี่ยวข้าวโพดที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีโดยวิธีการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสีและที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางดินในดินเนื้อปูนชุดดินตาคลี	94
17	ผลการใส่ปุ๋ยสังกะสีต่อผลิตน้ำหนักรากแห้งข้าวโพดที่ปลูกในตัวอย่างดินเนื้อปูนที่ศึกษา	102

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
18	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสังกะสีที่สกัดได้โดยวิธี (a) Mehlich3 กับ DTPA (b) AB-DTPA กับ DTPA และ (c) EDTA-(NH ₄) ₂ CO ₃ กับ DTPA (d) AB-DTPA กับ Mehlich3 (e) EDTA-(NH ₄) ₂ CO ₃ กับ Mehlich3 และ (f) EDTA-(NH ₄) ₂ CO ₃ กับ AB-DTPA	107
19	ความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตน้ำหนักแห้งของข้าวโพดกับปริมาณสังกะสีที่สกัดโดยน้ำยาสกัด (a) DTPA (b) Mehlich3 และ (c) AB-DTPA	111
20	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสังกะสีทั้งหมดที่ข้าวโพดดูดใช้กับปริมาณสังกะสีที่สกัดโดยน้ำยาสกัด (a) DTPA (b) Mehlich3 (c) AB-DTPA และ (d) EDTA-(NH ₄) ₂ CO ₃	113
21	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสังกะสีในข้าวโพดกับปริมาณสังกะสีที่สกัดโดยวิธี (a) DTPA (b) Mehlich3 และ (c) AB-DTPA	115

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

Zn	=	Zinc
Fe	=	Iron
N	=	Nitrogen
P	=	Phosphorus
K	=	Potassium
Lb	=	Lop Buri soil series
Ln	=	Lum Narai soil series
Cd	=	Chai Badan soil series
Tk	=	Takhli soil series
Bm	=	Ban Mi soil series
CV	=	Coefficient of variation
DMRT	=	Duncan' new multiple's range test
SE Mean	=	Standard error of means
EDTA	=	Ethylenedianine tetraacetic acid
DTPA	=	Diethylenetriamine pentaacetic acid
AB-DTPA	=	Ammonium bicarbonate-DTPA
(NH ₄) ₂ CO ₃	=	Ammonium carbonate
EDDHA	=	Ethylenediamine di o-hydroxyphenylacetic acid

การตอบสนองของข้าวโพดที่ปลูกในดินเนื้อปูนต่อชนิดและวิธีการใส่ปุ๋ยสังกะสี
และประสิทธิภาพของน้ำยาสกัดบางชนิดในการประเมินสังกะสีที่เป็นประโยชน์
ในดินเนื้อปูน

**Response of Corn Grown on Calcareous Soils to Zinc Sources and Methods of
Application and Efficiency of Some Extractants for Assessing Available Zinc
in Calcareous Soils**

คำนำ

ข้าวโพด (*Zea mays* L.) เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งของประเทศไทย ข้าวโพดที่ผลิตนอกจากจะใช้เพื่อบริโภคภายในประเทศแล้ว ยังส่งออกไปจำหน่ายยังตลาดต่างประเทศทำรายได้สูง (Office of Agricultural Economics, 2009) เกษตรกรของประเทศไทยมีการปลูกข้าวโพดในพื้นที่ที่เป็นดินเนื้อปูนกันอย่างแพร่หลาย ดินเนื้อปูนเป็นดินที่มีแคลเซียมคาร์บอเนตและแมกนีเซียมคาร์บอเนตสะสมในดินในปริมาณที่มาก ดินมีพีเอชสูง ปริมาณจุลธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ในดินโดยทั่วไปต่ำ (Tan, 1992; Havlin *et al.*, 2005) ข้าวโพดที่ปลูกในดินเนื้อปูนมักมีปัญหาเกี่ยวกับการขาดจุลธาตุอาหาร โดยเฉพาะสังกะสี เนื่องจากข้าวโพดเป็นพืชที่ไวต่อการขาดสังกะสีส่งผลให้ผลผลิตข้าวโพดต่ำ (สุวพันธ์ และคณะ, 2532; สรสิทธิ์ และคณะ, 2533; มนัสนันท์, 2550; Goos *et al.*, 2000; Tariq *et al.*, 2002; Alvarez and Rico, 2003; Harris *et al.*, 2007) ในการเพิ่มผลผลิตของข้าวโพดจำเป็นต้องมีการเพิ่มสังกะสีหรือใส่ปุ๋ยสังกะสีให้แก่ข้าวโพดที่ปลูกในดินดังกล่าว ปุ๋ยสังกะสีมีหลายชนิด ทั้งในรูปสารประกอบอนินทรีย์, รูปคีเลตและรูปของสารประกอบเชิงซ้อนอินทรีย์ สำหรับวิธีการใส่ปุ๋ยสังกะสีมีหลายวิธี อาทิ การใส่ทางดิน, การให้ปุ๋ยทางใบ, การให้ปุ๋ยพร้อมการให้น้ำชลประทาน และการให้ปุ๋ยทางเมล็ดซึ่งอาจทำได้โดยการเคลือบเมล็ดด้วยปุ๋ยสังกะสีหรือโดยการแช่เมล็ดในสารละลายปุ๋ยสังกะสี (Martens and Westermann, 1991; Mortvedt and Gilkes, 1993) เพื่อเลือกใช้ชนิดและวิธีการใส่ปุ๋ยสังกะสีที่ถูกต้องเหมาะสมและมีประสิทธิภาพในการเพิ่มผลผลิตข้าวโพดที่ปลูกในดินเนื้อปูนจึงได้ศึกษาการตอบสนองของข้าวโพดที่ปลูกในดินเนื้อปูนต่อชนิดและวิธีการใส่ปุ๋ยสังกะสี ในการประเมินระดับความเป็นประโยชน์ของสังกะสีในดินว่าเพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืชหรือไม่มักประเมินจากค่าการวิเคราะห์ดินซึ่งเป็นวิธีที่สะดวกและรวดเร็ว วิธีการวิเคราะห์สังกะสีที่เป็นประโยชน์ในดินมีหลายวิธีซึ่งวิธีที่นิยมใช้คือ วิธีที่ใช้น้ำยาสกัด DTPA อย่างไรก็ตามวิธีที่ใช้น้ำยาสกัด Mehlich3 และ AB-DTPA ก็เป็นวิธีที่มีการใช้

อย่างแพร่หลายในการประเมินความเป็นประโยชน์ของสังกะสีในดินเนื้อปูน รวมทั้งวิธีที่ใช้น้ำยาสกัด $\text{EDTA}-(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ การศึกษานี้จึงได้ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของน้ำยาสกัดดังกล่าวทั้ง 4 ชนิดในการประเมินสังกะสีที่เป็นประโยชน์ในดินเนื้อปูนด้วย

การศึกษานี้แบ่งเป็น 3 ส่วน ส่วนที่ 1 ศึกษาการตอบสนองของข้าวโพดที่ปลูกในดินเนื้อปูนต่อปุ๋ยสังกะสี ในรูป ZnSO_4 , ZnEDTA และ Zn citrate ส่วนที่ 2 ศึกษาการตอบสนองของข้าวโพดที่ปลูกในดินเนื้อปูนต่อวิธีการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางเมล็ด โดยวิธีการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสีและวิธีการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางดิน ส่วนที่ 3 ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพน้ำยาสกัด DTPA , Mehlich3 , AB-DTPA และ $\text{EDTA}-(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ ในการประเมินสังกะสีที่เป็นประโยชน์ในดินเนื้อปูน

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบการตอบสนองของข้าวโพดที่ปลูกในดินเนื้อปูนต่อปุ๋ยสังกะสีในรูปแบบ $ZnSO_4$, ZnEDTA และ Zn citrate
2. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบการตอบสนองของข้าวโพดที่ปลูกในดินเนื้อปูนต่อการใส่ปุ๋ยสังกะสี โดยการแช่เมล็ดข้าวโพดในสารละลายสังกะสีก่อนปลูกและการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางดิน
3. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของน้ำยาสกัด DTPA, Mehlich3, AB-DTPA และ $EDTA-(NH_4)_2CO_3$ ในการประเมินความเป็นประโยชน์ของสังกะสีในดินเนื้อปูนต่อข้าวโพด

การตรวจเอกสาร

1. ธาตุอาหารสังกะสี

สังกะสีเป็นจุลธาตุอาหารที่มีความสำคัญและจำเป็นต่อการเจริญเติบโตรวมทั้งการให้ผลผลิตและคุณภาพของพืช สังกะสีเป็นธาตุอาหารที่ไม่เคลื่อนย้ายในพืช (immobile) เมื่อพืชได้รับสังกะสีไม่เพียงพอ อาการขาดสังกะสีจึงแสดงที่ใบยอดหรือใบอ่อน การเจริญเติบโตและคุณภาพผลผลิตของพืชจะต่ำ การขาดสังกะสีของพืชพบในพื้นที่การเกษตรหลายแห่งทั่วโลก (Havlin *et al.*, 2005; Alloway, 2008)

1.1 สังกะสีในดิน

ปริมาณสังกะสีในดินโดยทั่วไปอยู่ในช่วง 10-300 mg Zn kg⁻¹ เฉลี่ยประมาณ 50 mg Zn kg⁻¹ (Kiekens, 1995) โดยทั่วไปปริมาณสังกะสีทั้งหมดในดินจะมีความสัมพันธ์กับชนิดของหินต้นกำเนิด (parent rock material) (Kabata-Pendias and Pendias, 2000) หินอัคนีสีเข้ม เช่น หินบะซอลต์ และแกรบโบร มีปริมาณสังกะสีมากกว่าหินอัคนีสีจาง เช่น ไดออไรต์และแอนดิไซท์ หินแกรนิตมีสังกะสี 48 mg Zn kg⁻¹ ส่วนหินตะกอน Bituminous shales เป็นหินที่มีสังกะสีมากที่สุด 200 mg Zn kg⁻¹ หินดินดาน (Shales) มีสังกะสี 120 mg Zn kg⁻¹ มากกว่าหินทรายและหินปูน ซึ่งมีสังกะสี 30 และ 20 mg Zn kg⁻¹ ตามลำดับ (Krauskopf 1967 and Wedepohl, 1978) ดินที่เกิดจากหินปูนและหินทรายที่สลายตัว มีแนวโน้มปริมาณสังกะสีต่ำกว่าดินที่เกิดจากการสลายตัวของหินดินดาน นอกจากชนิดของหินต้นกำเนิดในเปลือกโลกแล้ว ปริมาณสังกะสียังมีความสัมพันธ์กับชนิดแร่ในดินในแต่ละพื้นที่ องค์ประกอบของแร่สังกะสี ได้แก่ Sphalerite (ZnS), Smithsonite (ZnCO₃), Zincite (ZnO), Zinkosite (ZnSO₄), Franklinite (ZnFe₂O₄) และ Hopeite (Zn₃(PO₄)₂·4H₂O) แร่สังกะสีที่พบมากที่สุดในดิน คือ Sphalerite (ZnS) (Alloway, 2008)

รูปของสังกะสีในดินได้แก่ (1) รูปที่ละลายน้ำได้ ได้แก่ Zn²⁺ ที่ละลายอยู่ในสารละลายดิน (soil solution) (2) รูปที่เป็นไอออนดูดซับและแลกเปลี่ยนได้โดยดูดซับอยู่ที่ผิวของคอลลอยด์ดิน (3) รูปที่เข้าร่วมในลักษณะสารประกอบเชิงซ้อนหรือคีเลตกับอินทรีย์วัตถุ (4) รูปที่ดูดซับหรือเข้าแทนที่ธาตุอื่นในแร่ดินเหนียวและโลหะออกไซด์ที่ไม่ละลายน้ำ (5) รูปที่เป็นองค์ประกอบของแร่ปฐมภูมิและแร่ทุติยภูมิ ปริมาณสังกะสีที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดินจะถูกควบคุมโดยปริมาณ

ของสังกะสีที่ละลายอยู่ในสารละลายดิน ปริมาณสังกะสีที่ดูดซับและแลกเปลี่ยนได้บนแร่ดินเหนียวและผิวของอินทรีย์วัตถุรวมทั้งปริมาณสังกะสีในรูปสารประกอบเชิงซ้อน หรือ ที่เลดกับอินทรีย์วัตถุในดิน (Shuman, 1991; Havlin *et al.*, 2005)

1.2 ความสำคัญและบทบาทของสังกะสีต่อการเจริญเติบโตของพืช

พืชดูดใช้สังกะสีในรูป ไดวาเลนต์แคตไอออน (Zn^{2+}) ซึ่งอยู่ในสารละลายดินกับส่วนของสังกะสีที่แลกเปลี่ยนได้ ในสภาพที่ดินมี pH สูง สังกะสีส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปโมโนวาเลนต์แคตไอออน ($ZnOH^+$) ซึ่งเป็นประโยชน์กับพืชน้อยลง และเมื่อ pH ดินสูงมาก สังกะสีจะตกตะกอนเป็น $Zn(OH)_2$ หรือ $ZnCO_3$ (Coleman, 1992) สังกะสีมีความสำคัญโดยมีบทบาทต่อสรีระของพืช สังกะสีทำหน้าที่ทั้งเชิงโครงสร้างและช่วยเร่งปฏิกิริยาในเอนไซม์หลายชนิดในกระบวนการทางชีวเคมีที่สำคัญต่าง ๆ (Welch *et al.*, 1982; Sharma *et al.*, 1990; Brown *et al.*, 1993) ได้แก่

1.2.1 การสังเคราะห์แสง และการเปลี่ยนน้ำตาลเป็นแป้ง (carbohydrate metabolism)

1.2.2 การสร้างโปรตีนในพืช พืชที่ขาดสังกะสีโปรตีนจะลดลง ความเข้มข้นของ free amino acid จะเพิ่มขึ้น (protein metabolism)

1.2.3 การสร้างออกซิน ซึ่งควบคุมการเจริญเติบโต การขาดสังกะสีมีผลทำให้พืชแคระแกรน

1.2.4 การพัฒนาเกสรของพืช การขาดสังกะสีจะมีผลทำให้การพัฒนาของเกสรพืชลดลง ผลผลิตลดลงเนื่องจากไม่ติดเมล็ดในฝัก

1.2.5 รักษาความสมบูรณ์ของเยื่อหุ้มเซลล์ การขาดสังกะสีมีผลให้เยื่อหุ้มเซลล์ของพืชมีรอยร้าวซึมทำให้โครงสร้างเซลล์ผิดปกติ

1.2.6 ด้านทานการติดเชื้อหรือเชื้อสาเหตุโรคพืช สังกะสีมีผลในการช่วยต้านทานเชื้อสาเหตุโรคพืชบางชนิด

เมื่อพืชขาดสังกะสีจะมีผลกระทบต่อกระบวนการ metabolism ในพืช ในด้านการเจริญเติบโต ผลผลิตและคุณภาพผลผลิตจะต่ำ พืชแสดงอาการคลอโรซิส ต้นแคระแกรน สังกะสีในพืชโดยทั่วไปอยู่ในช่วง 25-150 mg kg⁻¹ ของน้ำหนักแห้งพืช พืชจะแสดงอาการขาดสังกะสีเมื่อปริมาณสังกะสีในใบน้อยกว่า 10-20 mg kg⁻¹ ของน้ำหนักแห้งพืช ขึ้นอยู่กับชนิดของพืช (Havlin *et*

al., 2005) ธาตุสังกะสีสะสมในส่วนต่างๆ ของพืชในปริมาณแตกต่างกัน โดยส่วนของลำต้นมากกว่าใบและผล ตามลำดับ (Brown *et al.*, 1966; Saughell; 1969)

1.3 ปัจจัยที่มีผลต่อความเป็นประโยชน์ของสังกะสีในดินต่อพืชมีดังนี้ (Lindsay *et al.*, 1972; Havlin *et al.*, 2005; Ganoie *et al.*, 2007; Alloway, 2008)

1.3.1 พีเอชดิน (soil pH) ความเป็นประโยชน์ของสังกะสีในดินจะลดลงเมื่อพีเอชของดินเพิ่มขึ้น ที่พีเอชสูง ๆ สังกะสีจะตกตะกอนอยู่ในรูปสังกะสีที่ไม่ละลายน้ำ อาทิ ในรูป $ZnFe_2O_4$ และ/หรือ $ZnSiO_4$ ทำให้ความเป็นประโยชน์ของสังกะสีลดลง

1.3.2 การดูดซับสังกะสี (Zn adsorption) Zn^{2+} จะถูกดูดซับที่พื้นผิวของพวกออกไซด์และแร่ดินเหนียวและถูกดูดซับโดย $MgCO_3$, $CaMg(CO_3)_2$ และ $CaCO_3$ การดูดซับสังกะสีโดยการบอนด์จะเป็นปัจจัยหลักในการลดความเป็นประโยชน์ของสังกะสีในดินเมื่อปุ๋ย

1.3.3 ปฏิสัมพันธ์ (interaction) กับธาตุอื่น ๆ ทองแดง เหล็กและแมงกานีส เป็นธาตุที่ขัดขวางการดูดซับสังกะสีของพืช นอกจากนี้ถ้าดินมีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในปริมาณที่สูงจะก่อให้เกิดการขาดสังกะสีของพืชได้ สังกะสีจะทำปฏิกิริยากับฟอสเฟตเกิดเป็น $Zn_3(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$ ในรูปที่ไม่ละลายน้ำ

1.3.4 ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน ดินที่มีปริมาณอินทรีย์วัตถุต่ำปริมาณสังกะสีที่เป็นประโยชน์ในดินจะต่ำ

1.3.5 การขังน้ำ เมื่อมีการขังน้ำในดินความเป็นประโยชน์ของสังกะสีจะลดลงเนื่องจากสังกะสีจะตกตะกอนในรูป $ZnFe_2O_4$ (Franklinite) และ ZnS (Sphalerite)

1.3.6 สภาพภูมิอากาศ การขาดสังกะสีในพืชมักพบในฤดูหนาวและฤดูฝน เนื่องมาจากสภาพแสงน้อยและอุณหภูมิต่ำ แต่ในฤดูร้อนอุณหภูมิสูงขึ้นความเป็นประโยชน์ของสังกะสีต่อพืชจะเพิ่มขึ้น

1.3.7 ชนิดและพันธุ์พืช พืชแต่ละชนิดและแต่ละสายพันธุ์มีความไวและความทนทานต่อการขาดสังกะสีแตกต่างกัน ข้าวโพด ถั่ว ส้มเป็นพืชที่ไวต่อการขาดสังกะสี

2. การวินิจฉัยและการคาดคะเนการขาดสังกะสีในดินที่มีการปลูกพืช

การประเมินระดับความเป็นประโยชน์ของสังกะสีในดินว่าเพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืชหรือไม่ มีหลายวิธี อาทิ ประเมินจากอาการขาดสังกะสีของพืช จากการวิเคราะห์ดิน และจากการวิเคราะห์พืช เป็นต้น

2.1 การสังเกตอาการขาดสังกะสีของพืช

เมื่อระดับความเป็นประโยชน์ของสังกะสีในดินที่ปลูกพืชต่ำ พืชที่ปลูกจะแสดงอาการขาดสังกะสีโดยจะแสดงที่ใบยอดเนื่องจากสังกะสีเป็นธาตุที่ไม่เคลื่อนย้าย (immobile) ในพืช จึงไม่มีการเคลื่อนย้ายจากใบล่างสู่ใบยอด ดังนั้นความเข้มข้นของสังกะสีจะต่ำที่สุดในใบยอด ในกรณีที่พืชมีการขาดสังกะสีรุนแรงจะสามารถสังเกตอาการการขาดสังกะสีได้ด้วยตาเปล่า อาการขาดสังกะสีในพืชมีลักษณะเฉพาะ ในข้าวโพดใบยอดมีสีเหลืองหรือสีขาว มีชื่อเรียกว่า white bud ต้นแคระแกรน ข้อยสั้น กรณีมีอาการขาดรุนแรงใบล่างจะมีสีแดงหรือแถบสีเหลือง (Sharma *et al.*, 1990; Sharma, 2006; Alloway, 2008) พบว่าข้าวโพดที่ขาดสังกะสีรุนแรงทำให้การออกดอกล่าช้า การพัฒนาของเกสรตัวผู้และการติดเมล็ดลดลง

2.2 การวิเคราะห์ดิน (soil analysis)

การวิเคราะห์สังกะสีที่เป็นประโยชน์ในดินที่ปลูกพืชเป็นวิธีที่น่าเชื่อถือมากกว่าการสังเกตอาการขาดของพืช ในการประเมินระดับความเป็นประโยชน์ของสังกะสีในดินต่อพืช การวิเคราะห์ดินจะทำให้สามารถวินิจฉัยการขาดสังกะสีของพืชในฤดูกาลเพาะปลูกปัจจุบันและยังสามารถคาดคะเนการขาดในฤดูกาลปลูกถัดไป การวิเคราะห์ดินประกอบด้วย การสกัดสังกะสีในดินด้วยน้ำยาสกัดบางอย่างแล้วนำไปวิเคราะห์ปริมาณสังกะสี น้ำยาสกัดหรือวิธีการวิเคราะห์สังกะสีมีหลายอย่างที่นิยมใช้ คือ วิธีที่ใช้น้ำยาสกัด DTPA, 0.1 M HCl, Mehlich3 และ AB-DTPA การวิเคราะห์สังกะสีในดินด้วยวิธีที่ใช้น้ำยาสกัด DTPA และ AB-DTPA ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้กับดินที่เป็นกลางและดินด่าง สำหรับน้ำยาสกัดหรือวิธีการสกัดสังกะสีในดินโดยน้ำยาสกัด Mehlich3 ปัจจุบันเป็นที่นิยมใช้ในดินด่างเช่นกัน (Sims and Johnson, 1991)

2.2 การวิเคราะห์พืช (Plant analysis)

การวิเคราะห์พืชเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพวิธีหนึ่งในการประเมินระดับความเป็นประโยชน์ของธาตุสังกะสีในดินว่าอยู่ในระดับเพียงพอต่อพืชหรือไม่ โดยนำค่าวิเคราะห์สังกะสีในพืชที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่าวิกฤติของสังกะสีในพืช ซึ่งค่าวิกฤติของสังกะสีในพืชแตกต่างกันในแต่ละชนิดพืช ส่วนของพืชที่นำมาวิเคราะห์และระยะเวลาเจริญเติบโตของพืช สำหรับค่าวิกฤติของสังกะสีในข้าวโพดซึ่งวิเคราะห์ในใบธงที่ระยะออกไหมเท่ากับ $20-50 \text{ mg Zn kg}^{-1}$ ของน้ำหนักแห้ง (Lindsay *et al.*, 1972)

3. การแก้ไขปัญหาคาดสังกะสีของพืช

การแก้ไขการขาดสังกะสีของพืชโดยทั่วไปมักจะใส่ปุ๋ยสังกะสีให้กับพืช ปุ๋ยสังกะสีมีหลายชนิด ส่วนวิธีการใส่ปุ๋ยสังกะสีให้แก่พืชมีหลายแบบ

3.1 ชนิดของปุ๋ยสังกะสี

ชนิดของปุ๋ยสังกะสีมีหลายรูปทั้งในรูปสารประกอบอนินทรีย์ ในรูปคีเลต และในรูปสารประกอบเชิงซ้อนอนินทรีย์ (ตารางที่ 1)

3.1.1 ปุ๋ยสังกะสีในรูปสารประกอบอนินทรีย์ ได้แก่ Zinc oxide (ZnO), Ammoniated zinc sulphate ($\text{Zn}(\text{NH}_3)_4\text{SO}_4$), Zinc nitrate $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$, Zinc chloride (ZnCl_2) และ Zinc sulphate (ZnSO_4) เป็นปุ๋ยสังกะสีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย

3.1.2 ปุ๋ยสังกะสีในรูปคีเลต เป็นปุ๋ยที่เกิดจากการรวมตัวของ chelating agent เช่น EDTA กับ metal Zn ion ความเสถียรของการรวมตัว metal Zn chelate มีผลต่อความเป็นประโยชน์สังกะสีต่อพืช ปุ๋ยคีเลตที่นิยมใช้กันมากได้แก่ Disodium zinc EDTA ($\text{Na}_2\text{Zn-EDTA}$)

3.1.3 ปุ๋ยสังกะสีในรูปสารประกอบเชิงซ้อนอนินทรีย์ เป็นปุ๋ยที่ผลิตโดยการทำปฏิกิริยาระหว่าง Zinc salts กับ citrates หรืออินทรีย์สารจาก by-products ของโรงงานกระดาษ เช่น lignosulphonate, phenols และ polyflavonoids

ตารางที่ 1 แสดงชนิดของปุ๋ยสังกะสี

ชนิดปุ๋ย	องค์ประกอบทางเคมี	ปริมาณ Zn ในปุ๋ย (%)
Zinc sulphate monohydrate	ZnSO ₄ .H ₂ O	36
Zinc sulphate heptahydrate	ZnSO ₄ .7H ₂ O	22
Ammoniated zinc sulphate	Zn(NH ₃) ₄ SO ₄	10
Zinc oxide	ZnO	75
Zinc nitrate	Zn(NO ₃) ₂ .3H ₂ O	23
Zinc chloride	ZnCl ₂	50
Disodium zinc EDTA	Na ₂ ZnEDTA	11
Sodium zinc EDTA	NaZnEDTA	11
Sodium zinc HEDTA	NaZnHEDTA	8
Zinc polyflavonoid	-	8
Zinc lignosulphonate	-	7
Zinc citrate	-	31

ที่มา: Martens and Westermann (1991); Mortvedt and Gilkes (1993); Srivastava and Gupta (1996)

3.2 วิธีการให้ปุ๋ยสังกะสีแก่พืช มีหลายวิธี ดังนี้

3.2.1 การให้ปุ๋ยทางดิน (soil application) เป็นการใส่ในดินให้กับพืชโดยตรง อาจใส่โดยการหว่านปุ๋ยทั่วแปลงหรือใส่เป็นแถบ

3.2.2 การให้ปุ๋ยทางใบ (foliar application) เป็นการฉีดพ่นสารละลายสังกะสีให้กับพืชทางใบ การให้ปุ๋ยทางใบมักให้ปุ๋ยทางใบในระยะแรกของการเจริญที่พบอาการขาดสังกะสี การให้ปุ๋ยทางใบต้องให้หลายครั้งซึ่งทำให้ค่าใช้จ่ายในการให้ปุ๋ยแพง (Sharma, 2006; Alloway, 2008) Haslett *et al.* (2001) รายงานว่าการให้ปุ๋ยสังกะสีทางใบ ทั้งในรูปอนินทรีย์และในรูปสารประกอบเชิงซ้อนอินทรีย์สามารถแก้การขาดสังกะสีในข้าวสาลีได้

3.2.3 การให้ปุ๋ยทางเมล็ด (seed treatment) อาจโดยการเคลือบเมล็ดพืชกับปุ๋ยสังกะสี หรือโดยการแช่เมล็ดในสารละลายปุ๋ยสังกะสีก่อนปลูกพืช นอกจากนี้ อาจโดยการจุ่มรากต้นกล้าใน สารละลายสังกะสีก่อนปลูกพืช (Rengel and Graham, 1995a,b; Grewal and Graham, 1997) มี รายงานว่าวิธีการให้ปุ๋ยทางเมล็ดสามารถแก้ไขการขาดสังกะสีในพืช เนื่องจากพืชได้รับสังกะสี ตั้งแต่ระยะแรกของการเจริญเติบโต นอกจากนี้ยังช่วยให้เมล็ดพืชงอกได้อย่างรวดเร็ว มีความ สม่าเสมอในการงอก และยังช่วยให้พืชต้านทานโรคบางชนิดได้อีกด้วย (Heydecker *et al.*, 1975; Graham and Rengel, 1993; Slaton *et al.*, 2001; Welch and Graham, 2002; Ajouri *et al.*, 2004)

3.3 งานวิจัยที่เกี่ยวกับชนิดและวิธีการให้ปุ๋ยสังกะสีแก่พืช

ได้มีการศึกษาเกี่ยวกับประสิทธิภาพของปุ๋ยสังกะสีชนิดต่าง ๆ ในการแก้ปัญหการขาดสังกะสีของพืช Kang and Okoro (1976) ศึกษาการตอบสนองของปุ๋ยสังกะสีรูปต่าง ๆ ของข้าวที่ปลูกในดินเวอร์ทิกซอลล์ในประเทศไนจีเรีย พบว่าการใส่ $ZnSO_4$, ZnEDTA, Metallic Zn และ Fritted Zn มีผลในการเพิ่มผลผลิตน้ำหนักแห้งของข้าวได้ใกล้เคียงกัน ปริมาณการดูดใช้สังกะสีของข้าวที่ได้รับสังกะสีในรูปต่าง ๆ มากน้อยต่างกัน ดังนี้ $ZnSO_4 > ZnEDTA > Metallic Zn > Fritted Zn$

Moraghan (1996) ศึกษาประสิทธิภาพของ $ZnSO_4$ และ ZnEDTA ในการใช้เป็นปุ๋ยสังกะสีสำหรับถั่ว navy bean พบว่าปริมาณความเข้มข้นของสังกะสีในเมล็ดถั่วที่ได้รับปุ๋ยสังกะสีทั้งสองชนิดไม่แตกต่างกัน Westfall *et al.* (2000) รายงานว่า $ZnSO_4$ (98% soluble), Zn lignosulphonate (91% soluble) และ ZnEDTA (100% soluble) เป็นปุ๋ยสังกะสีที่มีประสิทธิภาพสูงในการเป็นแหล่งที่ให้สังกะสีแก่พืช โดยที่ ZnEDTA มีประสิทธิภาพสูงกว่า $ZnSO_4$ และ Zn lignosulphonate ประมาณ 2-5 เท่า Goos *et al.* (2000) ศึกษาประสิทธิภาพของ $ZnSO_4$, Zn humate-lignosulfonate (ZnHL) และ ZnEDTA ต่อการตอบสนองของข้าวโพดที่ปลูกบนดินเนื้อปูน พบว่าข้าวโพดที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีทั้งสามชนิดให้ผลผลิตน้ำหนักแห้งและการดูดใช้สังกะสีไม่แตกต่างกัน Liscano *et al.* (2000) ศึกษาผลของการใส่ปุ๋ยสังกะสีชนิดต่าง ๆ ให้กับข้าวในดินที่ขาดสังกะสีที่รัฐอาร์คันซอ ประเทศสหรัฐอเมริกาในเรือนทดลอง ปุ๋ยสังกะสีที่ศึกษาได้แก่ $ZnSO_4$, Zn lignosulphonate, Zn(fulvic, citric), Zn oxy-sulfate และ Zn carboxylate พบว่าข้าวโพดที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสี $ZnSO_4$, Zn lignosulphonate, Zn(fulvic, citric) และ Zn oxy-sulfate ให้ผลผลิตน้ำหนักแห้ง ความเข้มข้นของสังกะสีในเมล็ดข้าวและการดูดใช้สังกะสีทั้งหมดสูงกว่าที่ไม่ได้รับปุ๋ยสังกะสีชนิดของปุ๋ยสังกะสีและอัตราของปุ๋ยสังกะสีไม่แตกต่างกันทางสถิติ Wang *et al.* (2005) ศึกษาผล การใส่ปุ๋ยสังกะสีกับอ้อยที่ปลูกในดินเนื้อปูนและในดินกรดที่รัฐหลุยเซียนา ประเทศสหรัฐอเมริกา

พบว่าเมื่อมีการใส่สังกะสีในรูป $ZnSO_4$ ให้กับอ้อยที่ปลูกในดินดังกล่าวในอัตรา 4.4 และ 8.9 Kg Zn ha^{-1} จะช่วยเพิ่มผลผลิตอ้อยโดยเฉลี่ย 24% เมื่อเทียบกับดำรับการทดลองที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยสังกะสี ทั้งในดินเนื้อปูนและในดินกรด

สำหรับวิธีให้ปุ๋ยเพื่อแก้ปัญหาการขาดสังกะสีนั้น Martens and Westermann (1991) แนะนำให้ใส่ปุ๋ยสังกะสี $ZnSO_4$ โดยหว่านหรือนีดพ่นให้ทั่วแปลงซึ่งอัตราการให้ปุ๋ยขึ้นอยู่กับความไวต่อการขาดสังกะสีของพืชและชนิดของดินที่ปลูกพืช โดยอัตราการใส่ปุ๋ยสังกะสีในดินเนื้อปูนจะสูงกว่าดินที่ไม่ใช่ดินเนื้อปูน Mortvedt *et al.* (2008) ได้ศึกษาวิธีการให้ปุ๋ย $ZnSO_4$ แก่ข้าวโพดที่รัฐโคโลราโด ประเทศสหรัฐอเมริกา พบว่าวิธีการใส่ปุ๋ยแบบเป็นแถบมีประสิทธิภาพสูงกว่าแบบหว่าน สามารถลดปริมาณปุ๋ยได้ถึง 5 เท่าเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการให้ปุ๋ยแบบหว่าน Zou *et al.* (2008) รายงานว่าการใส่ปุ๋ย $ZnSO_4$ โดยวิธีการใส่ลงในดินที่ขาดสังกะสี อัตรา 16.5 kg Zn ha^{-1} มีผลในการเพิ่มผลผลิตข้าวสาลี Cakmak *et al.* (2008) ศึกษาปัญหาการขาดสังกะสีในประเทศตุรกีซึ่งส่วนใหญ่ปลูกข้าวสาลีในดินเนื้อปูน พบว่าการใส่ปุ๋ยสังกะสีโดยคลุก $ZnSO_4$ ลงในดินอัตรา 23 kg Zn ha^{-1} ปุ๋ยดังกล่าวจะให้ผลตกค้าง 3-7 ปี Khan *et al.* (2008) ได้ศึกษาการแก้ปัญหาการขาดสังกะสีในข้าวสาลีที่ปลูกในดินเนื้อปูนร่วมปนทรายแป้ง พบว่าการใส่ปุ๋ย $ZnSO_4$ ในดินอัตรา 5 kg Zn ha^{-1} มีประสิทธิภาพในการเพิ่มผลผลิตเมล็ดและให้ผลตอบแทนคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์

การแช่เมล็ดพืชในสารละลายปุ๋ยสังกะสีก่อนปลูกก็เป็นอีกวิธีหนึ่งที่แก้ปัญหาการขาดสังกะสีของพืช

Giordano and Mordvedt (1973) ได้ศึกษาการแก้ไขการขาดสังกะสีของข้าวโดยวิธีการแช่เมล็ดข้าวในสารละลายปุ๋ยสังกะสีก่อนปลูกบนดินเนื้อปูนที่ขาดสังกะสี เปรียบเทียบกับวิธีการให้ปุ๋ยสังกะสีทางดิน พบว่าวิธีการแช่เมล็ดในสารละลายสังกะสีก่อนปลูกข้าวมีประสิทธิภาพสูงกว่าวิธีการใส่ปุ๋ยทางดิน Robinson (2000) ทำการทดลองโดยแช่เมล็ดข้าวในสารละลายสังกะสีก่อนปลูกข้าวบนดินที่มีฟอสฟอรัสสูงในรัฐอาร์คันซอ โดยใช้อัตรา 2.2-4.4 kg Zn ha^{-1} ต่อเมล็ดข้าว 1 ตัน พบว่าผลผลิตและปริมาณการดูดใช้สังกะสีในข้าวเพิ่มขึ้น Slaton *et al.* (2001) ทดลองแช่เมล็ดข้าวในสารละลาย $ZnSO_4$ และ ZnEDTA ก่อนปลูกในดินที่มีการขาดสังกะสี เปรียบเทียบกับวิธีการใส่ทางดิน พบว่าวิธีการแช่เมล็ดในสารละลายสังกะสีที่อัตรา 2.8 g Zn (kg seed)⁻¹ หรือ (0.34 kg Zn ha^{-1}) ก่อนปลูก ข้าวให้ผลผลิตและปริมาณการดูดใช้สังกะสีในข้าวใกล้เคียงกับวิธีการใส่ปุ๋ยทางดินที่อัตรา 11 kg Zn ha^{-1} การแช่เมล็ดในสารละลายปุ๋ย $ZnSO_4$ ข้าวมีการงอกสูงกว่าที่ไม่ได้แช่เมล็ดก่อนปลูกและที่แช่เมล็ดในสารละลาย ZnEDTA

Ullah *et al.* (2002) ได้ทำการศึกษาโดยแช่เมล็ด Peela raya (*Brassica carinata* L.) ในสารละลายปุ๋ยสังกะสี 12 ชั่วโมงก่อนปลูกในดินเค็ม พบว่า การเจริญเติบโตด้านความสูง ผลผลิตฝัก ต่อต้นเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเทียบกับที่ไม่ได้รับการแช่เมล็ดในสารละลายปุ๋ยสังกะสี ก่อนปลูก Ajouri *et al.* (2004) ทำการทดลองในข้าวบาร์เลย์โดยแช่เมล็ดข้าวบาร์เลย์ในสารละลายสังกะสี 12 ชั่วโมงก่อนปลูกบนดินเหนียว พบว่าจะช่วยเพิ่มความเข้มข้นของสังกะสีในเมล็ด และปริมาณการดูดใช้สังกะสีของข้าวบาร์เลย์อย่างมีนัยสำคัญ Abdulrahmani *et al.* (2007) ได้ทำการทดลองในประเทศอิหร่าน โดยแช่เมล็ดข้าวบาร์เลย์ในสารละลายปุ๋ย $ZnSO_4$ ก่อนปลูก พบว่าผลผลิต น้ำหนักแห้งทั้งส่วนใต้ดินและส่วนเหนือดินเพิ่มขึ้น 25 และ 12.5%

Harris *et al.* (2007) ทดลองในข้าวโพดโดยแช่เมล็ดข้าวโพดในสารละลาย $ZnSO_4$ 16 ชั่วโมงก่อนปลูกบนดินเหนียว พบว่าการแช่เมล็ดข้าวโพดในสารละลาย 1% $ZnSO_4$ ก่อนปลูก การเจริญเติบโต ผลผลิตน้ำหนักแห้งและปริมาณการดูดใช้สังกะสีสูงกว่าไม่ได้แช่เมล็ดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ Harris *et al.* (2008) ได้ทำการทดลองแช่เมล็ด chickpea (*Cicer arietinum*) 6 ชั่วโมง ในสารละลาย $ZnSO_4$ ซึ่งมีปริมาณสังกะสี 0.05% และแช่เมล็ดข้าวสาลี (*Triticum aestivum* L.) 6 ชั่วโมงในสารละลาย $ZnSO_4$ ซึ่งมีปริมาณสังกะสี 0.3% พบว่าการเจริญเติบโตและผลผลิตน้ำหนักแห้งของ chickpea และข้าวสาลีเพิ่มขึ้น 29% และ 12% ตามลำดับ การเจริญเติบโตและการดูดใช้สังกะสีสูงกว่าที่ไม่ได้แช่เมล็ดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

4. การวิเคราะห์สังกะสีที่เป็นประโยชน์ในดิน

วิธีวิเคราะห์สังกะสีที่เป็นประโยชน์ในดินแบ่งตามประเภทของน้ำยาสกัด ดังนี้

4.1 สารละลายของเกลือที่เป็นกลาง

การสกัดสังกะสีโดยน้ำยาสกัดซึ่งเป็นสารละลายเกลือที่เป็นกลาง เช่น $MgCl_2$, $MgSO_4$ สามารถสกัดสังกะสีในรูปแลกเปลี่ยนได้

Martens *et al.* (1966) ทำการศึกษาในดินรัฐวิสคอนซิน ประเทศสหรัฐอเมริกา พบว่า ปริมาณสังกะสีที่สกัดได้โดยน้ำยาสกัด 0.2 M $MgSO_4$ มีความสัมพันธ์กับปริมาณสังกะสีที่ข้าวโพดดูดใช้ Adiloglu and Kurtsum (2003) ศึกษาดินในประเทศตุรกี พบว่า น้ำยาสกัด 1 M $MgCl_2$ มี สหสัมพันธ์กับปริมาณสังกะสีทั้งหมดในพืช

4.2 สารละลายของกรด

น้ำยาสกัดที่เป็นสารละลายของกรดได้แก่ 0.1 N HCl และ Mehlich1 (0.05 N HCl + 0.025 N H₂SO₄) เป็นต้น น้ำยาสกัด 0.1 N HCl มักใช้สกัดสังกะสีในดินที่มีปฏิกิริยาเป็นกรดเล็กน้อย (slightly acid) สำหรับในดินเนื้อปูนที่มี CaCO₃ สูง น้ำยาสกัด 0.1 N HCl จะถูกสะเทิน ทำให้สกัดสังกะสีออกมาได้น้อย โดยพีเอชในระบบของการสกัดจะผันแปรตามปริมาณ CaCO₃ ที่มีในดิน (Trierweiler and Lindsay, 1969) น้ำยาสกัด Mehlich1 (0.05 N HCl + 0.025 N H₂SO₄) เป็นน้ำยาที่ถูกพัฒนาขึ้นโดย Nelson *et al.*, (1953) เพื่อใช้ประเมินความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดิน และถูกนำมาใช้ในการประเมินจุลธาตุอาหารในดินโดย Cox (1968) และจากการศึกษาของ Wear and Evans (1968) พบว่า น้ำยาสกัด Mehlich1 สามารถประเมินปริมาณสังกะสีที่เป็นประโยชน์ในดินได้

4.3 สารละลายที่มีสารคีเลตเป็นองค์ประกอบ

น้ำยาสกัดที่มีสารละลายคีเลตเป็นองค์ประกอบ ได้แก่ DTPA, AB-DTPA, EDTA-(NH₄)₂CO₃ และ Mehlich3 เป็นต้น

4.3.1 DTPA

น้ำยา DTPA เป็นน้ำยาสกัดประเภทสารละลายคีเลตที่สามารถสกัดธาตุอาหารได้หลายธาตุ (multielement extractant) พัฒนาขึ้นโดย Lindsay and Norwell (1978) ใช้ประเมินความเป็นประโยชน์ของ Zn, Fe, Mn และ Cu ในดินเนื้อปูนที่มีพีเอชสูงและดินที่มีปฏิกิริยาก่อนข้างเป็นกลาง น้ำยา DTPA ประกอบด้วย 0.005 M DTPA, 0.01 M CaCl₂, 0.1 M TEA (triethanolamine) พีเอชของน้ำยาสกัด 7.3

