บทที่ 4
ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

งานวิจัยเรื่องการบำบัดโลหะหนักที่ปนเปื้อนในดินด้วยพืชบริเวณพื้นที่กำจัดมูลฝอยชุมชน : กรณีศึกษาเทศบาลตำบลในเมือง อำเภอพิชัย จังหวัดอุตรดิตถ์ นี้ สืบเนื่องมาจากปัญหาการปนเปื้อนโลหะหนักในดินซึ่งเกิดจากการกำจัดขยะอย่างไม่ถูกสุขลักษณะ ซึ่งปัญหาดังกล่าวเป็นปัญหาที่สำคัญขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในหลายพื้นที่ ซึ่งมีแนวโน้มจะขยายตัวและเพิ่มความรุนแรงยิ่งขึ้น หากยังไม่ได้รับการดูแลและจัดการอย่างถูกต้อง

การกำจัดมูลฝอยของเทศบาลตำบลในเมือง อำเภอพิชัย จังหวัดอุตรดิตถ์ เป็นแบบเทกองกลางแจ้งในบ่อดิน โดยไม่มีการใช้วัสดุป้องกันการรั่วซึมปูรองพื้น หรือมีการก่อสร้างบ่อฝังกลบขยะตามหลักสุขาภิบาล ก็อาจเป็นสาเหตุการปนเปื้อนของน้ำชะขยะลงสู่ดินและน้ำใต้ดิน (สุขสมาน สังโยคะ และคณะ, 2552) ดังนั้นผู้วิจัยจึงเห็นว่าการศึกษาปริมาณโลหะหนักที่ปนเปื้อนในดินเป็นสิ่งที่ควรให้ความสำคัญ และการหาวิธีการบำบัดโลหะหนักเพื่อลดความเป็นพิษที่ปนเปื้อนในดินเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในพื้นที่จริงต่อไป เพื่อให้ทราบระดับความเข้มข้นของสารมลพิษในดินบริเวณพื้นที่กำจัดขยะของเทศบาลตำบลในเมือง อำเภอพิชัย จังหวัดอุตรดิตถ์ ผู้วิจัยจึงได้ทำการเก็บตัวอย่างดินในพื้นที่ดังกล่าวมาวิเคราะห์คุณสมบัติซึ่งได้ผลดังแสดงในตาราง 4.1

ตาราง 4.1 คุณสมบัติของดินจากพื้นที่กำจัดขยะของเทศบาลตำบลในเมือง อำเภอพิชัย จังหวัดอุตรดิตถ์

พารามิเตอร์	ผลการศึกษา	วิธีวิเคราะห์
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	29.50	เทอร์โมมิเตอร์
ความเป็นกรด-ด่าง	8.00	pH Meter
โลหะหนักในดิน (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)		
- ตะกั่ว	235.93	Atomic Absorption Spectrophotometry
- ทองแดง	271.55	
- แคดเมียม	18.06	
- สังกะสี	602.06	
- เหล็ก	3,863.61	

จากการหาคุณสมบัติของดินจากพื้นที่กำจัดขยะของเทศบาล ตำบลในเมือง อำเภอพิชัย จังหวัดอุตรดิตถ์ พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เท่ากับ 8.00 ปริมาณตะกั่วเท่ากับ 235.93 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ปริมาณทองแดงเท่ากับ 271.55 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ปริมาณแคดเมียมเท่ากับ 18.06 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ปริมาณสังกะสีเท่ากับ 602.06 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และปริมาณเหล็กเท่ากับ 3,863.61 มิลลิกรัม/กิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานโครงการดินดี ชีวีปลอดภัย ของกรมพัฒนาที่ดินนั้น พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ต้องอยู่ในช่วง 5.5-7.5 ปริมาณตะกั่วต้องไม่เกิน 55 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ปริมาณทองแดงต้องไม่เกิน 45 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ปริมาณแคดเมียมต้องไม่เกิน 0.5 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และปริมาณสังกะสีต้องไม่เกิน 100 มิลลิกรัม/กิโลกรัม แต่ปริมาณเหล็กไม่มีข้อกำหนดในมาตรฐาน โดยพบว่าปริมาณโลหะหนักที่ทำการศึกษามีค่าเกินมาตรฐานของมาตรฐานโครงการดินดีชีวีปลอดภัย ของกรมพัฒนาที่ดินทุกตัว ซึ่งจัดว่าดินในพื้นที่ดังกล่าวอยู่ในสภาวะที่เกิดมลพิษจนไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตรได้ อีกทั้งยังต้องเฝ้าระวังไม่ให้น้ำชะขยะปนเปื้อนออกสู่พื้นที่ภายนอก

4.1 การเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติดินในระหว่างการบำบัดสารมลพิษโดยพืช

4.1.1 อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)

จากการตรวจวัดอุณหภูมิของดินในกระถางทดลองและอุณหภูมิของอากาศ พบว่า อุณหภูมิของอากาศตลอดการทดลองมีค่าอยู่ระหว่าง 30.00-34.00 องศาเซลเซียส อุณหภูมิของดินในกระถางชุดควบคุม (Control) มีค่าอยู่ระหว่าง 27.00 – 30.00 องศาเซลเซียส ดาวเรืองมีค่าอยู่ระหว่าง 26.50 – 30.50 องศาเซลเซียส ดาวเรืองที่เติมอีดีทีเอมีค่าอยู่ระหว่าง 29.00 – 30.25 องศาเซลเซียส มะเขือมีค่าอยู่ระหว่าง 26.75 – 30.75 องศาเซลเซียส มะเขือที่เติมอีดีทีเอมีค่าอยู่ระหว่าง 26.75 – 30.50 องศาเซลเซียส และหญ้าแฝกมีค่าอยู่ระหว่าง 26.75 – 30.50 องศาเซลเซียส หญ้าแฝกที่เติมอีดีทีเอมีค่าอยู่ระหว่าง 27.00 – 31.00 องศาเซลเซียส ดังตาราง 4.2 จากการเปรียบเทียบผลการทดลองทางสถิติ พบว่า การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศแตกต่างกับชุดควบคุม และชุดควบคุมแตกต่างกับชุดการทดลองดาวเรือง มะเขือ มะเขือที่เติม อีดีทีเอ หญ้าแฝก หญ้าแฝกที่เติมอีดีทีเอ อย่างมีนัยสำคัญที่ ($p<0.05$) ดังตาราง 4.4

จะเห็นว่าอุณหภูมิในชุดการทดลองจะแปรผันไปในทิศทางเดียวกันกับอุณหภูมิอากาศ ทั้งนี้อุณหภูมิมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของอัตราการคายน้ำ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นพืชจะคายน้ำมากยิ่งขึ้น และจะมีผลต่อการสะสมชาตุโลหะหนักของพืช เพราะการสะสมโลหะหนักเข้าสู่รากพืชนั้นใช้แรงดึงจากการคายน้ำร่วมด้วย (วราภรณ์ ฉุนฉาย, 2551) ซึ่งสอดคล้องกับ อลิสา วังใน (2554) ที่ได้กล่าวว่าอุณหภูมิเป็นปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการย่อยสลายสารมลพิษ (Biodegradation Rate) โดยจะแปรผันตรงระหว่างอัตราการเกิดปฏิกิริยาและการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ

ตาราง 4.2 อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) ในแต่ละชุดการทดลอง