4.3.2 AB-DTPA

น้ำยาสกัดชนิดนี้เป็นสารละลาย Ammonium Bicarbonate-DTPA สามารถสกัดสังกะสี และธาตุอื่น ๆ ได้ เช่น ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม เหล็ก ทองแดง แมงกานีส น้ำยานี้ถูกพัฒนาขึ้นโดย Soltanpour and Schwab (1977) น้ำยาสกัด AB-DTPA ประกอบด้วย 1 M NH₄HCO₃ และ 0.005 M DTPA พีเอช 7.6

4.3.2 EDTA-(NH₄)₂CO₃

น้ำยาสกัด EDTA-(NH₄)₂CO₃ คิดค้นโดย Trierweiler and Lindsay (1969) เพื่อศึกษาดินต่างซึ่งขาดสังกะสี น้ำยาสกัดนี้ประกอบด้วย 0.01 M EDTA และ 1 M (NH₄)₂CO₃ พีเอชของน้ำยาสกัด 8.6

4.3.3 Mehlich3

น้ำยาสกัด Mehlich3 เป็นน้ำยาสกัดที่พัฒนามาขึ้นมาเพื่อวิเคราะห์ทั้งธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรองและจุลธาตุอาหารในดิน โดย Mehlich (1984) องค์ประกอบของน้ำยาสกัด Mehlich3 ประกอบด้วย 0.2 M CH₃COOH, 0.25 M NH₄NO₃, 0.015 M NH₄F, 0.013 M HNO₃ และ 0.001 M EDTA

5. การศึกษาประสิทธิภาพของน้ำยาสกัดในการวิเคราะห์สังกะสีที่เป็นประโยชน์ในดิน

Haq and Miller (1972) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของน้ำยาสกัด 4 ชนิด คือ DTPA, EDTA-(NH₄)₂CO₃, EDDHA และ Mehlich1 ในดิน 85 ตัวอย่าง เพื่อประเมินความเป็นประโยชน์ของสังกะสีในดิน พบว่าสังกะสีที่สกัดได้โดยน้ำยาสกัด DTPA และ EDTA-(NH₄)₂CO₃ ให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์กับสังกะสีในข้าวโพดสูงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

Alley *et al.* (1972) ศึกษาน้ำยาสกัด 4 ชนิด คือ 0.1 M HCl, Mehlich1, EDTA-(NH₄)₂CO₃ และ DTPA เพื่อประเมินความเป็นประโยชน์ของสังกะสีในดิน 10 ชนิดในรัฐเวอร์จิเนีย โดยพบว่าน้ำยาสกัด DTPA และ EDTA-(NH₄)₂CO₃ ให้ผลดีที่สุดในการแยกกลุ่มดินที่มีปริมาณสังกะสีเพียงพอต่อการปลูกข้าวโพดออกจากกลุ่มดินทั้งหมดที่ศึกษา

Ponnamperuma *et al.* (1981) ศึกษาวิธีสกัดสังกะสีที่เป็นประโยชน์ด้วยน้ำยาสกัด 4 ชนิด ได้แก่ 0.05 M HCl, 0.1 M HCl, EDTA-(NH₄)₂CO₃ และ DTPA โดยทำการศึกษาดินนา 53 ตัวอย่าง และใช้ข้าวเป็นพืชทดสอบ พบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสังกะสีที่วิเคราะห์ได้กับค่าความเข้มข้นสังกะสีในพืชแตกต่างกันโดยมีลำดับมากน้อยดังนี้ วิธี 0.05 M HCl ($r = 0.88^{**}$), 0.1M HCl ($r = 0.55^{**}$), EDTA-(NH₄)₂CO₃ ($r = 0.40^{**}$) และ DTPA ($r = 0.31^{ns}$)

ขณะที่ Vocaseck and Friedericks (1994) พบว่าปริมาณสังกะสีที่สกัดด้วยน้ำยาสกัด Mehlich3 และ DTPA มีสหสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ Walworth *et al.* (1992) พบว่าปริมาณสังกะสีที่สกัดโดยวิธีที่สกัดด้วยน้ำยาสกัด Mehlich3 และวิธีที่สกัดด้วยน้ำยาสกัด DTPA มีสหสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($r^2 = 0.94$)

Liscano *et al.* (2000) ได้ทดสอบเปรียบเทียบประสิทธิภาพของน้ำยาสกัด 3 ชนิด ได้แก่ Mehlich3, DTPA และ 0.05 M HCl ในการประเมินสังกะสีที่เป็นประโยชน์ในดินปลูกข้าวที่รัฐอาร์คันซอ พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนดระหว่างปริมาณสังกะสีที่วิเคราะห์ได้กับค่าความเข้มข้นสังกะสีในพืชใกล้เคียงกันดังนี้ คือ วิธี DTPA ($r^2 = 0.58^{**}$), Mehlich3 ($r^2 = 0.54^{**}$) และ 0.05 M HCl ($r^2 = 0.51^{**}$) ส่วนค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนดระหว่างปริมาณสังกะสีที่วิเคราะห์ได้กับปริมาณสังกะสีที่พืชดูดใช้ก็ใกล้เคียงเช่นเดียวกันได้แก่ วิธี DTPA ($r^2 = 0.82^{**}$), Mehlich3 ($r^2 = 0.81^{**}$) และ 0.05 M HCl ($r^2 = 0.80^{**}$)

Brennan *et al.* (2008) ทดสอบน้ำยาสกัด DTPA, EDTA และ Mehlich3 ในการประเมินปริมาณสังกะสีที่เป็นประโยชน์ในดินที่ประเทศไอร์แลนด์ พบว่า ปริมาณสังกะสีที่สกัดได้จากดิน 158 ตัวอย่าง ด้วยน้ำยาสกัดดังกล่าว เรียงจากมากไปน้อยคือ Mehlich3 > EDTA > DTPA และพบว่า มีสหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสังกะสีที่สกัดด้วยน้ำยาสกัดแต่ละชนิด

Abreu *et al.* (2002) ศึกษาประสิทธิภาพของน้ำยาสกัดที่สามารถสกัดธาตุอาหารได้หลายธาตุ (multinutrient extractants) ในการวิเคราะห์หาปริมาณสังกะสีที่เป็นประโยชน์ในดินโดยน้ำยาดังกล่าว คือ DTPA, Mehlich1, Mehlich3 และ AB-DTPA ซึ่งทำการศึกษาดิน 44 ตัวอย่างในประเทศบราซิล ใช้ข้าวโพดและถั่วเหลืองเป็นพืชทดสอบ พบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสังกะสีที่วิเคราะห์ได้กับค่าความเข้มข้นสังกะสีในพืชแตกต่างกันโดยมีลำดับมากน้อยดังนี้ คือ วิธี Mehlich3 ($r = 0.74$), DTPA ($r = 0.73$), AB-DTPA ($r = 0.62$) และ Mehlich1 ($r = 0.61$) เมื่อใช้ข้าวโพดเป็นพืชทดสอบ และเมื่อใช้ถั่วเหลืองเป็นพืชทดสอบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสังกะสีที่วิเคราะห์ได้กับค่าความเข้มข้นสังกะสีในพืชโดยวิธีต่าง ๆ มากน้อยตามลำดับดังนี้ DTPA ($r = 0.71$), Mehlich1 ($r = 0.63$), Mehlich3 ($r = 0.58$) และ AB-DTPA ($r = 0.46$) ซึ่งสรุปว่า น้ำยา DTPA มีประสิทธิภาพมากที่สุดสำหรับการประเมินความเป็นประโยชน์ของสังกะสีในดินดังกล่าว

Maftoun *et al.* (2003) รายงานผลการศึกษาเปรียบเทียบน้ำยาสกัด DTPA, AB-DTPA EDTA-(NH₄)₂CO₃, Mehlich3, และ EDTA ในการประเมินปริมาณสังกะสีที่เป็นประโยชน์ในดินนา เนื้อปุ่อกต่อข้าว (*Oryza sativa* L.) พบว่า ปริมาณสังกะสีที่สกัดได้จากดินเนื้อปุ่อก 20 ตัวอย่างด้วย น้ำยาสกัดต่าง ๆ เรียงจากมากไปน้อย คือ Mehlich3 > EDTA > AB- DTPA > EDTA-(NH₄)₂CO₃ > DTPA และพบว่า มีสหสัมพันธ์เป็นบวกระหว่างน้ำยาสกัดแต่ละชนิด ยกเว้น EDTA ที่ไม่มี สหสัมพันธ์กับน้ำยาสกัดอื่นที่นำมาเปรียบเทียบ ส่วนปริมาณสังกะสีที่พืชดูดใช้และน้ำหนักแห้งต่อ ชั่ง พบว่า มีสหสัมพันธ์กับปริมาณสังกะสีที่สกัดด้วยน้ำยาสกัด DTPA, EDTA-(NH₄)₂CO₃, Mehlich3 และ AB- DTPA โดยวิธี DTPA และ EDTA-(NH₄)₂CO₃ มีสหสัมพันธ์สูงกับน้ำหนักแห้ง ต่อชั่ง ขณะที่วิธี AB-DTPA มีสหสัมพันธ์สูงกับปริมาณสังกะสีที่พืชดูดใช้

Adiloglu and Kursun (2003) ศึกษาวิธีสกัดสังกะสีที่เป็นประโยชน์ด้วยน้ำยาสกัด 3 ชนิด ได้แก่ DTPA, AB-DTPA และ EDTA-(NH₄)₂CO₃ ในประเทศตุรกี โดยปลูกข้าวโพดเป็นพืชทดสอบ ในเรือนทดลอง พบว่าวิธีที่สกัดด้วยน้ำยาสกัด DTPA, AB-DTPA และ EDTA-(NH₄)₂CO₃ เป็นวิธีที่ เหมาะสมสำหรับใช้ประเมินสังกะสีที่เป็นประโยชน์ในดิน ซึ่งวิธีสกัดด้วยน้ำยา DTPA ให้ สหสัมพันธ์สูงกับน้ำหนักแห้ง ความเข้มข้นของสังกะสีในพืชและปริมาณสังกะสีที่พืชดูดใช้ ขณะที่ วิธี AB-DTPA และ EDTA-(NH₄)₂CO₃ ใช้เวลาสกัดเร็วกว่าและมีความสะดวกในเชิงปฏิบัติมากกว่า

Srivastava and Srivastava (2008) ได้ศึกษาน้ำยาสกัด 5 ชนิด ได้แก่ DTPA, DTPA + AB-DTPA (0.005 mol L⁻¹ DTPA + 1 mol L⁻¹ ammonium bicarbonate), Mehlich3, EDTA-(NH₄)₂CO₃ และ MgCl₂ ในประเทศอินเดีย โดยปลูกข้าวเป็นพืชทดสอบในเรือนทดลองและ ทำการศึกษาดินในอันดับมอลลิซอลล์ 17 ตัวอย่าง พบว่า มีสหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสังกะสีที่ วิเคราะห์ได้กับปริมาณสังกะสีที่พืชดูดใช้เฉพาะวิธีที่สกัดด้วยน้ำยาสกัด Mehlich3 ($r = 0.526^*$) และ MgCl₂ ($r = 0.628^{**}$)

6. ลักษณะของดินเนื้อปูนที่นำมาศึกษา

ลักษณะของดินเนื้อปูน (calcareous soil) ที่ทำการศึกษา 5 ชุดดินมีรายละเอียดดังนี้ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2548ก,ข)

6.1 ชุดดินชัยบาดาล (Chai Badan series: Cd)

ชุดดินชัยบาดาล เป็นดินที่จัดอยู่ในอันดับเวอร์ทิซอลล์ การจำแนกดินเป็น Fine, smectitic, isohyperthermic Leptic Haplusterts เกิดจากการสลายตัวของวัตถุตกค้างและหินดาดแข็ง เขาจากหินบะซอลต์ หินแอนดิไซต์ และหินไรโอไรต์ สภาพพื้นที่ที่พบมีลักษณะเป็นลูกคลื่นลอนลาดถึงลูกคลื่นลอนชัน มีความลาดชัน 3-16% เป็นดินลึกปานกลาง มีการระบายน้ำดีปานกลาง ดินมีความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้เร็วปานกลางถึงช้า มีการไหลบ่าของน้ำบนผิวดินปานกลางถึงเร็ว ตามปกติระดับน้ำใต้ดินอยู่ลึกกว่า 1.5 เมตรลงไป ดินบนลึกไม่เกิน 23 cm มีเนื้อดินเป็นดินเหนียวหรือดินเหนียวปนทรายแป้ง สีพื้นเป็นสีเทาเข้มมาก หรือสีเข้มของน้ำตาลปนเทา ปฏิกริยาดินเป็นกรดเล็กน้อยถึงด่างปานกลาง (pH 6.5-8.0) ส่วนดินล่างเนื้อดินเป็นดินเหนียวหรือดินเหนียวปนทรายแป้ง ซึ่งมีสีเข้มของน้ำตาลปนเทา สีน้ำตาลเข้ม หรือสีน้ำตาล ในฤดูแล้งมีรอยแตกลึกจากผิวดินถึงดินล่าง มีรอยไถลและมีก้อนหินปูนตกค้าง (secondary lime nodules) ปฏิกริยาดินเป็นกลางถึงด่างปานกลาง (pH 7.0-8.0)

6.2 ชุดดินลพบุรี (Lop Buri series: Lb)

ชุดดินลพบุรีเป็นดินที่จัดอยู่ในอันดับ เวอร์ทิซอลล์ การจำแนกดินเป็น Very fine, smectitic, isohyperthermic Typic Haplusterts วัตถุต้นกำเนิดเกิดจากตะกอนในบริเวณที่มีภูเขา หินปูนเป็นดินลึก มีการระบายน้ำดีปานกลาง น้ำซึมผ่านได้ช้า การไหลบ่าของน้ำบนผิวดินช้าถึงปานกลาง เนื้อดินบนเป็นดินร่วนปนดินเหนียวหรือดินเหนียว สีดินเป็นสีดำหรือสีเทาเข้ม ส่วนดินล่างมีเนื้อดินเป็นดินเหนียว สีดินเป็นสีดำ สีเทาเข้มหรือสีน้ำตาล ในฤดูแล้งจะแตกแหว่งเป็นร่องกว้างกว่า 1 cm ที่ความลึก 50 cm และรอยแตกนี้จะคงอยู่นานกว่า 90 วัน ในดินชั้นล่างจะพบรอยไถลและมีก้อนหินปูนสะสมทั่วไป มีแร่ดินเหนียวพวก montmorillonite เป็นองค์ประกอบที่สำคัญ

6.3 ชุดดินบ้านหมี่ (Ban Mi series: Bm)

ชุดดินบ้านหมี่ เป็นดินที่จัดอยู่ในอันดับเวอร์ทิซอลล์ จำแนกดินเป็น Very fine, montmorillonitic, isohyperthermic Entic Pelluderts วัตถุต้นกำเนิดเกิดจากวัสดุที่สลายตัวมาจากดินเหนียว (clay stone) สภาพพื้นที่ที่มักพบชุดดินนี้ มีความลาดชันน้อยกว่า 1% การใช้ประโยชน์ที่ดินโดยส่วนใหญ่ทำนา เป็นดินลึก มีการระบายน้ำค่อนข้างเร็วถึงเร็ว น้ำซึมผ่านได้ช้า การไหลบ่าของน้ำบนผิวดินช้า เนื้อดินเป็นดินเหนียวตลอด หน้าดินเป็นสีดำหรือสีเทาเข้ม มีจุดประสีน้ำตาลถึงสีแดงปนเหลือง ดินล่างมีสีเทา มีจุดประสีน้ำตาลปนเหลือง ในฤดูแล้งหน้าดินจะแตกแหว่งจะพบรอยไหลพบก้อนหินปูนสะสมในดินล่าง

6.4 ชุดดินตาคลี (Takhli series: Tk)

ชุดดินตาคลี เป็นดินที่จัดอยู่ในอันดับมอลลิซอลล์ ซึ่งสามารถจำแนกดินในระดับวงศ์ตามอนุกรมวิธานดินได้เป็น loamy-skeletal, carbonatic, isohyperthermic Entic Haplustolls ชุดดินตาคลีเกิดจากการผุพังของหินปูนที่เคลื่อนที่มาทับถม โดยแรงดึงดูดของโลกและหินปูนที่ผุพังอยู่กับที่บนพื้นที่เหลือค้างจากการกัดกร่อนและที่ลาดเชิงเขาหินปูน สภาพพื้นที่ที่พบมีลักษณะค่อนข้างราบเรียบจนถึงเป็นลูกคลื่นลอนลาดเล็กน้อย เป็นดินตื้น การระบายน้ำดี ความสามารถในการให้น้ำซึมผ่านเร็ว การไหลบ่าของน้ำบนผิวดินปานกลาง ดินมีความลึกประมาณ 10-30 cm มีเนื้อดินเป็นดินร่วนปนทรายถึงดินเหนียว อาจจะมีก้อนหินปูนอยู่บ้างเล็กน้อย สีพื้นเป็นสีดำถึงเข้มของน้ำตาลปนเทา ปฏิริยาดินเป็นด่างปานกลาง (pH ประมาณ 8.0) ส่วนดินล่างลึกไม่เกิน 50 cm มีเนื้อดินเป็นดินร่วนปนทรายถึงดินเหนียว สีพื้นเป็นสีน้ำตาลเข้ม ในดินล่างนี้จะพบก้อนของหินปูนเป็นจำนวนมาก ชั้นของหินปูนจะพบในระดับความลึกไม่เกิน 50 cm ปฏิริยาดินเป็นด่างปานกลาง (pH ประมาณ 8.0) ข้อจำกัดในการใช้ประโยชน์ของชุดดินตาคลี คือ ชั้นของปูนที่ค่อนข้างอยู่ตื้น และมีเศษหินปูนและก้อนปูนปะปนอยู่กับเนื้อดิน ทำให้ยากต่อการซบซึบของรากพืช นอกจากนี้ ปฏิริยาดินที่เป็นด่างส่งผลต่อความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหาร ทำให้ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชบางชนิดถูกตรึงหรืออยู่ในรูปที่ไม่ละลายมาเป็นประโยชน์ต่อพืช โดยเฉพาะธาตุฟอสฟอรัส และจุลธาตุบางชนิด เช่น เหล็ก สังกะสี แมงกานีส ทองแดง และโบรอน

6.5 ชุดดินล้านารายณ์ (Lum Narai series: Ln)

ชุดดินล้านารายณ์ เป็นดินที่จัดอยู่ในอันดับมอลลิซอลล์ จัดอยู่ใน Fine, smectitic, isohyperthermic Vertic Haplustolls เกิดจากการสลายตัวผุพังอยู่กับที่ และ/หรือ เคลื่อนย้ายมาเป็นระยะทางใกล้ ๆ โดยแรงโน้มถ่วงของโลกของหินบะซอลต์ หินแอนดีไซต์ผสมกับหินปูนบริเวณพื้นที่ภูเขา หรือเกิดจากตะกอนน้ำพาบริเวณเนินตะกอนรูปพัด ชุดดินนี้เป็นดินลึกปานกลาง มีการระบายน้ำดี น้ำซึมผ่านได้ปานกลาง การไหลบ่าของน้ำบนผิวดินปานกลาง ดินบนเป็นดินร่วนปนดินเหนียวหรือดินเหนียว สีน้ำตาลเข้มหรือสีน้ำตาลปนแดงเข้ม ดินล่างเป็นดินเหนียวปนทรายแป้งหรือดินเหนียว สีน้ำตาลปนแดงหรือสีแดง พบเม็ดปูนสีขาวเล็ก ๆ ปะปนอยู่ในเนื้อดินเพิ่มขึ้นตามความลึก ที่ความลึก 50-80 cm จะพบเศษหินต้นกำเนิดที่กำลังสลายตัว อาจพบรอยแตกกระแหงที่ผิวดินและรอยไถลในหน้าตัดดิน การแพร่กระจายพบบริเวณที่สูงตอนกลางของประเทศ

7. ลักษณะทั่วไปเกี่ยวกับข้าวโพดพันธุ์สุวรรณ 4452 ที่ศึกษา

ข้าวโพดพันธุ์สุวรรณ 4452 เป็นข้าวโพดลูกผสมเดี่ยวได้จากการนำสายพันธุ์แท้เกษตรศาสตร์ 47 ผสมกับสายพันธุ์แท้ Kei 0102 มีบทบาทสำคัญมากในการเพิ่มผลผลิตต่อไร่และผลผลิตรวมของประเทศไทยและมีเสถียรภาพสูงในการให้ผลผลิตในแหล่งปลูกข้าวโพดต่างๆ เพราะสามารถปรับตัวได้ดีในสภาพแวดล้อมเลวถึงดี จากผลการทดสอบพบว่า ข้าวโพดพันธุ์สุวรรณ 4452 ให้ผลผลิตเฉลี่ย 1,151-1,430 กก./ไร่ สูงกว่าพันธุ์สุวรรณ 3851 (21.7%), ลูกผสมเดี่ยวพันธุ์ CP-DK 888 (27.4%), ลูกผสมเดี่ยวนครสวรรค์ 72 (23.8%) และพันธุ์สุวรรณ 1 (รอบคัดเลือก 11, 12 และ 13) (38.4 %) ตามลำดับ การปลูกในสภาพแล้ง พันธุ์สุวรรณ 4452 ให้ผลผลิตสูงกว่าพันธุ์ดังกล่าว

อายุสัปดาห์ออกเกสร 50% 54 วัน วันออกไหม 50% 54 วัน ความสูงต้น 217 cm ด้านทานการหักล้ม ด้านทานโรคราน้ำค้าง ราสนิม เปลือกหุ้มฝักมิดชิด จำนวนฝักต่อต้นสูง และมี%กะเทาะเมล็ดสูงถึง 81.9 % เมล็ดสีส้มเหลืองหัวแข็ง อายุการเก็บเกี่ยวเมล็ดแห้ง 110-120 วัน ข้าวโพดพันธุ์สุวรรณ 4452 เหมาะสมในการทำข้าวโพดหมักเมื่ออายุประมาณ 85 วัน (โชคชัยและคณะ, 2546)

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. ดินที่ใช้ศึกษาประกอบด้วย 5 ชุดดิน คือ ชุดดินตากลี, ชุดดินลพบุรี, ชุดดินลำานารายณ์ ชุดดินชัยบาดาล และชุดดินบ้านหมี่
2. เมล็ดพันธุ์พืชทดลอง
เมล็ดข้าวโพดพันธุ์สุวรรณ 4452
3. ปุ๋ยเคมี
 - 3.1 NH_2CONH_2
 - 3.2 KH_2PO_4
 - 3.3 KCl
 - 3.4 Zn Sulphate ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)
 - 3.5 ZnEDTA (NaZnEDTA)
 - 3.6 Zn citrate
 - 3.7 $\text{Fe}(\text{NH}_4\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
4. เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างดินและพืช
5. อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่างดินและพืช
 - 5.1 Atomic absorption spectrophotometer
 - 5.2 Spectrophotometer
 - 5.3 Micro - Kjeldahl distillation apparatus
 - 5.4 pH meter
 - 5.5 Electric conductometer
 - 5.6 Digestion apparatus
 - 5.7 ตู้อบควบคุมอุณหภูมิ
 - 5.8 เครื่องชั่ง 2 และ 3 ตำแหน่ง
 - 5.9 เครื่องบดตัวอย่างดินและตะแกรงร่อนดิน ขนาด 2 mm

- 5.10 เครื่องบดตัวอย่างพืช
- 5.11 สารเคมีที่จำเป็นในการวิเคราะห์ตัวอย่างดินและพืช
- 5.12 อุปกรณ์ที่จำเป็นในการวิเคราะห์ดิน - พืช
- 5.13 อุปกรณ์ในการปลูกพืชทดสอบในเรือนทดลอง

6. อุปกรณ์ในการทดลองการแช่เมล็ดในสารละลายสังกะสี

- 6.1 บีกเกอร์ ขนาด 50 ml
- 6.2 ขวดพลาสติก
- 6.3 pipette
- 6.4 volumetric flask ขนาด 100 ml
- 6.5 stirring rod
- 6.6 ตะกร้าพลาสติกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 cm

วิธีการ

การทดลองแบ่งเป็น 3 ส่วน

ส่วนที่ 1 การศึกษาการตอบสนองของข้าวโพดที่ปลูกในดินเนื้อปูนต่อปุ๋ยสังกะสี ในรูป $ZnSO_4$, ZnEDTA และ Zn citrate

1.1 การเตรียมตัวอย่างดิน

นำตัวอย่างดิน ชุดดินตาคลี ชุดดินลพบุรี และชุดดินถ่านารายณ์ ชุดดินชัยบาดาล ที่เก็บที่ระดับความลึก 0-15 cm จากแปลงข้าวโพดเกษตรกรในจังหวัดสระบุรีและจังหวัดลพบุรีนำมาผึ่งให้แห้งในที่ร่ม เก็บเศษซากพืชและเศษหินขนาดใหญ่ออก ผสมคลุกเคล้าเป็นเนื้อเดียวกันร่อนดินผ่านตะแกรงร่อนขนาด 2 mm แล้วแบ่งออกเป็นสองส่วน ส่วนที่หนึ่งสำหรับการวิเคราะห์ชั้นพื้นฐานในห้องปฏิบัติการ และส่วนที่เหลือสำหรับการปลูกพืชทดสอบในโรงเรือนทดลอง

1.2 การศึกษาและการทดลองในห้องปฏิบัติการทดลอง

การศึกษาสมบัติของดินที่ใช้ในการทดลองก่อนปลูกข้าวโพด

1.2.1 วัดค่าทางเคมีไฟฟ้าของดิน

1) pH ดิน วัดโดยใช้เครื่อง pH meter อัตราส่วนระหว่างดินต่อน้ำเท่ากับ 1:1 (ทัศนีย์ และจรงค์, 2542; Thomas, 1996)

2) ค่าการนำไฟฟ้า (electric conductivity, EC) วัดโดยอัตราส่วนดินต่อน้ำเท่ากับ 1:5 (ทัศนีย์ และจรงค์, 2542; Rhoades, 1996)

1.2.2 วิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดิน

1) ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน (organic matter) โดยวิธี Walkley and Black Titration (ทัศนีย์ และจรงค์, 2542; Walkley and Black, 1934)

2) ปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนต (calcium carbonate) โดยวิธี Titration method (Loeppert and Suarez, 1996)

3) ความจุในการแลกเปลี่ยนแคตไอออน (cation exchange capacity) โดยวิธี Ammonium acetate saturation method (ทัศนีย์ และจรงค์ษ์, 2542; Sumner and Miller, 1996)

4) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available phosphorus) สกัดโดยวิธี Bray II และวิเคราะห์ปริมาณโดยวิธี colorimetric (ทัศนีย์ และจรงค์ษ์, 2542; จรงค์ษ์, 2550; Bray and Kurtz, 1945)

5) ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (available potassium) สกัดโดยวิธี NH_4OAc pH 7.0 วิเคราะห์ปริมาณโดย atomic absorption spectrophotometer (ทัศนีย์ และจรงค์ษ์, 2542; Pratt, 1965)

6) ปริมาณแคลเซียมและแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ (available Ca and Mg) สกัดโดยวิธี NH_4OAc pH 7.0 วิเคราะห์ปริมาณโดย atomic absorption spectrophotometer (ทัศนีย์ และจรงค์ษ์, 2542; Pratt, 1965)

7) ปริมาณจุลธาตุ สังกะสี, เหล็ก, แมงกานีส และทองแดงที่เป็นประโยชน์ในดิน โดยการสกัดด้วย 0.005 M DTPA pH 7.3 และวิเคราะห์ด้วย atomic absorption spectrophotometer (ทัศนีย์ และจรงค์ษ์, 2542; จรงค์ษ์, 2550; Lindsay and Norvell, 1978)

1.2.3 วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของดิน

1) เนื้อดินวิเคราะห์โดยวิธี pipette method (Gee and Bauder, 1986)

1.3 การปลูกข้าวโพดในเรือนทดลอง

แบ่งการทดลองเป็น 4 การทดลอง ดังนี้

1.3.1 การทดลองที่ 1 การศึกษาการตอบสนองของข้าวโพดที่ปลูกในดินเนื้อปนซุดดินลพบุรีต่อยุ่สังกะสีในรูปแบบ $ZnSO_4$, ZnEDTA และ Zn citrate

1) แผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ $(3 \times 4) + 1$ factorial experiment in completely randomized design ทำ 3 ซ้ำ มี 2 ปัจจัย ปัจจัยที่ 1 คือ ชนิดของปุ๋ยสังกะสี ได้แก่ Zn sulphate, ZnEDTA และ Zn citrate ปัจจัยที่ 2 คือ อัตราปุ๋ยสังกะสี 4 อัตรา ได้แก่ 0.5, 1, 2 และ 4 $mg\ Zn\ kg^{-1}$ และค่าควบคุม (control) คือ ไม่ใส่ปุ๋ยสังกะสี รวมค่ารับการทดลองทั้งหมด 13 ค่ารับการทดลอง (treatment combination)

2) การปลูกพืชทดสอบ

นำตัวอย่างดินที่เตรียมไว้ซึ่งใส่กระถางจำนวน 6 kg ต่อกระถาง โดยใช้กระถางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางบน 28 cm สูง 28.5 cm ผสมคลุกเคล้าดินก่อนปลูกด้วยปุ๋ยในโตรเจนในรูปแบบ NH_2CONH_2 อัตรา 200 $mg\ N\ kg^{-1}$ ฟอสฟอรัสใส่ในรูปแบบ KH_2PO_4 อัตรา 200 $mg\ P_2O_5\ kg^{-1}$ โพแทสเซียมใส่ในรูปแบบ KCl และ KH_2PO_4 อัตรา 150 $mg\ K_2O\ kg^{-1}$ และ $Fe(NH_4)SO_4 \cdot 6H_2O$ อัตรา 20 $mg\ Fe\ kg^{-1}$ ใส่ปุ๋ยสังกะสี $ZnSO_4$, ZnEDTA และ Zn citrate ตามค่ารับการทดลอง (อัตรา 0.5, 1, 2 และ 4 $mg\ Zn\ kg^{-1}$) แล้วปลูกข้าวโพดพันธุ์สุวรรณ 4452 จำนวน 4 เมล็ดต่อกระถาง หลังจากปลูก 10 วัน ถอนแยกให้เหลือ 1 ต้น/ กระถาง รดด้วยน้ำกรองตลอดการทดลอง วัดความสูงของข้าวโพดเมื่ออายุ 20 และ 40 วันหลังหยอดเมล็ด ทำการเก็บเกี่ยวเมื่อข้าวโพดอายุ 55 วันหลังปลูก ซึ่งเป็นระยะออกดอก (tasseling stage) นำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ชั่งน้ำหนักแห้ง บดตัวอย่างพืชแล้วนำไปวิเคราะห์ปริมาณสังกะสี

3) การวิเคราะห์ตัวอย่างพืช

นำตัวอย่างพืชที่บดละเอียดมาย่อยสลายด้วย triacid mixture (conc. HNO_3 : conc. H_2SO_4 : conc. $HClO_4$ 5: 1: 2) แล้วนำไปวิเคราะห์ปริมาณสังกะสีด้วย atomic absorption spectrophotometer (ทัศนีย์ และจรงค์, 2542)

4) การเก็บและการวิเคราะห์ตัวอย่างดินหลังการเก็บเกี่ยว

สุ่มเก็บตัวอย่างดินประมาณ 1 kg ใส่ถุงพลาสติก นำดินมาผึ่งในที่ร่มจนแห้ง บดตัวอย่างดินผ่านตะแกรงร่อนขนาด 2 mm วิเคราะห์ปริมาณสังกะสีที่เป็นประโยชน์โดยสกัดดิน ด้วย 0.005 M DTPA pH 7.3 และวิเคราะห์ปริมาณสังกะสีโดย atomic absorption spectrophotometer (ทัศนีย์ และจรงค์ษ์, 2542)

5) การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ และการทดสอบปลูกใน กระถาง นำมาหาค่าความแปรปรวนทางสถิติ (analysis of variance) เพื่อหาค่า F-value และค่าทาง สถิติอื่น ๆ สำหรับการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี DMRT โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ

1.3.2 การทดลองที่ 2 การศึกษาการตอบสนองของข้าวโพดที่ปลูกในดินเนื้อปูนหุด ดินลำนารายณ์ต่อปุ๋ยสังกะสีในรูป Zn sulphate, ZnEDTA และ Zn citrate

แผนการทดลอง, การปลูกพืชทดสอบ, การวิเคราะห์ตัวอย่างพืช, การเก็บและ การวิเคราะห์ตัวอย่างดินหลังการเก็บเกี่ยว, การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ เหมือนการทดลองที่ 1 (1.3.1)

1.3.3 การทดลองที่ 3 การศึกษาการตอบสนองของข้าวโพดที่ปลูกในดินเนื้อปูนหุดดิน ชัยบาดาลต่อปุ๋ยสังกะสีในรูป Zn sulphate, ZnEDTA และ Zn citrate

แผนการทดลอง, การปลูกพืชทดสอบ, การวิเคราะห์ตัวอย่างพืช, การเก็บและ การวิเคราะห์ตัวอย่างดินหลังการเก็บเกี่ยว และการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ เหมือนการทดลองที่ 1 (1.3.1)

1.3.4 การทดลองที่ 4 การศึกษาการตอบสนองของข้าวโพดที่ปลูกในดินเนื้อปูนชุดดินตาคลีต่อปุ๋ยสังกะสีในรูป Zn sulphate, ZnEDTA และ Zn citrate

แผนการทดลอง, การปลูกพืชทดสอบ, การวิเคราะห์ตัวอย่างพืช, การเก็บและการวิเคราะห์ตัวอย่างดินหลังการเก็บเกี่ยว และการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ เหมือนการทดลองที่ 1 (1.3.1)

ส่วนที่ 2 ศึกษาการตอบสนองของข้าวโพดที่ปลูกในดินเนื้อปูนต่อวิธีการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางเมล็ด โดยวิธีการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสีและการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางดิน

2.1 การเตรียมตัวอย่างดิน

ตัวอย่างดินการเตรียมตัวอย่างดินเหมือนส่วนที่ 1 ข้อ 1.1

2.2 การศึกษาและการทดลองในห้องปฏิบัติการทดลอง

การศึกษาและการทดลองในห้องปฏิบัติการทดลองเหมือนส่วนที่ 1 ข้อ 1.2

2.3 การปลูกข้าวโพดในเรือนทดลอง

แบ่งการทดลองเป็น 4 การทดลอง ดังนี้

2.3.1 การทดลองที่ 1 ศึกษาการตอบสนองของข้าวโพดที่ปลูกในดินเนื้อปูนชุดดินลพบุรีต่อวิธีการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางเมล็ด โดยวิธีการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสีและการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางดิน

1) แผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มทดลอง completely randomized design (CRD) ทำ 3 ซ้ำ มี 5 ดำรับการทดลอง ดังนี้

- ดำรับที่ 1 ไม่ใส่ปุ๋ยสังกะสี (ดำรับควบคุม, ไม่แช่เมล็ดข้าวโพด)
(control, un-soaked seed)
- ดำรับที่ 2 แช่เมล็ดข้าวโพดในสารละลายปุ๋ยสังกะสี $ZnSO_4$ เข้มข้น 0.4% Zn
(0.4% Zn-s)
- ดำรับที่ 3 แช่เมล็ดข้าวโพดในสารละลายปุ๋ยสังกะสี $ZnSO_4$ เข้มข้น 0.8% Zn
(0.8% Zn-s)
- ดำรับที่ 4 แช่เมล็ดข้าวโพดในสารละลายปุ๋ยสังกะสี $ZnSO_4$ เข้มข้น 1.6% Zn
(1.6% Zn-s)
- ดำรับที่ 5 ใส่ปุ๋ยสังกะสี $ZnSO_4$ ทางดินอัตรา $2mg\ Zn\ kg^{-1}\ soil$ (2Zn-sa)

2) การแช่เมล็ดข้าวโพดในสารละลายปุ๋ยสังกะสี $ZnSO_4$ ก่อนปลูก

เตรียมสารละลายปุ๋ยสังกะสี $ZnSO_4$ ให้มีความเข้มข้นของสังกะสี 0.4%, 0.8% และ 1.6% Zn โดยชั่งปุ๋ย $ZnSO_4$ 1.76, 3.52 และ 7.04 g แล้วนำไปละลายด้วยน้ำกลั่น 100 ml เขย่าให้สารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน คูดสารละลายที่มีความเข้มข้นของสังกะสีต่าง ๆ ดังกล่าวจำนวน 15 ml ลงในขวดพลาสติก แล้วชั่งเมล็ดข้าวโพด 10 g นำมาแช่ในสารละลาย (เมล็ด: สารละลาย, 1: 1.5 w/v) ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง ($\sim 25^\circ C$) 16 ชั่วโมง นำเมล็ดข้าวโพดออกจากขวด แล้วผึ่งเป็นระยะเวลา 5 นาที จากนั้นแบ่งเมล็ดเป็น 2 ส่วน ส่วนที่ 1 นำไปปลูกตามดำรับการทดลองทันที ส่วนที่ 2 นำไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสให้แห้ง บดแล้วนำไปวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของสังกะสีในเมล็ด

3) การปลูกพืชทดสอบ

นำตัวอย่างดินที่เตรียมไว้ซึ่งใส่กระถางจำนวน 6 kg ต่อกระถาง โดยใช้กระถางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางบน 28 cm สูง 28.5 cm ผสมคลุกเคล้าดินก่อนปลูกด้วยปุ๋ยในโตรเจนในรูป NH_2CONH_2 อัตรา 200 mg N kg^{-1} ฟอสฟอรัสใส่ในรูป KH_2PO_4 อัตรา 200 $\text{mg P}_2\text{O}_5 \text{ kg}^{-1}$ โพแทสเซียมใส่ในรูป KCl และ KH_2PO_4 อัตรา 150 $\text{mg K}_2\text{O kg}^{-1}$ และ $\text{Fe}(\text{NH}_4\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ อัตรา 20 mg Fe kg^{-1} ปลูกข้าวโพดตามตำรับการทดลองโดยใช้เมล็ดข้าวโพดพันธุ์สุวรรณ 4452 4 เมล็ดต่อกระถางทุกตำรับการทดลอง โดยตำรับการทดลองที่ 1 ไม่แช่เมล็ด (control, un-soaked seed) สำหรับตำรับการทดลองที่ 2-4 นำเมล็ดข้าวโพดที่เตรียมจากการแช่เมล็ดข้าวโพดในสารละลายปุ๋ย ZnSO_4 ความเข้มข้นต่าง ๆ ดังกล่าว (ข้อ 2) และตำรับที่ 5 ใส่ปุ๋ยสังกะสี ZnSO_4 ทางดินอัตรา 2 mg Zn kg^{-1} soil (ใช้เมล็ดข้าวโพดที่ไม่แช่ในสารละลายปุ๋ยสังกะสี) มาปลูกตามตำรับการทดลอง หลังจากปลูก 10 วัน ถอนแยกให้เหลือ 1 ต้น/ กระถาง รดด้วยน้ำกรองตลอดการทดลอง วัดความสูงของข้าวโพดเมื่ออายุ 20 และ 40 วันหลังหยอดเมล็ด ทำการเก็บเกี่ยวเมื่อข้าวโพดอายุ 72 วันหลังปลูก นำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ชั่งน้ำหนักฝักและตอชั่ง บดตัวอย่างพืชแล้วนำไปวิเคราะห์ปริมาณสังกะสี

4) การวิเคราะห์ตัวอย่างพืช

นำตัวอย่างพืชที่บดละเอียดมาย่อยสลายด้วย triacid mixture (conc. HNO_3 : conc. H_2SO_4 : conc. HClO_4 5: 1: 2) แล้วนำไปวิเคราะห์ปริมาณสังกะสีด้วย atomic absorption spectrophotometer (ทัศนีย์ และจรงค์, 2542)

5) การเก็บและการวิเคราะห์ตัวอย่างดินหลังการเก็บเกี่ยว

สุ่มเก็บตัวอย่างดินประมาณ 1 kg ใส่ถุงพลาสติก นำดินมาผึ่งในที่ร่มจนแห้ง บดตัวอย่างดินผ่านตะแกรงร่อนขนาด 2 mm วิเคราะห์ปริมาณสังกะสีที่เป็นประโยชน์โดยสกัดดินด้วย 0.005 M DTPA pH 7.3 และวิเคราะห์ปริมาณสังกะสีโดย atomic absorption spectrophotometer (ทัศนีย์ และจรงค์, 2542)

6) การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการและการทดสอบปลูกในกระถางนำมาหาค่าความแปรปรวนทางสถิติ เพื่อหาค่า F-value และค่าทางสถิติอื่น ๆ สำหรับการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย โดยวิธี DMRT โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ

2.3.2 การทดลองที่ 2 ศึกษาการตอบสนองของข้าวโพดที่ปลูกในดินเนื้อปูนชุดดินลำนารายณ์ต่อวิธีการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางเมล็ด โดยวิธีการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสีและการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางดิน

แผนการทดลอง, การแช่เมล็ดข้าวโพดในสารละลายปุ๋ยสังกะสี $ZnSO_4$ ก่อนปลูก, การปลูกพืชทดสอบ, การวิเคราะห์ตัวอย่างพืช, การเก็บและการวิเคราะห์ตัวอย่างดินหลังการเก็บเกี่ยวและการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ เหมือนการทดลองที่ 1 (2.3.1)

2.3.3 การทดลองที่ 3 ศึกษาการตอบสนองของข้าวโพดที่ปลูกในดินเนื้อปูนชุดดินชัยบาดาลต่อวิธีการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางเมล็ด โดยวิธีการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสีและการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางดิน

แผนการทดลอง, การแช่เมล็ดข้าวโพดในสารละลายปุ๋ยสังกะสี $ZnSO_4$ ก่อนปลูก, การปลูกพืชทดสอบ, การวิเคราะห์ตัวอย่างพืช, การเก็บและการวิเคราะห์ตัวอย่างดินหลังการเก็บเกี่ยวและการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ เหมือนการทดลองที่ 1 (2.3.1)

2.3.4 การทดลองที่ 4 ศึกษาการตอบสนองของข้าวโพดที่ปลูกในดินเนื้อปูนชุดดินตาคีต่อวิธีการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางเมล็ด โดยวิธีการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสีและการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางดิน

แผนการทดลอง, การแช่เมล็ดข้าวโพดในสารละลายปุ๋ยสังกะสี $ZnSO_4$ ก่อนปลูก, การปลูกพืชทดสอบ, การวิเคราะห์ตัวอย่างพืช, การเก็บและการวิเคราะห์ตัวอย่างดินหลังการเก็บเกี่ยวและการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ เหมือนการทดลองที่ 1 (2.3.1)

ส่วนที่ 3 ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพ น้ำยาสกัด DTPA, Mehlich3, AB-DTPA และ EDTA-(NH₄)₂CO₃ ในการประเมินสังกะสีที่เป็นประโยชน์ในดินเนื้อปูน

3.1 การเตรียมตัวอย่างดิน

นำตัวอย่างดิน ชุดดินตาคลี (2 ตัวอย่าง), ชุดดินลพบุรี (2 ตัวอย่าง), ชุดดินถ่านารายณ์ ชุดดินชัยบาดาล และชุดดินบ้านหมี่ที่เก็บที่ระดับความลึก 0-15 cm จากแปลงข้าวโพดเกษตรกรใน จังหวัดสระบุรีและจังหวัดลพบุรีนำมาผึ่งให้แห้งในที่ร่ม เก็บเศษซากพืช และเศษหินขนาดใหญ่ ออก ผสมคลุกเคล้าเป็นเนื้อเดียวกันร่อนดินผ่านตะแกรงร่อนขนาด 2 mm แล้วแบ่งออกเป็นสอง ส่วน ส่วนที่หนึ่งสำหรับการวิเคราะห์ขั้นพื้นฐานในห้องปฏิบัติการ และเพื่อวิเคราะห์ปริมาณ สังกะสีที่เป็นประโยชน์ด้วยน้ำยาสกัดต่าง ๆ และส่วนที่เหลือสำหรับการปลูกพืชทดสอบใน โรงเรือนทดลอง

3.2 การศึกษาและการทดลองในห้องปฏิบัติการทดลอง

การวิเคราะห์สมบัติขั้นพื้นฐาน และการวิเคราะห์สังกะสีที่เป็นประโยชน์ของตัวอย่าง ดินเนื้อปูนที่นำมาศึกษา

3.2.1 วัดค่าทางเคมีไฟฟ้าของดิน

1) ปฏิกริยาดิน (pH) วัดโดยใช้เครื่อง pH meter อัตราส่วนระหว่างดินต่อน้ำ เท่ากับ 1:1 (ทศนิยม และจรงค์, 2542; Thomas, 1996)

2) ค่าการนำไฟฟ้า (electric conductivity, EC) วัดโดยอัตราส่วนดินต่อน้ำ เท่ากับ 1:5 (ทศนิยม และจรงค์, 2542; Rhoades, 1996)

3.2.2 วิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดิน

1) ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน (organic matter) โดยวิธี Walkley and Black Titration (ทศนิยม และจรงค์, 2542; Walkley and Black, 1934)

2) ปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนต (calcium carbonate) โดยวิธี Titration method (Loeppert and Suarez, 1996)

3) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available phosphorus) สกัดโดยวิธี Bray II และวิเคราะห์ปริมาณ โดยวิธี colorimetric (ทัศนีย์ และจรงค์, 2542; จรงค์, 2550; Bray and Kurtz, 1945)

4) ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (available potassium) สกัดโดยวิธี NH_4OAc pH 7.0 วิเคราะห์ปริมาณ โดย atomic absorption spectrophotometer (ทัศนีย์ และจรงค์, 2542; Pratt, 1965)

5) ปริมาณแคลเซียมและแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ (available Ca and Mg) สกัดโดยวิธี NH_4OAc pH 7.0 วิเคราะห์ปริมาณ โดย atomic absorption spectrophotometer (ทัศนีย์ และจรงค์, 2542; Pratt, 1965)

6) ปริมาณจุลธาตุ สังกะสี, เหล็ก, แมงกานีสและทองแดงที่เป็นประโยชน์ในดิน โดยการสกัดด้วย 0.005 M DTPA pH 7.3 และวิเคราะห์ด้วย atomic absorption spectrophotometer (ทัศนีย์ และจรงค์, 2542; จรงค์, 2550; Lindsay and Norvell, 1978)

3.2.3 วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของดิน

1) เนื้อดินวิเคราะห์โดยวิธี Pipette method (Gee and Bauder, 1986)

3.2.4 การวิเคราะห์สังกะสีที่เป็นประโยชน์ในตัวอย่างดินเนื้อปูนที่ศึกษา

การเตรียมน้ำยาสกัดที่ใช้ในการศึกษา

1) Mehlich3 (Mehlich, 1984) ประกอบด้วย 0.2 M CH_3COOH + 0.25 M NH_4NO_3 + 0.015 M NH_4F + 0.013 M HNO_3 + 0.001 M EDTA เตรียมน้ำยาสกัดโดยตวง conc. CH_3COOH 11.49 ml, conc. HNO_3 0.84 ml จากนั้นชั่ง NH_4NO_3 20 g, NH_4F 0.56 g และ EDTA 0.29 g เทส่วนผสมทั้งหมดลงใน volumetric flask ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 1,000 ml

2) Ammonium Bicarbonate-DTPA หรือน้ำยาสกัด AB-DTPA (Soltanpour and Schwab, 1977) ประกอบด้วย 1 M NH_4HCO_3 และ 0.005 M DTPA เตรียมน้ำยาสกัดโดยละลาย DTPA 1.97 g ด้วยน้ำกลั่น 800 ml ใน volumetric flask จากนั้นเติม NH_4HCO_3 79.06 g แล้วละลายให้เป็นเนื้อเดียวกัน ปรับพีเอชของน้ำยาสกัดเป็น 7.6 ด้วย NH_4OH หรือ HCl ปรับปริมาตรเป็น 1,000 ml ด้วยน้ำกลั่น ใช้สกัดตัวอย่างดินหลังจากเตรียมเสร็จไม่เกิน 24 ชั่วโมง

3) น้ำยาสกัด EDTA- $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ (Trierweiler and Lindsay, 1969) ประกอบด้วย 0.01 M EDTA และ 1 M $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ เตรียมน้ำยาสกัดโดยละลาย EDTA 372.24 g ด้วยน้ำกลั่น 800 ml ใน volumetric flask จากนั้นเติม $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ 157.13 g แล้วละลายให้เป็นเนื้อเดียวกัน ปรับพีเอชของน้ำยาสกัดเป็น 8.6 ด้วย NH_4OH หรือ HCl ปรับปริมาตรเป็น 1,000 ml ด้วยน้ำกลั่น

4) น้ำยาสกัด DTPA (Lindsay and Norwell, 1969) ประกอบด้วย 0.005 M + 0.01 M CaCl_2 + 0.1 M TEA (triethanolamine) เตรียมน้ำยาสกัดโดยละลาย DTPA 393.35 g CaCl_2 147.02 g และ TEA 149.19 ละลายให้เป็นเนื้อเดียวกัน แล้วปรับพีเอชของน้ำยาสกัดเป็น 7.3 ด้วย NH_4OH หรือ HCl ปรับปริมาตรเป็น 1,000 ml ด้วยน้ำกลั่น

3.2.5 การสกัดสังกะสีในดินด้วยวิธีน้ำยาสกัดที่ศึกษา

นำตัวอย่างดินเนื้อปูนทั้ง 7 ตัวอย่าง มาทำการสกัดสังกะสีที่เป็นประโยชน์ด้วยน้ำยาสกัด Mehlich₃, AB-DTPA, EDTA- $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ และ DTPA ดังแสดงรายละเอียดสัดส่วนดินต่อน้ำยาสกัดที่ใช้ และระยะเวลาที่ใช้ในการสกัดดิน ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงรายละเอียดน้ำยาสกัดสังกะสีที่เป็นประโยชน์ด้วยน้ำยาสกัดชนิดต่าง ๆ

น้ำยาสกัด	องค์ประกอบ	อัตราส่วน ดิน : น้ำยา สกัด	น้ำหนักดิน (g)	น้ำยาสกัด (ml)	เวลาสกัด (นาที)
DTPA (Lindsay and Norvell, 1978)	0.005 M DTPA 0.01 M CaCl ₂ 0.1 M TEA	1 : 2	25	50	120
AB-DTPA (Soltanpour and Schwab, 1977)	0.005 M DTPA 1 M NH ₄ HCO ₃	1 : 2	10	20	15
Mehlich3 (Mehlich, 1984)	0.2 M CH ₃ COOH, 0.25 M NH ₄ NO ₃ , 0.015 M NH ₄ F, 0.013 M HNO ₃ , 0.001 M EDTA	1 : 10	2.5	25	5
EDTA-(NH ₄) ₂ CO ₃ (Trierweiler and Lindsay, 1969)	0.01 M EDTA 1 M (NH ₄) ₂ CO ₃	1 : 2	10	20	30

3.3 การปลูกพืชในเรือนทดลอง

3.3.1 การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ (7x2) factorial experiment in completely randomized design (CRD) โดยปัจจัยแรก คือ ตัวอย่างดินเนื้อปูน ประกอบด้วย ชุดดินดากลี (2), ชุดดินลพบุรี (2), ชุดดินชัยบาดาล, ชุดดินลำานรายณ์ และชุดดินบ้านหมี่ ปัจจัยที่สองคือปุ๋ยสังกะสี ได้แก่ ใส่ปุ๋ยสังกะสี (+Zn) และไม่ใส่ปุ๋ยสังกะสี (-Zn) รวม 14 ดำรับการทดลอง ทำการทดลอง 3 ซ้ำ จำนวนหน่วยทดลองทั้งหมด 42 หน่วยทดลอง

3.3.2 การปลูกพืชทดสอบ

ใช้ดิน 6 kg ต่อกระถาง ผสมคลุกเคล้าดินก่อนปลูกด้วยปุ๋ยไนโตรเจนในรูป NH_2CONH_2 อัตรา 200 mg N kg^{-1} ฟอสฟอรัสในรูป KH_2PO_4 อัตรา 200 mg P_2O_5 kg^{-1} โพแทสเซียมในรูป KCl และ KH_2PO_4 อัตรา 150 mg K_2O kg^{-1} และ $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ อัตรา 20 mg Fe kg^{-1} สำหรับสังกะสีในรูป ZnSO_4 อัตรา 4 mg Zn kg^{-1} โดยละลายในน้ำกรองรดดินให้ทั่วกระถางก่อนปลูก แล้วปลูกข้าวโพดพันธุ์ 4452 จำนวน 4 เมล็ดต่อกระถาง หลังจากปลูก 10 วัน ถอนแยกให้เหลือ 1 ต้น/กระถาง รดด้วยน้ำกรองตลอดการทดลอง ทำการเก็บเกี่ยวเมื่อระยะออกดอก (tasseling stage) อายุ 55 วันหลังปลูก นำต้นข้าวโพดทั้งต้น (whole plant) อบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ชั่งน้ำหนักแห้งของฝัก บดตัวอย่างพืชเพื่อนำไปวิเคราะห์ปริมาณสังกะสีต่อไป

3.3.3 การวิเคราะห์ตัวอย่างพืช

นำตัวอย่างพืชที่บดละเอียดมาย่อยสลายด้วย triacid mixture (conc. HNO_3 : conc. H_2SO_4 : conc. HClO_4 5: 1: 2) แล้วนำไปวิเคราะห์ปริมาณสังกะสีด้วย atomic absorption spectrophotometer (ทัศนีย์ และจรงค์, 2542)

3.3.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

1) ข้อมูลเกี่ยวกับพืช ได้แก่ น้ำหนักแห้งและปริมาณการดูดใช้สังกะสีทั้งหมด (total Zn uptake) นำมาหาค่าความแปรปรวนทางสถิติเพื่อหาค่า F-value และค่าทางสถิติอื่น ๆ สำหรับการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี DMRT โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ

2) วิเคราะห์ปริมาณสังกะสีที่เป็นประโยชน์ในชุดดินต่าง ๆ ซึ่งสกัดด้วยน้ำยา DTPA, Mehlich3, $\text{EDTA}-(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ และ AB-DTPA นำมาหาสหสัมพันธ์กัน (correlation analysis) และประเมินค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient, r)

3) นำข้อมูลปริมาณสังกะสีที่เป็นประโยชน์ในดินซึ่งสกัดด้วยน้ำยาสกัด DTPA, Mehlich3, $\text{EDTA}-(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ และ AB-DTPA มาหาสหสัมพันธ์กันกับผลผลิตน้ำหนักแห้ง และปริมาณการดูดใช้สังกะสีทั้งหมดของข้าวโพดซึ่งเป็นพืชทดสอบ รวมทั้งความเข้มข้นของสังกะสีในข้าวโพดดำรับ (-Zn) และประเมินค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ จากนั้นนำข้อมูลที่พบว่ามีสหสัมพันธ์

กั้นำมาวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (linear regression analysis) การประเมินค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด (coefficient of determination, r^2) ผลการวิเคราะห์สหสัมพันธ์และการถดถอยนำมาพิจารณาประสิทธิภาพของน้ำยาสกัดในการประเมินสังกะสีที่เป็นประโยชน์ในดินที่นำมาศึกษา

สถานที่และระยะเวลาในการศึกษา

สถานที่ศึกษา

เรือนทดลองและห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ดินและพืช ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ระยะเวลาในการศึกษา

เดือนมกราคม 2551- มกราคม 2553

ผลและวิจารณ์

1. การศึกษาการตอบสนองของข้าวโพดที่ปลูกในดินเนื้อปูนต่อปุ๋ยสังกะสี ในรูป $ZnSO_4$, $ZnEDTA$ และ $Zn citrate$

ผล

1.1 สมบัติบางประการของดินที่นำมาศึกษา

สมบัติบางประการของดินเนื้อปูนชุดดินลพบุรี ลำานารายณ์ ชัยบาดาล ตากลิ ที่นำมาศึกษาแสดงอยู่ในตารางที่ 3 พบว่า เนื้อดินเป็นดินเหนียว ดินเป็นด่าง พีเอชอยู่ในช่วง 7.8-7.9 ปริมาณอินทรีย์วัตถุมีฟิส์อยู่ในช่วง $20-34 \text{ g kg}^{-1}$ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินอยู่ในระดับปานกลางถึงสูงมาก ปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตมีฟิส์อยู่ในช่วง $42-550 \text{ g kg}^{-1}$ ปริมาณโพแทสเซียม, แคลเซียมและแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินอยู่ในระดับสูงมาก (Land Classification Division and FAO Project Staff, 1973) ปริมาณ, เหล็ก, แมงกานีส และทองแดง ที่เป็นประโยชน์ในดินมีฟิส์อยู่ในช่วง $3.06-12.21 \text{ mg Fe kg}^{-1}$, $4.17-16.99 \text{ mg Mn kg}^{-1}$ และ $0.58-1.19 \text{ mg Cu kg}^{-1}$ ตามลำดับ ปริมาณสังกะสีที่เป็นประโยชน์ในดินอยู่ในระดับต่ำ (Martens and Lindsay, 1990) โดยมีฟิส์อยู่ในช่วง $0.58-0.79 \text{ mg Zn kg}^{-1}$

ตารางที่ 3 สมบัติทางเคมีและฟิสิกส์บางประการของดินที่ทำการศึกษา

สมบัติของดิน	ชุดดิน			
	ลพบุรี (Lb)	ถ้ำนารายณ์ (Ln)	ชัยบาดาล (Cd)	ตากดี (Tk)
Soil texture	Clay	Clay	Clay	Clay
pH	7.8	7.8	7.8	7.9
EC(dS m ⁻¹)	0.12	0.11	0.13	0.10
Organic matter (g kg ⁻¹)	34	23	20	27
Calcium carbonate (g kg ⁻¹)	415	45	42	550
Available phosphorus (mg kg ⁻¹)	12	75	15	49
Available potassium (mg kg ⁻¹)	212	188	296	127
Available calcium(mg kg ⁻¹)	15,165	11,213	9,555	11,982
Available magnesium (mg kg ⁻¹)	392	968	1,431	360
Available zinc (mg kg ⁻¹)	0.79	0.58	0.68	0.58
Available manganese (mg kg ⁻¹)	4.84	4.17	16.99	11.65
Available iron (mg kg ⁻¹)	3.06	3.86	12.01	3.72
Available copper (mg kg ⁻¹)	0.88	0.82	1.19	0.58

1.2 การศึกษาการตอบสนองของข้าวโพดที่ปลูกในดินเนื้อปูนชุดดินลพบุรีต่อปุ๋ยสังกะสี
ในรูป $ZnSO_4$, ZnEDTA และ Zn citrate

1.2.1 ความสูงของข้าวโพด

เมื่อข้าวโพดอายุ 20 วัน พบว่าข้าวโพดในตำรับที่ไม่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสี (control) และที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีมีความสูงไม่แตกต่างกัน (ตารางที่ 4) ข้าวโพดที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีอัตราต่าง ๆ มีความสูงใกล้เคียงกันทั้งเมื่อใส่ปุ๋ยสังกะสีในรูป $ZnSO_4$, ZnEDTA และ Zn citrate

เมื่อข้าวโพดอายุได้ 40 วัน พบว่าข้าวโพดที่รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีมีความสูงมากกว่าที่ไม่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 5) โดยความสูงเฉลี่ยของข้าวโพดที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีเท่ากับ 72.6 cm ขณะที่ข้าวโพดที่ไม่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีมีความสูงเฉลี่ยเท่ากับ 60 cm ข้าวโพดที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีอัตรา 2 mg Zn kg⁻¹ soil มีแนวโน้มสูงกว่าที่ได้รับปุ๋ยสังกะสีอัตรา 1.0 mg Zn kg⁻¹ soil และสูงกว่าข้าวโพดที่ได้รับการใส่สังกะสีอัตรา 0.5 และ 4 mg Zn kg⁻¹ soil อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งเมื่อใส่ปุ๋ยสังกะสีในรูป $ZnSO_4$, ZnEDTA และ Zn citrate

ข้าวโพดอายุ 20 และ 40 วัน ที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีในรูป $ZnSO_4$, ZnEDTA และ Zn citrate มีความสูงไม่แตกต่างกันทางสถิติในทุกอัตราการใส่ปุ๋ยสังกะสี

ตารางที่ 4 ผลการใส่ปุ๋ยสังกะสีในรูป ZnSO₄, ZnEDTA และ Zn citrate ต่อความสูงของข้าวโพดอายุ 20 วันที่ปลูกในดินเนื้อปานหุดดินลพบุรี

อัตราปุ๋ยสังกะสี (rate) (mg Zn kg ⁻¹ soil)	ชนิดปุ๋ยสังกะสี (source)			
	ZnSO ₄	ZnEDTA	Zn citrate	เฉลี่ย
	ความสูง (cm)			
0.5	18.3	18.5	18.0	18.3
1	17.5	17.7	19.0	18.1
2	17.5	17.3	17.2	17.3
4	17.0	18.2	18.7	17.9
เฉลี่ย	17.6	17.9	18.2	18.0
ค่าเฉลี่ยของค่ารับควบคุม			17.0	
CV (%)			10.4	
F-Test (source)			ns	
F-Test (rate)			ns	
F-Test (source × rate)			ns	
F-Test (control vs treated)			ns	

หมายเหตุ ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ตารางที่ 5 ผลการใส่ปุ๋ยสังกะสีในรูป ZnSO₄, ZnEDTA และ Zn citrate ต่อความสูงของข้าวโพด อายุ 40 วันที่ปลูกในดินเนื้อปูนหุดดินลพบุรี

อัตราปุ๋ยสังกะสี (rate) (mg Zn kg ⁻¹ soil)	ชนิดปุ๋ยสังกะสี (source)			
	ZnSO ₄	ZnEDTA	Zn citrate	เฉลี่ย
	ความสูง ^u (cm)			
0.5	70.5	70.2	68.3	69.7b
1	75.5	75.5	76.3	75.8a
2	76.5	78.3	78.0	77.6a
4	64.7	65.8	69.3	66.6b
เฉลี่ย	71.8	72.5	73.0	72.6
ค่าเฉลี่ยของดำรับควบคุม			60.0	
CV (%)			7.8	
F-Test (source)			ns	
F-Test (rate)			**	
F-Test (source × rate)			ns	
F-Test (control vs treated)			**	

หมายเหตุ ** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 %

^u ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยอักษรเหมือนกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

1.2.2 น้ำหนักแห้งของข้าวโพด

การใส่ปุ๋ยสังกะสีมีผลในการเพิ่มผลผลิตน้ำหนักแห้งของข้าวโพดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 6) ผลผลิตน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของข้าวโพดที่ไม่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีเท่ากับ 67.8 g pot^{-1} ขณะที่ผลผลิตน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของข้าวโพดที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีจะเพิ่มขึ้นเป็น 101.5 g pot^{-1} ข้าวโพดที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีอัตรา 2 และ $4 \text{ mg Zn kg}^{-1} \text{ soil}$ ให้ผลผลิตใกล้เคียงกันและสูงกว่าที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีอัตรา $0.5 \text{ mg Zn kg}^{-1} \text{ soil}$ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ผลผลิตน้ำหนักแห้งของข้าวโพดที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีอัตรา $1 \text{ mg Zn kg}^{-1} \text{ soil}$ มีแนวโน้มสูงกว่าที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีอัตรา $0.5 \text{ mg Zn kg}^{-1} \text{ soil}$ ผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกันทั้งเมื่อใส่ปุ๋ยสังกะสีในรูปแบบ ZnSO_4 , ZnEDTA และ Zn citrate

พบว่าผลผลิตน้ำหนักแห้งของข้าวโพดที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีทั้งในรูปแบบ ZnSO_4 , ZnEDTA และ Zn citrate ไม่แตกต่างกันทางสถิติในทุกอัตราการใส่ปุ๋ยสังกะสี

ตารางที่ 6 ผลการใส่ปุ๋ยสังกะสีในรูป ZnSO₄, ZnEDTA และ Zn citrate ต่อผลผลิตน้ำหนักรากแห้งของข้าวโพดที่ปลูกในดินเนื้อปูนชุดดินลพบุรี

อัตราปุ๋ยสังกะสี (rate) (mg Zn kg ⁻¹ soil)	ชนิดปุ๋ยสังกะสี (source)			
	ZnSO ₄	ZnEDTA	Zn citrate	เฉลี่ย
		น้ำหนักรากแห้ง ^{1/} (g pot ⁻¹)		
0.5	92.9	95.3	94.1	94.1b
1	104.6	97.0	102.3	101.3ab
2	108.4	105.9	103.8	106.1a
4	98.8	102.9	108.7	103.5a
เฉลี่ย	101.2	100.30	102.2	101.5
ค่าเฉลี่ยของค่ารับควบคุม			67.8	
CV (%)			8.0	
F-Test (source)			ns	
F-Test (rate)			*	
F-Test (source × rate)			ns	
F-Test (control vs treated)			**	

หมายเหตุ * และ ** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ 99 %

^{1/} ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยอักษรเหมือนกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

1.2.3 ปริมาณการดูดใช้สังกะสีของข้าวโพด

ปริมาณการดูดใช้สังกะสีของข้าวโพดที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสี (เฉลี่ย $1.88 \text{ mg Zn pot}^{-1}$) สูงกว่าปริมาณการดูดใช้สังกะสีของข้าวโพดที่ไม่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสี (เฉลี่ย $1.00 \text{ mg Zn pot}^{-1}$) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 7) ปริมาณการดูดใช้สังกะสีของข้าวโพดที่ใส่ปุ๋ยสังกะสีทั้งในรูปแบบ ZnSO_4 , ZnEDTA และ Zn citrate เพิ่มขึ้นเมื่ออัตราปุ๋ยที่ใส่เพิ่มขึ้น โดยที่อัตราการใส่ $4 \text{ mg Zn kg}^{-1} \text{ soil}$ ปริมาณการดูดใช้สังกะสีของข้าวโพดสูงที่สุด รองลงมาคือที่อัตราการใส่ $2 \text{ mg Zn kg}^{-1} \text{ soil}$ และ $1 \text{ mg Zn kg}^{-1} \text{ soil}$ ต่ำสุดคือที่อัตราการใส่ $0.5 \text{ mg Zn kg}^{-1} \text{ soil}$

พบว่าปริมาณการดูดใช้สังกะสีของข้าวโพดที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีในรูปแบบ ZnSO_4 , ZnEDTA และ Zn citrate ไม่แตกต่างกันทางสถิติในทุกอัตราการใส่ปุ๋ย

ตารางที่ 7 ผลการใส่ปุ๋ยสังกะสีในรูปแบบ ZnSO₄, ZnEDTA และ Zn citrate ต่อปริมาณการดูดใช้สังกะสีทั้งหมดของข้าวโพดที่ปลูกในดินเนื้อปูนชุดดินลพบุรี

อัตราปุ๋ยสังกะสี (rate) (mg Zn kg ⁻¹ soil)	ชนิดปุ๋ยสังกะสี (source)			
	ZnSO ₄	ZnEDTA	Zn citrate	เฉลี่ย
	ปริมาณการดูดใช้สังกะสี ^u (mg Zn pot ⁻¹)			
0.5	1.73	1.54	1.34	1.53c
1	1.70	1.54	1.76	1.66c
2	1.89	2.10	1.88	1.92b
4	2.33	2.44	2.55	2.22a
เฉลี่ย	1.91	1.91	1.81	1.88
ค่าเฉลี่ยของค่ารับควบคุม			1.00	
CV (%)			13.7	
F-Test (source)			ns	
F-Test (rate)			**	
F-Test (source × rate)			ns	
F-Test (control vs treated)			**	

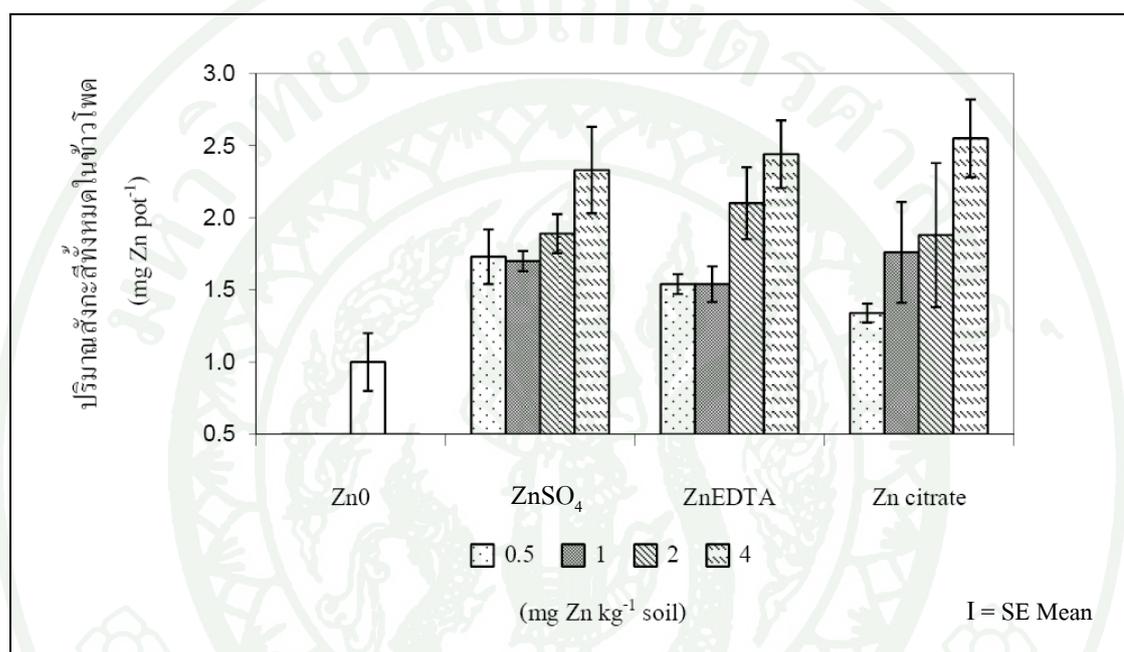
หมายเหตุ ** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 %

^u ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยอักษรเหมือนกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

1.2.4 ปริมาณสังกะสีที่เป็นประโยชน์ในดินหลังการเก็บเกี่ยว

จากการวิเคราะห์ดินหลังการเก็บเกี่ยวข้าวโพด พบว่าปริมาณสังกะสีที่เป็นประโยชน์ในดินปลูกข้าวโพดที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีสูงกว่าที่ไม่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสี (ภาพที่ 1) ปริมาณสังกะสีที่เป็นประโยชน์ในดินเพิ่มขึ้นตามอัตราการใส่ปุ๋ยสังกะสีที่เพิ่มขึ้น ทั้งเมื่อมีการใส่ปุ๋ยสังกะสีในรูป $ZnSO_4$, ZnEDTA และ Zn citrate



ภาพที่ 1 ปริมาณสังกะสีที่เป็นประโยชน์ (DTPA-Zn) ในดินเนื้อปูนชุดดินลพบุรีหลังการเก็บเกี่ยวข้าวโพดที่ได้รับการใส่ $ZnSO_4$, ZnEDTA และ Zn citrate

1.3 การศึกษาการตอบสนองของข้าวโพดที่ปลูกในดินเนื้อปนหุคดินดำนารายณ์ต่อปุ๋ยสังกะสีในรูป $ZnSO_4$, ZnEDTA และ Zn citrate

1.3.1 ความสูงของข้าวโพด

เมื่อข้าวโพดอายุได้ 20 วัน พบว่า ข้าวโพดที่รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีมีความสูงมากกว่าที่ไม่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 8) ข้าวโพดที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีอัตราต่าง ๆ มีความสูงใกล้เคียงกันทั้งเมื่อใส่ปุ๋ยสังกะสีในรูป $ZnSO_4$, ZnEDTA และ Zn citrate

เมื่อข้าวโพดอายุ 40 วัน พบว่า ข้าวโพดที่รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีมีความสูงมากกว่าที่ไม่ได้ รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 9) โดยความสูงเฉลี่ยของข้าวโพดที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีเท่ากับ 56.4 cm ขณะที่ข้าวโพดที่ไม่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีมีความสูงเฉลี่ยเท่ากับ 28.8 cm พบว่าข้าวโพดที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีอัตรา 2 mg Zn kg^{-1} soil มีแนวโน้มสูงกว่าที่ได้รับปุ๋ยสังกะสีอัตรา 4 mg Zn kg^{-1} soil และสูงกว่าข้าวโพดที่ได้รับการใส่สังกะสีอัตรา 0.5 และ 1 mg Zn kg^{-1} soil อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งเมื่อใส่ปุ๋ยสังกะสีในรูป $ZnSO_4$, ZnEDTA และ Zn citrate

ข้าวโพดอายุ 20 และ 40 วัน ที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีทั้งในรูป $ZnSO_4$, ZnEDTA และ Zn citrate มีความสูงไม่แตกต่างกันทางสถิติในทุกอัตราการใส่ปุ๋ยสังกะสี

ตารางที่ 8 ผลการใส่ปุ๋ยสังกะสีในรูป ZnSO₄, ZnEDTA และ Zn citrate ต่อความสูงของข้าวโพด อายุ 20 วันที่ปลูกในดินเนื้อปนหุคดินลำนารายณ์

อัตราปุ๋ย (rate) (mg Zn kg ⁻¹ soil)	ชนิดปุ๋ยสังกะสี (source)			เฉลี่ย
	ZnSO ₄	ZnEDTA	Zn citrate	
	ความสูง (cm)			
0.5	17.8	14.5	16.8	16.4
1	17.8	16.3	15.3	16.5
2	18.0	16.3	17.2	17.2
4	17.5	16.7	14.7	16.3
เฉลี่ย	17.8	16.0	16.0	16.6
ค่าเฉลี่ยของค่ารับควบคุม			7.5	
CV (%)			9.9	
F-Test (source)			ns	
F-Test (rate)			ns	
F-Test (source*rate)			ns	
F-Test (control vs treated)			**	

หมายเหตุ ** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 %

ns ไม่แตกต่างทางสถิติ

ตารางที่ 9 ผลการใส่ปุ๋ยสังกะสีในรูป ZnSO₄, ZnEDTA และ Zn citrate ต่อความสูงของข้าวโพด อายุ 40 วันที่ปลูกในดินเนื้อปูนชุดดินลำนารายณ์

อัตราปุ๋ย (rate) (mg Zn kg ⁻¹ soil)	ชนิดปุ๋ยสังกะสี (source)			
	ZnSO ₄	ZnEDTA	Zn citrate	เฉลี่ย
	ความสูง ^{1/} (cm)			
0.5	53.7	43.7	55.2	50.8c
1	57.0	52.7	50.2	53.3bc
2	68.3	61.8	57.7	62.6a
4	60.3	62.5	53.5	58.8ab
Mean	59.8	55.2	54.1	56.4
ค่าเฉลี่ยของค่ารับควบคุม				28.8
CV (%)				12.7
F-Test (source)				ns
F-Test (rate)				**
F-Test (source*rate)				ns
F-Test (control vs treated)				**

หมายเหตุ ** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 %

^{1/} ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยอักษรเหมือนกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

1.3.2 น้ำหนักแห้งของข้าวโพด

การใส่ปุ๋ยสังกะสีมีผลในการเพิ่มผลผลิตน้ำหนักแห้งของข้าวโพดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 10) ผลผลิตน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของข้าวโพดที่ไม่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีเท่ากับ 26.4 g pot^{-1} ขณะที่ผลผลิตน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของข้าวโพดที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีจะเพิ่มขึ้นเป็น 124.7 g pot^{-1} ผลผลิตน้ำหนักแห้งของข้าวโพดที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีอัตรา $2 \text{ mg Zn kg}^{-1} \text{ soil}$ มีแนวโน้มสูงกว่าที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีอัตรา 4 และ $1 \text{ mg Zn kg}^{-1} \text{ soil}$ และสูงกว่าที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีอัตรา $0.5 \text{ mg Zn kg}^{-1} \text{ soil}$ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกันทั้งเมื่อใส่ปุ๋ยสังกะสีในรูปแบบ ZnSO_4 , ZnEDTA และ Zn citrate

พบว่าผลผลิตน้ำหนักแห้งของข้าวโพดที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีในรูปแบบ ZnSO_4 , ZnEDTA และ Zn citrate ไม่แตกต่างกันทางสถิติในทุกอัตราการใส่ปุ๋ยสังกะสี

ตารางที่ 10 ผลการใส่ปุ๋ยสังกะสีในรูปแบบ ZnSO₄, ZnEDTA และ Zn citrate ต่อผลผลิตน้ำหนักแห้งของข้าวโพดที่ปลูกในดินเนื้อปูนชุดดินลำนารายณ์

อัตราปุ๋ยสังกะสี (rate) (mg Zn kg ⁻¹ soil)	ชนิดปุ๋ยสังกะสี (source)			
	ZnSO ₄	ZnEDTA	Zn citrate	เฉลี่ย
	น้ำหนักแห้ง ^{1/} (g pot ⁻¹)			
0.5	113.0	102.44	114.31	109.9b
1	117.7	114.13	111.28	114.4ab
2	146.5	140.18	144.11	143.6a
4	139.1	129.76	124.24	131.0ab
เฉลี่ย	129.0	121.6	123.5	124.7
ค่าเฉลี่ยของค่ารับควบคุม			26.4	
CV (%)			21.0	
F-Test (source)			ns	
F-Test (rate)			*	
F-Test (source × rate)			ns	
F-Test (control vs treated)			**	

หมายเหตุ * และ ** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ 99 %

^{1/} ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยอักษรเหมือนกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

1.3.3 ปริมาณการดูดใช้สังกะสีของข้าวโพด

ปริมาณการดูดใช้สังกะสีของข้าวโพดที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสี (เฉลี่ย $6.27 \text{ mg Zn pot}^{-1}$) สูงกว่าปริมาณการดูดใช้สังกะสีของข้าวโพดที่ไม่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสี (เฉลี่ย $1.06 \text{ mg Zn pot}^{-1}$) อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (ตารางที่ 11) ปริมาณการดูดใช้สังกะสีของข้าวโพดที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีอัตราต่าง ๆ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ อย่างไรก็ตามปริมาณการดูดใช้สังกะสีของข้าวโพดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอัตราการใส่ปุ๋ยสังกะสีที่เพิ่มขึ้น

พบว่าปริมาณการดูดใช้สังกะสีของข้าวโพดที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีในรูป ZnSO_4 , ZnEDTA และ Zn citrate ไม่แตกต่างกันทางสถิติในทุกอัตราการใส่ปุ๋ย

ตารางที่ 11 ผลการใส่ปุ๋ยสังกะสีในรูปแบบ ZnSO₄, ZnEDTA และ Zn citrate ต่อปริมาณการดูดใช้สังกะสีทั้งหมดของข้าวโพดที่ปลูกในดินเนื้อปูนชุดดินลำนารายณ์

อัตราปุ๋ยสังกะสี (rate) (mg Zn kg ⁻¹ soil)	ชนิดปุ๋ยสังกะสี (source)			
	ZnSO ₄	ZnEDTA	Zn citrate	เฉลี่ย
	ปริมาณการดูดใช้สังกะสี ^u (mg Zn pot ⁻¹)			
0.5	5.28	4.72	5.53	5.18
1	5.43	5.31	6.36	5.70
2	6.29	6.78	7.67	6.91
4	6.01	8.34	7.47	7.27
เฉลี่ย	5.75	6.28	6.75	6.27
ค่าเฉลี่ยของค่ารับควบคุม			1.06	
CV (%)			30.0	
F-Test (source)			ns	
F-Test (rate)			ns	
F-Test (source × rate)			ns	
F-Test (control vs treated)			**	

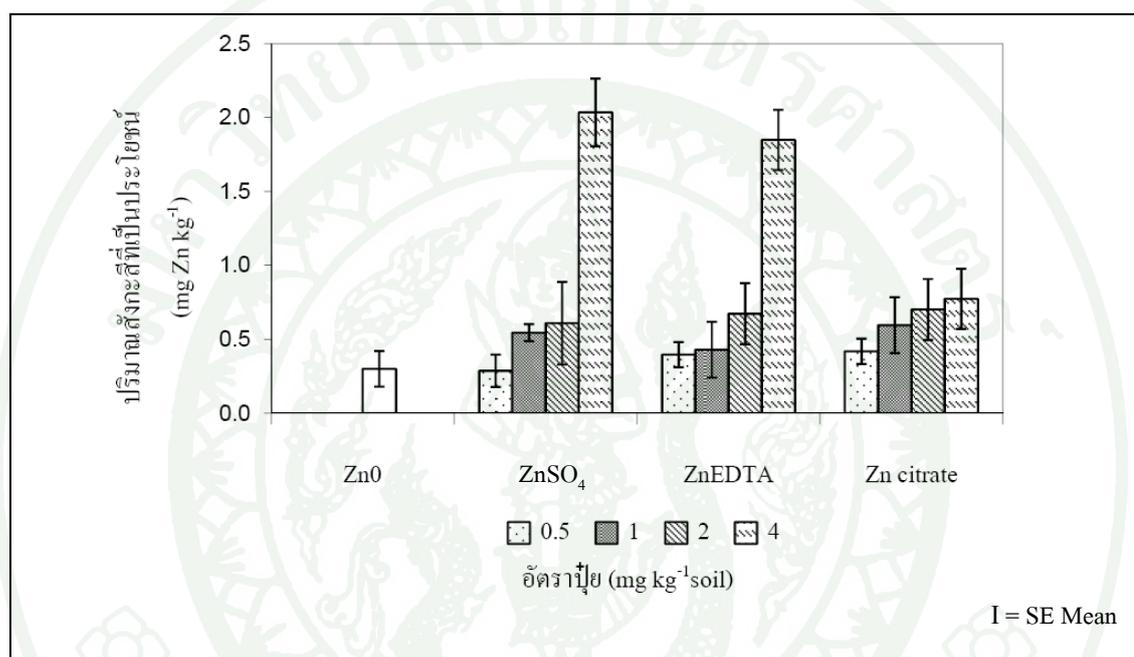
หมายเหตุ ** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 %

^u ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยอักษรเหมือนกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

1.3.4 ปริมาณสังกะสีที่เป็นประโยชน์ในดินหลังการเก็บเกี่ยว

จากการวิเคราะห์ดินหลังการเก็บเกี่ยวข้าวโพด พบว่าปริมาณสังกะสีที่เป็นประโยชน์ในดินปลูกข้าวโพดที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีสูงกว่าที่ไม่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสี (ภาพที่ 2) ปริมาณสังกะสีที่เป็นประโยชน์ในดินเพิ่มขึ้นตามอัตราการใส่ปุ๋ยสังกะสีที่เพิ่มขึ้น ทั้งเมื่อใส่ปุ๋ยสังกะสีในรูป $ZnSO_4$, $ZnEDTA$ และ $Zn\ citrate$



ภาพที่ 2 ปริมาณสังกะสีที่เป็นประโยชน์ (DTPA-Zn) ในดินเนื้อปูนชุดดินลำนารายณ์หลังการเก็บเกี่ยวข้าวโพดที่ได้รับการใส่ $ZnSO_4$, $ZnEDTA$ และ $Zn\ citrate$

1.4 การศึกษาการตอบสนองของข้าวโพดที่ปลูกในดินเนื้อปูนหุดดินชัยบาดาลต่อปุ๋ยสังกะสี ในรูป $ZnSO_4$, ZnEDTA และ Zn citrate

1.4.1 ความสูงของข้าวโพด

เมื่อข้าวโพดอายุได้ 20 วัน พบว่าข้าวโพดที่รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีมีความสูงมากกว่าที่ไม่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 12) โดยความสูงเฉลี่ยของข้าวโพดที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีเท่ากับ 16.3 cm ขณะที่ข้าวโพดที่ไม่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีมีความสูงเฉลี่ยเท่ากับ 14.8 cm ข้าวโพดที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีอัตรา 4 mg Zn kg⁻¹ soil มีแนวโน้มสูงกว่าที่ใส่ปุ๋ยสังกะสีอัตรา 2 และ 1 mg Zn kg⁻¹ soil และสูงกว่าข้าวโพดที่ได้รับการใส่สังกะสีอัตรา 0.5 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งเมื่อใส่ปุ๋ยสังกะสีในรูป $ZnSO_4$, ZnEDTA และ Zn citrate

เมื่อข้าวโพดอายุได้ 40 วัน พบว่า ข้าวโพดที่รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีมีความสูงมากกว่าที่ไม่ได้ รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 13) โดยความสูงเฉลี่ยของข้าวโพดที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีเท่ากับ 57.4 cm ขณะที่ข้าวโพดที่ไม่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีมีความสูงเฉลี่ยเท่ากับ 55.8 cm พบว่าข้าวโพดที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีอัตรา 1, 2 และ 4 mg Zn kg⁻¹ soil มีความสูงใกล้เคียงกันและสูงกว่าข้าวโพดที่ได้รับการใส่สังกะสีอัตรา 0.5 mg Zn kg⁻¹ soil อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งเมื่อใส่ปุ๋ยสังกะสีในรูป $ZnSO_4$, ZnEDTA และ Zn citrate

ข้าวโพดอายุ 20 และ 40 วัน ที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีในรูป $ZnSO_4$, ZnEDTA และ Zn citrate มีความสูงไม่แตกต่างกันทางสถิติในทุกอัตราการใส่ปุ๋ยสังกะสี

ตารางที่ 12 ผลการใส่ปุ๋ยสังกะสีในรูปแบบ ZnSO₄, ZnEDTA และ Zn citrate ต่อความสูงของข้าวโพด อายุ 20 วันที่ปลูกในดินเนื้อปูนชุดดินชัยบาดาล

อัตราปุ๋ยสังกะสี (rate) (mg Zn kg ⁻¹ soil)	ชนิดปุ๋ยสังกะสี (source)			
	ZnSO ₄	ZnEDTA	Zn citrate	เฉลี่ย
	ความสูง ^{1/} (cm)			
0.5	14.8	11.8	16.3	14.3b
1	16.7	14.8	17.7	16.4ab
2	17.2	16.7	16.2	16.7ab
4	17.5	19.0	16.8	17.8a
เฉลี่ย	16.5	15.6	16.7	16.3
ค่าเฉลี่ยของค่ารับควบคุม				14.8
CV (%)				14.8
F-Test (source)				ns
F-Test (rate)				*
F-Test (source × rate)				ns
F-Test (control vs treated)				**

หมายเหตุ * และ ** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ 99 %

^{1/} ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยอักษรเหมือนกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ตารางที่ 13 ผลการใส่ปุ๋ยสังกะสีในรูปแบบ ZnSO₄, ZnEDTA และ Zn citrate ต่อความสูงของข้าวโพด อายุ 40 วันที่ปลูกในดินเนื้อปูนชุดดินชัยบาดาล

อัตราปุ๋ยสังกะสี (rate) (mg Zn kg ⁻¹ soil)	ชนิดปุ๋ยสังกะสี (source)			
	ZnSO ₄	ZnEDTA	Zn citrate	เฉลี่ย
	ความสูง ^u (cm)			
0.5	50.2	55.0	51.5	52.2b
1	60.0	61.7	60.2	60.6a
2	61.2	61.3	56.0	59.5a
4	63.3	58.8	56.3	59.4a
เฉลี่ย	58.6	59.2	56.0	57.4
ค่าเฉลี่ยของค่ารับควบคุม			55.8	
CV (%)			9.2	
F-Test (source)			ns	
F-Test (rate)			**	
F-Test (source × rate)			ns	
F-Test (control vs treated)			**	

หมายเหตุ ** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 %

^u ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยอักษรเหมือนกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

1.4.2 น้ำหนักแห้งของข้าวโพด

การใส่ปุ๋ยสังกะสีมีผลในการเพิ่มผลผลิตน้ำหนักแห้งของข้าวโพดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 14) ผลผลิตน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของข้าวโพดที่ไม่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีเท่ากับ 39.1 g pot^{-1} ขณะที่ผลผลิตน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของข้าวโพดที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีจะเพิ่มขึ้นเป็น 61.5 g pot^{-1} ข้าวโพดที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีอัตรา $4 \text{ mg Zn kg}^{-1} \text{ soil}$ ให้ผลผลิตน้ำหนักแห้งสูงที่สุด รองลงมาได้แก่ข้าวโพดที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีอัตรา 2 และ $1 \text{ mg Zn kg}^{-1} \text{ soil}$ ซึ่งให้ผลผลิตใกล้เคียงกัน และข้าวโพดที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีอัตรา $0.5 \text{ mg Zn kg}^{-1} \text{ soil}$ ให้ผลผลิตน้ำหนักแห้งต่ำสุด ผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกันทั้งเมื่อใส่ปุ๋ยสังกะสีในรูปแบบ ZnSO_4 , ZnEDTA และ Zn citrate

พบว่าการใส่ปุ๋ยสังกะสีในรูปแบบ ZnSO_4 , ZnEDTA และ Zn citrate ไม่ทำให้ผลผลิตน้ำหนักแห้งของข้าวโพดแตกต่างกันทางสถิติในทุกอัตราการใส่ปุ๋ยสังกะสี

ตารางที่ 14 ผลการใส่ปุ๋ยสังกะสีในรูปแบบ ZnSO₄, ZnEDTA และ Zn citrate ต่อผลผลิตน้ำหนักรากแห้งของข้าวโพดที่ปลูกในดินเนื้อปูนชุดดินชัยบาดาล

อัตราปุ๋ยสังกะสี (rate) (mg Zn kg ⁻¹ soil)	ชนิดปุ๋ยสังกะสี (source)			
	ZnSO ₄	ZnEDTA	Zn citrate	เฉลี่ย
		น้ำหนักรากแห้ง ^{1/} (g pot ⁻¹)		
0.5	51.1	49.6	55.3	52.0c
1	66.7	58.5	59.4	61.5b
2	65.6	55.9	57.9	59.8b
4	78.5	78.9	60.8	72.7a
เฉลี่ย	65.4	60.7	58.4	61.5
ค่าเฉลี่ยของค่ารับควบคุม			39.1	
CV (%)			11.0	
F-Test (source)			ns	
F-Test (rate)			**	
F-Test (source × rate)			ns	
F-Test (control vs treated)			**	

หมายเหตุ ** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 %

^{1/} ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยอักษรเหมือนกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

1.4.3 ปริมาณการดูดใช้สังกะสีของข้าวโพด

ปริมาณการดูดใช้สังกะสีของข้าวโพดที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสี (เฉลี่ย $0.62 \text{ mg Zn pot}^{-1}$) สูงกว่าปริมาณการดูดใช้สังกะสีของข้าวโพดที่ไม่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสี (เฉลี่ย $0.30 \text{ mg Zn pot}^{-1}$) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 15) ปริมาณการดูดใช้สังกะสีของข้าวโพดที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีอัตรา $4 \text{ mg Zn kg}^{-1} \text{ soil}$ มีแนวโน้มสูงกว่าที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีอัตรา 2 และ $1 \text{ mg Zn kg}^{-1} \text{ soil}$ และสูงกว่าที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีอัตรา $0.5 \text{ mg Zn kg}^{-1} \text{ soil}$ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

พบว่าปริมาณการดูดใช้สังกะสีของข้าวโพดที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีในรูปแบบ ZnSO_4 , ZnEDTA และ Zn citrate ไม่แตกต่างกันทางสถิติในทุกอัตราการใส่ปุ๋ย

ตารางที่ 15 ผลการใส่ปุ๋ยสังกะสีในรูปแบบ ZnSO₄, ZnEDTA และ Zn citrate ต่อปริมาณการดูใช้สังกะสีทั้งหมดของข้าวโพดที่ปลูกในดินเนื้อปูนชุดดินชัยบาดาล

อัตราปุ๋ยสังกะสี (rate) (mg Zn kg ⁻¹ soil)	ชนิดปุ๋ยสังกะสี (source)			
	ZnSO ₄	ZnEDTA	Zn citrate	เฉลี่ย
	— ปริมาณการดูใช้สังกะสี ^u (mg Zn pot ⁻¹) —			
0.5	0.60	0.42	0.43	0.48b
1	0.63	0.64	0.60	0.62ab
2	0.64	0.64	0.58	0.62ab
4	0.71	0.92	0.64	0.76a
เฉลี่ย	0.64	0.66	0.56	0.62
ค่าเฉลี่ยของค่ารับควบคุม			0.30	
CV (%)			23.17	
F-Test (source)			ns	
F-Test (rate)			**	
F-Test (source × rate)			ns	
F-Test (control vs treated)			**	

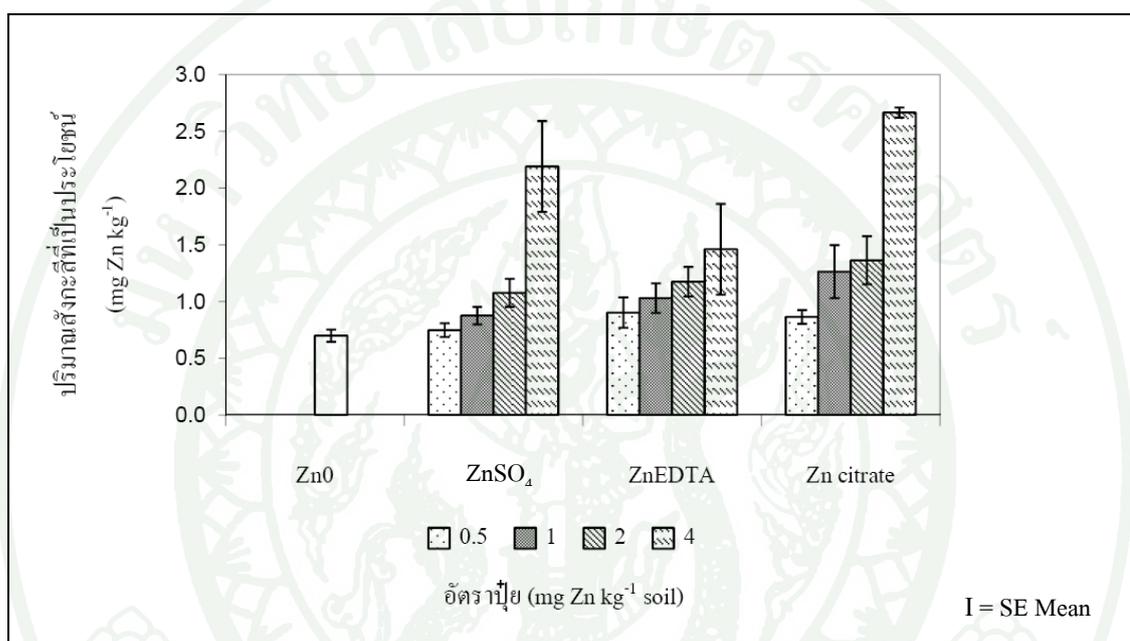
หมายเหตุ ** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 %

^u ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยอักษรเหมือนกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

1.4.4 ปริมาณสังกะสีที่เป็นประโยชน์ในดินหลังการเก็บเกี่ยว

จากการวิเคราะห์ดินหลังการเก็บเกี่ยวข้าวโพด พบว่าปริมาณสังกะสีที่เป็นประโยชน์ในดินปลูกข้าวโพดที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีสูงกว่าที่ไม่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสี (ภาพที่ 3) ปริมาณสังกะสีที่เป็นประโยชน์ในดินเพิ่มขึ้นตามอัตราการใส่ปุ๋ยสังกะสีที่เพิ่มขึ้น ทั้งเมื่อใส่ปุ๋ยในรูปแบบ $ZnSO_4$, ZnEDTA และ Zn citrate



ภาพที่ 3 ปริมาณสังกะสีที่เป็นประโยชน์ (DTPA-Zn) ในดินเนื้อปูนชุดดินชัยบาดาลหลังการเก็บเกี่ยวข้าวโพดที่ได้รับการใส่ $ZnSO_4$, ZnEDTA และ Zn citrate

1.5 ศึกษาการตอบสนองของข้าวโพดที่ปลูกในดินเนื้อปนหูดินตาคลีต่อปุ๋ยสังกะสี ในรูป $ZnSO_4$, ZnEDTA และ Zn citrate

1.5.1 ความสูงของข้าวโพด

เมื่อข้าวโพดอายุ 20 วัน พบว่า ข้าวโพดในตำรับที่ไม่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสี (control) และที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีมีความสูงไม่แตกต่างกัน (ตารางที่ 16) ข้าวโพดที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีอัตราต่าง ๆ มีความสูงใกล้เคียงกันทั้งเมื่อใส่ปุ๋ยสังกะสีในรูป $ZnSO_4$, ZnEDTA และ Zn citrate

เมื่อข้าวโพดอายุ 40 วัน พบว่าข้าวโพดที่รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีมีความสูงมากกว่าที่ไม่ได้ รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 17) โดยความสูงเฉลี่ยของข้าวโพดที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีเท่ากับ 41.8 cm ขณะที่ข้าวโพดที่ไม่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีมีความสูงเฉลี่ยเท่ากับ 36.6 cm พบว่าข้าวโพดที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีอัตรา 2 และ 4 mg Zn kg⁻¹ soil มีความสูงใกล้เคียงกัน และสูงกว่าข้าวโพดที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีอัตรา 0.5 และ 1 mg Zn kg⁻¹ soil อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งเมื่อใส่ปุ๋ยสังกะสีในรูป $ZnSO_4$, ZnEDTA และ Zn citrate

ข้าวโพดอายุ 20 และ 40 วัน ที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีทั้งในรูป $ZnSO_4$, ZnEDTA และ Zn citrate มีความสูงไม่แตกต่างกันทางสถิติในทุกอัตราการใส่ปุ๋ยสังกะสี

ตารางที่ 16 ผลการใส่ปุ๋ยสังกะสีในรูปแบบ ZnSO₄, ZnEDTA และ Zn citrate ต่อความสูงของข้าวโพด อายุ 20 วันที่ปลูกในดินเนื้อปูนชุดดินตาคลี

อัตราปุ๋ยสังกะสี (rate) (mg Zn kg ⁻¹ soil)	ชนิดปุ๋ยสังกะสี (source)			
	ZnSO ₄	ZnEDTA	Zn citrate	เฉลี่ย
	ความสูง (cm)			
0.5	11.3	12.5	11.3	11.7
1	11.2	12.0	12.3	11.8
2	12.6	12.3	13.1	12.7
4	11.8	11.9	12.6	12.1
เฉลี่ย	11.7	12.1	12.3	12.1
ค่าเฉลี่ยของค่ารับควบคุม			11.6	
CV (%)			10.0	
F-Test (source)			ns	
F-Test (rate)			ns	
F-Test (source × rate)			ns	
F-Test (control vs treated)			ns	

หมายเหตุ ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ตารางที่ 17 ผลการใส่ปุ๋ยสังกะสีในรูปแบบ ZnSO₄, ZnEDTA และ Zn citrate ต่อความสูงของข้าวโพด อายุ 40 วันที่ปลูกในดินเนื้อปูนชุดดินตาคลี

อัตราปุ๋ยสังกะสี (rate) (mg Zn kg ⁻¹ soil)	ชนิดปุ๋ยสังกะสี (source)			
	ZnSO ₄	ZnEDTA	Zn citrate	เฉลี่ย
	ความสูง (cm)			
0.5	36.6	37.9	39.1	37.9b
1	39.3	38.5	40.7	39.5b
2	46.5	41.4	47.8	45.2a
4	44.1	42.6	46.7	44.5a
เฉลี่ย	41.6	40.1	43.6	41.8
ค่าเฉลี่ยของค่ารับควบคุม			36.6	
CV (%)			9.8	
F-Test (source)			ns	
F-Test (rate)			**	
F-Test (source × rate)			ns	
F-Test (control vs treated)			*	

หมายเหตุ * และ ** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ 99 %
^u ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยอักษรเหมือนกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT
 ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

1.5.2 น้ำหนักแห้งของข้าวโพด

การใส่ปุ๋ยสังกะสีมีผลในการเพิ่มผลผลิตน้ำหนักแห้งของข้าวโพดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 18) ผลผลิตน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของข้าวโพดที่ไม่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีเท่ากับ 31.6 g pot^{-1} ขณะที่ผลผลิตน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของข้าวโพดที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีเพิ่มขึ้นเป็น 53.1 g pot^{-1} ข้าวโพดที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีอัตรา $4 \text{ mg Zn kg}^{-1} \text{ soil}$ มีแนวโน้มการให้ผลผลิตสูงกว่าที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีอัตรา $2 \text{ mg Zn kg}^{-1} \text{ soil}$ และสูงกว่าที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีอัตรา 0.5 และ $1 \text{ mg Zn kg}^{-1} \text{ soil}$ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ผลผลิตน้ำหนักแห้งของข้าวโพดที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีอัตรา $1 \text{ mg Zn kg}^{-1} \text{ soil}$ มีแนวโน้มสูงกว่าที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีอัตรา $0.5 \text{ mg Zn kg}^{-1} \text{ soil}$ ผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกันทั้งเมื่อใส่ปุ๋ยสังกะสีในรูปแบบ ZnSO_4 , ZnEDTA และ Zn citrate

พบว่า การใส่ปุ๋ยสังกะสีทั้งในรูปแบบ ZnSO_4 , ZnEDTA และ Zn citrate ไม่ทำให้ผลผลิตน้ำหนักแห้งของข้าวโพดแตกต่างกันทางสถิติในทุกอัตราการใส่ปุ๋ยสังกะสี

ตารางที่ 18 ผลการใส่ปุ๋ยสังกะสีในรูปแบบ ZnSO₄, ZnEDTA และ Zn citrate ต่อผลผลิตน้ำหนักรากแห้งของข้าวโพดที่ปลูกในดินเนื้อปูนชุดดินตาคลี

อัตราปุ๋ยสังกะสี (rate) (mg Zn kg ⁻¹ soil)	ชนิดปุ๋ยสังกะสี (source)			
	ZnSO ₄	ZnEDTA	Zn citrate	เฉลี่ย
	น้ำหนักรากแห้ง ^{1/} (g pot ⁻¹)			
0.5	44.6	48.4	45.0	46.0c
1	49.2	50.7	48.0	49.3bc
2	60.9	55.0	55.3	57.1ab
4	60.3	57.5	62.3	60.0a
เฉลี่ย	53.8	52.9	52.6	53.1
ค่าเฉลี่ยของค่ารับควบคุม			31.6	
CV (%)			15.8	
F-Test (source)			ns	
F-Test (rate)			**	
F-Test (source × rate)			ns	
F-Test (control vs treated)			**	

หมายเหตุ ** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 %

^{1/} ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยอักษรเหมือนกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

1.5.3 ปริมาณการดูดใช้สังกะสีของข้าวโพด

ปริมาณการดูดใช้สังกะสีของข้าวโพดที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสี (เฉลี่ย $1.06 \text{ mg Zn pot}^{-1}$) สูงกว่าปริมาณการดูดใช้สังกะสีของข้าวโพดที่ไม่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสี (เฉลี่ย $0.46 \text{ mg Zn pot}^{-1}$) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 19) ปริมาณการดูดใช้สังกะสีของข้าวโพดเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราปุ๋ยสังกะสีที่ใส่เพิ่มขึ้น โดยที่อัตราการใส่ $4 \text{ mg Zn kg}^{-1} \text{ soil}$ ปริมาณการดูดใช้สังกะสีของข้าวโพดสูงที่สุด รองลงมาคือที่อัตราการใส่ $2 \text{ mg Zn kg}^{-1} \text{ soil}$ ที่อัตราการใส่ $1 \text{ mg Zn kg}^{-1} \text{ soil}$ และที่อัตราการใส่ $0.5 \text{ mg Zn kg}^{-1} \text{ soil}$ ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกันทั้งเมื่อใส่ปุ๋ยสังกะสี ในรูป ZnSO_4 , ZnEDTA และ Zn citrate

พบว่าปริมาณการดูดใช้สังกะสีของข้าวโพดที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีในรูป ZnSO_4 , ZnEDTA และ Zn citrate ไม่แตกต่างกันทางสถิติในทุกอัตราการใส่ปุ๋ย

ตารางที่ 19 ผลการใส่ปุ๋ยสังกะสีในรูป ZnSO₄, ZnEDTA และ Zn citrate ต่อปริมาณการดูดใช้สังกะสีทั้งหมดของข้าวโพดที่ปลูกในดินเนื้อปูนชุดดินตาคลี

อัตราปุ๋ยสังกะสี (rate) (mg Zn kg ⁻¹ soil)	ชนิดปุ๋ยสังกะสี (source)			
	ZnSO ₄	ZnEDTA	Zn citrate	เฉลี่ย
	ปริมาณการดูดใช้สังกะสี ^u (mg Zn pot ⁻¹)			
0.5	0.65	0.64	0.64	0.64d
1	0.89	0.89	0.97	0.92c
2	1.21	1.04	1.27	1.17b
4	1.60	1.60	1.34	1.51a
เฉลี่ย	1.09	1.04	1.06	1.06
ค่าเฉลี่ยของค่ารับควบคุม			0.46	
CV (%)			24.6	
F-Test (source)			ns	
F-Test (rate)			**	
F-Test (source × rate)			ns	
F-Test (control vs treated)			**	

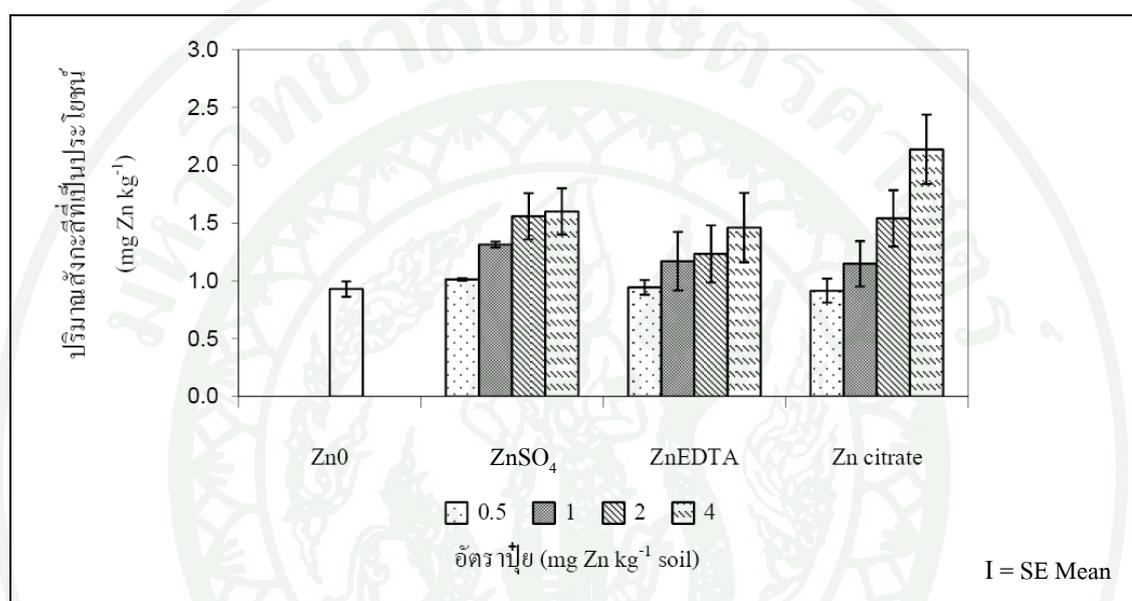
หมายเหตุ ** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 %

^u ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยอักษรเหมือนกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

1.5.4 ปริมาณสังกะสีที่เป็นประโยชน์ในดินหลังการเก็บเกี่ยว

จากการวิเคราะห์ดินหลังการเก็บเกี่ยวข้าวโพด พบว่าปริมาณสังกะสีที่เป็นประโยชน์ในดินปลูกข้าวโพดที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีสูงกว่าที่ไม่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสี (ภาพที่ 4) ปริมาณสังกะสีที่เป็นประโยชน์ในดินเพิ่มขึ้นตามอัตราการใส่ปุ๋ยสังกะสีที่เพิ่มขึ้น ทั้งเมื่อใส่ปุ๋ยสังกะสีในรูป ในรูป $ZnSO_4$, ZnEDTA และ Zn citrate



ภาพที่ 4 ปริมาณสังกะสีที่เป็นประโยชน์ (DTPA-Zn) ในดินเนื้อปูนชุดดินตาคลีหลังการเก็บเกี่ยวข้าวโพดที่ได้รับการใส่ $ZnSO_4$, ZnEDTA และ Zn citrate

วิจารณ์

1. สมบัติของชุดดินที่นำมาศึกษา

ดินเนื้อปูนที่นำมาศึกษา ทั้งชุดดินลพบุรี ลำานารายณ์ ชัยบาดาลและตาคลี มีเนื้อดินเป็นดินเหนียว (Clay) (ตารางที่ 1) ปฏิกิริยาดินเป็นด่าง ปริมาณ CaCO_3 ในดินสูง ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียมและแมกนีเซียมในระดับสูงมาก (Land Classification Division and FAO Project Staff, 1973) ปริมาณสังกะสีที่เป็นประโยชน์ในดินเนื้อปูนชุดดินลพบุรี ลำานารายณ์ ชัยบาดาลและตาคลี เท่ากับ 0.79, 0.58, 0.68 และ 0.58 mg Zn kg^{-1} ตามลำดับ จัดอยู่ในระดับต่ำไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืช (Martens and Lindsay, 1990)

2. ผลการใส่ซิงค์ซัลเฟต (ZnSO_4) ซิงค์อีดีทีเอ (ZnEDTA) และซิงค์ซิเตรท (Zn citrate) ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตน้ำหนักรากแห้งของข้าวโพดที่ปลูกในดินเนื้อปูนชุดดินลพบุรี, ชัยบาดาล ลำานารายณ์ และตาคลี

จากการศึกษาพบว่า การใส่ปุ๋ยสังกะสี ในรูป ZnSO_4 , ZnEDTA และ Zn citrate ให้กับข้าวโพดที่ปลูกในดินเนื้อปูนชุดดินลพบุรี, ชัยบาดาล, ลำานารายณ์ และตาคลี มีผลทำให้การเจริญเติบโตและผลผลิตน้ำหนักรากแห้งของข้าวโพดเพิ่มขึ้นสูงกว่าที่ไม่ใส่ปุ๋ยสังกะสี การเจริญเติบโตและผลผลิตน้ำหนักรากแห้งของข้าวโพดที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีในรูป ZnSO_4 , ZnEDTA และ Zn citrate ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ผลการทดลองดังกล่าวชี้ให้เห็นว่าดินเนื้อปูนที่นำมาศึกษามีปริมาณสังกะสีที่เป็นประโยชน์ไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพด ข้าวโพดที่ปลูกในดินดังกล่าวขาดสังกะสี สอดคล้องกับรายงานของสุวพันธ์ และคณะ (2532), ปรีดา และคณะ (2532), มนต์นันท์ (2550), ละไม และคณะ (2550) และผลการวิเคราะห์ดินซึ่งพบว่าปริมาณสังกะสีที่เป็นประโยชน์ในดินเนื้อปูนที่นำมาศึกษามีพิสัยอยู่ในช่วง 0.58-0.79 mg kg^{-1} จัดอยู่ในระดับต่ำไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืช (Martens and Lindsay, 1990) การใส่ปุ๋ยสังกะสีมีผลในการเพิ่มการเจริญเติบโตและผลผลิตน้ำหนักรากแห้งต่อซังของข้าวโพด น่าจะเนื่องจากสังกะสีมีผลทำให้กระบวนการทางชีวเคมีต่าง ๆ ทั้งกระบวนการสังเคราะห์แสง การสร้างคาร์โบไฮเดรต โปรตีนและออกซินในข้าวโพดเพิ่มขึ้น (Welch *et al.*, 1982; Sharma *et al.*, 1990; Brown *et al.*, 1993; Havlin *et al.*, 2005) ข้าวโพดที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีในรูป ZnSO_4 , ZnEDTA และ Zn citrate มีการเจริญเติบโตและผลผลิตน้ำหนักรากแห้งไม่แตกต่างกันทางสถิติในทุกอัตราการใช้ปุ๋ยสังกะสี พบว่าการใส่ปุ๋ยสังกะสีทั้งในรูป ZnSO_4 , ZnEDTA และ Zn citrate ไม่แตกต่างกัน ผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับผล

การศึกษาของ Liscano *et al.* (2000) และ Goos *et al.* (2000) แสดงว่าประสิทธิภาพในการเพิ่มการเจริญเติบโตและผลผลิตน้ำหนักรากแห้งของ $ZnSO_4$, ZnEDTA และ Zn citrate ไม่แตกต่างกัน การเจริญเติบโตและผลผลิตน้ำหนักรากแห้งของข้าวโพดที่ปลูกในดินเนื้อปูนที่นำมาศึกษาสูงสุดที่ช่วงอัตราการใส่ปุ๋ยสังกะสี 2-4 mg Zn kg⁻¹ soil แสดงว่าในช่วงอัตราการใส่ปุ๋ยดังกล่าวน่าจะเพียงพอต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพด

3. ผลการใส่ซิงค์ซัลเฟต ($ZnSO_4$) ซิงค์อีดีทีเอ (ZnEDTA) และซิงค์ซิเตรท (Zn citrate) ต่อปริมาณการดูดใช้สังกะสีทั้งหมดของข้าวโพดที่ปลูกในดินเนื้อปูนชุดดินลพบุรี, ชัยบาดาล ถ่านารายณ์และตากลี

จากการศึกษาพบว่า ผลการทดลองในดินเนื้อปูนชุดดินลพบุรี, ชัยบาดาล, ถ่านารายณ์ และตากลีสอดคล้องกัน ข้าวโพดที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีในรูปแบบ $ZnSO_4$, ZnEDTA และ Zn citrate มีปริมาณการดูดใช้สังกะสีสูงกว่าข้าวโพดที่ไม่ได้ใส่ปุ๋ยสังกะสี (ตารางที่ 5, 9, 13 และ 17) แสดงว่าการใส่สังกะสีทั้ง 3 รูปมีผลทำให้ปริมาณสังกะสีที่เป็นประโยชน์ในดินเนื้อปูนทั้ง 4 ชุดดินเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ข้าวโพดที่ปลูกในดินดังกล่าวดูดใช้สังกะสีเพิ่มมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Kang and Okoro (1976); Prasad and Sinha (1981); Goos *et al.* (2000); Slaton *et al.* (2005) Gonzalez *et al.* (2008) และปราณี (2551) ปริมาณการดูดใช้สังกะสีของข้าวโพดที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีทั้ง 3 รูปดังกล่าวเพิ่มขึ้นตามอัตราการใส่สังกะสีที่เพิ่มขึ้น ปริมาณการดูดใช้สังกะสีของข้าวโพดที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีในรูปแบบ $ZnSO_4$, ZnEDTA และ Zn citrate ไม่แตกต่างกันทางสถิติในทุกอัตราการใส่ปุ๋ยสังกะสี แสดงว่าประสิทธิภาพในการเพิ่มความเป็นประโยชน์ของสังกะสีในดินเนื้อปูนชุดทั้ง 4 ชุดดินต่อข้าวโพดของปุ๋ยสังกะสีทั้ง 3 รูปใกล้เคียงกัน ผลการทดลองดังกล่าวคล้ายกับผลการทดลองของ Goos *et al.* (2000) ที่พบว่าข้าวโพดที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสี Zn humate-lignosulfonate (ZnHL), $ZnSO_4$ และ ZnEDTA มีปริมาณการดูดใช้สังกะสีของข้าวโพดใกล้เคียงกันเมื่ออัตราการใส่ปุ๋ยสังกะสีดังกล่าวเท่ากัน

4. ปริมาณสังกะสีที่เป็นประโยชน์ในดินหลังเก็บเกี่ยวข้าวโพด

จากการศึกษาพบว่า หลังเก็บเกี่ยวข้าวโพดทั้งในดินเนื้อปุยดินลพบุรี, ถ่านทรายชัยบาดาล และตาคลี ปริมาณสังกะสีที่เป็นประโยชน์ในดิน (DTPA-Zn) หลังปลูกข้าวโพดที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสี $ZnSO_4$, ZnEDTA และ Zn citrate สูงกว่าที่ไม่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสี ปริมาณสังกะสีที่เป็นประโยชน์ในดินเพิ่มขึ้นตามอัตราการใส่ปุ๋ยสังกะสีดังกล่าวที่เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับผลการศึกษาของ (Singh and Abrol, 1985; Martens and Westermann, 1991; Brennan, 2005; Alloway, 2008) สังกะสีที่เป็นประโยชน์ในดินหลังเก็บเกี่ยวน่าจะเป็นประโยชน์กับข้าวโพดหรือพืชที่ปลูกในดินดังกล่าวในฤดูถัดไป

2. การศึกษาการตอบสนองของข้าวโพดที่ปลูกในดินเนื้อปูนต่อวิธีการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางเมล็ด โดยวิธีการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสีและการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางดิน

ผล

2.1 สมบัติบางประการของดินที่นำมาศึกษา

สมบัติบางประการของดินเนื้อปูนชุดดินลพบุรี, ถ่านารายณ์, ชัยบาดาลและตาคีที่นำมาศึกษาเช่นเดียวกับ การศึกษาการตอบสนองของข้าวโพดที่ปลูกในดินเนื้อปูนต่อปุ๋ยสังกะสี ในรูป $ZnSO_4$, ZnEDTA) และ Zn citrate ข้อ 1.1 (ตารางที่ 3)

2.2 ความเข้มข้นของสังกะสีในเมล็ดข้าวโพดที่แช่ในสารละลายปุ๋ยสังกะสี

การแช่เมล็ดข้าวโพดในสารละลายปุ๋ยสังกะสี $ZnSO_4$ มีผลในการเพิ่มความเข้มข้นของสังกะสีในเมล็ดข้าวโพด โดยความเข้มข้นของสังกะสีในเมล็ดข้าวโพดจะเพิ่มขึ้นตามอัตราการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของสังกะสีในสารละลาย $ZnSO_4$ ที่แช่เมล็ดข้าวโพด (ตารางที่ 20)

ตารางที่ 20 ความเข้มข้นของสังกะสีในเมล็ดข้าวโพดก่อนและหลังจากการแช่เมล็ดในสารละลาย $ZnSO_4$ เข้มข้น 0.4% 0.8% และ 1.6% Zn

ความเข้มข้นของสังกะสีในสารละลายปุ๋ยสังกะสีที่แช่เมล็ด (%)	ความเข้มข้นของสังกะสีในเมล็ดข้าวโพด ($mg\ kg^{-1}$)
unsoaked-seed (control)	21
0.4%	1045
0.8%	2344
1.6%	5315
	SE mean = 16

2.3 การตอบสนองของข้าวโพดที่ปลูกในดินเนื้อปูนหูดินลพบุรีต่อวิธีการใส่ปุ๋ยสังกะสี โดยวิธีการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสีและการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางดิน

ผลการใส่ปุ๋ยสังกะสีโดยวิธีการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสี และการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางดินต่อการเจริญเติบโต ผลผลิตน้ำหนักแห้งฝักและน้ำหนักแห้งตอซังของ ข้าวโพดที่ปลูกในดินเนื้อปูนหูดินลพบุรี มีดังนี้

2.3.1 ความสูง

ความสูงของข้าวโพดที่อายุ 20 และ 40 วัน แสดงอยู่ในภาพที่ 5a และ 5b พบว่า เมื่อข้าวโพดอายุ 20 วัน และ 40 วัน ความสูงของข้าวโพดในทุกตำรับการทดลองไม่แตกต่างกันทาง สถิติ อย่างไรก็ตามที่อายุ 40 วัน ข้าวโพดตำรับที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีโดยวิธีการแช่เมล็ดข้าวโพด ก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสีและที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางดิน มีแนวโน้มความสูงมากกว่า ตำรับที่ไม่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสี (ตำรับควบคุมที่ไม่มีการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลาย ปุ๋ยสังกะสี)

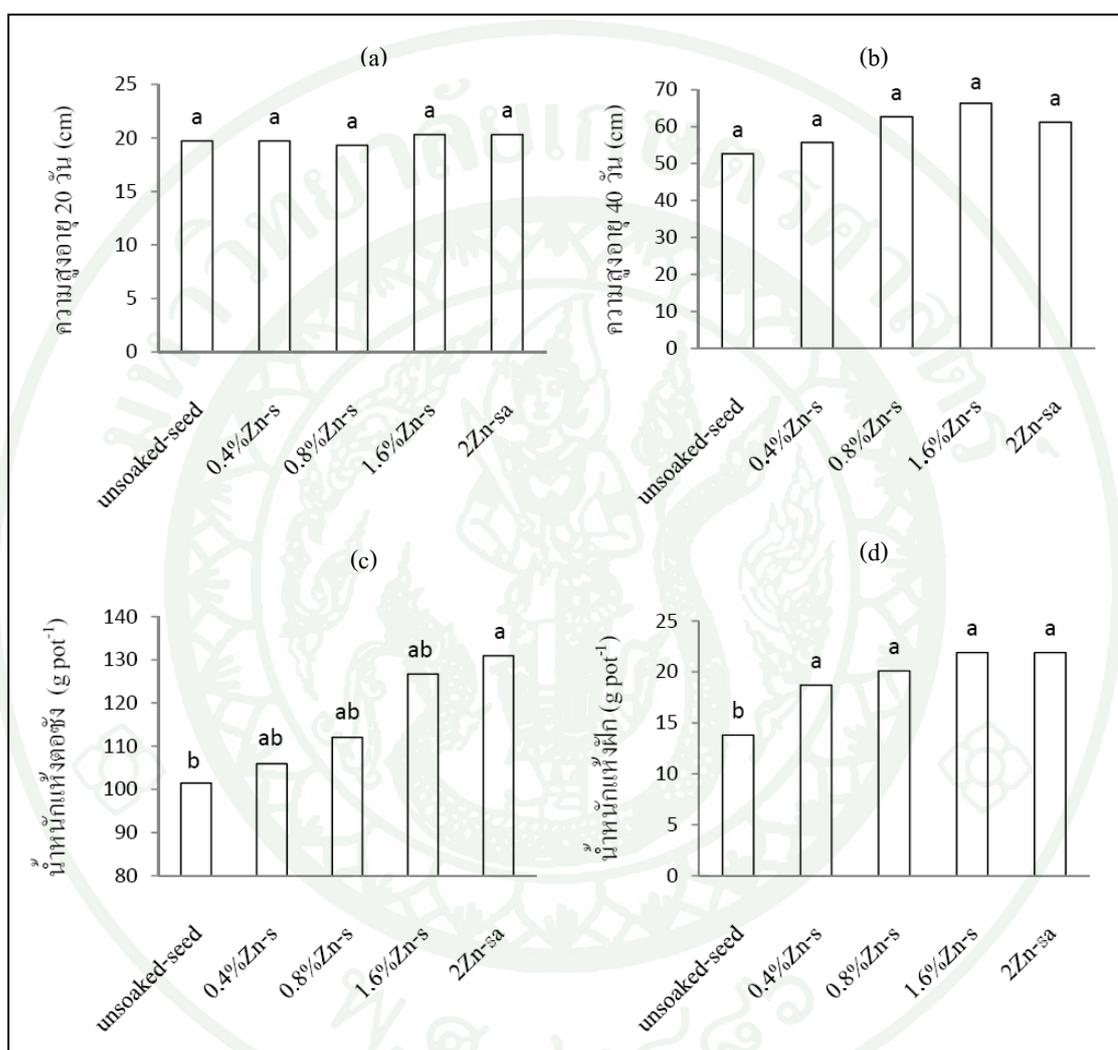
2.3.2 น้ำหนักแห้งตอซัง

น้ำหนักแห้งตอซังของข้าวโพดที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีโดยการแช่เมล็ด ข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสีมีแนวโน้มสูงกว่าตำรับการทดลองที่ไม่มีการใส่ปุ๋ย สังกะสี (ตำรับควบคุมที่ไม่มีการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสี) น้ำหนักแห้ง ตอซังของข้าวโพดที่ได้รับปุ๋ยสังกะสีทางดินสูงกว่าตำรับควบคุมอย่างเด่นชัด แต่ไม่แตกต่างกันทาง สถิติกับน้ำหนักแห้งตอซังของข้าวโพดที่ได้รับปุ๋ยสังกะสีโดยการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกใน สารละลายปุ๋ยสังกะสีทั้งที่ความเข้มข้น 0.4, 0.8 และ 1.6% Zn (ภาพที่ 5c)

2.3.3 ผลผลิตน้ำหนักแห้งฝัก

ผลผลิตน้ำหนักแห้งฝักของข้าวโพดที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีโดยการแช่เมล็ด ข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสี และที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางดินสูงกว่าผลผลิต น้ำหนักแห้งฝักของข้าวโพดที่ไม่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสี (ตำรับควบคุมที่ไม่มีการแช่เมล็ดข้าวโพด ก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสี) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 5d)

ผลผลิตน้ำหนักแห้งฝักของข้าวโพดที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีโดยการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสีที่ความเข้มข้น 0.4, 0.8 และ 1.6% Zn และโดยการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางดิน เพิ่มขึ้นสูงกว่าที่ไม่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสี (ค่ารับควบคุม) ร้อยละ 35, 46, 58 และ 58 ตามลำดับ (ตารางที่ 21)