ครั้งที่	Control	ดาวเรือง	ดาวเรือง EDTA	มะเขือ	มะเขือ EDTA	หญ้าแฝก	หญ้าแฝก EDTA	อุณหภูมิอากาศ
0	29.50±0.58	29.50±0.58	29.50±0.58	29.50±0.58	29.50±0.58	29.50±0.58	29.50±0.58	32.00
1	29.50±0.58	30.50±0.58	30.25±0.50	30.75±0.50	30.00±0.00	30.50±0.58	31.00±0.00	34.00
2	30.00±0.00	29.25±0.50	29.50±0.58	29.50±0.58	30.50±0.58	30.50±0.58	30.50±0.58	33.00
3	29.00±0.00	28.75±0.50	29.00±0.00	28.75±0.58	28.25±0.50	28.50±0.58	29.00±0.00	33.00
4	28.75±0.50	28.50±0.58	-	27.50±0.58	28.00±0.00	27.50±0.58	28.00±0.00	32.00
5	27.00±0.00	27.50±0.58	-	26.75±0.50	27.00±0.00	26.75±0.50	27.00±0.00	30.00
6	29.75±0.50	28.50±0.58	-	29.00±0.00	29.00±0.00	28.50±0.58	29.00±0.00	32.00
7	27.50±0.58	26.50±0.58	-	26.75±0.58	26.75±0.50	27.00±0.00	27.00±0.00	30.00
8	28.00±0.00	28.50±0.58	-	28.50±0.58	28.50±0.58	28.75±0.50	29.00±0.00	32.00
9	28.50±0.58	-	-	27.50±0.58	27.50±0.58	27.50±0.58	27.25±0.50	31.00
10	28.75±0.00	-	-	28.25±0.50	27.75±0.58	27.25±0.50	27.50±0.58	31.00
11	27.25±0.58	-	-	27.50±0.58	27.00±0.00	27.25±0.50	27.00±0.00	30.00
12	28.00±0.00	-	-	27.00±0.00	27.25±0.50	27.50±0.58	27.25±0.58	30.00
Mean	28.63[a]	28.61[b]	29.56[a]	28.25[b]	28.21[b]	28.23[b]	28.38[b]	31.54[b]

หมายเหตุ – ชุดการทดลองดาวเรืองที่ไม่มีค่าเนื่องจากต้นดาวเรืองตาย

ตัวอักษรที่แตกต่างกัน (^{a,b}) แสดงความแตกต่างกันทางสถิติที่ ($p< 0.05$)

ตาราง 4.3 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติของอุณหภูมิ

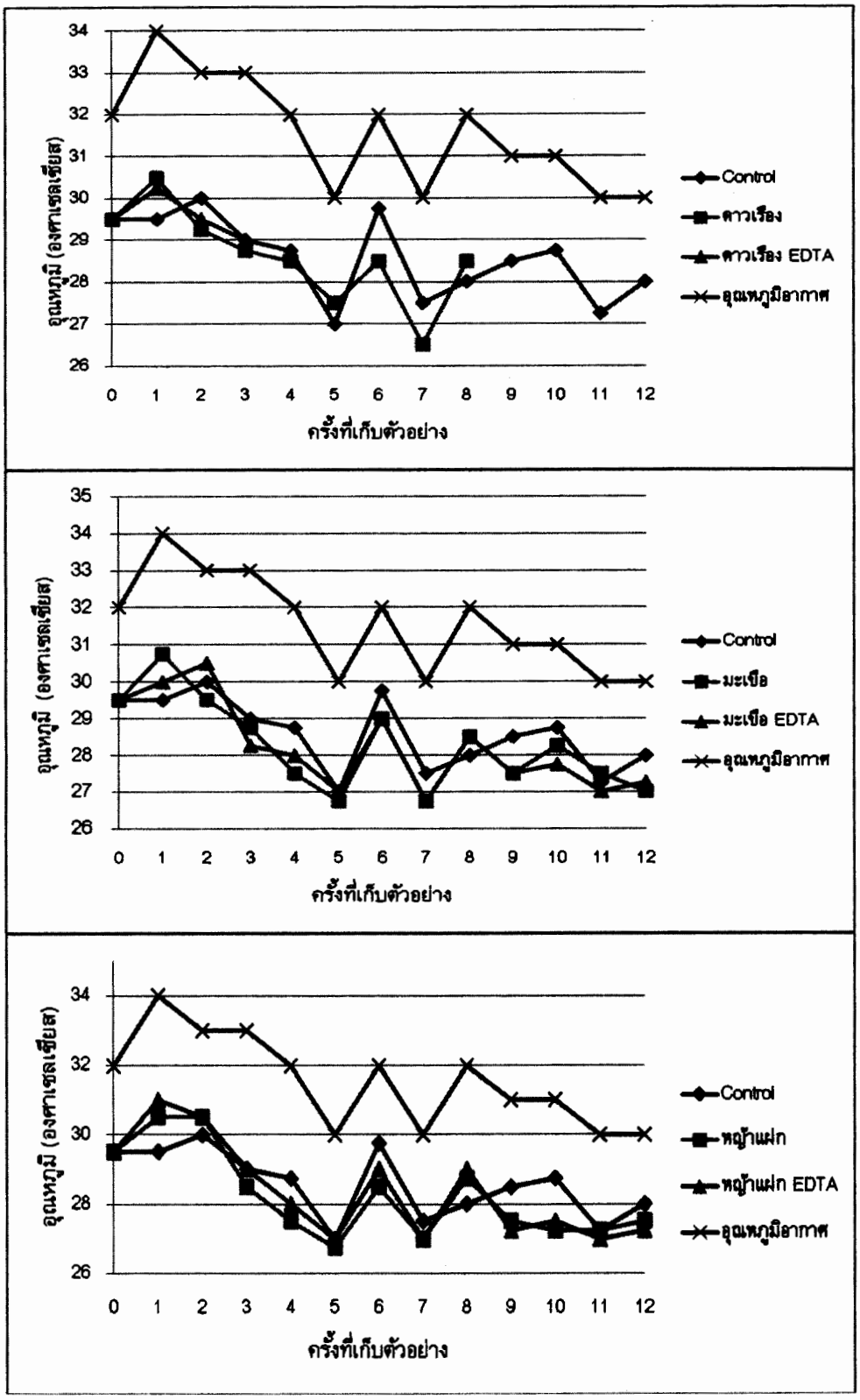
	Mean	Std.	F-test	Sig.
Control	28.58	0.98	11.16	0.00
ดาวเรือง	28.61	1.15		
ดาวเรือง EDTA	29.56	0.52		
มะเขือ	28.25	1.22		
มะเขือ EDTA	28.23	1.21		
หญ้าแฝก	28.23	1.28		
หญ้าแฝก EDTA	28.38	1.38		
อุณหภูมิอากาศ	31.54	1.33		

หมายเหตุ ($p< 0.05$)

ตาราง 4.4 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติของอุณหภูมิ

	Control	ดาวเรือง	ดาวเรือง EDTA	มะเขือ	มะเขือ EDTA	หญ้าแฝก	หญ้าแฝก EDTA	อุณหภูมิอากาศ
Control	-	-	-	-	-	-	-	-
ดาวเรือง	2.93*	-	-	-	-	-	-	-
ดาวเรือง EDTA	-	-	-	-	-	-	-	-
มะเขือ	3.29*	-	-	-	-	-	-	-
มะเขือ EDTA	3.31*	-	-	-	-	-	-	-
หญ้าแฝก	3.31*	-	-	-	-	-	-	-
หญ้าแฝก EDTA	3.15*	-	-	-	-	-	-	-
อุณหภูมิอากาศ	2.97*	-	-	-	-	-	-	-

หมายเหตุ * แสดงความแตกต่างกันทางสถิติที่ ($p < 0.05$)



ภาพ 4.1 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในชุดการทดลอง

4.1.2 ความเป็นกรด - ด่าง (pH)

ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของดินชุดควบคุม (Control) มีค่าอยู่ระหว่าง 7.56 – 8.89 ดาวเรืองมีค่าอยู่ระหว่าง 7.89 – 8.77 ดาวเรืองที่เติมอีดีทีเอมีค่าอยู่ระหว่าง 8.00 – 8.90 มะเขือมีค่าอยู่ระหว่าง 7.73 – 8.90 มะเขือที่เติมอีดีทีเอมีค่าอยู่ระหว่าง 7.82 – 8.98 และหญ้าแฝกมีค่าอยู่ระหว่าง 7.88 – 8.99 หญ้าแฝกที่เติมอีดีทีเอมีค่าอยู่ระหว่าง 7.83 – 8.90 ดังตาราง 4.5 จากการเปรียบเทียบผลทางสถิติ พบว่า การเปลี่ยนแปลงของค่า pH ในทุกชุดการทดลองไม่แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ดังตาราง 4.6

ตาราง 4.5 ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในแต่ละชุดการทดลอง

ครั้งที่	Control	ดาวเรือง	ดาวเรือง EDTA	มะเขือ	มะเขือ EDTA	หญ้าแฝก	หญ้าแฝก EDTA
0	8.00±0.16	8.00±0.16	8.00±0.16	8.00±0.06	8.00±0.16	8.00±0.16	8.00±0.16
1	8.89±0.11	8.77±0.14	8.90±0.04	8.90±0.07	8.98±0.03	8.99±0.05	8.90±0.14
2	8.54±0.11	8.65±0.16	8.81±0.02	8.65±0.08	8.63±0.12	8.79±0.03	8.68±0.09
3	8.27±0.27	8.58±0.13	8.72±0.05	8.75±0.00	8.50±0.11	8.84±0.03	8.83±0.02
4	8.08±0.27	8.57±0.23	-	8.53±0.10	8.78±0.07	8.65±0.10	8.69±0.09
5	8.04±0.21	8.50±0.27	-	8.51±0.16	8.80±0.04	8.60±0.04	8.68±0.08
6	8.15±0.06	8.31±0.16	-	8.43±0.04	8.59±0.19	8.55±0.05	8.71±0.03
7	8.08±0.25	8.27±0.06	-	8.42±0.01	8.62±0.21	8.45±0.09	8.60±0.15
8	8.05±0.18	7.89±0.08	-	8.22±0.08	8.52±0.19	8.51±0.05	8.47±0.13
9	7.90±0.23	-	-	7.90±0.14	8.06±0.10	8.05±0.14	8.35±0.03
10	7.89±0.10	-	-	7.76±0.21	7.84±0.20	8.03±0.11	8.28±0.03
11	7.81±0.06	-	-	7.83±0.16	7.95±0.04	8.06±0.06	8.16±0.08
12	7.56±0.16	-	-	7.73±0.13	7.82±0.10	7.88±0.07	7.83±0.06
Mean	8.10^{a}	8.39^{a}	8.61^{a}	8.28^{a}	8.39^{a}	8.42^{a}	8.48^{a}

หมายเหตุ – ชุดการทดลองดาวเรืองที่ไม่มีค่าเนื่องจากต้นดาวเรืองตาย

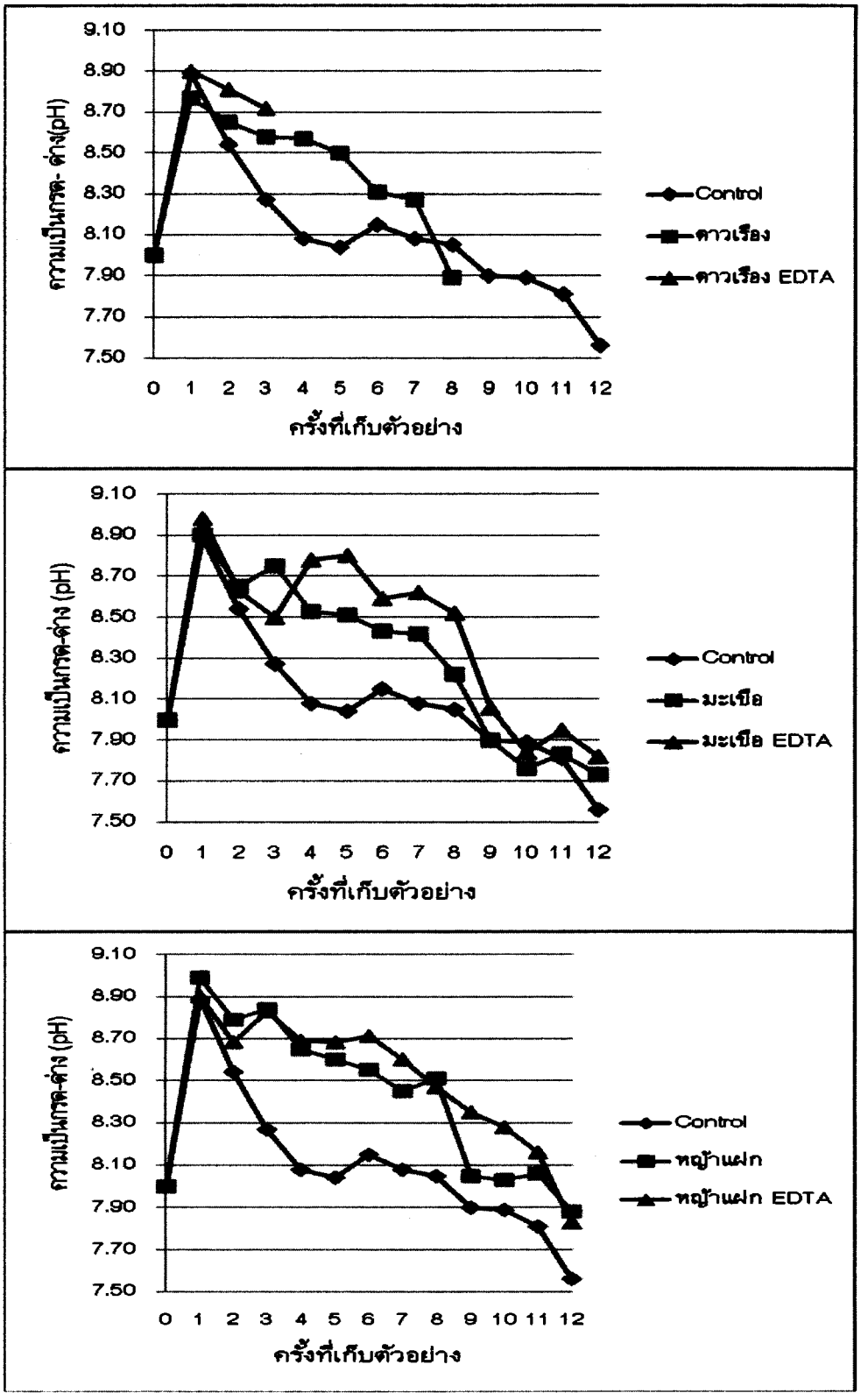
ตัวอักษรที่แตกต่างกัน (^{a,b}) แสดงความแตกต่างกันทางสถิติที่ ($p< 0.05$)

จากการทดลองจะเห็นว่าค่า pH จะเพิ่มสูงขึ้นในช่วงแรก เนื่องมาจากการรดน้ำให้พืชในชุดการทดลอง ซึ่งน้ำจะช่วยในการแตกตัวของ (OH^-) ได้ดียิ่งขึ้น แต่เมื่อระยะเวลาผ่านไปค่า pH ในทุกชุดการทดลองเริ่มลดลง

ตาราง 4.6 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติของความเป็นกรด - ด่าง (pH)

	Mean	Std.	F-test	Sig.
Control	8.10	0.33	0.10	0.10
ดาวเรือง	8.40	0.30		
ดาวเรือง EDTA	8.61	0.41		
มะเขือ	8.28	0.40		
มะเขือ EDTA	8.39	0.40		
หญ้าแฝก	8.42	0.37		
หญ้าแฝก EDTA	8.48	0.33		

หมายเหตุ ($p < 0.05$)



ภาพ 4.2 ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในดิน

4.1.3 ตะกั่ว (Pb)