ภาพที่ 5 ผลของการใส่ปุ๋ยสังกะสีโดยวิธีการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสี และการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางดิน ต่อความสูงข้าวโพด (a) อายุ 20 วัน และ (b) 40 วัน น้ำหนักแห้ง (c) ดอกซัง และ (d) ฝัก ที่ปลูกในดินเนื้อปนซุดดินลพบุรี (คอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยอักษรเหมือนกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT) (s = soaked seed; sa = soil applied Zn อัตรา 2 mg Zn kg⁻¹ soil)

ตารางที่ 21 ร้อยละผลผลิตน้ำหนักแห้งฝักเพิ่มของข้าวโพดที่ได้รับการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูก
ในดินเนื้อปูนหุดดินลพบุรีในสารละลายปุ๋ยสังกะสีและที่ได้รับการใส่ปุ๋ยทางดิน

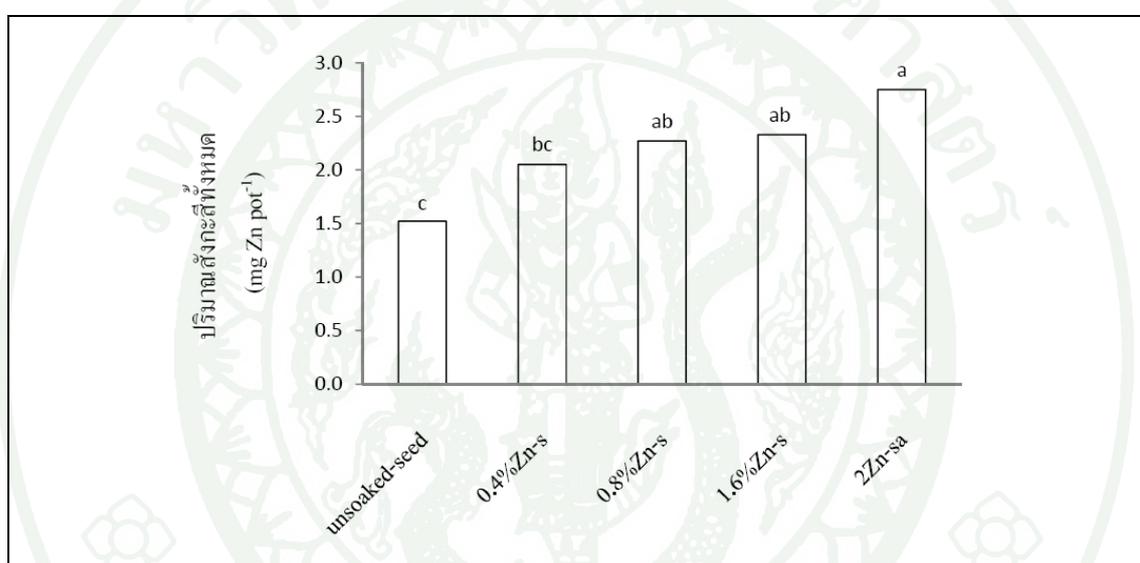
ตำรับการทดลอง	ผลผลิตเพิ่ม ^{1/} (%)
unsoaked-seed (control)	-
0.4% Zn-s	35
0.8% Zn-s	46
1.6% Zn-s	58
2 Zn-sa	58

หมายเหตุ^{1/} เปรียบเทียบกับ control

s = soaked seed; sa = soil applied Zn (อัตรา 2 mg Zn kg⁻¹ soil)

2.3.4 ปริมาณการดูดใช้สังกะสีทั้งหมดของข้าวโพด

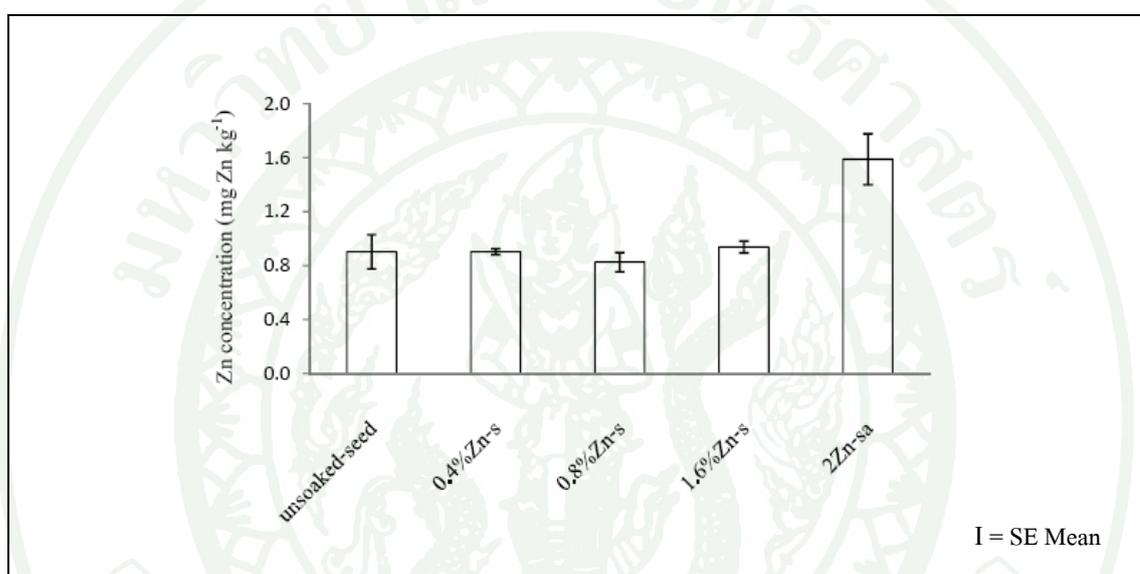
ข้าวโพดที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสี โดยวิธีการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสีและที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางดิน มีปริมาณการดูดใช้สังกะสีสูงกว่าข้าวโพดที่ไม่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสี (ค่ารับควบคุมที่ไม่มีการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสี) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 6) ปริมาณการดูดใช้สังกะสีทั้งหมดของข้าวโพดที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางดินและที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีโดยวิธีการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสีที่ความเข้มข้น 0.8 และ 1.6% Zn ไม่แตกต่างกันทางสถิติ



ภาพที่ 6 ผลของการใส่ปุ๋ยสังกะสีโดยวิธีการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสีและการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางดิน ต่อปริมาณการดูดใช้สังกะสีทั้งหมดในข้าวโพดที่ปลูกในดินเนื้อปูนชุดดินลพบุรี (คอถ่มน์เดียวกันที่ตามด้วยอักษรเหมือนกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT) (s = soaked seed; sa = soil applied Zn อัตรา 2 mg Zn kg⁻¹ soil)

2.3.5 ปริมาณสังกะสีที่เป็นประโยชน์ในดินหลังการเก็บเกี่ยวข้าวโพด

จากการวิเคราะห์ปริมาณสังกะสีที่เป็นประโยชน์ในดิน (DTPA-Zn) หลังการเก็บเกี่ยวข้าวโพด (ภาพที่ 7) พบว่าในดินปลูกข้าวโพดที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยสังกะสี (ดำรับควบคุม, ไม่มีการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสี) และที่มีการใส่ปุ๋ยสังกะสีโดยการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสี มีปริมาณสังกะสีที่เป็นประโยชน์ในดินใกล้เคียงกันและต่ำกว่าที่มีการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางดิน



ภาพที่ 7 ปริมาณสังกะสีที่เป็นประโยชน์ในดินหลังการเก็บเกี่ยวข้าวโพดที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีโดยวิธีการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสีและที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางดินในดินเนื้อปนหูดดินลพบุรี (s = soaked seed; sa = soil applied Zn อัตรา 2 mg Zn kg⁻¹ soil)

2.4 การตอบสนองของข้าวโพดที่ปลูกในดินเนื้อปูนชุดดินถ่านารายณ์ต่อวิธีการใส่ปุ๋ยโดยวิธีการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสีและการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางดิน

ผลการใส่ปุ๋ยสังกะสีโดยวิธีการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสีและการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางดิน ต่อการเจริญเติบโต ผลผลิตน้ำหนักแห้งฝักและน้ำหนักแห้งตอซังของข้าวโพดที่ปลูกในดินเนื้อปูนชุดดินถ่านารายณ์ มีดังนี้

2.4.1 ความสูง

ความสูงของข้าวโพดที่อายุ 20 และ 40 วัน แสดงอยู่ในภาพที่ 8a และ 8b พบว่าเมื่อข้าวโพดอายุ 20 และ 40 วัน ข้าวโพดที่ไม่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสี (ดำรับควบคุม, ไม่มีการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสี) มีความสูงต่ำสุด การใส่ปุ๋ยสังกะสีโดยวิธีการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสีและการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางดินมีผลในการเพิ่มความสูงของข้าวโพดที่ปลูกในดินเนื้อปูนชุดดินถ่านารายณ์อย่างเด่นชัด ข้าวโพดที่ได้รับการใส่ปุ๋ยโดยการแช่เมล็ดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสีที่ความเข้มข้น 0.4, 0.8 และ 1.6% Zn และที่ได้รับการใส่ปุ๋ยทางดิน มีความสูงไม่แตกต่างกันทางสถิติ

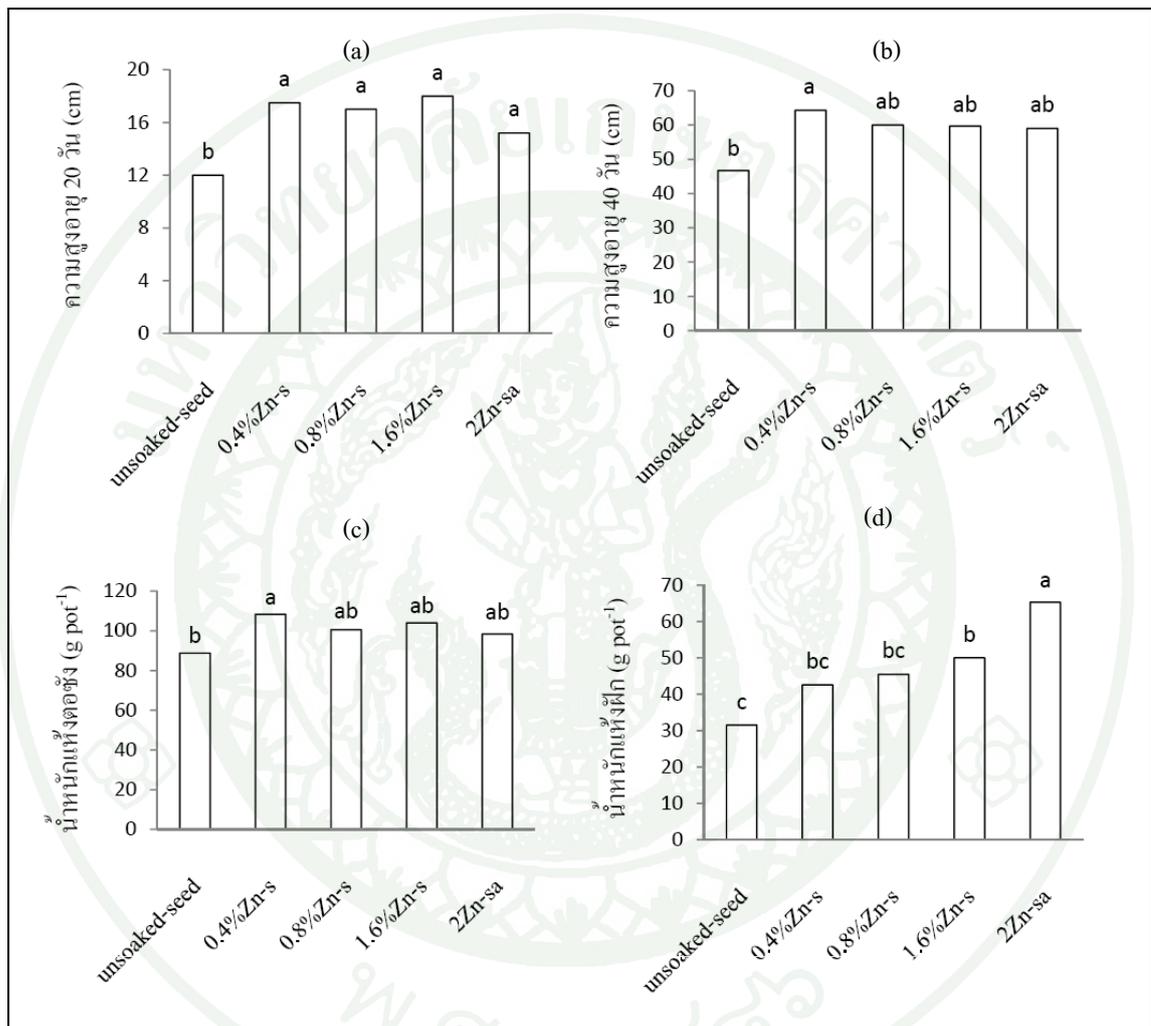
2.4.2 น้ำหนักแห้งตอซัง

น้ำหนักแห้งตอซังของข้าวโพดที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีโดยการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสีและการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางดิน โดยทั่วไปมีแนวโน้มสูงกว่าดำรับควบคุมที่ไม่มีการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสี (ภาพที่ 8c)

2.4.3 ผลผลิตน้ำหนักแห้งฝัก

ผลผลิตน้ำหนักแห้งฝักของข้าวโพดที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสี โดยวิธีการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสีและที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางดินสูงกว่าผลผลิตน้ำหนักแห้งฝักของข้าวโพดที่ไม่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสี (ดำรับควบคุม, ไม่มีการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสี) (ภาพที่ 8d) ผลผลิตน้ำหนักแห้งฝักข้าวโพดสูงสุดในดำรับที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางดิน สำหรับผลผลิตน้ำหนักแห้งฝักของข้าวโพดที่ได้รับการแช่เมล็ดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสีความเข้มข้น 0.4, 0.8 และ 1.6% Zn ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

พบว่า การใส่ปุ๋ยสังกะสีโดยวิธีการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสีที่ความเข้มข้น 0.4, 0.8 และ 1.6% Zn และการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางดินมีผลทำให้ผลผลิตน้ำหนักแห้งฝักของข้าวโพดเพิ่มขึ้นมากกว่าที่ไม่ใส่ปุ๋ยสังกะสี (ค่ารับควบคุม, ไม่มีการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสี) ร้อยละ 35, 44, 58 และ 107 ตามลำดับ (ตารางที่ 22)



ภาพที่ 8 ผลของการใส่ปุ๋ยสังกะสีโดยวิธีการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสี และการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางดิน ต่อความสูงข้าวโพด (a) อายุ 20 วัน และ (b) 40 วัน น้ำหนักแห้ง (c) ดอกชังและ (d) ฝัก ที่ปลูกในดินเนื้อปูนชุดดินถ่านารายณ์ (คอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT) (s = soaked seed; sa = soil applied Zn อัตรา 2 mg Zn kg⁻¹ soil)

ตารางที่ 22 ร้อยละผลผลิตน้ำหนักแห้งฝักเพิ่มของข้าวโพดที่ได้รับการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูก
ในดินเนื้อปุ๋ยมุขุดดินลำนารายณ์ในสารละลายปุ๋ยสังกะสีและที่ได้รับการใส่ปุ๋ยทางดิน

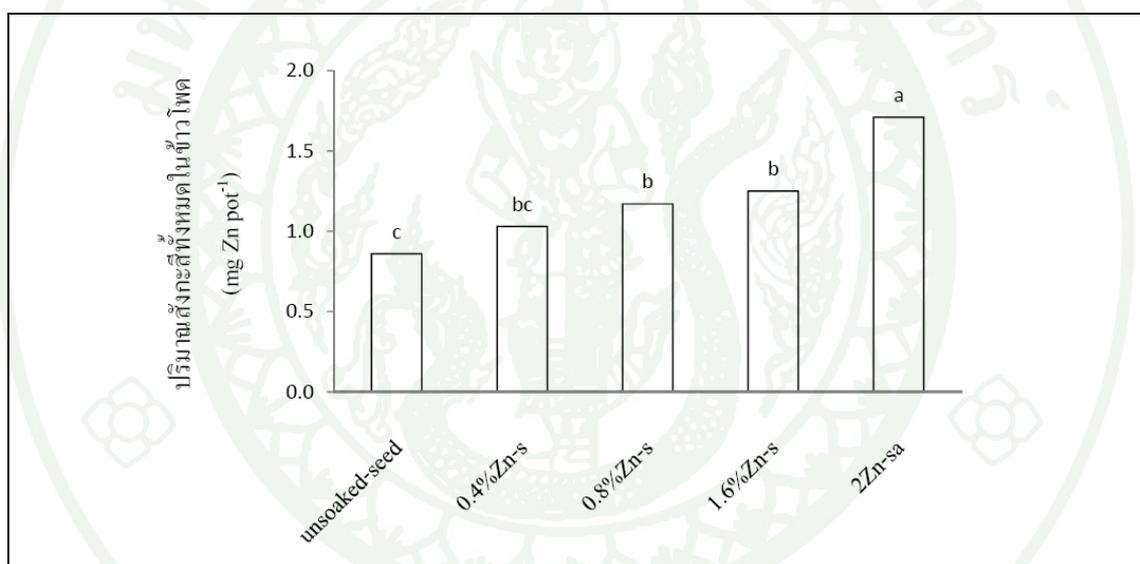
ตำรับการทดลอง	ผลผลิตเพิ่ม ^{1/} (%)
unsoaked-seed (control)	-
0.4% Zn-s	35
0.8% Zn-s	44
1.6% Zn-s	58
2 Zn-sa	107

หมายเหตุ^{1/} เปรียบเทียบกับ control

s = soaked seed; sa = soil applied Zn (อัตรา 2 mg Zn kg⁻¹ soil)

2.4.4 ปริมาณการดูดใช้สังกะสีทั้งหมดของข้าวโพด

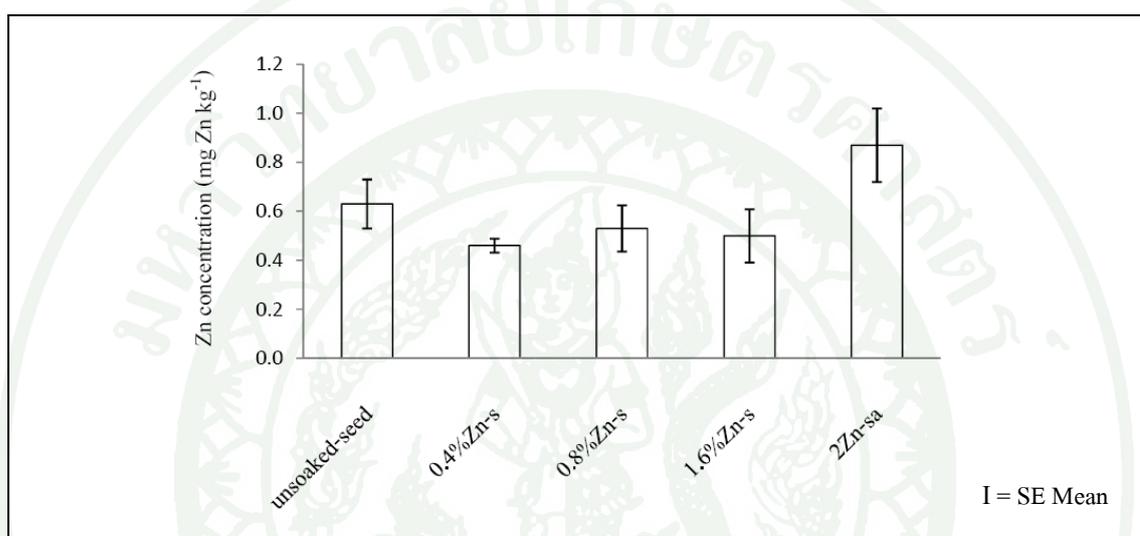
ข้าวโพดที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสี โดยวิธีการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสีและที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางดิน มีปริมาณการดูดใช้สังกะสีสูงกว่าข้าวโพดที่ไม่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสี (ดำรับควบคุมที่ไม่มีการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสี) (ภาพที่ 9) พบว่าปริมาณการดูดใช้สังกะสีทั้งหมดของข้าวโพดที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางดินสูงที่สุด ปริมาณการดูดใช้สังกะสีทั้งหมดของข้าวโพดที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีโดยวิธีการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสีที่ความเข้มข้น 0.4, 0.8 และ 1.6% Zn ไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสังกะสีในสารละลายปุ๋ยสังกะสีที่เพิ่มขึ้น



ภาพที่ 9 ผลของการใส่ปุ๋ยสังกะสีโดยวิธีการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสีและการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางดิน ต่อปริมาณการดูดใช้สังกะสีทั้งหมดในข้าวโพด ที่ปลูกในดินเนื้อปูนชุดดินลำนารายณ์ (คอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยอักษรเหมือนกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT) (s = soaked seed; sa = soil applied Zn อัตรา 2 mg Zn kg⁻¹ soil)

2.4.5 ปริมาณสังกะสีที่เป็นประโยชน์ในดินหลังการเก็บเกี่ยวข้าวโพด

จากการวิเคราะห์ดินหลังเก็บเกี่ยวข้าวโพด (ภาพที่ 10) พบว่าปริมาณสังกะสีที่เป็นประโยชน์ (DTPA-Zn) ในดินปลูกข้าวโพดที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยสังกะสี (ดำรับควบคุม, ไม่มีการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสี) และที่มีการใส่ปุ๋ยสังกะสีโดยการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสีใกล้เคียงกันและต่ำกว่าที่มีการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางดิน



ภาพที่ 10 ปริมาณสังกะสีที่เป็นประโยชน์ในดินหลังการเก็บเกี่ยวข้าวโพดที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีโดยวิธีการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสีและที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางดินในดินเนื้อปนซุดดินลำนารายณ์ (s = soaked seed; sa = soil applied Zn อัตรา 2 mg Zn kg⁻¹ soil)

2.5 ศึกษาการตอบสนองของข้าวโพดที่ปลูกในชุดดินชัยบาดาลต่อวิธีการใส่ปุ๋ยสังกะสีโดยวิธีการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสีและการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางดิน

ผลการใส่ปุ๋ยสังกะสีโดยวิธีการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสีและการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางดิน ต่อการเจริญเติบโตผลผลิตน้ำหนักรากแห้งฝักและน้ำหนักรากแห้งต่อชั่งของข้าวโพดที่ปลูกในดินเนื้อปูนชุดดินชัยบาดาล มีดังนี้

2.5.1 ความสูง

ความสูงของข้าวโพดที่อายุ 20 และ 40 วัน แสดงอยู่ในภาพที่ 11a และ 11b พบว่าเมื่อข้าวโพดอายุ 20 วัน ข้าวโพดที่ได้รับปุ๋ยสังกะสีโดยวิธีการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสี มีความสูงมากกว่าข้าวโพดที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยสังกะสี (ดำรับควบคุมที่ไม่มีการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสี) และที่ได้รับปุ๋ยสังกะสีโดยการใส่ทางดินโดยเด่นชัด ในดำรับที่แช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสีเข้มข้น 1.6% Zn

เมื่อข้าวโพดอายุ 40 วัน ข้าวโพดที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีโดยวิธีการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสีมีความสูงมากกว่าดำรับควบคุมที่ไม่มีการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสีอย่างเด่นชัด ข้าวโพดที่ได้รับปุ๋ยสังกะสีทางดินมีแนวโน้มความสูงมากกว่าดำรับควบคุม

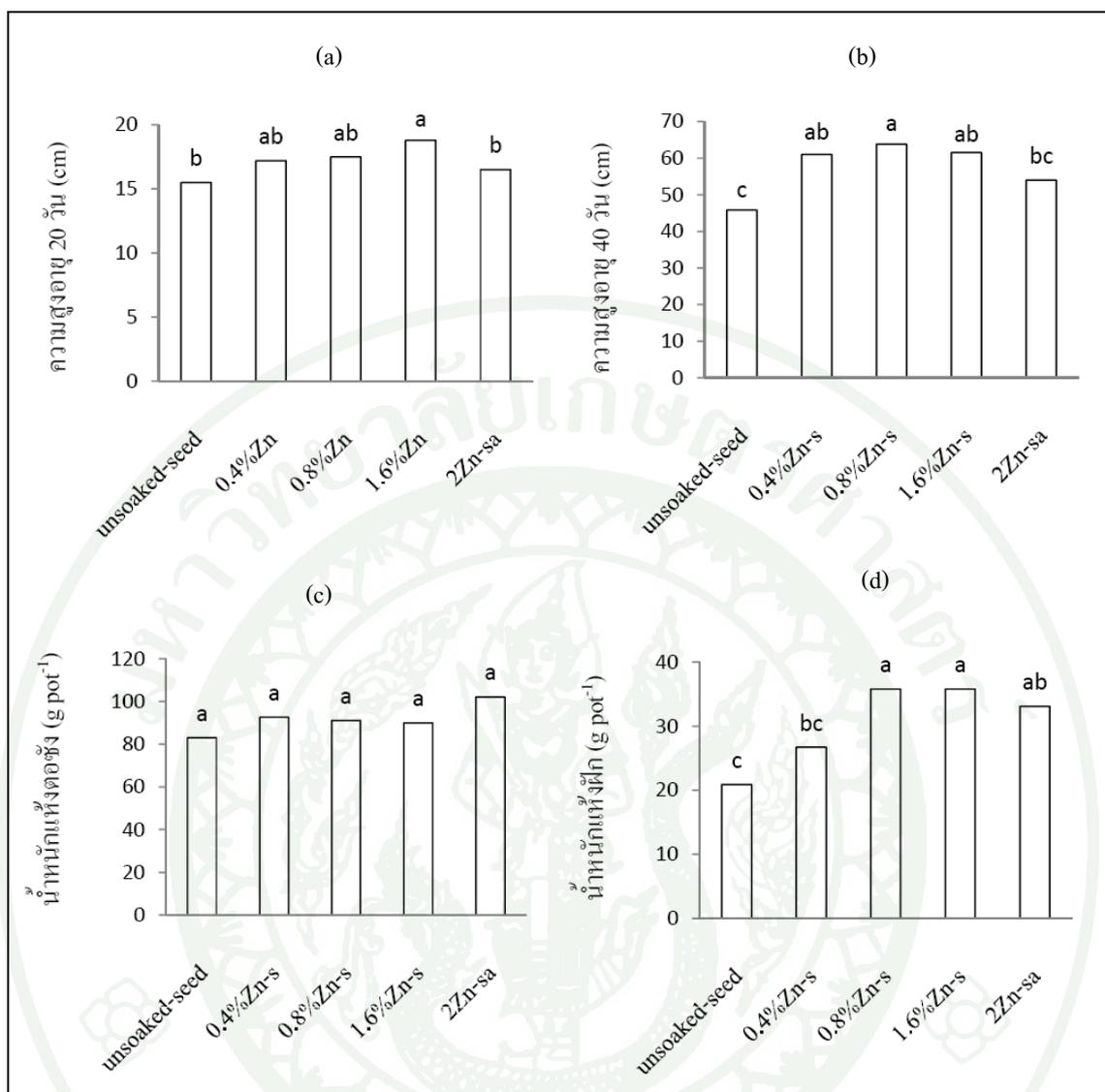
2.5.2 น้ำหนักแห้งต่อชั่ง

การใส่ปุ๋ยสังกะสีโดยวิธีการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสีและการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางดิน มีแนวโน้มในการเพิ่มน้ำหนักแห้งต่อชั่งของข้าวโพดโดยน้ำหนักแห้งต่อชั่งของข้าวโพด มีแนวโน้มสูงกว่าข้าวโพดในดำรับการทดลองที่ไม่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสี (ดำรับควบคุม, ไม่มีการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสี) (ภาพที่ 11c)

2.5.3 ผลผลิตน้ำหนักรากแห้งฝัก

ผลผลิตน้ำหนักรากแห้งฝักของข้าวโพดที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางดินและที่
ได้รับปุ๋ยสังกะสี โดยวิธีการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสีโดยเฉพาะที่ความ
เข้มข้น 0.8 และ 1.6% Zn สูงกว่าผลผลิตน้ำหนักรากแห้งฝักของข้าวโพดที่ไม่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสี
(ดำรับควบคุม, ไม่มีการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสี) อย่างมีนัยสำคัญทาง
สถิติ (ภาพที่ 11d) ผลผลิตน้ำหนักรากแห้งฝักของข้าวโพดที่ได้รับการแช่เมล็ดก่อนปลูกในสารละลาย
ปุ๋ยสังกะสีเข้มข้น 0.8 และ 1.6% Zn ใกล้เคียงกันและมีแนวโน้มสูงกว่าผลผลิตน้ำหนักรากแห้งฝักของ
ข้าวโพดที่ได้รับการใส่ปุ๋ยทางดิน

พบว่า การใส่ปุ๋ยสังกะสีโดยวิธีการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ย
สังกะสีที่ความเข้มข้น 0.4 0.8 และ 1.6% Zn และการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางดินมีผลทำให้ผลผลิตน้ำหนักราก
แห้งฝักของข้าวโพดเพิ่มขึ้นมากกว่าที่ไม่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสี (ดำรับควบคุม, ไม่มีการแช่เมล็ด
ข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสี) ร้อยละ 28, 71, 71 และ 58 ตามลำดับ (ตารางที่ 23)



ภาพที่ 11 ผลของการใส่ปุ๋ยสังกะสีโดยวิธีการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสี และการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางดิน ต่อความสูงข้าวโพด (a) อายุ 20 วัน และ (b) 40 วัน น้ำหนักแห้ง (c) ตอซังและ (d) ฟัก ที่ปลูกในดินเนื้อปนชุดดินชัยบาดาล (คอตมันน์ เดียวกันที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT) (s = soaked seed; sa = soil applied Zn อัตรา 2 mg Zn kg⁻¹ soil)

ตารางที่ 23 ร้อยละผลผลิตน้ำหนักแห้งฝักเพิ่มของข้าวโพดที่ได้รับการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูก
ในดินเนื้อปูนหุดดินชับบาดาลในสารละลายปุ๋ยสังกะสีและที่ได้รับการใส่ปุ๋ยทางดิน

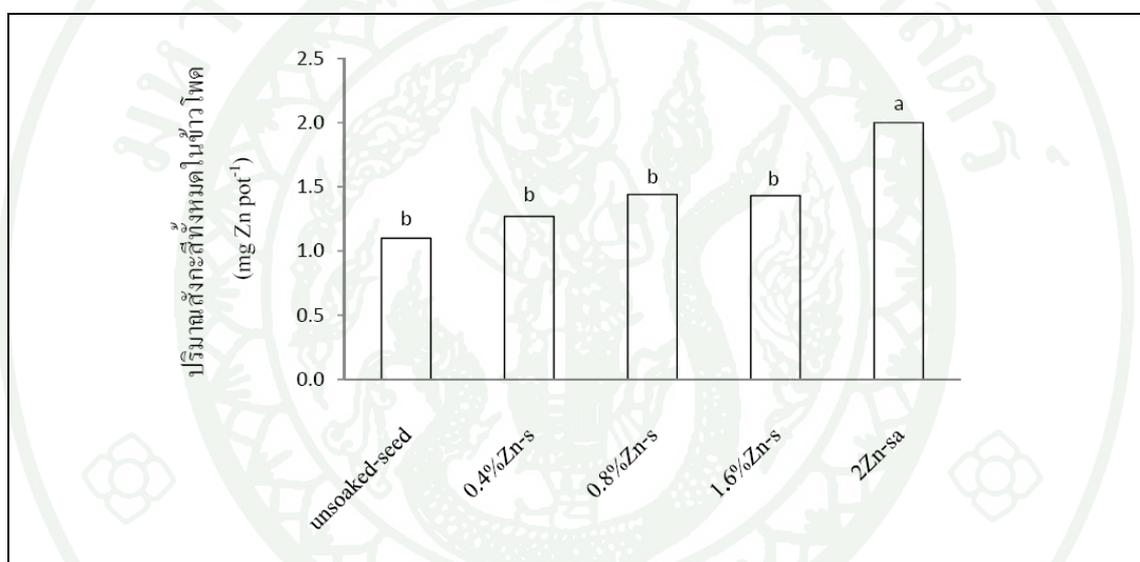
ตำรับการทดลอง	ผลผลิตเพิ่ม ^{1/} (%)
unsoaked-seed (control)	-
0.4% Zn-s	28
0.8% Zn-s	71
1.6% Zn-s	71
2 Zn-sa	58

หมายเหตุ^{1/} เปรียบเทียบกับ control

s = soaked seed; sa = soil applied Zn (อัตรา 2 mg Zn kg⁻¹ soil)

2.5.4 ผลการใส่ปุ๋ยสังกะสีโดยวิธีการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสีและการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางดิน ต่อปริมาณการดูดใช้สังกะสีทั้งหมดของข้าวโพดที่ปลูกในดินเนื้อปูนชุดดินชัยบาดาล

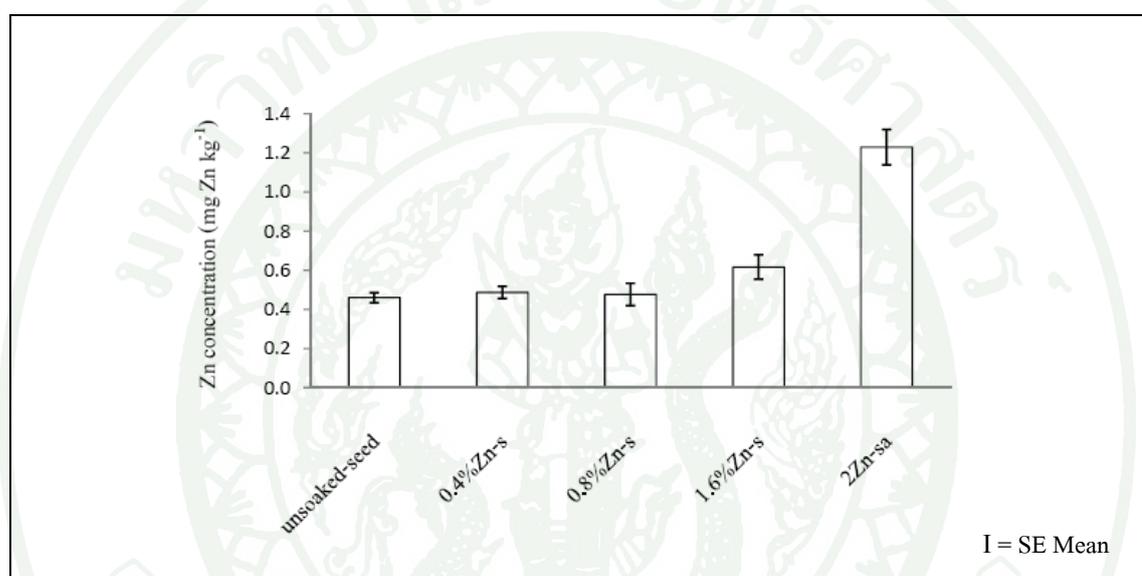
ข้าวโพดที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางดินมีปริมาณการดูดใช้สังกะสีสูงสุด (ภาพที่12) ข้าวโพดที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีโดยวิธีการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสีมีแนวโน้มมีปริมาณการดูดใช้สูงกว่าข้าวโพดที่ไม่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสี (ดำรับควบคุม, ไม่มีการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสี)



ภาพที่ 12 ผลของการใส่ปุ๋ยสังกะสีโดยวิธีการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสีและการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางดิน ต่อปริมาณการดูดใช้สังกะสีทั้งหมดในข้าวโพดที่ปลูกในดินเนื้อปูนชุดดินชัยบาดาล (คอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยอักษรเหมือนกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT) (s = soaked seed; sa = soil applied Zn อัตรา 2 mg Zn kg⁻¹ soil)

2.5.5 ปริมาณสังกะสีที่เป็นประโยชน์ในดินหลังการเก็บเกี่ยวข้าวโพด

จากการวิเคราะห์ปริมาณสังกะสีที่เป็นประโยชน์ในดิน (DTPA-Zn) หลังการเก็บเกี่ยวข้าวโพด (ภาพที่ 13) พบว่าในดินปลูกข้าวโพดที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยสังกะสี (ดำรับควบคุม, ไม่มีการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสี) และที่มีการใส่สังกะสีโดยการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสีมีปริมาณสังกะสีที่เป็นประโยชน์ในดินใกล้เคียงกันและต่ำกว่าที่มีการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางดิน



ภาพที่ 13 ปริมาณสังกะสีที่เป็นประโยชน์ในดินหลังการเก็บเกี่ยวข้าวโพดที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีโดยวิธีการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสีและที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางดินในดินเนื้อปนหุ้ดดินชัยบาดาล (s = soaked seed; sa = soil applied Zn อัตรา 2 mg Zn kg⁻¹ soil)

2.6 ศึกษาการตอบสนองของข้าวโพดที่ปลูกในชุดดินตาคลีต่อวิธีการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางเมล็ด โดยวิธีการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสีและการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางดิน

ผลการใส่ปุ๋ยสังกะสีโดยวิธีการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสีและการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางดินต่อการเจริญเติบโต ผลผลิตน้ำหนักแห้งฝักและน้ำหนักแห้งตอซังของข้าวโพดที่ปลูกในดินเนื้อปูนชุดดินตาคลี

2.6.1 ความสูง

ความสูงของข้าวโพดที่อายุ 20 และ 40 วัน แสดงอยู่ในภาพที่ 14a และ 14b พบว่าทั้งเมื่อข้าวโพดอายุ 20 และ 40 วัน ความสูงของข้าวโพดในทุกตำรับการทดลองไม่แตกต่างกันทางสถิติ

2.6.2 น้ำหนักแห้งตอซัง

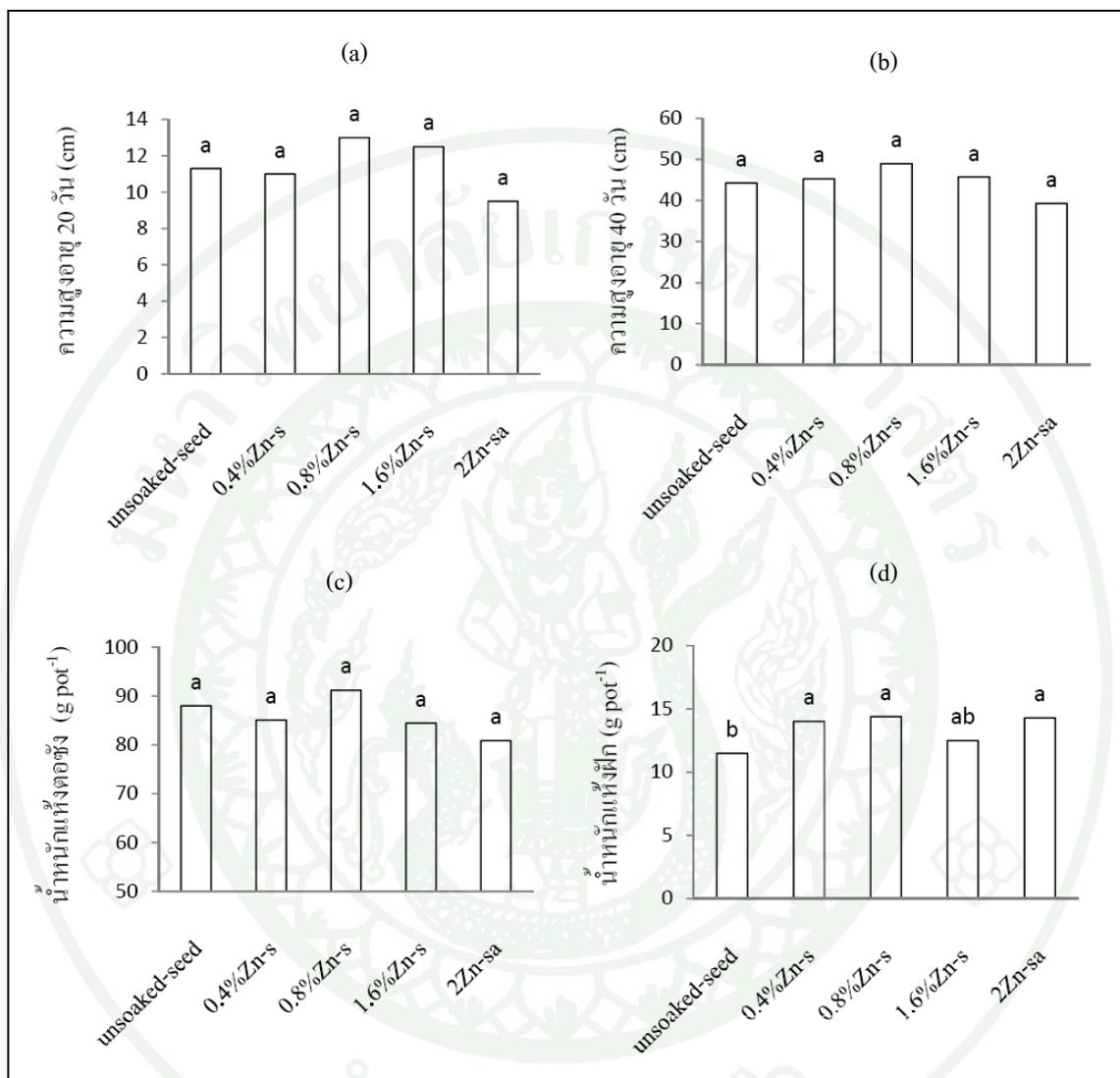
น้ำหนักแห้งตอซังของข้าวโพดที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีโดยวิธีการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสี ที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางดิน และที่ไม่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสี (ตำรับควบคุมที่ไม่มีการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสี) ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ภาพที่ 14c)

2.6.3 ผลผลิตน้ำหนักแห้งฝัก

ผลผลิตน้ำหนักแห้งฝักของข้าวโพดที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสี โดยวิธีการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสีที่ความเข้มข้น 0.4, 0.8 และ 1.6% Zn และการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางดินไม่แตกต่างกันทางสถิติและสูงกว่าผลผลิตน้ำหนักแห้งฝักของข้าวโพดที่ไม่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสี (ตำรับควบคุมที่ไม่มีการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสี) (ภาพที่ 14d)