จากการทดลอง พบว่า ปริมาณตะกั่วของดินในทุกชุดการทดลองตั้งแต่สัปดาห์แรกจนถึงสัปดาห์ที่ 12 ของการทดลองมีปริมาณลดลง โดยในดินของชุดควบคุม (Control) ลดลง 25.61 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (คิดเป็น 10.85%) ดาวเรืองลดลง 108.09 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (คิดเป็น 45.81 %) จากสัปดาห์แรก ดาวเรืองที่เติมอีดีทีเอลดลง 99.34 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (คิดเป็น 42.10%) จากสัปดาห์แรก จากการเปรียบเทียบในระยะเวลา 4 สัปดาห์ พบว่า ดาวเรืองที่เติมอีดีทีเอมีปริมาณตะกั่วลดลงมากกว่าดาวเรืองที่ไม่เติมอีดีทีเอ 54.02 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ในขณะที่มะเขือลดลง 48.77 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (คิดเป็น 20.67%) มะเขือที่เติมอีดีทีเอลดลง 64.68 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (คิดเป็น 27.42%) และหญ้าแฝกลดลง 34.48 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (คิดเป็น 14.62%) หญ้าแฝกที่เติมอีดีทีเอลดลง 36.49 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (คิดเป็น 15.47%) ดังตาราง 4.7 จากการเปรียบเทียบเปอร์เซนต์การลดลงของปริมาณตะกั่วทางสถิติ พบว่า ในชุดการทดลองดาวเรืองแตกต่างกับชุดควบคุมทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ ($p< 0.05$) ในขณะที่เปอร์เซ็นต์การลดลงของตะกั่วในชุดการทดลองอื่นๆ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ดังตาราง 4.9

จากการตรวจวิเคราะห์ปริมาณตะกั่วในดินในพื้นที่กำจัดขยะมีปริมาณเท่ากับ 235.94 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ซึ่งใกล้เคียงกับ อภิชิต วิจักขณ์รัดนะ และคณะ (2552) ที่ได้รายงานไว้ว่าปริมาณตะกั่วในพื้นที่กำจัดขยะชุมชนของเทศบาลนครขอนแก่น เท่ากับ 209 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และ Rizo et al., (2011) รายงานว่าตะกั่วในดินชั้นบนจากบ่อฝังกลบขยะในเมืองฮาวานา เท่ากับ 276 มิลลิกรัม/กิโลกรัม สอดคล้องกับ สุขสมาน สังโยคะ และคณะ (2552) ที่รายงานว่าปริมาณตะกั่วส่วนใหญ่จะมีมากในดินชั้นบน ซึ่งอาจจะเป็นเพราะดินชั้นบนมีปริมาณของอินทรียวัตถุในปริมาณสูงกว่าดินชั้นอื่นๆ และสอดคล้องกับ วรรพร แจ้งปิยะรัตน์ (2536) ที่กล่าวว่าเมื่อปริมาณอินทรียวัตถุในดินเพิ่มขึ้น ปริมาณตะกั่วก็เพิ่มขึ้นตามด้วย เนื่องจากอินทรียวัตถุในดินจะเกิดการแตกตัวของ Carbolic Group และ Phenolic Group ทำให้เกิดประจุลบที่สามารถดูดซับตะกั่วไว้ในดินได้สูง ดังนั้นอินทรียวัตถุในดินชั้นบนจึงเป็นแหล่งสะสมตะกั่วที่สำคัญ สารประกอบของตะกั่วจะสะสมในดินชั้นบน ตะกั่วในดินนี้จึงมีสภาพละลายได้ต่ำมาก และคงทนต่อการสลายตัวด้วยกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน ตะกั่วจึงยังคงอยู่ในดินได้นาน ดังนั้นการปนเปื้อนของตะกั่วจึงเสมือนการสะสมที่ไม่หวนกลับลดลงได้ แม้ว่าจะเป็นการสะสมในปริมาณต่ำและสะสมทีละน้อยๆ ก็ตาม (ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, 2540) ปริมาณตะกั่วที่ตรวจวัดได้ในดินพื้นที่กำจัดขยะมูลฝอยของเทศบาลตำบลในเมือง อำเภอพิชัย จังหวัดอุตรดิตถ์ พบว่า มีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานโครงการดินดีชีวีปลอดภัยของกรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ที่กำหนดให้ดินต้องมีปริมาณตะกั่วไม่เกิน 55 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

ตาราง 4.7 ตะกั่ว (Pb) (มิลลิกรัม/กิโลกรัม) ในแต่ละชุดการทดลอง

ครั้งที่	Control	% ลดลง	ดาวเรือง	% ลดลง	ดาวเรือง EDTA	% ลดลง	มะเขือ	% ลดลง	มะเขือ EDTA	% ลดลง	หญ้าแฝก	% ลดลง	หญ้าแฝก EDTA	% ลดลง
0	235.94±29.41	0.00	235.94±29.41	0.00	235.94±29.41	0.00	235.94±29.41	0.00	235.94±29.41	0.00	235.94±29.41	0.00	235.94±29.41	0.00
1	234.35±12.55	0.68	226.63±72.34	3.94	225.17±19.35	4.56	233.29±23.32	1.12	233.48±33.42	1.04	230.57±1.24	2.28	231.99±20.72	1.67
2	233.81±11.85	0.90	221.89±66.10	5.95	215.50±39.54	8.66	231.52±3.26	1.87	229.32±5.06	2.81	229.16±26.30	2.87	228.89±20.96	2.99
3	231.49±25.06	1.89	201.00±46.45	14.81	204.37±37.93	13.38	231.39±35.40	1.93	228.79±15.87	3.03	226.47±9.98	4.01	222.27±29.34	5.79
4	230.55±19.32	2.28	190.62±25.09	19.21	136.60±2.91	42.10[a]	230.69±39.06	2.23	227.73±26.83	3.48	222.14±5.87	5.85	219.96±3.97	6.77
5	224.44±34.08	4.88	187.42±34.36	20.57	-	-	230.37±40.00	2.36	224.17±0.85	4.99	220.77±21.18	6.43	219.43±28.80	7.00
6	223.72±22.05	5.18	183.83±11.66	22.09	-	-	224.94±21.24	4.66	221.39±4.10	6.17	218.76±20.53	7.28	217.00±17.37	8.03
7	223.27±17.30	5.37	183.57±54.18	22.20	-	-	224.23±25.39	4.96	215.78±0.25	8.55	211.50±28.14	10.36	215.54±42.67	8.64
8	221.29±2.45	6.21	127.85±19.72	45.81[b]	-	-	214.40±28.50	9.13	211.79±12.76	10.23	208.65±29.26	11.57	213.75±37.87	9.40
9	219.36±13.82	7.03	-	-	-	-	203.85±55.58	13.60	204.40±4.22	13.37	205.79±40.83	12.78	209.87±24.32	11.05
10	215.17±23.30	8.80	-	-	-	-	197.30±64.65	16.38	194.47±19.20	17.58	204.49±27.61	13.33	206.69±17.90	12.40
11	213.03±12.08	9.71	-	-	-	-	193.24±16.05	18.10	193.66±16.85	17.92	203.67±3.27	13.68	202.27±24.10	14.27
12	210.33±17.67	10.85[a]	-	-	-	-	187.17±16.70	20.67[a]	171.26±14.74	27.42[a]	201.46±17.20	14.62[a]	199.45±10.95	15.47[a]
ปริมาณตะกั่วที่ลดลง	25.61	-	108.09	-	99.34	-	48.77	-	64.68	-	34.48	-	36.49	-

หมายเหตุ - ชุดการทดลองดาวเรืองที่ไม่มีค่าเนื่องจากต้นดาวเรืองตาย

Limit Of Detection ; LOD : Pb = 0.0531, Limit Of Quantitation ; LOQ : Pb = 0.1136 , % Recovery ; 0.5 ppm. = 100 %, 1.0 ppm. = 100 %, 1.5 ppm. = 97 %

ตัวอักษรที่แตกต่างกัน (^{a,b}) แสดงความแตกต่างกันทางสถิติที่ ($p< 0.05$)

ตาราง 4.8 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติเปอร์เซนต์การลดลงของตะกั่ว