ผลผลิตน้ำหนักแห้งฝักของข้าวโพดที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสี โดยวิธีการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสีที่ความเข้มข้น 0.4, 0.8 และ 1.6% Zn และโดยการ

ใส่ปุ๋ยสังกะสีทางดิน เพิ่มขึ้นสูงกว่าที่ไม่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสี (ค่ารับควบคุม) ร้อยละ 22, 25, 9 และ 24 ตามลำดับ (ตารางที่ 24)



ภาพที่ 14 ผลของการใส่ปุ๋ยสังกะสีโดยวิธีการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสี และการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางดิน ต่อความสูงข้าวโพด (a) อายุ 20 วัน และ (b) 40 วัน น้ำหนักแห้ง (c) ตอซังและ(d) ฝัก ที่ปลูกในดินเนื้อปูนชุดดินตาคลี (คอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยอักษรเหมือนกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT) (s = soaked seed; sa = soil applied Zn อัตรา 2 mg Zn kg⁻¹ soil)

ตารางที่ 24 ร้อยละผลผลิตน้ำหนักแห้งฝักเพิ่มของข้าวโพดที่ได้รับการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูก
ในดินเนื้อปูนหุดดินตาคลีในสารละลายปุ๋ยสังกะสีและที่ได้รับการใส่ปุ๋ยทางดิน

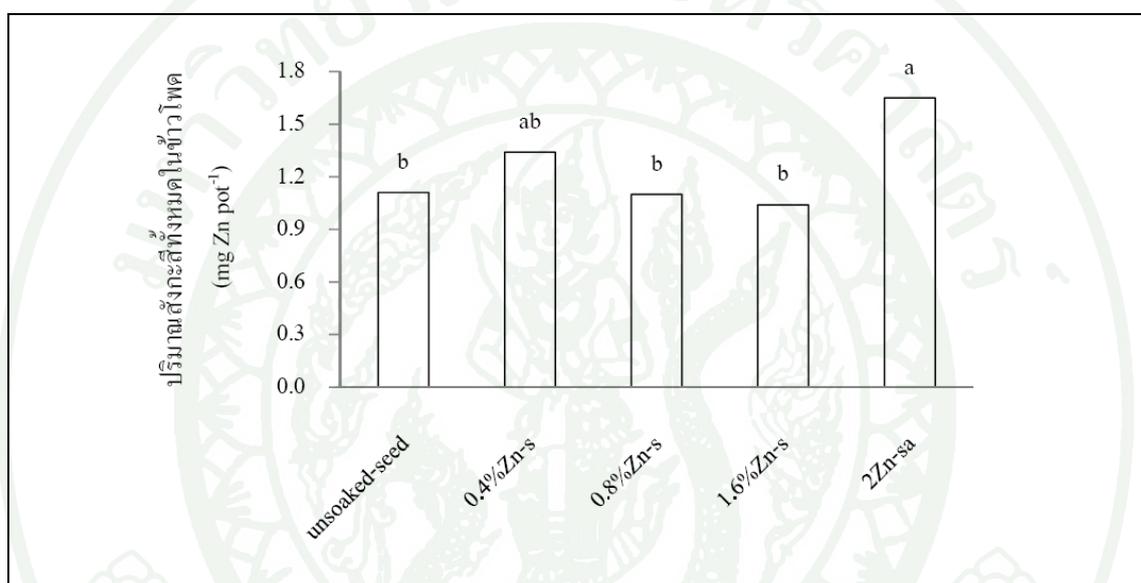
ตำรับการทดลอง	ผลผลิตเพิ่ม ^{1/} (%)
unsoaked-seed (control)	-
0.4% Zn-s	22
0.8% Zn-s	25
1.6% Zn-s	9
2 Zn-sa	24

หมายเหตุ^{1/} เปรียบเทียบกับ control

s = soaked seed; sa = soil applied Zn (อัตรา 2 mg Zn kg⁻¹ soil)

2.6.4 ปริมาณการดูดใช้สังกะสีทั้งหมดของข้าวโพด

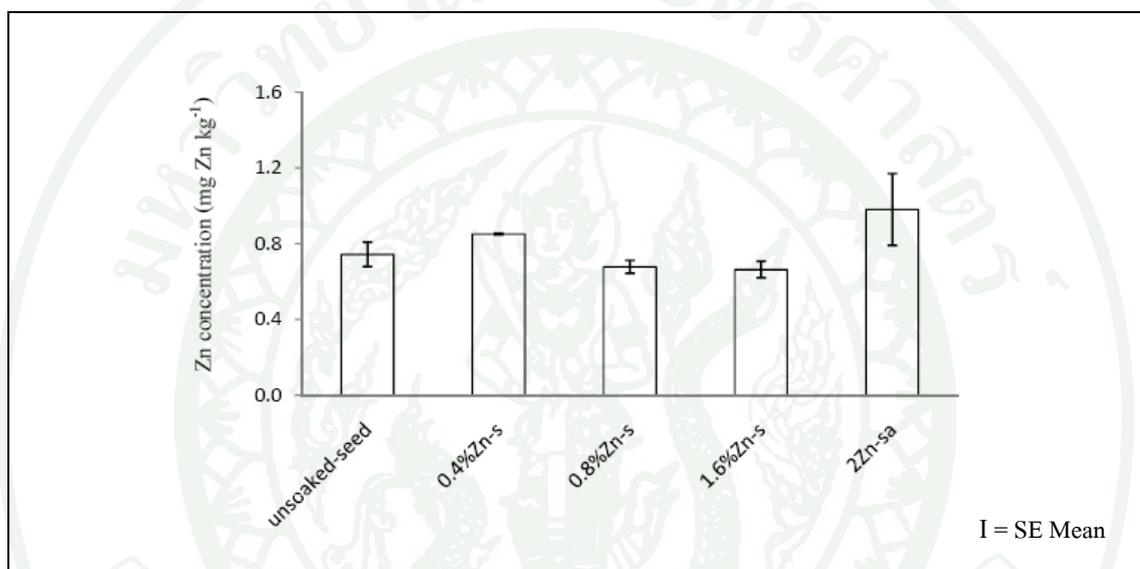
ปริมาณการดูดใช้สังกะสีของข้าวโพดที่ได้รับปุ๋ยสังกะสีทางดินไม่แตกต่างทางสถิติกับปริมาณการดูดใช้สังกะสีของข้าวโพดที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีโดยวิธีการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสีที่ความเข้มข้น 0.4% Zn และสูงกว่าปริมาณการดูดใช้สังกะสีทั้งหมดของข้าวโพดที่ไม่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสี (ตำรับควบคุมที่ไม่มีการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสี) (ภาพที่ 15)



ภาพที่ 15 ผลของการใส่ปุ๋ยสังกะสีโดยวิธีการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสี และการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางดิน ต่อปริมาณการดูดใช้สังกะสีทั้งหมดในข้าวโพดที่ปลูกในดินเนื้อปูนชุดดินตาดลี (คอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยอักษรเหมือนกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT) (s = soaked seed; sa = soil applied Zn อัตรา 2 mg Zn kg⁻¹ soil)

2.6.5 ปริมาณสังกะสีที่เป็นประโยชน์ในดินหลังการเก็บเกี่ยวข้าวโพด

จากการวิเคราะห์ปริมาณสังกะสีที่เป็นประโยชน์ในดิน (DTPA-Zn) หลังการเก็บเกี่ยวข้าวโพด (ภาพที่ 16) พบว่าในดินปลูกข้าวโพดที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยสังกะสี (ดำรับควบคุม, ไม่มีการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสี) และที่มีการใส่ปุ๋ยสังกะสีโดยแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสี มีปริมาณสังกะสีที่เป็นประโยชน์ในดินใกล้เคียงกันและต่ำกว่าที่มีการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางดิน



ภาพที่ 16 ปริมาณสังกะสีที่เป็นประโยชน์ในดินหลังการเก็บเกี่ยวข้าวโพดที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสี โดยวิธีการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสีและที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางดินในดินเนื้อปนซุดดินดาดสี (s = soaked seed; sa = soil applied Zn อัตรา 2 mg Zn kg⁻¹ soil)

วิจารณ์

1. สมบัติของชุดดินที่นำมาศึกษา

ผลการทดลองเช่นเดียวกับการทดลองส่วนที่ 1 (หน้า 70)

2. ความเข้มข้นของสังกะสีในเมล็ดข้าวโพด

การแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสี ($ZnSO_4$ solution) มีผลในการเพิ่มความเข้มข้นของสังกะสีในเมล็ดข้าวโพด โดยความเข้มข้นของสังกะสีในเมล็ดข้าวโพดเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสารละลายปุ๋ยสังกะสีที่เพิ่มขึ้น (ตารางที่ 20) ผลการศึกษาดังกล่าวคล้ายผลการศึกษาของ Kang and Okoro (1976) ที่ทำการศึกษาในข้าว และสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Harris *et al.* (2007) ที่ทำการทดลองในข้าวโพดและผลการศึกษาของ Harris *et al.* (2008) ที่ทำการศึกษาในข้าวสาลี

3. ผลการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางเมล็ด โดยวิธีการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสีและการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางดิน ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพดที่ปลูกในดินเนื้อปูนชุดดินลพบุรี, ถ่านารายณ์, ชัยบาดาลและตาคลี

จากการศึกษา พบว่าข้าวโพดที่ปลูกในดินเนื้อปูนชุดดินลพบุรี ถ่านารายณ์ ชัยบาดาล และตาคลีที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีทั้งโดยวิธีการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสี ($ZnSO_4$ solution) และโดยการใส่ปุ๋ยสังกะสี $ZnSO_4$ ทางดิน มีการเจริญเติบโต ผลผลิต น้ำหนักแห้งฝัก น้ำหนักแห้งตอซังเพิ่มขึ้นมากกว่าที่ไม่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสี (ตารางควบคุม) (ภาพที่ 5, 8, 11 และ 14) ผลการทดลองดังกล่าวชี้ให้เห็นว่าข้าวโพดที่ปลูกในดินเนื้อปูนดังกล่าวขาดสังกะสี ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาก่อนหน้านี้ (ข้อ 1) ที่ศึกษาการตอบสนองของข้าวโพดที่ปลูกในดินเนื้อปูนต่อปุ๋ยสังกะสีในรูป $ZnSO_4$, ZnEDTA และ Zn citrate การใส่ปุ๋ยสังกะสีทั้งโดยวิธีการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสีและโดยการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางดิน มีผลในการเพิ่มการเจริญเติบโต ผลผลิตน้ำหนักแห้งฝัก และน้ำหนักแห้งตอซังของข้าวโพด สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Harris *et al.* (2007) ที่พบว่าทำให้ปุ๋ยกับข้าวโพดที่ปลูกในดินเนื้อปูนที่ขาดสังกะสีโดยการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลาย $ZnSO_4$ 1% เป็นระยะเวลา 16 ชั่วโมง มีผลในการเพิ่มการเจริญเติบโต ผลผลิตน้ำหนักแห้งฝัก และน้ำหนักแห้งตอซังของข้าวโพดอย่างมีนัยสำคัญ

ทางสถิติ และการศึกษาในข้าวบาร์เลย์ของ Abdulrahmani *et al.* (2007) ซึ่งพบว่า การแช่เมล็ดข้าวบาร์เลย์ก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสี $ZnSO_4$ มีผลในการเพิ่มผลผลิตน้ำหนักแห้งของข้าวบาร์เลย์ในดินที่ขาดสังกะสี ร้อยละผลผลิตน้ำหนักแห้งฝักเพิ่มของข้าวโพดที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีโดยวิธีการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสีและที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางดิน ในชุดดินลพบุรีอยู่ในช่วง 35-58 ในชุดดินลำนารายณ์อยู่ในช่วง 35-107 ในชุดดินชัยบาดาลอยู่ในช่วง 28-58 และในชุดดินตาคีอยู่ในช่วง 9-25 (ตารางที่ 21, 22, 23 และ 24) การให้ปุ๋ยสังกะสีแก่ข้าวโพดโดยตรงผ่านทางเมล็ด โดยการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสีจะทำให้ข้าวโพดได้รับสังกะสีที่เป็นประโยชน์ในระยะแรกของการเจริญเติบโต (Welch, 1986; Yilmaz *et al.*, 1998; Harris *et al.*, 2007) อีกทั้งปริมาณปุ๋ยสังกะสีที่ให้จะสะสมอยู่ในข้าวโพดทั้งหมดซึ่งมีผลต่อการเพิ่มการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของข้าวโพด เมื่อพิจารณาร้อยละผลผลิตน้ำหนักแห้งฝักเพิ่มของข้าวโพดที่ปลูกในดินเนื้อปูนที่นำมาศึกษาที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีโดยวิธีการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสี อาจกล่าวได้ว่าวิธีการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสีที่ความเข้มข้น 0.8-1.6%Zn น่าจะเป็นอัตราที่เหมาะสม

โดยทั่วไปพบว่าข้าวโพดที่ได้รับการให้ปุ๋ยสังกะสีโดยวิธีการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสีและโดยการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางดินมีการเจริญเติบโตด้านความสูงต้น ผลผลิตน้ำหนักแห้งฝักและน้ำหนักแห้งต่อชั่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ แสดงว่าการให้ปุ๋ยสังกะสีกับข้าวโพดที่ปลูกในดินเนื้อปูนที่ขาดสังกะสี โดยวิธีแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสีและโดยการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางดิน มีประสิทธิภาพในการเพิ่มการเจริญเติบโต ผลผลิตน้ำหนักแห้งฝักและน้ำหนักแห้งต่อชั่งของข้าวโพดได้ใกล้เคียงกัน ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Harris *et al.* (2007) ที่ทดลองในข้าวโพดที่ประเทศปากีสถาน และผลการศึกษาของ Slaton *et al.* (2001) ที่ศึกษาในข้าว

4. ผลการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางเมล็ด โดยวิธีการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสีและการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางดิน ต่อปริมาณการดูดใช้สังกะสีทั้งหมดของข้าวโพดที่ปลูกในดินเนื้อปูนชุดดินลพบุรี, ถ่านารายณ์, ชัยบาดาลและตากลิ

ผลการศึกษาปริมาณสังกะสีทั้งหมดในข้าวโพด พบว่าดินเนื้อปูนชุดทั้ง 4 ชุดดินให้ผลสอดคล้องกัน การให้ปุ๋ยกับข้าวโพดโดยวิธีการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสีและโดยการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางดิน มีผลในการเพิ่มปริมาณสังกะสีทั้งหมดในข้าวโพดโดยสูงกว่าข้าวโพดที่ไม่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสี (ดำรับควบคุม, ไม่แช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสี) (ภาพที่ 6, 9, 12 และ 15) แสดงว่าการใส่ปุ๋ยสังกะสีทั้งสองวิธีมีประสิทธิภาพในการเพิ่มปริมาณสังกะสีทั้งหมดในข้าวโพด ซึ่งส่งผลให้การเจริญเติบโต และผลผลิตข้าวโพดเพิ่มขึ้นมากกว่าข้าวโพดที่ไม่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสี สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Slaton *et al.* (2001) ที่ทำการศึกษาในข้าวที่รัฐอาร์คันซอประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งพบว่าปริมาณการดูดใช้สังกะสีของข้าวเพิ่มขึ้น ทั้งเมื่อมีการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางดินและการให้ปุ๋ยสังกะสีทางเมล็ด พบว่าโดยทั่วไปปริมาณการดูดใช้สังกะสีทั้งหมดในข้าวโพดที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสี โดยการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสีจะเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของสังกะสีในสารละลายปุ๋ยสังกะสีที่แช่เมล็ดข้าวโพด ซึ่งคล้ายกับผลการศึกษาในข้าวของ Kang and Okoro (1976) ที่ได้ทำการศึกษาในประเทศไนจีเรีย พบว่าความเข้มข้นของสังกะสีและปริมาณการดูดใช้สังกะสีของข้าวเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสังกะสีในสารละลายปุ๋ยสังกะสีที่แช่เมล็ดข้าวเพิ่มขึ้น

ผลการทดลองพบว่า ในดินเนื้อปูนชุดดินลพบุรีและชุดดินตากลิ ปริมาณการดูดใช้สังกะสีทั้งหมดของข้าวโพดที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสี โดยวิธีการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสีและที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางดินไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่ในดินเนื้อปูนชุดดินถ่านารายณ์และชุดดินชัยบาดาล ข้าวโพดที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางดินมีปริมาณการดูดใช้สังกะสีมากกว่าที่ได้รับการให้ปุ๋ยสังกะสีโดยการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสี ทั้งนี้คงเป็นเพราะในชุดดินตากลิและลพบุรีปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตสูงมาก เมื่อเทียบกับชุดดินถ่านารายณ์และชัยบาดาล ซึ่งน่าจะส่งผลในการลดความเป็นประโยชน์ของปุ๋ยสังกะสีที่ใส่ทางดินต่อข้าวโพด (Lindsay *et al.*, 1972; Havlin *et al.*, 2005; Ganoe *et al.*, 2007; Alloway, 2008)

5. เปรียบเทียบปริมาณปุ๋ยสังกะสีที่ใส่ให้กับข้าวโพด

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณสังกะสีที่ใส่ให้กับข้าวโพดระหว่างวิธีการใส่ปุ๋ยสังกะสีโดยการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลาย $ZnSO_4$ โดยเฉพาะที่ความเข้มข้น 1.6% Zn กับการใส่ $ZnSO_4$ ทางดินที่อัตรา $2 \text{ mg Zn kg}^{-1} \text{ soil}$ พบว่าการใส่ปุ๋ยสังกะสีโดยวิธีการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสี สามารถลดปริมาณของปุ๋ยสังกะสีที่ใส่ได้ประมาณ 7 เท่าของปริมาณปุ๋ยสังกะสีที่ใส่ทางดิน จากผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าการให้ปุ๋ยแก่ข้าวโพดโดยวิธีการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสี นอกจากจะมีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาการขาดสังกะสีของข้าวโพดที่ปลูกในดินเนื้อปูน ขณะเดียวกันยังช่วยลดต้นทุนในการผลิต ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Slaton *et al.* (2001) ที่ศึกษาในข้าว และรายงานของ Harris *et al.* (2007) ที่ศึกษาในข้าวโพด

6. ปริมาณสังกะสีในดินหลังเก็บเกี่ยวข้าวโพด

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณสังกะสีในดิน (DTPA-Zn) หลังการเก็บเกี่ยวข้าวโพดทั้งในชุดดินลพบุรี, ถิ่นอารายณ์, ชัยบาดาลและตากสิน พบว่าปริมาณสังกะสีในดินปลูกข้าวโพดที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีโดยการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสี และที่ไม่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสี (ดำรับควบคุม, ไม่แช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสี) ใกล้เคียงกันและต่ำกว่าที่ได้รับปุ๋ยสังกะสีทางดิน ผลการทดลองดังกล่าวชี้ให้เห็นว่าการให้ปุ๋ยสังกะสีข้าวโพดโดยการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสี ไม่ทำให้ปริมาณสังกะสีในดินเปลี่ยนแปลง ขณะที่วิธีการใส่ปุ๋ยสังกะสีให้กับข้าวโพดทางดิน มีผลในการเพิ่มปริมาณสังกะสีในดิน

3. การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพน้ำยาสกัด DTPA, Mehlich3, AB-DTPA และ EDTA-(NH₄)₂CO₃ ในการประเมินสังกะสีที่เป็นประโยชน์ในดินเนื้อปูน

ผลและวิจารณ์

3.1 สมบัติบางประการของดินที่นำมาศึกษา

สมบัติบางประการของดินเนื้อปูน 7 ตัวอย่างที่นำมาศึกษาแสดงอยู่ในตารางที่ 25 ดินเนื้อปูนที่นำมาศึกษาทั้ง 7 ตัวอย่างมีเนื้อดินเป็นดินเหนียว ดินส่วนใหญ่มีปฏิกิริยาเป็นด่าง (pH 7.8-8.1) ยกเว้นดินบ้านหมี่ซึ่งปฏิกิริยาดินเป็นกลาง (pH 6.9) สภาพการนำไฟฟ้า (EC) ของดินอยู่ในระดับต่ำ (Land Classification Division and FAO Project Staff, 1973) ความจุในการแลกเปลี่ยนแคตไอออน (CEC) อยู่ในระดับสูงมากโดยมีพิสัยอยู่ในช่วง 39-65 cmol_c kg⁻¹ ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินอยู่ในระดับปานกลางถึงสูง มีพิสัยอยู่ในช่วง 16.8-38.3 g kg⁻¹ ปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตมีพิสัยอยู่ในช่วง 12-550 g kg⁻¹ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินอยู่ในระดับปานกลางถึงสูง ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียมและแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินอยู่ในระดับสูงมาก ปริมาณเหล็ก แมงกานีส ทองแดง ที่เป็นประโยชน์ในดินอยู่ในระดับเพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยมีพิสัยอยู่ในช่วง 5.31-81.27 mg Fe kg⁻¹, 7.13-39.56 mg Mn kg⁻¹ และ 0.38-3.96 mg Cu kg⁻¹ ตามลำดับ ปริมาณสังกะสีที่เป็นประโยชน์ในดินอยู่ในระดับต่ำถึงเพียงพอ (Martens and Lindsay, 1990) โดยมีพิสัยอยู่ในช่วง 0.31-1.31 mg Zn kg⁻¹

ตารางที่ 25 ค่าวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและฟิสิกส์บางประการของดินที่ทำการศึกษา

สมบัติของดิน	ตัวอย่างดินที่ (soil No.)						
	1 (Tk1)	2 (Tk2)	3 (Lb1)	4 (Lb2)	5 (Ln)	6 (Cd)	7 (Bm)
Texture	Clay	Clay	Clay	Clay	Clay	Clay	Clay
pH	7.8	8.1	8.0	8.0	8.1	7.8	6.9
EC(dS m ⁻¹)	0.15	0.10	0.11	0.13	0.11	0.13	0.20
CEC ³ (cmol _c kg ⁻¹)	54	52	60	59	65	56	39
OM (g kg ⁻¹)	33	33	32	38	17	20	36
CaCO ₃ ⁵ (g kg ⁻¹)	540	550	410	400	45	38	12
Avail. P (mg kg ⁻¹)	28	23	13	13	10	15	20
Avail. K (mg kg ⁻¹)	190	277	225	249	217	296	217
Avail. Ca (mg kg ⁻¹)	13582	13183	12792	13803	14356	9555	6755
Avail. Mg (mg kg ⁻¹)	306	223	357	563	418	1431	566
Avail. zinc (mg kg ⁻¹)	0.54	0.46	0.68	0.69	0.31	0.51	1.31
Avail. Fe (mg kg ⁻¹)	6.01	7.23	5.38	5.31	8.56	12.01	81.27
Avail. Mn (mg kg ⁻¹)	23.79	12.74	22.22	7.13	11.75	16.99	39.56
Avail. Cu (mg kg ⁻¹)	0.86	0.38	0.93	0.67	1.04	1.19	3.96

หมายเหตุ (Tk1) = ตาคี1

(Tk2) = ตาคี2

(Lb1) = ลพบุรี1

(Lb2) = ลพบุรี2

(Ln) = ลำนารายณ์

(Cd) = ชัยบาดาล

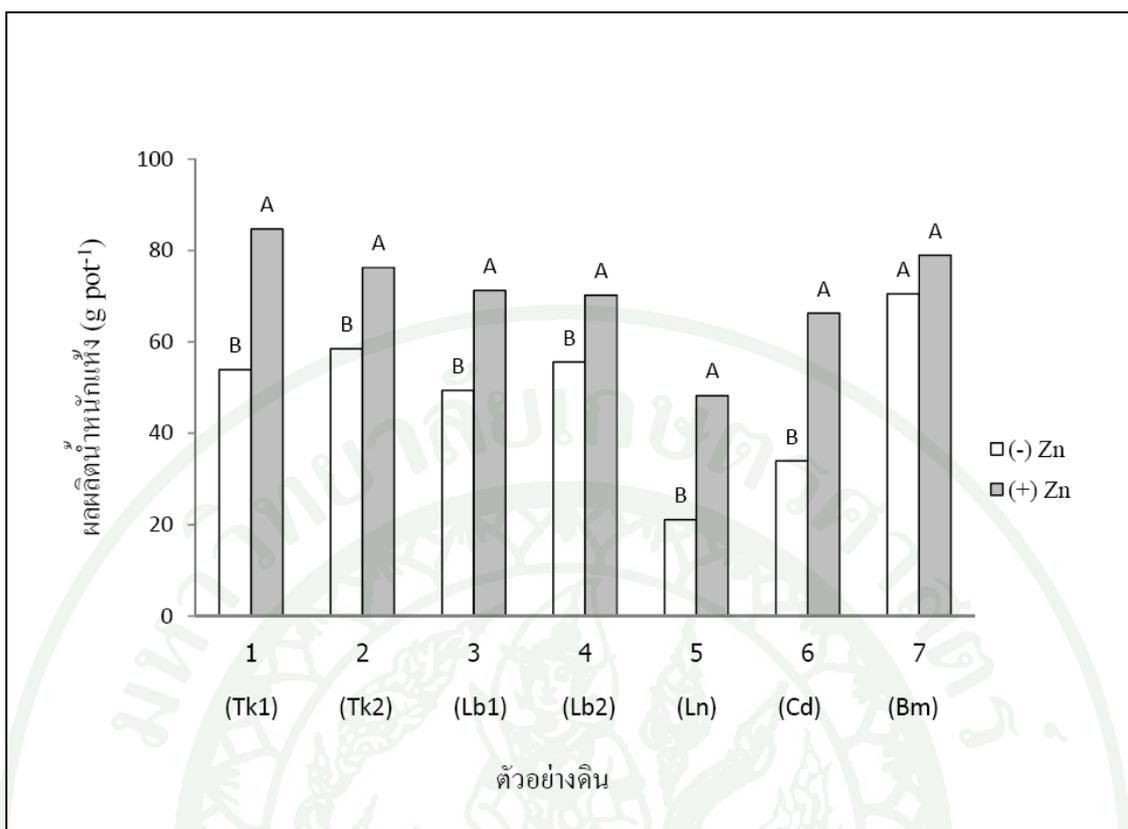
(Bm) = บ้านหมี่

3.2 การตอบสนองของข้าวโพดที่ปลูกในดินเนื้อปูนที่นำมาศึกษาต่อปุ๋ยสังกะสี

ผลผลิตน้ำหนักรากแห้งของข้าวโพดที่ปลูกในตัวอย่างดินเนื้อปูน ตาคลี1, ตาคลี2, ลพบุรี1, ลพบุรี2, ลำานรายณ์, ชัยบาดาลและบ้านหมี่ แสดงอยู่ในภาพที่ 17 พบว่า ในดินตาคลี1, ตาคลี2, ลพบุรี1, ลพบุรี2, ลำานรายณ์และชัยบาดาล ผลผลิตน้ำหนักรากแห้งของข้าวโพดที่ปลูกในตำรับซึ่งได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสี (+Zn) สูงกว่าตำรับที่ไม่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสี (-Zn) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงว่าตัวอย่างดินเนื้อปูนชุดดินตาคลี1, ตาคลี2, ลพบุรี1, ลพบุรี2, ลำานรายณ์ และชัยบาดาล มีปริมาณสังกะสีที่เป็นประโยชน์ในดินไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพด ข้าวโพดขาดสังกะสี เมื่อมีการใส่ปุ๋ยสังกะสีให้กับข้าวโพดที่ปลูกในดินดังกล่าว ข้าวโพดจึงตอบสนองโดยผลผลิตน้ำหนักรากแห้งเพิ่มขึ้นอย่างเด่นชัด ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาก่อนของสุวพันธ์ และคณะ (2532), มนัสนันท์ (2550)

สำหรับข้าวโพดที่ปลูกในดินเนื้อปูนชุดดินบ้านหมี่ พบว่าผลผลิตน้ำหนักรากแห้งของข้าวโพดที่ปลูกในตำรับซึ่งได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสี (+Zn) และตำรับซึ่งไม่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสี (-Zn) ไม่แตกต่างกัน แสดงว่าตัวอย่างดินเนื้อปูนชุดดินบ้านหมี่มีปริมาณสังกะสีที่เป็นประโยชน์ในระดับที่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพด ข้าวโพดที่ปลูกในชุดดินนี้จึงไม่ตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยสังกะสี

ผลการทดลองดังกล่าวชี้ให้เห็นว่าตัวอย่างดินเนื้อปูนที่นำมาศึกษามีปริมาณสังกะสีที่เป็นประโยชน์แตกต่างกันโดยอยู่ในระดับต่ำ ไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืชและในระดับที่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ดินดังกล่าวข้างต้น



ภาพที่ 17 ผลการใส่ปุ๋ยสังกะสีต่อผลผลิตน้ำหนักแห้งข้าวโพดที่ปลูกในตัวอย่างดินเนื้อปูนที่ศึกษา (ในตัวอย่างดินเดียวกันคอลัมน์ที่ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT; Tk1 = ตาคลี1, Tk2 = ตาคลี2, Lb1 = ลพบุรี1, Lb2 = ลพบุรี2, Ln = ลำนารายณ์, Cd = ชัยบาดาล, Bm = บ้านหมี่)

3.3 การประเมินสังกะสีที่เป็นประโยชน์ในดินโดยวิธีสกัดด้วยน้ำยาสกัด DTPA, AB-DTPA, Mehlich3 และ EDTA-(NH₄)₂CO₃

3.3.1 ปริมาณสังกะสีที่สกัดโดยน้ำยาสกัด DTPA, AB-DTPA, Mehlich3 และ EDTA-(NH₄)₂CO₃

ปริมาณสังกะสีที่ในดินเนื้อปูน 7 ตัวอย่าง ที่สกัดโดยน้ำยาสกัด DTPA, AB-DTPA, Mehlich3 และ EDTA-(NH₄)₂CO₃ แสดงอยู่ในตารางที่ 26 พบว่า ปริมาณสังกะสีที่สกัดได้แตกต่างกันในแต่ละน้ำยาสกัด โดยพิสัยของปริมาณสังกะสีที่สกัดโดยน้ำยาสกัด DTPA อยู่ในช่วง 0.31-1.31 mg Zn kg⁻¹ ขณะที่สกัดด้วย AB-DTPA อยู่ในช่วง 0.49-1.89 mg Zn kg⁻¹ สกัดด้วย Mehlich3 อยู่ในช่วง 0.82-2.62 mg Zn kg⁻¹ และที่สกัดด้วยน้ำยาสกัด EDTA-(NH₄)₂CO₃ อยู่ในช่วง 0.30-1.70 mg Zn kg⁻¹ ซึ่งค่าเฉลี่ยของปริมาณสังกะสี ที่สกัดโดยน้ำยาสกัด DTPA AB-DTPA Mehlich3 และ EDTA-(NH₄)₂CO₃ เท่ากับ 0.64, 1.06, 1.64 และ 0.75 mg Zn kg⁻¹ ตามลำดับ เมื่อพิจารณาจากค่าเฉลี่ยปริมาณสังกะสีที่สกัดได้ พบว่า ปริมาณสังกะสีที่สกัดโดยน้ำยาสกัด Mehlich3 มากที่สุด รองลงมาคือที่สกัดโดยน้ำยาสกัด AB-DTPA และที่สกัดโดยน้ำยาสกัด EDTA-(NH₄)₂CO₃ และ DTPA ตามลำดับ ผลการศึกษาดังกล่าวสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Walworth *et al.* (1992), Vocasek and Friedericks (1994), Elrashidi *et al.* (2003) และ Maftoun *et al.* (2003) ปริมาณสังกะสีที่สกัดได้โดยน้ำยาสกัดได้โดยน้ำยาสกัด Mehlich3, AB-DTPA, EDTA-(NH₄)₂CO₃ และ DTPA มากน้อยแตกต่างกันน่าจะเนื่องจากองค์ประกอบทางเคมีของน้ำยาสกัดดังกล่าวแตกต่างกัน การที่น้ำยาสกัด Mehlich3 มีประสิทธิภาพในการสกัดสังกะสีในดินออกมาในปริมาณที่มากกว่าน้ำยาสกัด DTPA, AB-DTPA, Mehlich3 และ EDTA-(NH₄)₂CO₃ น่าจะเนื่องมาจากน้ำยาสกัด Mehlich3 มี EDTA และกรดเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย (Mehlich, 1984)

ตารางที่ 26 ปริมาณสังกะสีในดินเนื้อปูนที่สกัดด้วยน้ำยาสกัด DTPA, AB-DTPA, Mehlich3 และ EDTA-(NH₄)₂CO₃ (เฉลี่ย 3 ซ้ำ)

ตัวอย่างดินที่	ปริมาณสังกะสีที่สกัดได้ (mg Zn kg ⁻¹)			
	DTPA	AB-DTPA	Mehlich3	EDTA-(NH ₄) ₂ CO ₃
1 (ตาคลี1)	0.54	0.91	1.50	0.61
2 (ตาคลี2)	0.46	0.86	1.42	0.55
3 (ลพบุรี1)	0.68	1.40	1.99	0.89
4 (ลพบุรี2)	0.69	1.16	1.77	0.68
5 (ถ่านารายณ์)	0.31	0.49	0.82	0.54
6 (ชัยบาดาล)	0.51	0.72	1.33	0.30
7 (บ้านหมี่)	1.31	1.89	2.62	1.70
พิสัย	0.31-1.31	0.49-1.89	0.82-2.62	0.30-1.70
ค่าเฉลี่ย	0.64	1.06	1.64	0.75

3.3.2 สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสังกะสีที่สกัดจากดิน โดยวิธีสกัดด้วยน้ำยาสกัด DTPA, AB-DTPA, Mehlich3 และ EDTA-(NH₄)₂CO₃

พบว่าปริมาณสังกะสีที่สกัดได้โดยวิธีที่สกัดด้วยน้ำยา Mehlich3, AB-DTPA และ EDTA-(NH₄)₂CO₃ มีสหสัมพันธ์กับปริมาณสังกะสีที่สกัดโดยวิธีที่สกัดด้วยน้ำยา DTPA อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.951** 0.950** และ 0.931** ตามลำดับ (ตารางที่ 27) ปริมาณสังกะสีที่สกัดด้วยน้ำยา AB-DTPA และ EDTA-(NH₄)₂CO₃ มีสหสัมพันธ์กับปริมาณสังกะสีที่สกัดด้วยน้ำยาสกัด Mehlich3 อย่างมีนัยสำคัญยิ่งและอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.990** และ 0.870* ตามลำดับ ปริมาณสังกะสีที่สกัดด้วยน้ำยา EDTA-(NH₄)₂CO₃ มีสหสัมพันธ์กับปริมาณสังกะสีที่สกัดด้วยน้ำยา AB-DTPA อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.912**

ผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Walworth *et al.* (1992) ซึ่งพบว่าปริมาณสังกะสีที่สกัดได้โดยวิธีที่สกัดด้วยน้ำยา Mehlich3 มีสหสัมพันธ์กับปริมาณสังกะสีที่สกัดโดยน้ำยาสกัด DTPA อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($r = 0.97$ **) และ Elrashidi *et al.* (2003) ซึ่งศึกษาวิธีสกัดจุลธาตุอาหารในดิน พบว่าในดินที่มีปฏิกิริยาเป็นด่าง (alkaline soils) ปริมาณสังกะสีที่

สกัดโดยวิธีสกัดด้วยน้ำยา Mehlich3 และน้ำยาสกัด AB-DTPA มีสหสัมพันธ์กับปริมาณสังกะสีวิธีที่สกัดด้วยน้ำยา DTPA อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การศึกษาของ Maftoun *et al.* (2003) ในดินเนื้อปูน 20 ตัวอย่าง พบว่า ปริมาณสังกะสีที่สกัดโดยน้ำยาสกัด DTPA, AB-DTPA, Mehlich3 และ EDTA-(NH₄)₂CO₃ มีสหสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และการศึกษาของละไมและคณะ (2550) ศึกษาในดินปลูกพืชไร่ 5 ชนิด พบว่าปริมาณสังกะสีที่สกัดโดยวิธีสกัดด้วยน้ำยา EDTA-(NH₄)₂CO₃ และ AB-DTPA มีสหสัมพันธ์กับปริมาณสังกะสีที่สกัดโดยวิธีที่สกัดด้วยน้ำยา DTPA อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.960** และ 0.935** ตามลำดับ

ตารางที่ 27 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสังกะสีที่สกัดได้โดยวิธีที่ใช้น้ำยาสกัดต่าง ๆ

น้ำยาสกัด	น้ำยาสกัด		
	AB-DTPA	Mehlich3	EDTA-(NH ₄) ₂ CO ₃
DTPA	0.950**	0.951**	0.931**
Mehlich3	0.990**	-	0.870*
AB-DTPA	-	-	0.912**

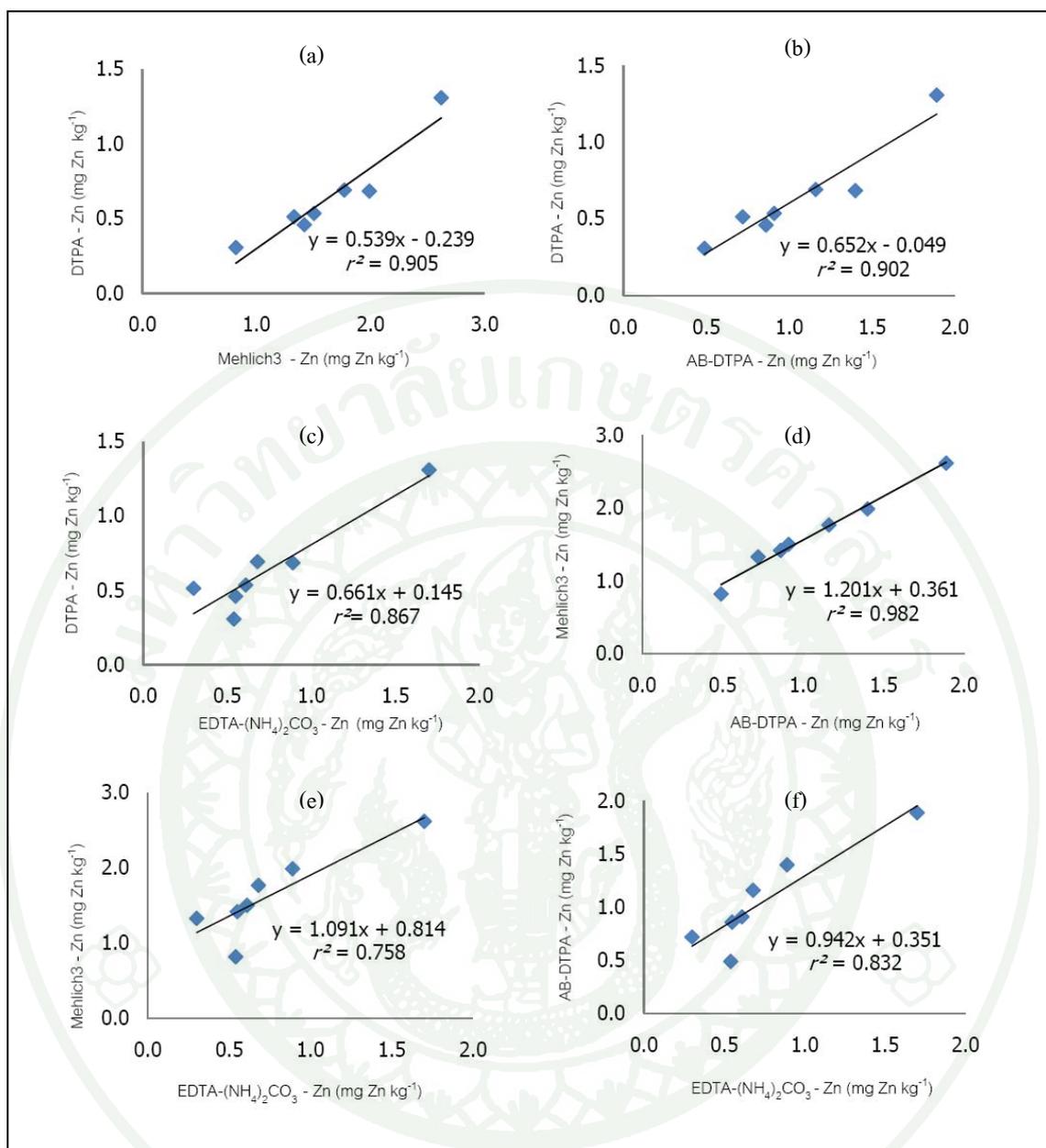
หมายเหตุ ** มีสหสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

* มีสหสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

เมื่อวิเคราะห์การถดถอยระหว่างปริมาณสังกะสีที่สกัดได้โดยน้ำยาสกัดต่าง ๆ สมการถดถอยเชิงเส้นตรง แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสังกะสีที่สกัดได้โดยน้ำยาสกัดต่าง ๆ ดังกล่าว รวมทั้งสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด หรือค่า r^2 แสดงในตารางที่ 28 และภาพที่ 18 จากค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนดแสดงให้เห็นว่าปริมาณสังกะสีที่สกัดโดยวิธีที่ใช้น้ำยาสกัด Mehlich3, AB-DTPA และ EDTA-(NH₄)₂CO₃ สามารถใช้คาดคะเนปริมาณสังกะสีที่สกัดได้โดยน้ำยาสกัด DTPA ได้ร้อยละ 91, 90 และ 87 ตามลำดับ และปริมาณสังกะสีที่สกัดโดยวิธีที่ใช้น้ำยาสกัด AB-DTPA และ EDTA-(NH₄)₂CO₃ สามารถใช้คาดคะเนปริมาณสังกะสีที่สกัดได้โดยน้ำยาสกัด Mehlich3 ได้ร้อยละ 98 และ 76 ตามลำดับ ขณะที่ปริมาณสังกะสีที่สกัดโดยใช้น้ำยาสกัด EDTA-(NH₄)₂CO₃ สามารถใช้คาดคะเนปริมาณสังกะสีที่สกัดได้โดยน้ำยาสกัด AB-DTPA ได้ร้อยละ 83