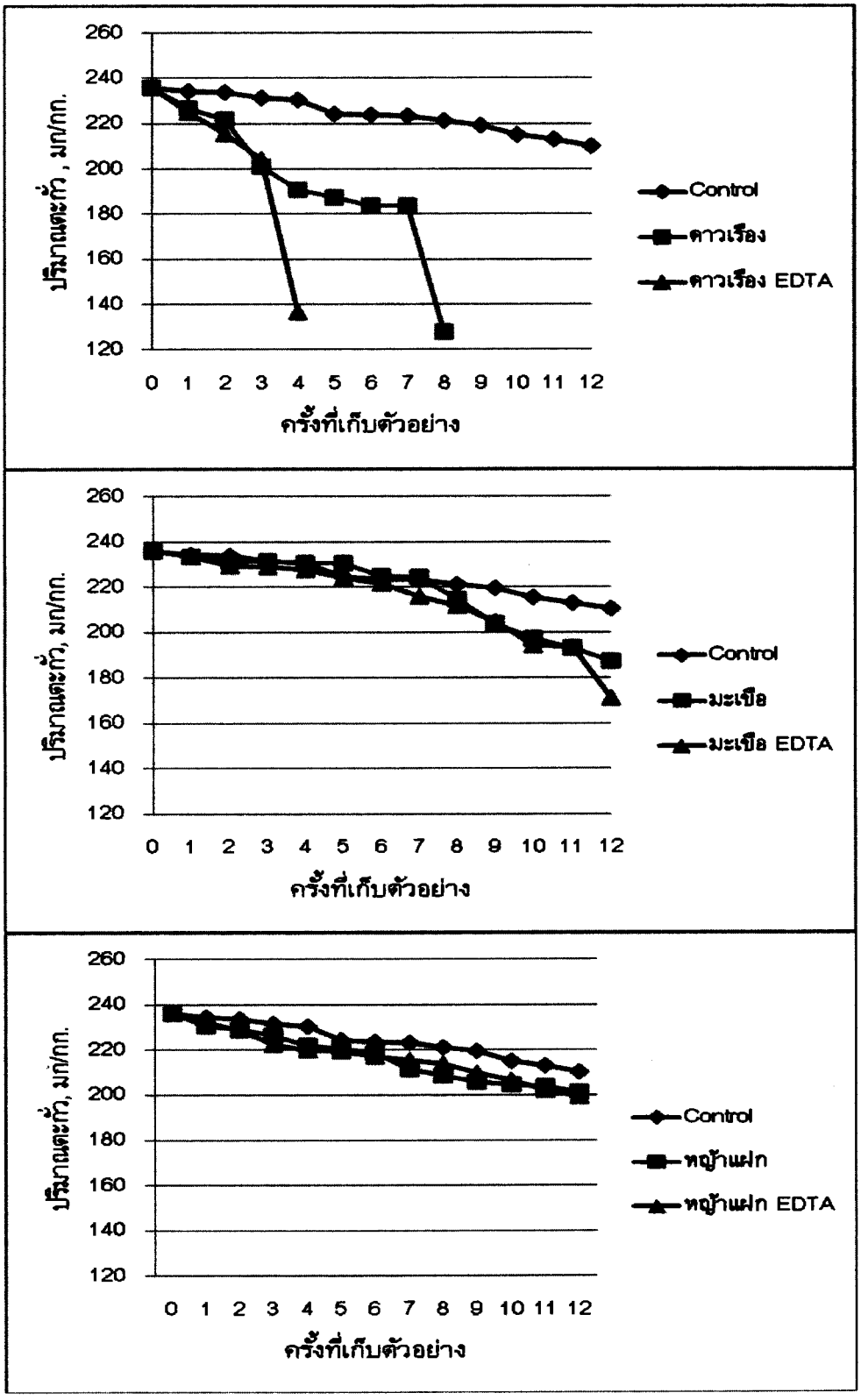
	Mean	Std.	F-test	Sig.
Control	4.90	3.58	2.51	0.03
ดาวเรือง	17.18*	13.63		
ดาวเรือง EDTA	13.74	16.61		
มะเขือ	7.46	7.26		
มะเขือ EDTA	8.97	8.09		
หญ้าแฝก	8.08	4.93		
หญ้าแฝก EDTA	7.90	4.68		

หมายเหตุ * แสดงความแตกต่างกันทางสถิติที่ ($p < 0.05$)

ตาราง 4.9 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติเปอร์เซนต์การลดลงของตะกั่ว

	Control	ดาวเรือง	ดาวเรือง EDTA	มะเขือ	มะเขือ EDTA	หญ้าแฝก	หญ้าแฝก EDTA
Control	-	12.27*	-	-	-	-	-
ดาวเรือง	-	-	-	-	-	-	-
ดาวเรือง EDTA	-	-	-	-	-	-	-
มะเขือ	-	-	-	-	-	-	-
มะเขือ EDTA	-	-	-	-	-	-	-
หญ้าแฝก	-	-	-	-	-	-	-
หญ้าแฝก EDTA	-	-	-	-	-	-	-

หมายเหตุ * แสดงความแตกต่างกันทางสถิติที่ ($p < 0.05$)



ภาพ 4.3 การลดลงของตะกั่วในดิน

4.1.4 ทองแดง (Cu)

จากการทดลอง พบว่า ปริมาณทองแดงของดินในทุกชุดการทดลองตั้งแต่สัปดาห์แรกจนถึงสัปดาห์ที่ 12 ของการทดลองมีปริมาณลดลง โดยในดินชุดควบคุม (Control) ลดลง 60.44 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (คิดเป็น 22.26 %) ดาวเรืองลดลง 54.21 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (คิดเป็น 19.96 %) ดาวเรืองที่เติมอีดีทีเอลดลง 42.69 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (คิดเป็น 15.72 %) จากการเปรียบเทียบในระยะเวลา 4 สัปดาห์ พบว่า ดาวเรืองที่เติมอีดีทีเอมีปริมาณทองแดงลดลงมากกว่าดาวเรืองที่ไม่เติมอีดีทีเอ 16.18 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ในขณะที่มะเขือลดลง 136.15 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (คิดเป็น 50.14 %) มะเขือที่เติมอีดีทีเอลดลง 145.78 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (คิดเป็น 53.68 %) และหญ้าแฝกลดลง 122.52 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (คิดเป็น 45.12 %) หญ้าแฝกที่เติมอีดีทีเอลดลง 137.65 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (คิดเป็น 50.69 %) ดังตาราง 4.11 จากการเปรียบเทียบเปอร์เซนต์การลดลงของทองแดงทางสถิติ พบว่า ในทุกชุดการทดลองไม่แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ดังตาราง 4.10

จากการศึกษาปริมาณทองแดงในดินในพื้นที่กำจัดขยะมีปริมาณเท่ากับ 271.55 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ซึ่งใกล้เคียงกับ Rizo et al., (2011) ที่ได้รายงานไว้ว่าปริมาณทองแดงในดินจากบ่อฝังกลบขยะในเมืองฮาวานา เท่ากับ 252 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และดวงกมล คำสอน และชมพูนุช ไชยรักษ์ (2556) รายงานไว้ว่าปริมาณทองดินจากจังหวัดนครศรีธรรมราช เท่ากับ 350 มิลลิกรัม/กิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบปริมาณทองแดงกับเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้ประเมินโครงการดินดีชีวีปลอดภัยของกรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ พบว่าเกินเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพดิน เนื่องจากมีปริมาณทองแดงในดินต้องไม่เกิน 45 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

ทองแดงเป็นจุลธาตุที่จำเป็นสำหรับพืชธาตุหนึ่ง เนื่องจากทองแดงมีบทบาทสำคัญในกระบวนการสังเคราะห์แสง กระบวนการสร้างคลอโรฟิลล์ เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของเอนไซม์หลายชนิด มีบทบาทสำคัญต่อขบวนการเปลี่ยนแปลงของราก เมื่อพืชขาดทองแดงใบอ่อนมีลักษณะคลอโรซีส และใบม้วนงอ ยอดของต้นพืชจะมีอาการยอดแห้งตาย พืชจะไม่ออกรวง ถ้าออกรวงเมล็ดจะลีบ พืชจะไม่เจริญเติบโตเต็มที่ ถ้าพืชได้รับทองแดงมากเกินไปจนเป็นพิษพืชจะแคระแกรน การแตกกิ่งก้านจะน้อยลง (บุณแสน เตียวนุกูลธรรม, ม.ป.ป.) ซึ่งทองแดงมีความสำคัญมากสำหรับพืช แต่พืชต้องการในปริมาณน้อย ในสภาวะที่ดินมีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ต่ำๆ ทองแดงจะมีประโยชน์ต่อพืชได้มากขึ้น (ชัยฤกษ์ สุวรรณรัตน์, 2536)

ตาราง 4.10 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติเปอร์เซนต์การลดลงของทองแดง

	Mean	Std.	F-test	Sig.
Control	9.81	6.85	1.94	0.09
ดาวเรือง	11.17	6.24		
ดาวเรือง EDTA	8.28	6.33		
มะเขือ	22.36	16.19		
มะเขือ EDTA	20.88	17.34		
หญ้าแฝก	21.06	15.86		
หญ้าแฝก EDTA	20.17	16.27		

หมายเหตุ ($p < 0.05$)

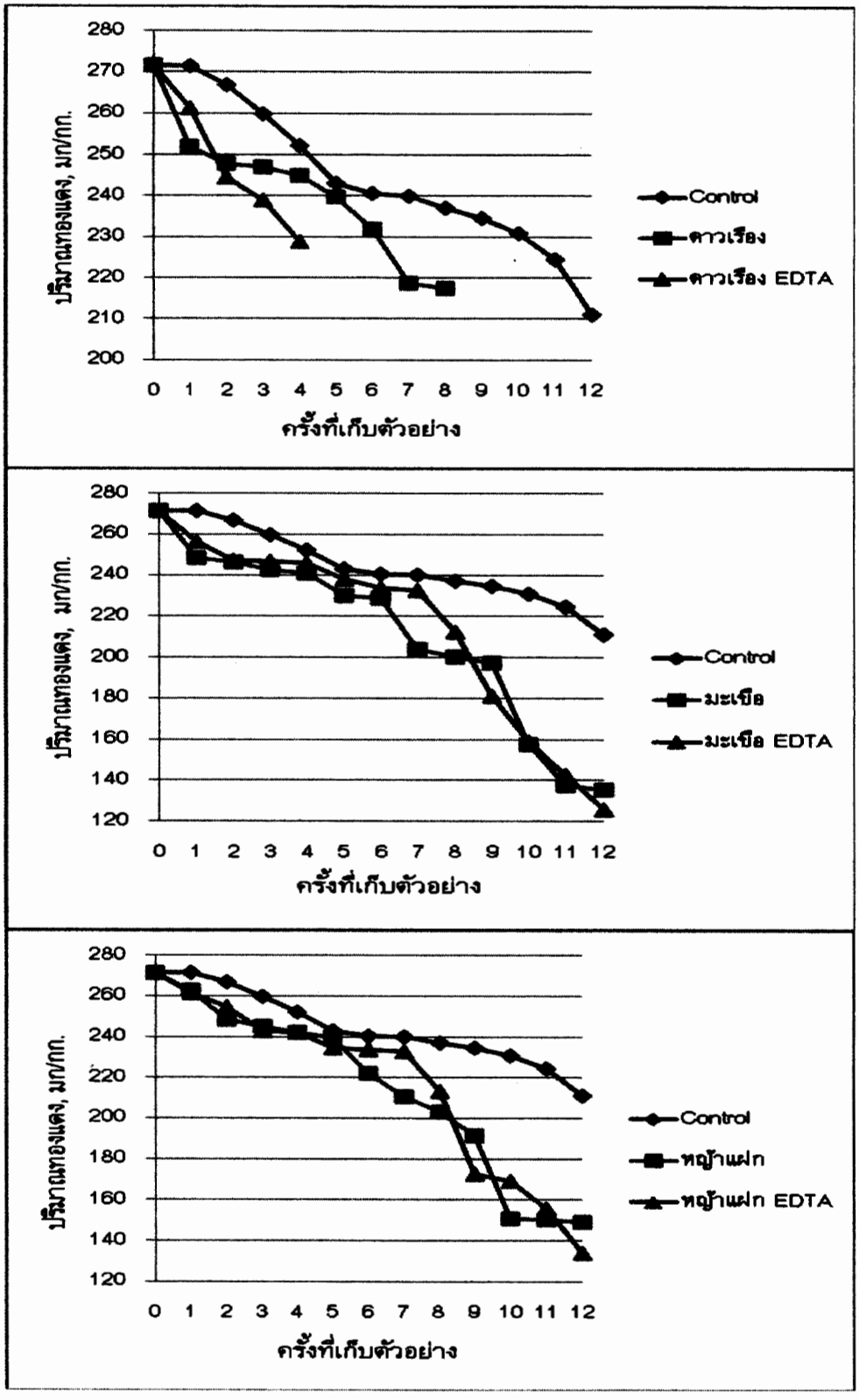
ตาราง 4.11 ทองแดง (Cu) (มิลลิกรัม/กิโลกรัม) ในแต่ละชุดการทดลอง

ครั้งที่	Control	% ลดลง	ดาวเรือง	% ลดลง	ดาวเรือง EDTA	% ลดลง	มะเขือ	% ลดลง	มะเขือ EDTA	% ลดลง	หญ้าแฝก	% ลดลง	หญ้าแฝก EDTA	% ลดลง
0	271.55±26.03	0.00	271.55±26.03	0.00	271.55±26.03	0.00	271.55±26.03	0.00	271.55±26.03	0.00	271.55±26.03	0.00	271.55±26.03	0.00
1	271.50±7.96	0.02	251.90±2.05	7.24	261.28±17.27	3.78	248.38±19.37	8.53	256.58±11.92	5.51	262.49±4.23	3.34	261.40±21.73	3.74
2	266.99±3.71	1.68	247.82±8.39	8.74	244.58±16.99	9.93	246.27±20.34	9.31	247.04±15.34	9.03	248.48±19.11	8.50	254.88±4.19	6.14
3	259.79±11.35	4.33	247.06±0.35	9.02	239.05±11.22	11.97	242.29±25.91	10.63	246.57±15.41	9.20	244.89±20.21	9.82	242.87±17.81	10.56
4	252.24±18.22	7.11	245.04±18.39	9.76	228.86±18.60	15.72[a]	240.79±12.62	11.33	245.90±20.93	9.45	242.26±11.35	10.79	242.09±19.48	10.85
5	243.13±17.77	10.46	239.78±25.13	11.70	-	-	229.97±29.95	15.31	238.16±17.19	12.30	239.71±29.88	11.72	234.43±18.42	13.67
6	240.62±17.63	11.39	231.84±9.42	14.62	-	-	228.91±34.75	15.70	233.96±14.00	13.84	222.09±13.26	18.21	233.59±5.54	13.98
7	239.89±9.51	11.66	218.60±5.77	19.50	-	-	204.26±39.73	24.78	232.70±25.07	14.31	210.83±25.70	22.36	232.84±12.62	14.26
8	237.00±6.25	12.72	217.34±10.13	19.96[a]	-	-	200.24±5.26	26.26	212.31±5.62	21.81	203.09±26.56	25.21	213.01±19.44	21.56
9	234.52±10.69	13.64	-	-	-	-	197.40±50.00	27.31	181.15±24.29	33.29	191.35±46.14	29.54	172.47±11.37	36.49
10	230.95±10.27	14.95	-	-	-	-	157.46±16.05	42.01	158.87±31.29	41.49	150.77±10.48	44.48	169.20±32.33	37.69
11	224.43±7.42	17.35	-	-	-	-	137.56±21.04	49.34	142.58±34.37	47.49	150.17±23.16	44.70	155.91±18.70	42.58
12	211.11±2.75	22.26[a]	-	-	-	-	135.40±26.20	50.14[a]	125.77±19.39	53.68[a]	149.03±19.77	45.12[a]	133.90±10.33	50.69[a]
ปริมาณทองแดงที่ลดลง	60.44	-	54.21	-	42.69	-	136.15	-	145.78	-	122.52	-	137.65	-

หมายเหตุ - ชุดการทดลองดาวเรืองที่ไม่มีค่าเนื่องจากต้นดาวเรืองตาย

Limit Of Detection ; LOD : Cu = 0.0319, Limit Of Quantitation ; LOQ : Cu = 0.0699, % Recovery ; 0.5 ppm. = 100 %, 1.0 ppm. = 100 %, 1.5 ppm. = 97 %

ตัวอักษรที่แตกต่างกัน (^{a,b}) แสดงความแตกต่างกันทางสถิติที่ ($p< 0.05$)