ตารางที่ 28 สมการถดถอยเชิงเส้นตรงแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสังกะสีที่สกัดจากดิน
โดยน้ำยาสกัด DTPA, Mehlich3, AB-DTPA และ EDTA-(NH₄)₂CO₃ และค่า
สัมประสิทธิ์ตัวกำหนด

น้ำยาสกัด	สมการถดถอยเชิงเส้นตรง	สัมประสิทธิ์ ตัวกำหนด (r^2)
Mehlich3 กับ DTPA	$Y = 0.539X - 0.239$ ($p \leq 0.01$)	0.905
AB-DTPA กับ DTPA	$Y = 0.652X - 0.049$ ($p \leq 0.01$)	0.902
EDTA-(NH ₄) ₂ CO ₃ กับ DTPA	$Y = 0.661X + 0.145$ ($p \leq 0.01$)	0.867
AB-DTPA กับ Mehlich3	$Y = 1.201X + 0.361$ ($p \leq 0.01$)	0.982
EDTA-(NH ₄) ₂ CO ₃ กับ Mehlich3	$Y = 1.091X + 0.814$ ($p \leq 0.05$)	0.758
EDTA-(NH ₄) ₂ CO ₃ กับ AB-DTPA	$Y = 0.942X + 0.351$ ($p \leq 0.01$)	0.832



ภาพที่ 18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสังกะสีที่สกัดได้โดยวิธี (a) Mehlich3 กับ DTPA (b) AB-DTPA กับ DTPA และ (c) EDTA-(NH₄)₂CO₃ กับ DTPA (d) AB-DTPA กับ Mehlich3 (e) EDTA-(NH₄)₂CO₃ กับ Mehlich3 และ (f) EDTA-(NH₄)₂CO₃ กับ AB-DTPA

3.3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสังกะสีที่สกัดจากดินโดยวิธี DTPA, AB-DTPA Mehlich3 และ EDTA-(NH₄)₂CO₃ กับพารามิเตอร์การเจริญเติบโตของข้าวโพด

พารามิเตอร์การเจริญเติบโตของข้าวโพดที่นำมาหาความสัมพันธ์กับค่าวิเคราะห์ปริมาณสังกะสีที่สกัดจากดินได้โดยน้ำยาสกัด DTPA, AB-DTPA, Mehlich3 และ EDTA-(NH₄)₂CO₃ ได้แก่ผลผลิตน้ำหนักแห้ง (dry matter yield) ปริมาณสังกะสีทั้งหมดที่ข้าวโพดดูดใช้ (total Zn uptake) และความเข้มข้นของสังกะสีในข้าวโพด (Zn concentration in corn) ที่ประเมินจากตำรับ -Zn (ตารางที่ 29)

ตารางที่ 29 พารามิเตอร์การเจริญเติบโตของข้าวโพด (เฉลี่ย 3 ซ้ำ) ที่ใช้หาความสัมพันธ์กับค่าวิเคราะห์ปริมาณสังกะสีในดินที่สกัดด้วยน้ำยาสกัด DTPA, AB-DTPA, Mehlich3 และ EDTA-(NH₄)₂CO₃

ตัวอย่างดินที่	พารามิเตอร์การเจริญเติบโตของข้าวโพด		
	ผลผลิตน้ำหนักแห้ง (g pot ⁻¹)	ปริมาณสังกะสีทั้งหมด ที่ข้าวโพดดูดใช้ (mg Zn pot ⁻¹)	ความเข้มข้นของสังกะสีใน ข้าวโพด (mg Zn kg ⁻¹)
1 (ตาคลี1)	53.92	0.64	12.02
2 (ตาคลี2)	58.50	0.68	11.35
3 (ลพบุรี1)	49.38	0.70	14.29
4 (ลพบุรี2)	55.60	0.82	14.67
5 (ล้านราชณ์)	21.06	0.18	8.66
6 (ชัยบาดาล)	33.95	0.50	14.81
7 (บ้านหมี่)	70.52	1.20	17.06

ผลผลิตน้ำหนักแห้ง ปริมาณสังกะสีทั้งหมดที่ข้าวโพดดูดใช้ และความเข้มข้นของสังกะสีในข้าวโพด (ตำรับ -Zn) ของข้าวโพดที่ปลูกในดินที่นำมาศึกษาแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางผนวกที่ 7, 9 และ 11)

1) ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสังกะสีที่สกัดโดยวิธีสกัดด้วยน้ำยาต่าง ๆ กับ ผลผลิตน้ำหนักรากแห้ง

เมื่อนำปริมาณสังกะสีที่สกัดโดย DTPA, AB-DTPA, Mehlich3 และ EDTA-(NH₄)₂CO₃ มาหาสหสัมพันธ์กับผลผลิตน้ำหนักรากแห้งของข้าวโพดที่ปลูกในตำรับ -Zn พบว่า ปริมาณสังกะสีที่สกัดได้โดยวิธีที่สกัดด้วยน้ำยา DTPA, AB-DTPA, Mehlich3 มีสหสัมพันธ์กับ ผลผลิตน้ำหนักรากแห้งข้าวโพดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.754* 0.800* และ 0.832* ตามลำดับ (ตารางที่ 30) ผลการศึกษาดังกล่าวสอดคล้องกับผลการศึกษา ของ Adiloglu and Kursun (2003) และ Maftoun *et al.* (2003) ส่วนปริมาณสังกะสีที่สกัดโดยน้ำยา สกัด EDTA-(NH₄)₂CO₃ พบว่าไม่มีความสัมพันธ์กับผลผลิตน้ำหนักรากแห้งของข้าวโพด

ตารางที่ 30 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสังกะสีที่สกัดโดยวิธีสกัดต่าง ๆ กับ พารามิเตอร์การเจริญเติบโตของข้าวโพด

น้ำยาสกัด	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสังกะสีที่สกัดได้กับ		
	ผลผลิตน้ำหนักรากแห้ง (g pot ⁻¹)	ปริมาณสังกะสีทั้งหมด ที่ข้าวโพดดูดใช้ (mg Zn pot ⁻¹)	ความเข้มข้นของ สังกะสีในข้าวโพด (mg Zn kg ⁻¹)
DTPA	0.754*	0.919**	0.832*
AB-DTPA	0.800*	0.924**	0.808*
Mehlich3	0.832*	0.953**	0.860**
EDTA-(NH ₄) ₂ CO ₃	0.672 ^{ns}	0.806*	0.592 ^{ns}

หมายเหตุ ** มีสหสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

* มีสหสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

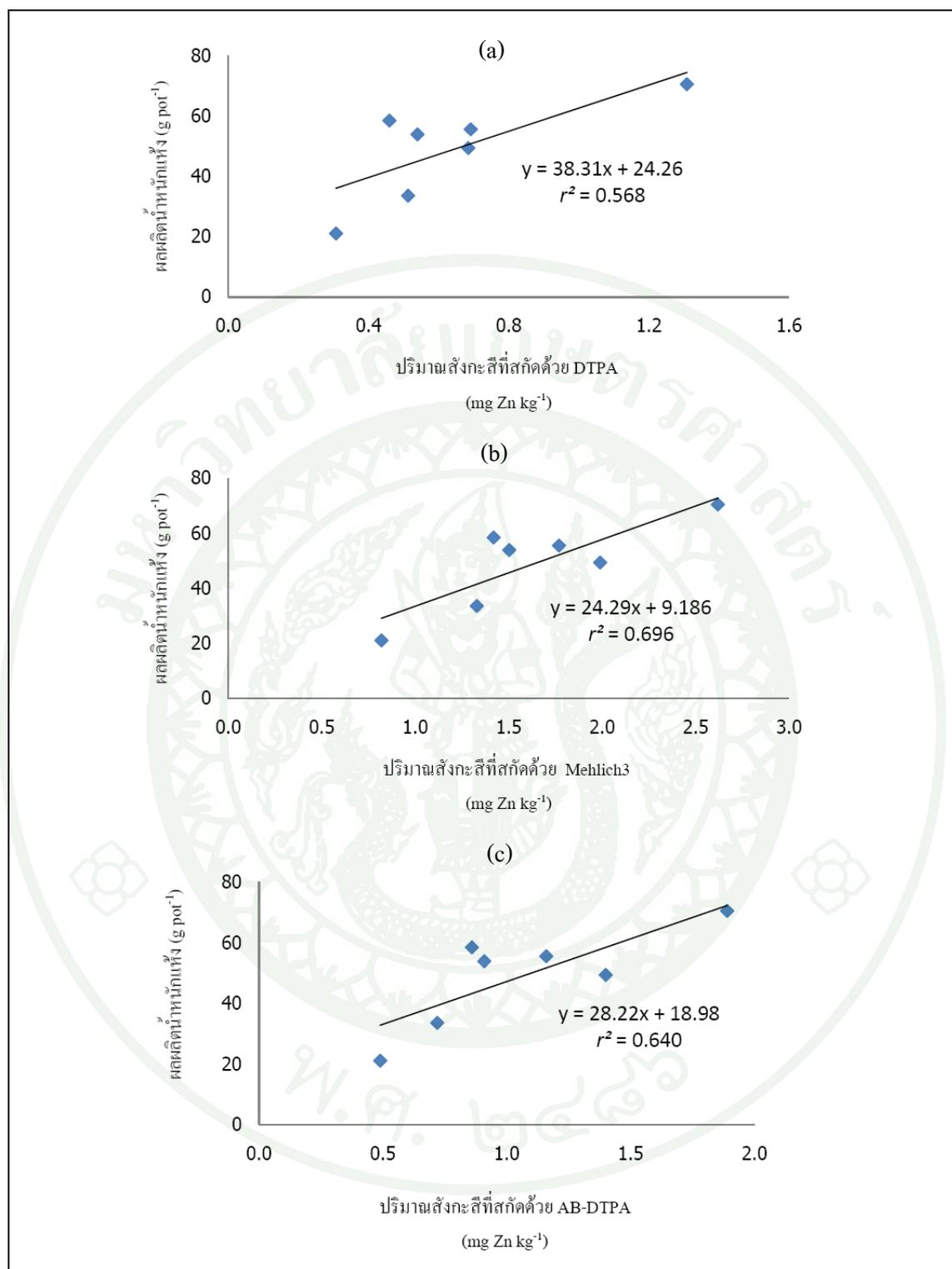
^{ns} ไม่มีสหสัมพันธ์กันทางสถิติ

เมื่อวิเคราะห์การถดถอยระหว่างปริมาณสังกะสีที่สกัดได้โดยน้ำยา DTPA AB-DTPA และ Mehlich3 กับผลผลิตน้ำหนักรากแห้งของข้าวโพด สมการถดถอยเชิงเส้นตรงแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสังกะสีที่สกัดได้โดยน้ำยาสกัดดังกล่าวกับผลผลิตน้ำหนักรากแห้งของข้าวโพด รวมทั้งสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด r^2 แสดงอยู่ในตารางที่ 31 และภาพที่ 19 จากค่าสัมประสิทธิ์

ตัวกำหนด แสดงให้เห็นว่าผลผลิตน้ำหนักรากแห้งของข้าวโพดผันแปรไปตามความแปรปรวนของปริมาณสังกะสีที่สกัดโดยน้ำยาสกัด DTPA, AB-DTPA และ Mehlich3 ร้อยละ 57, 64 และ 70 ตามลำดับ หรืออาจกล่าวได้ว่า ปริมาณสังกะสีที่สกัดโดยวิธีที่ใช้น้ำยาสกัด DTPA, AB-DTPA และ Mehlich3 สามารถใช้คาดคะเนผลผลิตน้ำหนักรากแห้งของข้าวโพดได้ร้อยละ 56, 64 และ 70 ตามลำดับ

ตารางที่ 31 สมการถดถอยเชิงเส้นตรงแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์การเจริญเติบโตของข้าวโพด (Y) และปริมาณสังกะสีที่สกัดได้โดยน้ำยาสกัด DTPA, AB-DTPA Mehlich3 และ EDTA-(NH₄)₂CO₃ (X) และค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (r²)

น้ำยาสกัด	สมการถดถอยเชิงเส้นตรง	r ²
	ผลผลิตน้ำหนักรากแห้ง	
DTPA	Y = 0.014X - 0.066 (p ≤ 0.05)	0.568
AB-DTPA	Y = 0.022X - 0.048 (p ≤ 0.05)	0.640
Mehlich3	Y = 0.028X + 0.232 (p ≤ 0.05)	0.692
	ปริมาณสังกะสีทั้งหมดที่พืชดูดใช้	
DTPA	Y = 0.956X - 0.001 (p ≤ 0.01)	0.845
AB-DTPA	Y = 1.401X + 0.116 (p ≤ 0.01)	0.854
Mehlich3	Y = 1.751X + 0.455 (p ≤ 0.01)	0.908
EDTA-(NH ₄) ₂ CO ₃	Y = 0.1182X - 0.044 (p ≤ 0.05)	0.650
	ความเข้มข้นของสังกะสีในข้าวโพด	
DTPA	Y = 0.096X - 0.636 (p ≤ 0.05)	0.692
AB-DTPA	Y = 0.136X - 0.748 (p ≤ 0.01)	0.653
Mehlich3	Y = 0.176X - 0.701 (p ≤ 0.05)	0.740

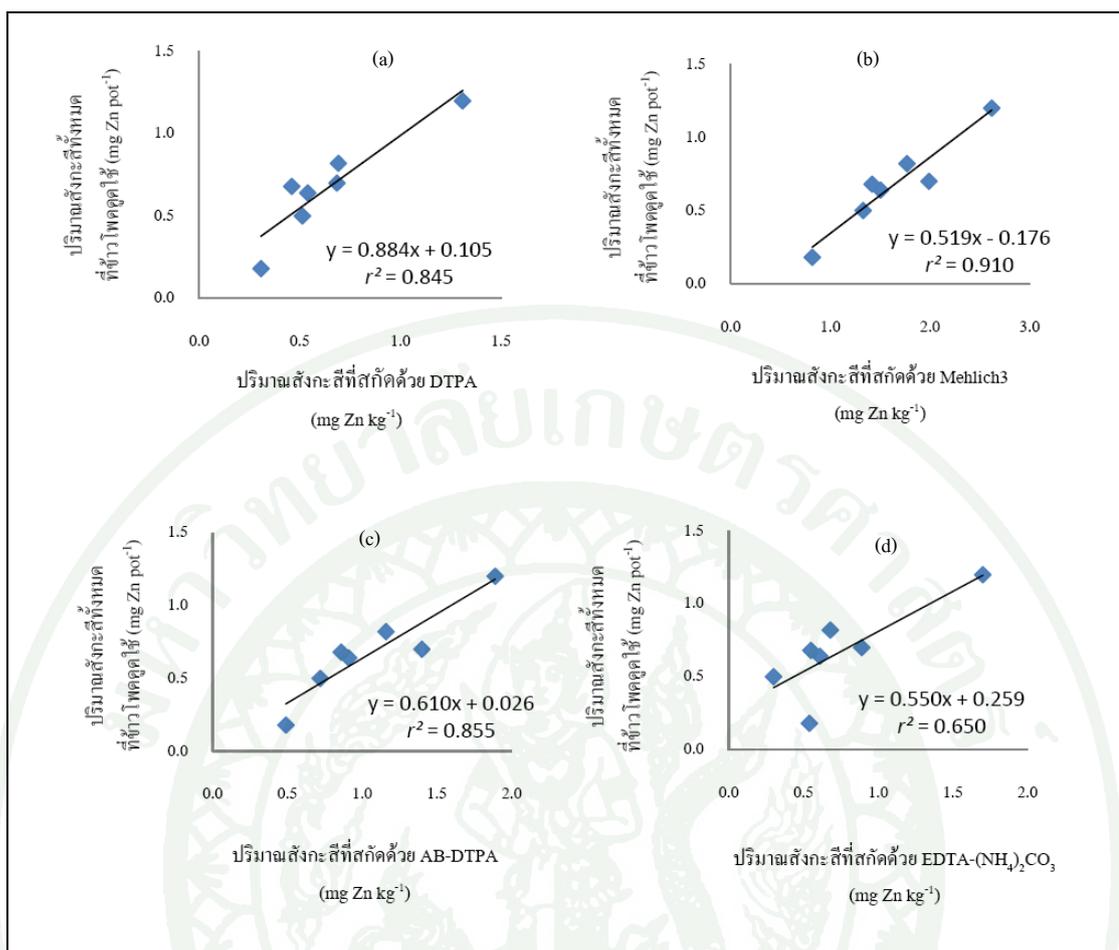


ภาพที่ 19 ความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตน้ำหนักแห้งของข้าว โปดกับปริมาณสังกะสีที่สกัดโดยน้ำยา สกัด (a) DTPA (b) Mehlich3 และ (c) AB-DTPA

2) ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสังกะสีที่สกัดโดยวิธีสกัดด้วยน้ำยาต่าง ๆ กับปริมาณสังกะสีที่ข้าวโพดดูดใช้จากดินที่นำมาศึกษา

ปริมาณสังกะสีที่สกัดโดยน้ำยา DTPA, AB-DTPA และ Mehlich3 มีสหสัมพันธ์กับปริมาณสังกะสีที่ข้าวโพดดูดใช้อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.919**, 0.924** และ 0.953** ตามลำดับ ส่วนปริมาณสังกะสีที่สกัดโดยน้ำยา EDTA-(NH₄)₂CO₃ พบว่ามีสหสัมพันธ์กับปริมาณสังกะสีที่ข้าวโพดดูดใช้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.806* (ตารางที่ 30) ผลการศึกษาดังกล่าวสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Maftoun *et al.* (2003) ที่ศึกษาประสิทธิภาพของน้ำยาสกัดบางชนิดในการประเมินความเป็นประโยชน์ของสังกะสีในดินเนื้อปูน 20 ตัวอย่าง ซึ่งพบว่าปริมาณการดูดใช้สังกะสีของข้าวมีสหสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับปริมาณสังกะสีที่สกัดโดยน้ำยาสกัด DTPA, AB-DTPA, Mehlich3 และ EDTA-(NH₄)₂CO₃ และผลการศึกษาของ Adiloglu and Kursun (2003) ซึ่งศึกษาวิธีสกัดสังกะสีในดินของประเทศตุรกีจำนวน 45 ตัวอย่างโดยใช้ข้าวโพดเป็นพืชทดสอบ พบว่าปริมาณสังกะสีที่สกัดด้วยน้ำยาสกัด DTPA, AB-DTPA และ EDTA-(NH₄)₂CO₃ มีสหสัมพันธ์กับปริมาณสังกะสีที่ข้าวโพดดูดใช้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

เมื่อวิเคราะห์การถดถอยระหว่างปริมาณสังกะสีที่สกัดได้โดยน้ำยา DTPA, AB-DTPA, Mehlich3 และ EDTA-(NH₄)₂CO₃ กับปริมาณสังกะสีที่ข้าวโพดดูดใช้ สมการถดถอยเชิงเส้นตรง (linear regression equation) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสังกะสีที่สกัดได้โดยน้ำยาสกัดดังกล่าวกับปริมาณสังกะสีที่ข้าวโพดดูดใช้รวมทั้งสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด หรือค่า r^2 แสดงอยู่ในตารางที่ 31 และภาพที่ 20 จากค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด แสดงให้เห็นว่าปริมาณสังกะสีที่ข้าวโพดดูดใช้ผันแปรไปตามความแปรปรวนของปริมาณสังกะสีที่สกัดโดยน้ำยาสกัด DTPA, AB-DTPA, Mehlich3 และ EDTA-(NH₄)₂CO₃ ร้อยละ 85, 86, 91 และ 65 ตามลำดับ หรืออาจกล่าวได้ว่าปริมาณสังกะสีที่สกัดได้โดยน้ำยาสกัด DTPA, AB-DTPA, Mehlich3 และ EDTA-(NH₄)₂CO₃ สามารถใช้คาดคะเนปริมาณสังกะสีที่ข้าวโพดดูดใช้ได้ร้อยละ 85, 86, 91 และ 65 ตามลำดับ

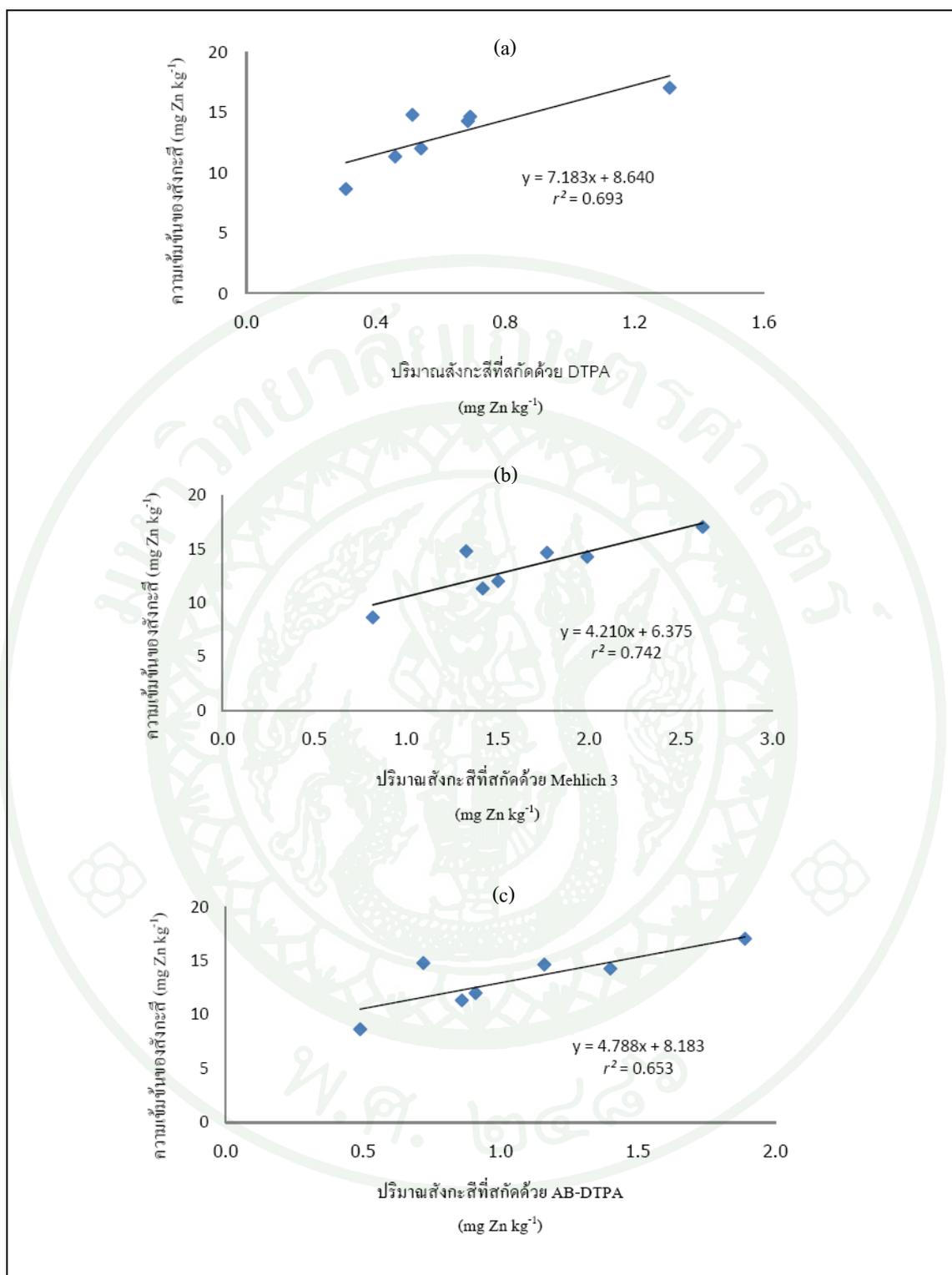


ภาพที่ 20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสังกะสีทั้งหมดที่ข้าวโพดดูดใช้กับปริมาณสังกะสีที่สกัดโดยน้ำยาสกัด (a) DTPA (b) Mehlich3 (c) AB-DTPA และ (d) EDTA-(NH₄)₂CO₃

3) ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสังกะสีที่สกัดโดยวิธีสกัดด้วยน้ำยาต่าง ๆ กับความเข้มข้นของสังกะสีในข้าวโพด

ปริมาณสังกะสีที่สกัดโดยน้ำยาสกัด DTPA, AB-DTPA, Mehlich3 และ EDTA-(NH₄)₂CO₃ เมื่อนำมาหาสหสัมพันธ์กับความเข้มข้นของสังกะสีในข้าวโพดที่ปลูกในตำรับ -Zn พบว่าปริมาณสังกะสีที่สกัดได้โดยวิธีที่สกัดด้วยน้ำยา Mehlich3 มีสหสัมพันธ์กับความเข้มข้นของสังกะสีในข้าวโพดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.860** ปริมาณสังกะสีที่สกัดได้โดยวิธีที่สกัดด้วยน้ำยาสกัด DTPA และ AB-DTPA มีสหสัมพันธ์กับความเข้มข้นของสังกะสีในข้าวโพดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.832* และ 0.808* ตามลำดับ ผลการศึกษาดังกล่าวคัดลอกผลการศึกษาของ Abreu *et al.* (2002) ที่ศึกษาในดินจำนวน 44 ตัวอย่างในประเทศบราซิล พบว่าปริมาณสังกะสีในดินที่สกัดโดยน้ำยาสกัด Mehlich3, DTPA และ AB-DTPA มีสหสัมพันธ์กับความเข้มข้นของสังกะสีในข้าวโพด โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.74**, 0.73** และ 0.63** ตามลำดับ พบว่าปริมาณสังกะสีที่สกัดโดย EDTA-(NH₄)₂CO₃ ไม่มีสหสัมพันธ์กับความเข้มข้นของสังกะสีในข้าวโพด โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.592^{ns} (ตารางที่ 30)

เมื่อวิเคราะห์การถดถอยระหว่างปริมาณสังกะสีที่สกัดได้โดยน้ำยา DTPA, AB-DTPA และ Mehlich3 กับความเข้มข้นของสังกะสีในข้าวโพด สมการถดถอยเชิงเส้นตรงแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสังกะสีที่สกัดได้โดยน้ำยาสกัดดังกล่าวกับความเข้มข้นของสังกะสีในข้าวโพดรวมทั้งสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (r^2) แสดงอยู่ในตารางที่ 31 และภาพที่ 3.5 จากค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด แสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นของสังกะสีในข้าวโพดผันแปรไปตามความแปรปรวนของปริมาณสังกะสีที่สกัดโดยน้ำยาสกัด DTPA, AB-DTPA และ Mehlich3 ร้อยละ 70, 65 และ 74 ตามลำดับ หรืออาจกล่าวได้ว่าปริมาณสังกะสีที่สกัดโดยน้ำยาสกัด DTPA, AB-DTPA และ Mehlich3 สามารถใช้คาดคะเนความเข้มข้นของสังกะสีในข้าวโพดได้ร้อยละ 70, 65 และ 74 ตามลำดับ



ภาพที่ 21 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสังกะสีในข้าวโพดกับปริมาณสังกะสีที่สกัดโดยวิธี (a) DTPA (b) Mehlich3 และ (c) AB-DTPA

3.4 ประสิทธิภาพของน้ำยาสกัด DTPA, AB-DTPA, Mehlich3 และ EDTA-(NH₄)₂CO₃ ในการประเมินสังกะสีที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดินที่นำมาศึกษา

ประสิทธิภาพของน้ำยาสกัด DTPA, AB-DTPA, Mehlich3 และ EDTA-(NH₄)₂CO₃ ในการประเมินสังกะสีที่เป็นประโยชน์ในดินที่นำมาศึกษาน่าจะพิจารณาจากความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสังกะสีที่สกัดได้จากดินโดยน้ำยาสกัด DTPA, AB-DTPA, Mehlich3 และ EDTA-(NH₄)₂CO₃ กับปริมาณสังกะสีทั้งหมดที่ข้าวโพดดูดใช้จึงจะเหมาะสมที่สุด ทั้งนี้เพราะปริมาณสังกะสีทั้งหมดที่ข้าวโพดดูดใช้เป็นผลโดยตรงจากปริมาณสังกะสีในดิน (Vacharotayan *et al.*, 1964; Corey, 1987; Peck and Soltanpour, 1990) ส่วนผลผลิตน้ำหนักแห้งของข้าวโพดและความเข้มข้นสังกะสีในข้าวโพดนั้นมิได้เป็นอิทธิพลของสังกะสีในดินเพียงอย่างเดียว (Anold and Schmidt, 1951) แต่เป็นผลจากอิทธิพลร่วมของปัจจัยอื่น ๆ

จากผลการทดลอง พบว่า ปริมาณสังกะสีที่สกัดจากดินด้วยน้ำยาสกัด DTPA, AB-DTPA และ Mehlich3 มีสหสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติกับปริมาณสังกะสีทั้งหมดที่ข้าวโพดดูดใช้ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.919**, 0.924** และ 0.953** ตามลำดับ ส่วนปริมาณสังกะสีที่สกัดโดยน้ำยา EDTA-(NH₄)₂CO₃ พบว่ามีสหสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับปริมาณสังกะสีทั้งหมดที่ข้าวโพดดูดใช้ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.806* (ตารางที่ 30) ส่วนค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (r^2) ของสมการถดถอยเส้นตรงที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสังกะสีทั้งหมดที่ข้าวโพดดูดใช้กับปริมาณสังกะสีที่สกัดโดยน้ำยาสกัด DTPA, AB-DTPA, Mehlich3 และ EDTA-(NH₄)₂CO₃ เท่ากับ 0.845, 0.855, 0.910 และ 0.650 ตามลำดับ (ตารางที่ 31) ผลการทดลองดังกล่าวชี้ให้เห็นว่า น้ำยาสกัด DTPA, AB-DTPA, Mehlich3 และ EDTA-(NH₄)₂CO₃ สามารถใช้ประเมินปริมาณสังกะสีที่เป็นประโยชน์ในดินเนื่อปูนได้ โดยประสิทธิภาพในการประเมินปริมาณสังกะสีที่เป็นประโยชน์ในดินเนื่อปูนของวิธีที่สกัดด้วยน้ำยาสกัด Mehlich3 สูงที่สุด รองลงมาคือวิธีที่สกัดด้วยน้ำยาสกัด AB-DTPA และ DTPA และต่ำสุดคือที่สกัดด้วยน้ำยาสกัด EDTA-(NH₄)₂CO₃

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. การศึกษาการตอบสนองของข้าวโพดที่ปลูกในดินเนื้อปูนต่อปุ๋ยสังกะสีในรูปแบบ $ZnSO_4$, ZnEDTA และ Zn citrate

1.1 ดินเนื้อปูนชุดดินลพบุรี, ถ่านารายณ์, ชัยบาดาลและตาคลีนี่นำมาศึกษามีเนื้อดินเป็นดินเหนียว (Clay) ดินเป็นค่าง พีเอชดินอยู่ในช่วง 7.8-7.9 ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินอยู่ในระดับปานกลางถึงค่อนข้างสูง ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินอยู่ในระดับปานกลางถึงสูงปริมาณโพแทสเซียม, แคลเซียม และแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินสูงมาก ปริมาณสังกะสีที่เป็นประโยชน์ในดินอยู่ในระดับต่ำ ไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพด โดยมีพิสัยอยู่ในช่วง $0.58-0.79 \text{ mg Zn kg}^{-1}$

1.2 ข้าวโพดที่ปลูกในดินเนื้อปูนชุดดินลพบุรี, ถ่านารายณ์, ชัยบาดาลและตาคลีนี่ขาดสังกะสีเมื่อมีการใส่ปุ๋ยสังกะสีในรูปแบบ $ZnSO_4$, ZnEDTA และ Zn citrate ข้าวโพดตอบสนองต่อปุ๋ยสังกะสีทั้ง 3 รูปดังกล่าวโดยการเจริญเติบโต และผลผลิตน้ำหนักแห้งของข้าวโพดเพิ่มขึ้นสูงกว่าที่ไม่ใส่ปุ๋ยสังกะสีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ประสิทธิภาพในการเพิ่มการเจริญเติบโต และผลผลิตน้ำหนักแห้งของ $ZnSO_4$, ZnEDTA และ Zn citrate ไม่แตกต่างกัน อัตราการใส่ปุ๋ยสังกะสีที่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพดที่ปลูกในดินเนื้อปูนทั้ง 4 ชุดดินอยู่ในช่วง $2-4 \text{ mg Zn kg}^{-1} \text{ soil}$

1.3 การใส่ปุ๋ยสังกะสีในรูปแบบ $ZnSO_4$, ZnEDTA และ Zn citrate มีผลในการเพิ่มปริมาณการดูดใช้สังกะสีของข้าวโพดที่ปลูกในดินเนื้อปูนชุดดินลพบุรี ถ่านารายณ์ ชัยบาดาล และตาคลีนี่ โดยปริมาณการดูดใช้สังกะสีของข้าวโพดที่ได้รับปุ๋ยสังกะสีดังกล่าวสูงกว่าที่ไม่ใส่ปุ๋ยสังกะสีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเมื่ออัตราการใส่ปุ๋ยสังกะสีเพิ่มขึ้น การดูดใช้สังกะสีของข้าวโพดเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพในการเพิ่มปริมาณการดูดใช้สังกะสีของข้าวโพดหรือความเป็นประโยชน์ของสังกะสีในดินเนื้อปูนที่ศึกษาต่อข้าวโพดของปุ๋ยสังกะสี $ZnSO_4$, ZnEDTA และ Zn citrate ใกล้เคียงกัน

2. การศึกษาการตอบสนองของข้าวโพดที่ปลูกในดินเนื้อปูนต่อวิธีการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางเมล็ดโดยวิธีการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสีและการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางดิน

2.1 ดินเนื้อปูนชุดดินลพบุรี, ถ่านารายณ์, ชัยบาดาลและตาคลีที่นำมาศึกษามีเนื้อดินเป็นดินเหนียว (Clay) ดินเป็นด่าง พีเอชดินอยู่ในช่วง 7.8-7.9 ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินอยู่ในระดับปานกลางถึงค่อนข้างสูง ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินอยู่ในระดับปานกลางถึงสูง ปริมาณโพแทสเซียมแคลเซียมและแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินอยู่ในระดับสูงมาก ปริมาณสังกะสีที่เป็นประโยชน์ในดินอยู่ในระดับต่ำ โดยมีพิสัยอยู่ในช่วง $0.58-0.79 \text{ mg Zn kg}^{-1}$

2.2 ข้าวโพดที่ปลูกในดินเนื้อปูนชุดดินลพบุรี, ถ่านารายณ์, ชัยบาดาลและตาคลีขาดสังกะสีเมื่อใส่ปุ๋ยสังกะสีโดยวิธีแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสีและการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางดิน ข้าวโพดตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยสังกะสีทั้งสองวิธีดังกล่าว โดยข้าวโพดมีความสูง ผลผลิตน้ำหนักแห้งฝักเพิ่มมากขึ้น และน้ำหนักแห้งตอซังเพิ่มขึ้นสูงกว่าที่ไม่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสี (ไม่มีการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสี) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยทั่วไปข้าวโพดที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีโดยวิธีการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสีมีการเจริญเติบโตด้านความสูงต้น ผลผลิตน้ำหนักแห้งฝักและน้ำหนักแห้งตอซังไม่แตกต่างทางสถิติกับที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางดิน

2.3 ร้อยละผลผลิตเพิ่มของข้าวโพดที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีโดยการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสี (ความเข้มข้น 0.4, 0.8 และ 1.6% Zn) และที่ใส่ปุ๋ยสังกะสีทางดิน ($2 \text{ mg Zn kg}^{-1} \text{ soil}$) ในชุดดินลพบุรี, ถ่านารายณ์, ชัยบาดาลและตาคลีอยู่ในช่วง 35-58, 35-107, 28-58 และ 9-25 ตามลำดับ และจากร้อยละผลผลิตเพิ่มของข้าวโพดที่ปลูกในดินเนื้อปูนที่ศึกษาชี้ให้เห็นว่า ระดับความเข้มข้นของสารละลายปุ๋ยสังกะสีที่แช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกที่เหมาะสมจะอยู่ที่ 0.8-1.6% Zn

2.4 ข้าวโพดที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางเมล็ด โดยวิธีการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสีและการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางดินมีปริมาณการดูดใช้สังกะสีทั้งหมดมากกว่าข้าวโพดที่ไม่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสี (ไม่มีการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสี) ในดินเนื้อปูนชุดดินลพบุรีและตาคลีซึ่งมีปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตสูงมาก ข้าวโพดที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีโดยวิธีการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสีมีปริมาณการดูดใช้สังกะสีทั้งหมดใกล้เคียงกับที่ได้รับการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางดิน

2.5 การให้ปุ๋ยสังกะสีแก่ข้าวโพดที่ปลูกในดินเนื้อปูน โดยวิธีการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูก ในสารละลายปุ๋ยสังกะสี มีประสิทธิภาพในการแก้ไขการขาดสังกะสีของข้าวโพดที่ปลูกในดินเนื้อปูนเช่นเดียวกับการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางดิน โดยการเจริญเติบโต ผลผลิตน้ำหนักรากแห้งฝัก ของข้าวโพด จะเพิ่มขึ้นอย่างเด่นชัด ขณะเดียวกันการให้ปุ๋ยสังกะสีแก่ข้าวโพดทางเมล็ด โดยวิธีการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสียังช่วยลดปริมาณการใส่ปุ๋ยสังกะสีเมื่อเทียบกับการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางดินซึ่งจะเป็นการลดต้นทุนการผลิตด้วย

3. การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพ น้ำยาสกัด DTPA, Mehlich3, AB-DTPA และ EDTA-(NH₄)₂CO₃ ในการประเมินสังกะสีที่เป็นประโยชน์ในดินเนื้อปูน

3.1 ดินเนื้อปูนที่นำมาศึกษาทั้ง 7 ตัวอย่าง คือ ชุดดินตาคลี 2 ตัวอย่าง (ตาคลี1 และตาคลี2) ชุดดินลพบุรี2 ตัวอย่าง (ลพบุรี1 และลพบุรี2), ชุดดินลำนารายณ์, ชุดดินชัยบาดาลและชุดดินบ้านหมี่ มีเนื้อดินเป็นดินเหนียว ส่วนใหญ่มีปฏิกิริยาเป็นด่าง มีปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตสูง ความจุในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนสูงมาก ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียมและแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินสูงมาก มีปริมาณสังกะสีที่เป็นประโยชน์ในดินแตกต่างกันอยู่ในระดับต่ำถึงเพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยมีพิสัยอยู่ในช่วง 0.31-1.31 mg Zn kg⁻¹ ผลการศึกษาการปลูกข้าวโพดในเรือนทดลอง พบว่าตัวอย่างดินเนื้อปูนชุดดินตาคลี1, ตาคลี2, ลพบุรี1, ลพบุรี2 ลำนารายณ์ และชัยบาดาล ขาดสังกะสี ส่วนตัวอย่างชุดดินบ้านหมี่มีปริมาณสังกะสีในระดับเพียงพอต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพด

3.2 ปริมาณสังกะสีที่สกัดได้จากตัวอย่างดินทั้ง 7 ตัวอย่าง คือ ชุดดินตาคลี1, ตาคลี2 ลพบุรี1, ลพบุรี2, ลำนารายณ์, ชัยบาดาล และบ้านหมี่ โดยน้ำยาสกัด DTPA, AB-DTPA, Mehlich3 และ EDTA-(NH₄)₂CO₃ แตกต่างกันในแต่ละน้ำยาสกัด ปริมาณสังกะสีที่สกัดด้วยน้ำยาสกัด Mehlich3 มากที่สุดโดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.64 mg Zn kg⁻¹ รองลงมาคือที่สกัดด้วยน้ำยาสกัด AB-DTPA, EDTA-(NH₄)₂CO₃ และ DTPA มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.06, 0.75 และ 0.64 mg Zn kg⁻¹ ตามลำดับ

3.3 ปริมาณสังกะสีที่สกัดโดยน้ำยาสกัด Mehlich3, AB-DTPA และ EDTA-(NH₄)₂CO₃ มีสหสัมพันธ์กับปริมาณสังกะสีที่สกัดด้วยน้ำยาสกัด DTPA อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (*r*) เท่ากับ 0.951**, 0.950** และ 0.931** ตามลำดับ และมีค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (*r*²) เท่ากับ 0.905, 0.902 และ 0.867 ตามลำดับ ปริมาณสังกะสีที่สกัดด้วยน้ำยา AB-DTPA และ EDTA-(NH₄)₂CO₃ มีสหสัมพันธ์กับปริมาณสังกะสีที่สกัดด้วยน้ำยาสกัด Mehlich3 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.990** และ 0.870* และมีค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (*r*²) เท่ากับ 0.98 และ 0.76 ตามลำดับ ปริมาณสังกะสีที่สกัดด้วยน้ำยา EDTA-(NH₄)₂CO₃ มีสหสัมพันธ์กับปริมาณสังกะสีที่สกัดโดยน้ำยาสกัด AB-DTPA โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (*r*) เท่ากับ 0.912** และมีค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (*r*²) เท่ากับ 0.832

3.4 ปริมาณสังกะสีที่สกัดโดยน้ำยาสกัด DTPA, AB-DTPA และ Mehlich3 มีสหสัมพันธ์กับปริมาณสังกะสีที่ข้าวโพดคูดใช้ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (*r*) เท่ากับ 0.919**, 0.924** และ 0.953** ตามลำดับ ส่วนปริมาณสังกะสีที่สกัดโดยน้ำยาสกัด EDTA-(NH₄)₂CO₃ พบว่ามีสหสัมพันธ์กับปริมาณ Zn ที่ข้าวโพดคูดใช้ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (*r*) เท่ากับ 0.806* ปริมาณสังกะสีที่สกัดโดยวิธีที่สกัดด้วยน้ำยาสกัด DTPA, AB-DTPA, Mehlich3 และ EDTA-(NH₄)₂CO₃ สามารถใช้คาดคะเนปริมาณสังกะสีทั้งหมดที่ข้าวโพดคูดใช้ได้ร้อยละ 85, 86, 91 และ 65 ตามลำดับ