ภาพ 4.4 การลดลงของทองแดงในดิน

4.1.5 แคดเมียม (Cd)

จากการทดลอง พบว่า ปริมาณแคดเมียมของดินในชุดควบคุม (Control) ลดลง 8.72 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (คิดเป็น 48.27%) ดาวเรืองลดลง 8.58 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (คิดเป็น 47.54%) ดาวเรืองที่เติมอีดีทีเอลดลง 8.34 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (คิดเป็น 46.19%) จากการเปรียบเทียบในระยะเวลา 4 สัปดาห์ พบว่า ดาวเรืองที่เติมอีดีทีเอมีปริมาณแคดเมียมลดลงมากกว่าดาวเรืองที่ไม่เติมอีดีทีเอ 1.68 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ในขณะที่มะเขือลดลง 12.96 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (คิดเป็น 71.76%) มะเขือที่เติมอีดีทีเอลดลง 14.43 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (คิดเป็น 79.91%) และหญ้าแฝกลดลง 8.14 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (คิดเป็น 45.09%) หญ้าแฝกที่เติมอีดีทีเอลดลง 8.31 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (คิดเป็น 46.03%) ดังตาราง 4.13 จากการเปรียบเทียบเปอร์เซนต์การลดลงของปริมาณแคดเมียมทางสถิติ พบว่า ในทุกชุดการทดลองไม่แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ดังตาราง 4.12

จากการศึกษาปริมาณแคดเมียมในดินในพื้นที่กำจัดขยะมีปริมาณเท่ากับ 18.06 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ซึ่งใกล้เคียงกับ ชิดชนก อัศวโภคี (2550) รายงานว่าพบที่บ้านท่าแฉลบ อำเภอนครชัยศรี จังหวัดนครปฐม เท่ากับ 17 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ซึ่งถือว่าเป็นปริมาณที่สูงมาก โดยปริมาณแคดเมียมในดินโดยทั่วไปมีค่าเฉลี่ยระหว่าง 0.07-1.0 มิลลิกรัม/กิโลกรัม สำหรับดินที่มีการปนเปื้อนจะมีปริมาณแคดเมียมโดยเฉลี่ยคือ 0.53 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, 2540) สำหรับเกณฑ์มาตรฐานการปนเปื้อนของแคดเมียมที่ยอมให้มีในดินของประชาคมเศรษฐกิจยุโรปมีค่าเท่ากับ 3 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (กรมควบคุมมลพิษ, 2549) ปริมาณแคดเมียมที่สูงอาจมาจากกิจกรรมด้านการเกษตรกรรมในพื้นที่ แคดเมียมเป็นส่วนผสมของสารเคมีที่ใช้ปราบศัตรูพืช สารฆ่าเชื้อรา และเป็นส่วนผสมในปุ๋ยฟอสเฟตที่ใช้ในการเกษตร (คะนึงนิจ นิชานนท์ และ ฉันทนา ผดุงทศ, 2548) และการปนเปื้อนของแคดเมียมในดินบริเวณพื้นที่กำจัดขยะนั้นมาจากน้ำชะขยะ เนื่องจากการจัดการขยะของเทศบาลตำบลในเมือง อำเภอพิชัย จังหวัดอุตรดิตถ์ ซึ่งไม่มีการคัดแยกขยะอันตรายออกไปกำจัดโดยวิธีอื่นที่ปลอดภัยกว่า ทำให้ประชาชนส่วนใหญ่เลือกทิ้งภาชนะใส่สารเคมีทางการเกษตรในถังขยะ ก่อนนำมากำจัดในพื้นที่นี้

แคดเมียมที่อยู่ในดินส่วนใหญ่จะอยู่ในสภาพที่แลกเปลี่ยนได้ ทำให้ศักยภาพ ในการเคลื่อนที่และแพร่กระจายของแคดเมียมสูงมาก แคดเมียมในดินถูกดูดซับโดยอนุภาคดินเหนียว กรดฮิวมิก เนื่องมาจากอนุภาคของดินเหนียวมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูง และมีประจุลบในการดูดซับกับแคดเมียมซึ่งเป็นแคทไอออนได้มาก นอกจากนี้การละลายได้ของแคดเมียมยังขึ้นอยู่กับออกไซด์ของเหล็ก อลูมินัม และปริมาณอินทรียวัตถุ เมื่อเปรียบเทียบแคดเมียมกับมาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัย และเกษตรกรรมของกรมควบคุมมลพิษตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 25 (พ.ศ. 2547) ที่กำหนดให้ดินจะต้องมีแคดเมียมปนเปื้อนไม่เกิน 37 มิลลิกรัม/กิโลกรัม จะเห็นได้ว่าดินในพื้นที่

กำจัดขยะของเทศบาลตำบลในเมือง อำเภอพิชัย จังหวัดอุดรดิตถ์ มีปริมาณแคดเมียมอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์ประเมินโครงการดินดีชีวีปลอดภัยของกรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ซึ่งเป็นเกณฑ์มาตรฐานโลหะหนักในดินเกษตรกรรมของประเทศไทย กำหนดให้แคดเมียมต้องมีค่าไม่เกิน 0.5 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (สุขสมาน สังโยคะ และคณะ, 2552) จะพบว่าดินในบ่อฝังกลบขยะมีปริมาณแคดเมียมเกินกว่าเกณฑ์มาตรฐานดินดีชีวีปลอดภัย จึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้เพื่อการเกษตร และยังต้องเฝ้าระวังไม่ให้น้ำชะขยะปนเปื้อนออกสู่พื้นที่ภายนอกเนื่องจากแคดเมียมเป็นโลหะหนักที่มีพิษ

ตาราง 4.12 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติเปอร์เซนต์การลดลงของแคดเมียม

	Mean	Std.	F-test	Sig.
Control	35.27	12.17	0.20	0.98
ดาวเรือง	32.90	15.66		
ดาวเรือง EDTA	34.47	19.36		
มะเขือ	35.64	17.04		
มะเขือ EDTA	35.79	18.31		
หญ้าแฝก	31.26	11.50		
หญ้าแฝก EDTA	31.66	12.94		

หมายเหตุ ($p < 0.05$)