3.5 น้ำยาสกัด DTPA, AB-DTPA, Mehlich3 และ EDTA-(NH₄)₂CO₃ สามารถใช้ประเมินปริมาณสังกะสีที่เป็นประโยชน์ในดินเนื้อปูนได้ โดยประสิทธิภาพในการประเมินปริมาณสังกะสีที่เป็นประโยชน์ในดินเนื้อปูนของน้ำยาสกัด Mehlich3 สูงที่สุด รองลงมาคือน้ำยาสกัด AB-DTPA และน้ำยาสกัด DTPA และต่ำสุดคือน้ำยาสกัด EDTA-(NH₄)₂CO₃

ข้อเสนอแนะ

1. การแก้ไขการขาดสังกะสีของข้าวโพดที่ปลูกในดินเนื้อปูน อาจใส่ปุ๋ยสังกะสีในรูปแบบ $ZnSO_4$, ZnEDTA หรือ Zn citrate ซึ่งจะมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตาม $ZnSO_4$ มีราคาต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับ ZnEDTA และ Zn citrate การใส่ปุ๋ยสังกะสีในรูปแบบ $ZnSO_4$ น่าจะเหมาะสมที่สุดสำหรับวิธีการใส่ปุ๋ยสังกะสีให้แก่ข้าวโพดที่ปลูกในดินเนื้อปูนที่ขาดสังกะสี การให้ปุ๋ยสังกะสีทางเมล็ดโดยการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกเป็นเวลา 16 ชั่วโมง ในสารละลาย $ZnSO_4$ (ความเข้มข้น 0.8-1.6% Zn) จะแก้ไขการขาดสังกะสีของข้าวโพดที่ปลูกในดินเนื้อปูนได้ การให้ปุ๋ยสังกะสีทางเมล็ดเป็นวิธีที่ทำได้ง่าย สะดวก รวดเร็วและยังจะลดปริมาณการใส่ปุ๋ยสังกะสีเมื่อเทียบกับการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางดิน ซึ่งจะเป็นการลดต้นทุนการผลิตด้วย ส่วนในการประเมินปริมาณสังกะสีที่เป็นประโยชน์ในดินเนื้อปูน ควรใช้วิธีการสกัดดินด้วยน้ำยาสกัด Mehlich3, AB-DTPA และ DTPA ซึ่งเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูง อย่างไรก็ตามวิธี Mehlich3 เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดและใช้เวลาในการสกัดที่เร็วกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวิธี AB-DTPA และ DTPA

2. ควรมีการศึกษาต่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของปุ๋ยสังกะสี $ZnSO_4$, ZnEDTA และ Zn citrate ในการเพิ่มการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพดที่ปลูกในดินเนื้อปูนที่ขาดสังกะสีและในดินอื่น ๆ ที่ขาดสังกะสีซึ่งมีสมบัติที่แตกต่างจากดินเนื้อปูนที่ศึกษารวมทั้งศึกษาอัตราการใส่ปุ๋ยสังกะสีดังกล่าวที่เหมาะสมในสภาพไร่นา และควรมีการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการให้ปุ๋ยสังกะสีทางเมล็ดโดยการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลาย $ZnSO_4$ และการใส่ปุ๋ยสังกะสี $ZnSO_4$ ทางดิน ในการเพิ่มการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพดที่ปลูกในดินเนื้อปูนที่ขาดสังกะสีและในดินอื่น ๆ ที่ขาดสังกะสี ที่มีสมบัติแตกต่างกับดินเนื้อปูนในสภาพไร่นา

3. ควรมีการศึกษาต่อโดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพของน้ำยาสกัด Mehlich3, DTPA และ AB-DTPA ในการประเมินปริมาณสังกะสีที่เป็นประโยชน์ในดินชนิดอื่น ๆ ที่มีสมบัติแตกต่างจากดินที่ศึกษาครั้งนี้ อาทิ ดินกรด และดินที่มีเนื้อหยาบ (sandy soils) และควรมีการศึกษาเกี่ยวกับระดับวิกฤติ (critical level) ของค่าวิเคราะห์สังกะสีที่สกัดโดยน้ำยาดังกล่าว โดยการทดสอบกับพืชในสภาพไร่นา รวมทั้งประเมินระดับ ต่ำ, ปานกลาง และสูง ของปริมาณสังกะสีที่สกัดโดยน้ำยาสกัดที่ศึกษา เพื่อใช้ประกอบการให้คำแนะนำปุ๋ยต่อไป

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมพัฒนาที่ดิน. 2548ก. รายงานการจัดการทรัพยากรดินเพื่อการปลูกพืชเศรษฐกิจหลักตามกลุ่ม
ชุดดิน เล่ม 1 ดินบนพื้นที่ราบต่ำ. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

_____. 2548ข. รายงานการจัดการทรัพยากรดินเพื่อการปลูกพืชเศรษฐกิจหลักตามกลุ่มชุดดิน
เล่ม 2 ดินบนพื้นที่ดอน. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

คณะกรรมการจัดทำพจนานุกรมปลูกพืชวิทยา. 2551. พจนานุกรมปลูกพืชวิทยา. สำนักพิมพ์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

จรงค์ จันทน์เจริญสุข. 2550. การวิเคราะห์ดินและพืชทางเคมี. ภาควิชาปลูกพืชวิทยา คณะเกษตร
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

โชคชัย เอกทัศนาวรรณ, สรรเสริญ จำปาทอง, ชไมพร เอกทัศนาวรรณ, นพพงศ์ จุลจอหอ
และ นัทรพงศ์ บาลลา. 2546. การวิจัยและพัฒนาข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ลูกผสมเดี่ยวพันธุ์
สุวรรณ 4452. ศูนย์วิจัยข้าวโพดและข้าวฟ่างแห่งชาติ สถาบันอินทรีจันทร์สภัดัตยเพื่อการ
ค้นคว้าและพัฒนาพืชศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ทักษิณี อัดตะนันท์ และ จรงค์ จันทน์เจริญสุข. 2542. แบบฝึกหัดและคู่มือการปฏิบัติการวิเคราะห์
ดินและพืช. คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ปราณี จอมอุ้น. 2551. ประสิทธิภาพของซิงค์ซัลเฟตและซิงค์ออดีทีเอในการใช้เป็นปุ๋ยสังกะสี
สำหรับข้าวโพดที่ปลูกในดินเหนียว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ปรีดา พากเพียร, อำนาจ สุวรรณฤทธิ และ จิราณี วานิชกุล. 2532. สถานภาพของธาตุสังกะสีในดิน
ชุดดาคี เลย์ และ โคราชสำหรับผลิตข้าวโพด, น. 1-13. ใน การประชุมทางวิชาการของ
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 27. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

มนัสนันท์ เกื้อหนุน. 2550. ผลการใส่สังกะสีต่อการตอบสนองของข้าวโพดและปริมาณสังกะสีที่เป็นประโยชน์ในดินเนื้อปน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ละไม ศรีสวัสดิ์, จงรักษ์ จันทร์เจริญสุข, สุเทพ ทองแพ และ อิศรา สุขสถาน. 2550. การประเมินสังกะสีที่เป็นประโยชน์ในดินโดยวิธีดีทีพีเอ แอมโมเนียม ไบคาร์บอเนต-ดีทีพีเอ และ อีดีทีเอ-แอมโมเนียมคาร์บอเนต. วารสารดินและปุ๋ย. 29: 123-133

สรสิทธิ์ วัชรโรทยาน, ทศนีย์ อัดตะนันท์, ชัยฤกษ์ สุวรรณรัตน์ และ จงรักษ์ จันทร์เจริญสุข. 2533. การแก้ปัญหาการขาดธาตุอาหารจุลธาตุของพืชเศรษฐกิจที่ปลูกในดินต่าง. ใน รายงานการวิจัยโครงการวิจัยการใช้วัสดุเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรมเพื่อการเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สุวพันธ์ รัตนรัตน์, สำเนา เพชรจวี และ R.W. Bell. 2532. ผลงานวิจัยจุลธาตุอาหารในพืชตระกูลถั่วและพืชไร่บางชนิด. ใน “จุลธาตุเพื่อการเกษตรบนที่ดอนของประเทศไทย”. น.65-87 . ใน การประชุมสัมมนาทางวิชาการ ครั้งที่ 9. สมาคมดินและปุ๋ยแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.

Abdulrahmani, B., K. Ghassemi-Golezani, M. Valizadeh and V.F. Asl. 2007. Seed priming and seedling establishment of barley (*Hordeum vulgare* L.). **J. Food. Agric. Environment**. 5: 179-184.

Abreu, C.A., B.V. Raji, U.Gabe, M.F. Abreu and A.P. Gonzalez. 2002. Efficiency of multinutrient extractants for the determining of available zinc in soil. **Commun. Soil Sci. Plant Anal.** 33: 3313-3324.

Ajourri, A., H. Asgedom and M. Becker. 2004. Seed priming enhances germination and seedling growth of barley under conditions of P and Zn deficiency. **J. Pl. Nutr. Soil Sci.** 167: 630-636.

Adiloglu, A. and I. Kursun. 2003. Determination of suitable chemical extraction methods for available zinc content of paddy soil at trace region in Turkey. **Commun. Soil Sci. Plant Anal.** 34: 2607-2617.

- Alley, M.M., D.C. Martens, M.G. Schoppinger, Jr. and G.W. Hawkings. 1972. Field calibration of soil tests for available zinc. **Soil Sci. Soc. Amer. Proc.** 36: 621-623.
- Alloway, B.J. 2008. **Zinc in Soils and Crop Nutrition**. 2nd ed. IZA and IFA Publ., Brussel, Belgium and Paris, France.
- Alvarez J.M. and M.I. Rico 2003. Effects of zinc complexes on the distribution of zinc in calcareous soil and zinc uptake by maize. **J. Agric. Food Chem.** 51: 5760-5767.
- Arnold, C.V. and W.A. Schmidt. 1951. Soil tests as a measure of phosphorus available to tomatoes on heavy soils. **Soil Sci.** 71: 105-115.
- Bray, R.H. and N. Kurtz. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soil. **Soil Sci.** 59: 39-45.
- Brennan, R.F. 2005. **Zinc Application and Its availability**. Ph.D. Thesis, Murdoch University.
- Brennan, D.B., C.G. Mullen. and R. Courtney. 2008. Evaluation of Mehlich3 for extraction of copper and zinc from Irish grassland soils and for prediction of herbage content. **Commun. Soil Sci. Plant Anal.** 39: 1943-1962.
- Brown, D.H., R.A. Cappellini and C.A. Price. 1966. Actinomycin D inhibition of zinc-induced formation of cytochrome C in *Ustilago*. **Plant Physiol.** 87: 393-404.
- Brown, P.H., I. Cakmak and Q. Zhang. 1993. Form and function of zinc in plants. Chap. 7, pp. 90-106. *In* Robson, A.D. **Zinc in soil and plants**. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Cakmak, I. 2008. Zinc deficiency in wheat in Turkey. Chap. 7, pp. 181-200. *In* B.J. Alloway. **Micronutrient Deficiencies in Global Crop Production**, Springer, Dordrecht.

- Coleman, J.E. 1992. Zinc proteins: enzyme, storage protein, transcription factor, and replication proteins. **Annu. Rev. Biochem.** 61: 897-946.
- Corey, R.B. 1987. Soil test procedures: Correlation, pp. 15-22. *In* J.R.Brown, ed. **Soil Testing: Sampling, Correlation, Calibration and Interpretation.** SSSA Spec. Publ. 21. SSSA, Madison, WI.
- Cox, F.R. 1968. Development of yield response prediction and manganese test interpretation for soybeans. **Agron. J.** 60: 521-524.
- Elrashidi, M.A., M.D. Mays and C.W. Lee. 2003. Assessment of Mehlich3 and ammonium Bicarbonate-DTPA extraction for simultaneous measurement of fifteen elements in soils. **Commun. Soil Sci. Plant Anal.** 34 (19&20): 2817-2838.
- Ganoe, K., Q. Ketterings. and N. Herendeen. 2007. **Nutrient Management Spear Program.** Available Source: <http://www.nmsp.css.cornell.edu.htm>, August 30, 2009.
- Gee, G.W. and J.W. Bauder. 1986. Particle-size analysis, pp. 383-411. *In* **A Klute Methods of Soil Analysis Part 1.** 2nd ed. Agron. Monogr.9. ASA and SSSA., Madison, WI, USA.
- Giordano, P.M. and J.J. Mordvedt. 1973. Zinc sources and methods of application for rice. **Agron. J.** 65: 51-53.
- Gonzalez, D., A. Obrador, L.M. Lopez-Valdivia and J.M. Alvarez. 2008. Effect of zinc source applied to soils on its availability to navy bean. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 72: 641-649.
- Goos, R.J., B.E. Johnson and M. Thiollet. 2000. A comparison of the availability of three zinc sources to maize (*Zea mays* L.) under greenhouse conditions. **Biol Fertil Soils.** 31: 343-347.

- Graham, R.D. and Z. Rengel. 1993. Genotypic variation to zinc uptake and utilization by plants. pp. 107-118. In Robson, A.D. **Zinc in Soils and Plants**. Kluwer Acad. Publ., Dordrecht, the Netherlands.
- Grewal, H.S. and R.D. Graham. 1997. Seed-Zn content influences early vegetative growth and zinc uptake in oil seed rape (*Brassica napus* and *Brassica juncea*) genotypes on zinc-deficient soils. **Plant Soil**. 129: 191-197.
- Haq, A.U. and M.H. Miller. 1972. Prediction of available soil Zn, Cu and Mn using chemical extractants. **Agron. J.** 64: 779-782.
- Harris D., A. Rashid, G. Miraj, M. Arif and H. Shah. 2007. 'On farm' seed priming with zinc sulphate solution-A cost effective way to increase the maize yields of resource-poor farmers. **Field Crops Res** 102: 119-127.
- _____, _____, _____, _____ and M. Yunas. 2008. 'On farm' seed priming with zinc in chickpea and wheat in Pakistan. **Plant Soil** 306: 3-10.
- Haslette, B.S., R.J. Reid and Z. Rengel. 2001. Zinc mobility in wheat: Uptake and distribution of zinc applied to leaves or roots. **Ann. Bot.** 87: 379-386.
- Havlin, J.L., J.D. Beaton, S.L. Tisdale and W.L. Nelson. 2005. **Soil Fertility and Fertilizers: An Introduction to nutrient Management**. 7thed. Pearson Prentice Hall Inc., New Jersey.
- Heydecker, W., J. Higgins, J. and Y.J. Turner. 1975. Invigoration of seeds. **Seed Sci. & Tech.** 3:881-888.
- Kabata-Pendias, A. and H. Pendias. 2000. **Trace Elements in Soils and Plants**. 3rd ed. CRC Press, Boca Raton, Florida.

- Kang, B.T. and E.G. Okoro. 1976. Response of flood rice grown on a Vertisols from northern Nigeria to zinc sources and methods of application. **Plant and Soil** 44: 15-25.
- Khan, M.A., M.P. Fuller and F.S. Baloch. 2008. Effect of soil applied zinc sulphate on wheat (*Triticum aestivum* L.) grown on calcareous soil in Pakistan. **Cereal Research Communication** 36(4): 571-582.
- Kiekens, L. 1997. Zinc, pp. 284-305. In A.J. Alloway, ed. **Heavy Metal in Soils**. 2nd ed. Blackie Academic and Profession, London, UK.
- Krauskopf, K.B. 1967. **Introduction to Geochemistry**. McGraw -Hill, New York.
- 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., J.J. Mortvedt and P.M. Giordano. 1972. **Micronutrients in Agriculture**. SSSA Inc, Madison, WI, USA.
- _____ and W.A. Norwell. 1978. Development of DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. **Soil. Sci. Soc. Am. J.** 42: 421-428.
- Liscano, J. F., C. E. Wilson, R. J. Norman, and N. A. Slaton. 2000. Zinc Availability to Rice from Seven Granular Fertilizers. Arkansas Agricultural Experiment Station Res., Bulletin 963. Fayetteville, Univ. of Arkansas.
- Loeppert, R.H. and D.L. Suarez. 1996. Carbonate and Gypsum. Chap.15: 448-451. In **Method of Soil Analysis. Part 3**. Chemical Methods. ASA and SSSA., Madison, WI, USA.
- Maftoun, M., H.H. Nia, N. Karimian and A.M. Ronaghi. 2003. Evaluation of chemical extractants for predicting lowland rice response to zinc in highly calcareous soils. **Commun. Soil Sci. Plant Anal.** 34: 1269-1280.

Martens, D.C., G. Chesters and L.A. Peterson. 1966. Factors controlling the extractability of soil zinc. **Soil Sci. Soc. Amer. Proc.** 30: 67-69.

Martens, D.C. and W.L. Lindsay. 1990. Testing soils for copper, iron, manganese and zinc, pp. 229. *In* R.L. Westerman, ed. **Soil Testing and Plant Analysis**. 3rd ed. SSSA, Madison, WI, USA.

Martens, D.C. and D.T. Westermann. 1991. Fertilizer applications for correcting micronutrient deficiencies. Chap. 15, pp. 549-592. *In* Mortvedt J.J., F.R. Cox, L.M. Shuman and R.M. Welch, eds. **Micronutrient in Agriculture**. 2nd ed. SSSA, Madison, WI, USA.

Mehlich, A. 1984. Mehlich3 for soil test extractant: A modification of Mehlich2 extractant. **Commun. Soil Sci. Plant Anal.** 15: 1409-1416.

Moraghan, J.T. 1996. Zinc concentration of navy bean seed as affected by rate and placement of three zinc sources. **J. Plant Nutr.** 19: 1413-1422.

Mortvedt, J.J. and R.J. Gilkes. 1993. Zinc fertilizers. Chap. 3, pp. 33-44. *In* Robson, A.D. **Zinc in Soil and Plants**. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

_____, D.G. Westfall and R.L. Croissant. **Fertilizing Corn**. Available source: <http://www.ext.colostate.edu/pubs/crops00538.html>, 9 July, 2008.

Nelson, W.L., A. Mehlich and E. Winters. 1953. **The Development, Evaluation and Use of Soil Tests for Phosphorus Availability**. Agron. Monogr. Acad. Press, New York.

Office of Agricultural Economics. 2009. **Economic Crops**. Available Source: http://www.oae.go.th/oae_report/export_import/export_result.php, September 18, 2009.

Peck, T.R. and P.N. Soltanpour. 1990. The principles of soil testing, pp. 1-9. *In* R.L. Westerman, ed. **Soil Testing and Plant Analysis**. SSSA Inc., Madison, USA.

Prasad, B. and M.K. Sinha. 1981. The relative efficiency of zinc carriers on growth and zinc nutrition of corn. **Plant Soil** 62: 45-52.

Pratt, P.F. 1965. Potassium, pp. 1022-1030. In C.A. Black (ed.). **Methods of Soil Analysis**. Part 2. Amer. Soc. of Agron, Inc. Madison, Wisconsin.

Ponnamperum F.N., M.T. Cayton and R.S. Lantin. 1981. Dilute hydrochloric acid as an extractant for available zinc, copper and boron in rice soils. **Plant Soil**. 61: 297-310.

Rengel, Z and R.D. Graham. 1995a. Importance of seed Zn content for wheat growth on Zn-deficient soilI Vegetative growth. **Plant Soil**. 173: 259-266.

_____ and _____. 1995b. Importance of seed Zn content for wheat growth on Zn-deficient soilII. Grain yield. **Plant Soil**. 173: 267-274.

Rhoades, J.D. 1996. Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. Chap.14: 417-427. In **Method of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods**. ASA and SSSA. Madison, WI, USA.

Robinson, E. 2000. **Zinc-Treated Rice Big Hit in Arkansas**. Available source :http://deltafarmpress.com/mag/farming_zinctreated_rice_big/, August 9, 2009.

Sauchelli, V. 1969. **Trace Elements in Agriculture**. Van Nostrand Reinhold Company, New York.

Sharma, P.N., C. Chatterjee, S.C. Agarwala and C.P. Sharma. 1990. Zinc deficiency and pollen fertility in maize (*Zea mays*). **Plant and Soil**. 124: 221-225.

Sharma, C.P. 2006. **Plant Micronutrients**. Science Publishers, NH, USA.

- Shuman, L.M. 1991. Chemical forms of micronutrients in soils. *In* J.J. Mortvedt, F.R. Cox, L. M. Shuman and R.M. Welch, eds. **Micronutrient in Agriculture**. 2nd ed. SSSA Inc., Madison, Wisconsin.
- Sims, J.T. and G.V. Johnson. 1991. Micronutrient soil tests. Chap.12, pp. 549-592. *In* J.J. Mortvedt, F.R. Cox, L. M. Shuman and R.M. Welch, eds. **Micronutrient in Agriculture**. 2nd ed. SSSA Inc., Madison, WI, USA.
- Singh, M.V. and I.P. Abrol. 1985. Transformation and availability of zinc in alkali soils. **Fertiliser News**. 31(7): 17-27.
- Slaton, N. A., C.E. Wilson Jr., S. Ntamatungiro, R.J. Norman and D.L. Boothe. 2001. Evaluation of zinc seed treatments for rice. **Agronomy Journal**. 93: 152-157.
- Soltanpour, P.N. 1985. Use of ammonium bicarbonate-DTPA soil test to evaluate element availability and toxicity. **Commun. Soil Sci. Plant anal**. 16: 323-338.
- Soltanpour, P.N. and A.P. Schwab. 1977. A new soil test for macro- and micro-nutrients in alkaline soils. **Commun. Soil Sci. Plant Anal**. 8: 195-207.
- Srivastava, P.C. and U.C. Gupta. 1996. **Trace Elements in Crop Production**. Science Publishers, Lebanon, New Hampshire.
- _____ and P. Srivastava. 2008. Integration of soil pH with soil-test values of zinc for prediction of yield response in rice grown in Mollisols. **Commun. Soil Sci. Plant Anal**. 39: 2456-2468.
- Sumner, M.E. and W.P. Miller. 1996. Cation exchange capacity and exchange coefficients, pp. 1201-1229. *In* D.L. Sparks, ed. **Method of Soil Analysis Part 3: Chemical Methods**. SSSA Inc., ASA Inc. Madison, WI, USA.

Tan, K.H. 1992. **Principles of Soil Chemistry**. 2nd ed. Marcel Dekker Inc., Madison, NY, USA.

Tariq, M., M.A. Khan and S. Perveen. 2002. Response of maize to applied soil zinc. **Asian J. Pl. Sci.** 1: 476-477.

Thomas, G.W. 1996. Soil pH and soil acidity pH. Chap.16: 485 - 487. *In* **Method of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods**. ASA and SSSA Inc., Madison, WI, USA.

Trierweiler, J.F. and W.L. Lindsay. 1969. EDTA-ammonium carbonate soil test for zinc. **Soil Sci. Soc. Amer. Proc.** 33: 49-54.

Ullah M.A., M. Sarfraz, S.M. Mehdi, M. Sadiq, G. Hassan and M. Jamil. 2002. Effect of pre-sowing seed treatment of Raya with micronutrients on yield parameters. **Asian J. Pl. Sci.** 1(3): 277-278.

Vacharotayan, S., P. Laoparroj, S. Chantawat and Y. Vacharacoop. 1964. Preliminary evaluation of different chemical soil testing method for available phosphorus through correlation with green house test. **Kasetsart. J.** 4: 97-109.

Volcasek, F.F. and J.B. Friedericks. 1994. Soil micronutrient extraction by Mehlich3 compared to CaCl_2 -DTPA. **Commun. Soil Sci. Plant Anal.** 25: 1583-1593

Walkley, A. and I.A. Black. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Sci.** 37: 29-38.

Walworth, J.L., R.G. Gavlak and M.T. Panciera. 1992. Mehlich3 extractant for available B, Cu, Fe, Mn and Zn in Cryic Alaskan soils. **Can. J. Soil Sci.** 2: 517-526.

- Wang, J.J., C.W. Kennedy, H.P. Viator, A.E. Arceneaux and A.J. Guidry. 2005. Zinc fertilization of sugarcane in acid and calcareous soils. **J. Amer. Soc. Sugarcane Technol.** 25: 49-61.
- Wear, J.I. and C.E. Evans. 1968. Relationship of zinc uptake by corn and sorghum to soil zinc measured by three extractants. **Soil Sci. Soc. Amer. Proc.** 32: 543-546.
- Wedepohl, K.H. 1978. **Handbook of Geochemistry.** Springer Verlag, New York.
- Welch, R.M. 1986. Effects of nutrient deficiencies on seed production and quality. **Adv. Plant Nutr.** 2: 205-247.
- Welch, R.M., M.J. Webb and J.F. Loneragan. 1982. Zinc in membrane function and its role in phosphorus toxicity, pp. 710-715. *In* Warwick, E. and A. Scaife, eds. **Plant Nutrition Colloquium.** Proc. 9th. Commonw. Agri, Bureaux, Farnham Royal, UK.
- _____ and R.D. Graham. 2002. Breeding crops for enhanced micronutrient content. **Plant Soil.** 245: 205-214.
- Westfall, D.G., W.J. Gangloff, G.A. Peterson and J.J. Mortvedt. 2000. **Organic and inorganic fertilizers: Relative availability.** Colorado Agricultural Experimental Station Technical. Bull., TB01-1.
- Yilmaz, A., H. Ekiz, I. Gultekin, B. Torun, H. Barut, S. karanlik and I. Cakmak. 1998. Effect of seed zinc content on grain yield and zinc concentration of wheat grown in zinc-deficient calcareous soils. **J. Plant Nutr.** 21: 2257-2264.
- Zou, C., R. Shi, X. Gao, X. Fan and F.S. Zhang. 2008. Micronutrient deficiencies in crop production in China. Chap. 5, pp. 127-148. *In* B.J. Alloway. **Micronutrient Deficiencies in Global Crop Production,** Springer, Dordrecht.



ภาคผนวก

ตารางผนวกที่ 1 ปริมาณสังกะสีที่เป็นประโยชน์ในดินหลังจากปลูกข้าวโพดจากการป้อนสังกะสี
ในรูป ZnSO₄ ZnEDTA และ Zn citrate

ตัวรับการทดลอง (mg Zn kg ⁻¹ soil)	ชุดดินลพบุรี	ชุดดินถ่านทรายฉิม	ชุดดินชัยบาดาล	ชุดดินตากดี
	ปริมาณสังกะสีที่เป็นประโยชน์ (mg Zn kg ⁻¹)			
Zn0 (control)	0.90	0.30	0.70	0.93
ZnSO ₄ 0.5	0.95	0.29	0.75	1.01
ZnSO ₄ 1.0	0.98	0.54	0.88	1.31
ZnSO ₄ 2.0	1.02	0.61	1.08	1.56
ZnSO ₄ 4.0	1.84	2.03	2.19	1.60
ZnEDTA 0.5	1.14	0.40	0.90	0.94
ZnEDTA 1.0	1.17	0.43	1.03	1.17
ZnEDTA 2.0	1.19	0.67	1.18	1.23
ZnEDTA 4.0	1.56	1.85	1.46	1.46
Zn citrate 0.5	0.96	0.42	0.86	0.91
Zn citrate 1.0	1.15	0.60	1.26	1.15
Zn citrate 2.0	1.36	0.70	1.36	1.54
Zn citrate 4.0	1.42	0.77	2.67	2.14

ตารางผนวกที่ 2 ผลการใส่ปุ๋ยสังกะสีโดยวิธีการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสี และการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางดินต่อความสูง ผลผลิตน้ำหนักแห้งและปริมาณการดูดใช้สังกะสีทั้งหมดของข้าวโพดที่ปลูกในชุดดินลพบุรี

ตำรับ การทดลอง	ความสูง ^L		น้ำหนักแห้ง ^L		ปริมาณการดูดใช้ สังกะสี ^L (mg Zn pot ⁻¹)
	อายุ 20 วัน (cm)	อายุ 40 วัน (cm)	ตอซัง (g pot ⁻¹)	ฝัก (g pot ⁻¹)	
unsoaked-seed (control)	19.7	52.7	101.4b	13.8b	1.52c
0.4% Zn-s	19.7	55.7	105.9ab	18.7a	2.05bc
0.8% Zn-s	19.3	62.7	112.0ab	20.1a	2.27ab
1.6% Zn-s	20.3	66.3	126.7ab	21.9a	2.33ab
2 Zn-sa	20.3	61.2	130.9a	21.9a	2.75a
F-test	ns	ns	*	**	**
CV (%)	6.9	10.5	11.4	11.3	15.4

หมายเหตุ ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

* และ ** แยกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ 99%

^L ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยอักษรเหมือนกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

s = soaked seed; sa = soil applied Zn (rate 2 mg Zn kg⁻¹ soil)

ตารางผนวกที่ 3 ผลการใส่ปุ๋ยสังกะสีโดยวิธีการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสี และการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางดินต่อความสูง ผลผลิตน้ำหนักแห้งและปริมาณการดูดใช้สังกะสีทั้งหมดของข้าวโพดที่ปลูกในชุดดินถ่านารายณ์

ตำรับ การทดลอง	ความสูง ^{1/}		น้ำหนักแห้ง ^{1/}		ปริมาณการดูดใช้สังกะสี ^{1/} (mg Zn pot ⁻¹)
	อายุ 20 วัน (cm)	อายุ 40 วัน (cm)	ตอซัง (g pot ⁻¹)	ฝัก (g pot ⁻¹)	
unsoaked-seed (control)	12.0b	46.7b	88.8b	31.5c	0.86c
0.4% Zn-s	17.5a	64.3a	108.4a	42.6bc	1.03bc
0.8% Zn-s	17.0a	60.0ab	100.5ab	45.5bc	1.17b
1.6% Zn-s	18.0a	59.7ab	104.0ab	50.0b	1.25b
2 Zn-sa	15.2a	59.0ab	98.4ab	65.3a	1.71a
F-test	**	**	*	**	**
CV (%)	9.3	12.2	10.2	16.4	10.4

หมายเหตุ ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

* และ ** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ 99%

^{1/} ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยอักษรเหมือนกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

s = soaked seed; sa = soil applied Zn (rate 2 mg Zn kg⁻¹ soil)

ตารางผนวกที่ 4 ผลการใส่ปุ๋ยสังกะสีโดยวิธีการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสี และการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางดินต่อความสูง ผลผลิตน้ำหนักแห้งและปริมาณการดูดใช้สังกะสีทั้งหมดของข้าวโพดที่ปลูกในชุดดินชัยบาดาล

ตำรับ การทดลอง	ความสูง ^{1/}		น้ำหนักแห้ง ^{1/}		ปริมาณการดูดใช้สังกะสี ^{1/} (mg Zn pot ⁻¹)
	อายุ 20 วัน	อายุ 40 วัน	ตอซัง	ฝัก	
	(cm)	(cm)	(g pot ⁻¹)	(g pot ⁻¹)	
unsoaked-seed (control)	15.5b	45.8c	83.0	20.9c	1.10b
0.4% Zn-s	17.2ab	61ab	92.7	26.7bc	1.27b
0.8% Zn-s	17.5ab	63.8a	91.1	35.8a	1.44b
1.6% Zn-s	18.8a	61.5ab	89.9	35.8a	1.43b
2 Zn-sa	16.5b	54bc	102.1	33.1ab	2.00a
F-test	*	**	ns	**	*
CV (%)	6.1	8.1	9.8	11.4	18.0

หมายเหตุ ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

* และ ** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ 99%

^{1/} ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยอักษรเหมือนกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

s = soaked seed; sa = soil applied Zn (rate 2 mg Zn kg⁻¹ soil)

ตารางผนวกที่ 5 ผลการใส่ปุ๋ยโดยวิธีการแช่เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูกในสารละลายปุ๋ยสังกะสีและการใส่ปุ๋ยสังกะสีทางดิน ต่อความสูง ผลผลิตน้ำหนักรากแห้ง และปริมาณการดูดใช้สังกะสีทั้งหมดของข้าวโพดที่ปลูกในชุดดินตาคลี

ตำรับ การทดลอง	ความสูง ^L		น้ำหนักแห้ง ^L		ปริมาณการดูดใช้ สังกะสี ^L (mg Zn pot ⁻¹)
	อายุ 20 วัน (cm)	อายุ 40 วัน (cm)	ตอซัง (g pot ⁻¹)	ฝัก ^L (g pot ⁻¹)	
unsoaked-seed (control)	11.3	44.3	88.0	11.5b	1.11b
0.4% Zn-s	11.0	45.3	85.1	14.0a	1.34ab
0.8% Zn-s	13.0	49.0	91.2	14.4a	1.10b
1.6% Zn-s	12.5	45.7	84.5	12.5ab	1.04b
2 Zn-sa	9.5	39.3	80.9	14.3a	1.65a
F-test	ns	ns	ns	**	*
CV (%)	13.8	9.5	10.5	9.0	17.0

หมายเหตุ ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

* และ ** แยกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ 99%

^L ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยอักษรเหมือนกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

s = soaked seed; sa = soil applied Zn (rate 2 mg Zn kg⁻¹ soil)

ตารางผนวกที่ 6 ผลผลิตน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของข้าวโพด (g pot^{-1}) ที่ปลูกในดินทั้ง 7 ตัวอย่างใน
 ดำรับทดลองต่าง ๆ

ตัวอย่างดินที่	ดำรับการใส่ปุ๋ยสังกะสี		S-MEAN
	- Zn	+Zn	
1 (ตาคลี1)	53.92bA	84.67aA	69.30
2 (ตาคลี2)	58.49abA	76.27abA	67.38
3 (ลพบุรี1)	49.38bB	71.24abA	60.31
4 (ลพบุรี2)	55.59abA	60.21bcA	62.90
5 (ลำานารายณ์)	21.06cB	48.21cA	34.64
6 (ชัยบาดาล)	33.95cB	66.30bA	59.12
7 (บ้านหมี่)	70.52aA	78.99abA	74.76
F-Mean	48.99	69.41	59.20

หมายเหตุ ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่เหมือนกันในแถวเดียวกันและตัวอักษรพิมพ์เล็กที่เหมือนกันใน
 คอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น
 95% โดยวิธี DMRT

ตารางผนวกที่ 7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนผลผลิตน้ำหนักรากแห้งของข้าวโพดที่ปลูกในดินทั้ง 7 ตัวอย่าง ในตำรับทดลองต่าง ๆ

Source of variation	DF	SS	MS	F
Treatment	13	12021.34	924.72	7.39**
Fertilizer (F)	1	4380.91	4380.90	35.01**
Soil (S)	6	6596.48	1099.41	8.79**
F × S	6	1043.95	173.99	1.39 ^{ns}
Error	28	3503.35	125.12	
Total	41	15524.69		

หมายเหตุ ** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ตารางผนวกที่ 8 ปริมาณสังกะสีทั้งหมดที่ข้าวโพดคั่วใช้ (mg Zn pot⁻¹) ที่ปลูกในดินทั้ง 7 ตัวอย่าง
ในตำรับทดลองต่าง ๆ

ตัวอย่างดินที่	ตำรับการใส่ปุ๋ยสังกะสี		S-MEAN
	- Zn	+Zn	
1 (ตาคลี1)	0.64bB	1.47abA	1.05
2 (ตาคลี2)	0.68aB	1.42abA	1.05
3 (ลพบุรี1)	0.70bB	1.53aA	1.12
4 (ลพบุรี2)	0.82bB	1.09abA	0.95
5 (ลำนาราชณ์)	0.18cB	0.97abA	0.57
6 (ชัยบาดาล)	0.50bcB	1.15abA	0.83
7 (บ้านหมี่)	1.20aA	0.81bA	1.00
F-Mean	0.67	1.21	0.94

หมายเหตุ ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่เหมือนกันในแถวเดียวกันและตัวอักษรพิมพ์เล็กที่เหมือนกันใน
คอลัมน์เดียวกัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น
95% โดยวิธี DMRT

ตารางผนวกที่ 9 การวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณสังกะสีทั้งหมดที่ข้าวโพดคั่วใช้ที่ปลูกในดิน
ทั้ง 7 ตัวอย่าง ในตำรับทดลองต่าง ๆ

Source of variation	DF	SS	MS	F
Treatment	13	6.03	0.46	5.59**
Fertilizer (F)	1	2.98	2.97	35.84**
Soil (S)	6	1.25	0.21	2.50*
F × S	6	1.81	0.30	3.63**
Error	28	2.32	0.83	
Total	41	8.35		

หมายเหตุ * แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

ตารางผนวกที่ 10 ความเข้มข้นของสังกะสีในข้าวโพด (mg Zn kg^{-1}) ในตำรับทดลองต่าง ๆ

ตัวอย่างดินที่	ตำรับการใส่ปุ๋ยสังกะสี		S-MEAN
	- Zn	+Zn	
1 (ตาคลี1)	12.02abcB	17.17aA	14.60
2 (ตาคลี2)	11.35bcA	18.48aA	14.92
3 (ลพบุรี1)	14.29abB	21.55aA	17.92
4 (ลพบุรี2)	14.67abA	18.06aA	16.37
5 (ลำนารายณ์)	8.66cB	18.70aA	13.68
6 (ชัยบาดาล)	14.81abA	17.27aA	16.04
7 (บ้านหมี่)	17.06aA	10.19bA	13.63
F-Mean	13.27	17.35	15.31

หมายเหตุ ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่เหมือนกันในแถวเดียวกันและตัวอักษรพิมพ์เล็กที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

ตารางผนวกที่ 11 การวิเคราะห์ความแปรปรวนความเข้มข้นของสังกะสีในข้าวโพดที่ปลูกในดิน
ทั้ง 7 ตัวอย่าง ในตำรับทดลองต่าง ๆ

Source of variation	DF	SS	MS	F
Treatment	13	531.42	40.88	5.80**
Fertilizer (F)	1	175.11	175.11	24.83**
Soil (S)	6	87.65	14.61	2.07 ^{ns}
F × S	6	268.66	44.78	6.35**
Error	28	197.43	7.05	
Total	41	728.86		

หมายเหตุ ** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ตารางผนวกที่ 12 ข้อจำกัดของสมบัติทางเคมีที่ใช้ประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน

(คณะกรรมการจัดทำพจนานุกรมปลูกพืชวิทยา, 2551; Land Classification Division and FAO Project Staff, 1973)

1. ปฏิกริยาของดิน (soil reaction), pH (ดินต่อน้ำ = 1:1)

ระดับ (rating)		พิสัย (range)
กรดรุนแรงมาก	Ultra acid	< 3.5
กรดรุนแรง	Extremely acid	3.5-4.5
กรดจัดมาก	Very strongly acid	4.5-5.0
กรดจัด	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
ด่างเล็กน้อย	Slightly alkaline	7.4-7.8
ด่างปานกลาง	Moderately alkaline	7.9-8.4
ด่างจัด	Strongly alkaline	8.5-9.0
ด่างจัดมาก	Very Strongly alkaline	> 9.0

2. อินทรีย์วัตถุ (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

ตารางผนวกที่ 12 (ต่อ)

3. ปริมาณไนโตรเจนรวม (total nitrogen)

ระดับ (rating)		พิสัย (range) (g kg^{-1})
ต่ำมาก	(VL)	< 2.5
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 II)

ระดับ (rating)		พิสัย (range) (mg 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) (NH_4OAc)

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

ตารางผนวกที่ 12 (ต่อ)

6. ค่าที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable base) (NH_4OAc)

ระดับ (rating)	พิสัย (range) ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$)			
	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

6. ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (cation exchange capacity)

ระดับ (rating)	พิสัย (range) ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$)	
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 (Moderate)
	MH	=	ค่อนข้างสูง (Moderately High)
	H	=	สูง (High)
	VH	=	สูงมาก (Very High)

ตารางผนวกที่ 13 แสดงระดับความเป็นประโยชน์ Zn, Cu, Fe และ Mn ในดินซึ่งวิเคราะห์โดยวิธีที่ใช้น้ำยาสกัด DTPA และ AB-DTPA

Measurement	Soil Test	Low	Marginal (mg kg ⁻¹)	Adequate
Zinc	DTPA ^{1/}	< 0.5	0.5-1.0	> 1.0
	AB-DTPA ^{2/}	< 1.0	1.0-1.5	> 1.5
Copper	DTPA ^{1/}	< 0.2	0.2-0.5	> 0.2
	AB-DTPA ^{2/}	< 0.2		> 0.5
Iron	DTPA ^{1/}	< 4.5		> 4.5
	AB-DTPA ^{2/}	< 0.2	2.1-4.0	> 4.0
Manganese	DTPA ^{1/}	< 1.0	1.0-2.0	> 2.0
	AB-DTPA ^{2/}	< 1.8		> 1.8

ที่มา: ^{1/}Martens and Lindsay (1990)

^{2/}Soltanpour (1985)

ตารางผนวกที่ 14 แสดงการเปลี่ยน 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 _c kg ⁻¹	1 meq/100g = cmol _c kg ⁻¹
Anion exchange capacity	cmol _c kg ⁻¹	1 meq/100g = cmol _c kg ⁻¹
Exchange cation	cmol _c kg ⁻¹	1 meq/100g = cmol _c 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	1 g/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 Bq
Rate, Yield	Ka ha ⁻¹	1 kg/10a = 10 kg ha ⁻¹
	Mg ha ⁻¹	1 t/10a = 10 Mg ha ⁻¹

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวนัทฐา ทักย์รัตนศรีชัย
เกิดวันที่	17 พฤษภาคม 2524
สถานที่เกิด	อำเภอขุนยวม จังหวัดแม่ฮ่องสอน
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (เกษตรศาสตร์) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ วท.ม. (เกษตรศาสตร์) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ตำแหน่งปัจจุบัน	นักสำรวจดินปฏิบัติการ
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ได้รับทุนสนับสนุนจากคณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และมหาวิทยาลัย Utah State University เพื่อศึกษาดูงานด้าน การเกษตรและป่าไม้ ณ ประเทศสหรัฐอเมริกา (2552)