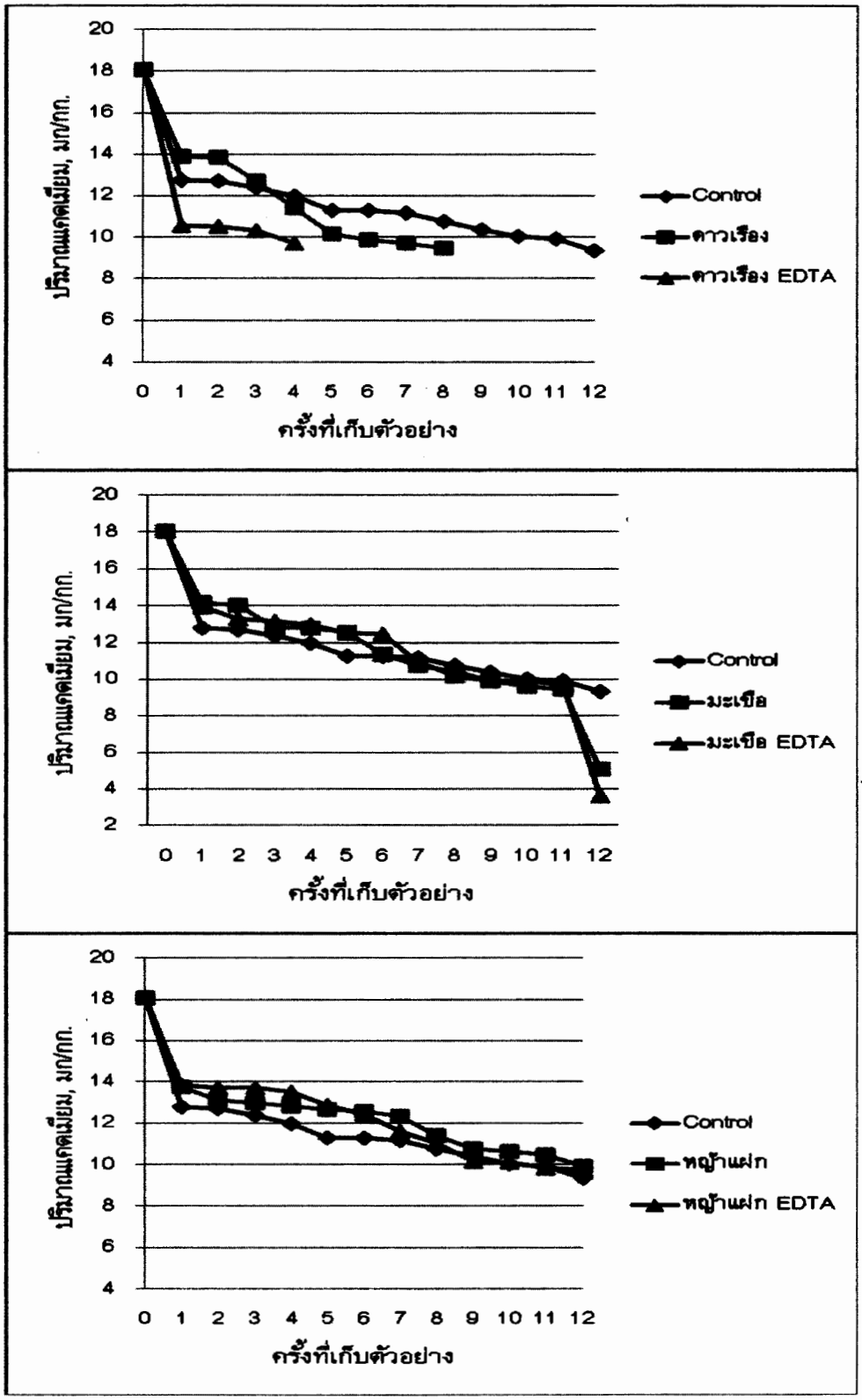
ตาราง 4.13 แคดเมียม (Cd) (มิลลิกรัม/กิโลกรัม) ในแต่ละชุดการทดลอง

ครั้งที่	Control	% ลดลง	ดาวเรือง	% ลดลง	ดาวเรือง EDTA	% ลดลง	มะเขือ	% ลดลง	มะเขือ EDTA	% ลดลง	หญ้าแฝก	% ลดลง	หญ้าแฝก EDTA	% ลดลง
0	18.06±1.18	0.00	18.06±1.18	0.00	18.06±1.18	0.00	18.06±1.18	0.00	18.06±1.18	0.00	18.06±1.18	0.00	18.06±1.18	0.00
1	12.77±0.75	29.32	13.87±2.08	23.20	10.56±0.28	41.51	14.18±0.98	21.51	13.92±1.64	22.92	13.77±1.80	23.77	13.81±0.69	23.52
2	12.70±1.11	29.69	13.85±1.04	23.30	10.50±1.01	41.87	14.05±1.52	22.19	13.31±0.63	26.29	13.09±1.41	27.52	13.70±0.36	24.17
3	12.38±1.13	31.48	12.70±0.47	29.69	10.33±0.75	42.79	12.82±0.79	29.04	13.16±1.01	27.12	12.99±1.38	28.09	13.70±1.04	24.13
4	11.98±0.68	33.68	11.40±0.76	36.90	9.72±0.53	46.19[a]	12.78±0.53	29.26	12.98±0.13	28.13	12.81±0.69	29.07	13.51±1.77	25.18
5	11.28±0.61	37.56	10.14±0.46	43.85	-	-	12.53±0.47	30.61	12.52±1.09	30.69	12.64±0.39	30.01	12.85±0.36	28.86
6	11.27±0.49	37.60	9.85±1.35	45.46	-	-	11.37±0.79	37.06	12.48±1.12	30.92	12.58±1.27	30.34	12.41±0.32	31.30
7	11.16±1.60	38.19	9.72±0.31	46.17	-	-	10.75±0.80	40.50	10.96±1.47	39.34	12.32±1.05	31.80	11.59±0.87	35.81
8	10.75±0.74	40.48	9.48±0.90	47.54[a]	-	-	10.46±1.05	42.11	10.21±0.75	43.48	11.40±0.63	36.89	11.02±1.15	39.01
9	10.37±0.62	42.57	-	-	-	-	9.94±1.06	44.96	9.94±0.70	44.95	10.74±1.64	40.55	10.15±0.87	43.78
10	10.02±1.46	44.55	-	-	-	-	9.61±0.45	46.79	9.91±1.02	45.11	10.62±1.21	41.22	10.09±0.87	44.16
11	9.92±0.87	45.09	-	-	-	-	9.47±0.83	47.56	9.67±0.39	46.44	10.48±0.25	41.97	9.81±0.60	45.69
12	9.34±0.84	48.27[a]	-	-	-	-	5.10±1.23	71.76[a]	3.63±0.58	79.91[a]	9.92±0.31	45.09[a]	9.75±0.77	46.03[a]
ปริมาณแคดเมียมที่ลดลง	8.72	-	8.58	-	8.34	-	12.96	-	14.43	-	8.14	-	8.31	-

หมายเหตุ - ชุดการทดลองดาวเรืองที่ไม่มีค่าเนื่องจากต้นดาวเรืองตาย

Limit Of Detection ; LOD : Cd = 0.0124, Limit Of Quantitation ; LOQ : Cd = 0.0315, % Recovery ; 0.5 ppm. = 100 %, 1.0 ppm. = 100 %, 1.5 ppm. = 97 %

ตัวอักษรที่แตกต่างกัน (^{a,b}) แสดงความแตกต่างกันทางสถิติที่ ($p< 0.05$)



ภาพ 4.5 การลดลงของแคดเมียมในดิน

4.1.6 สังกะสี (Zn)

จากการทดลอง พบว่า ปริมาณสังกะสีของดินในชุดควบคุม (Control) ลดลง 310.73 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (คิดเป็น 51.61%) ดาวเรืองลดลง 306.46 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (คิดเป็น 50.90 %) ดาวเรืองที่เติมอีดีทีเอลดลง 305.01 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (คิดเป็น 50.66%) จากการเปรียบเทียบในระยะเวลา 4 สัปดาห์ พบว่า ดาวเรืองที่เติมอีดีทีเอมีปริมาณสังกะสีลดลงมากกว่าดาวเรืองที่ไม่เติมอีดีทีเอ 24.96 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ในขณะที่มะเขือลดลง 310.60 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (คิดเป็น 51.59%) มะเขือที่เติมอีดีทีเอลดลง 313.10 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (คิดเป็น 52.00 %) หญ้าแฝกลดลง 309.25 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (คิดเป็น 51.37%) และหญ้าแฝกที่เติมอีดีทีเอลดลง 318.40 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (คิดเป็น 52.88%) ดังตาราง 4.15 จากการเปรียบเทียบเปอร์เซนต์การลดลงของปริมาณสังกะสีทางสถิติ พบว่า ในทุกชุดการทดลองไม่แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ดังตาราง 4.14

จากการศึกษาปริมาณสังกะสีในดินในพื้นที่กำจัดขยะมีปริมาณเท่ากับ 602.06 มิลลิกรัม/กิโลกรัม อภิชิต วิจักขณ์รัตนะ และคณะ (2552) ได้รายงานปริมาณสังกะสีจากหลุมฝังกลบขยะชุมชนของเทศบาลนครขอนแก่น ไว้มีปริมาณเท่ากับ 963 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และ Rizo et al., (2011) ที่รายงานปริมาณสังกะสีในดินจากบ่อฝังกลบขยะในเมืองฮาวานามีค่าเท่ากับ 489 มิลลิกรัม/กิโลกรัม สังกะสีเป็นธาตุอาหารในดิน มีปริมาณสูงเพราะสังกะสีเกิดขึ้นในดินในแร่ปฐมภูมิและดินเหนียว ซึ่งจะถูกดูดซับไว้อย่างเหนียวแน่นกับอินทรีย์วัตถุและดินเหนียว ส่วนสังกะสีที่ละลายได้มีอยู่น้อยมาก ซึ่งสังกะสีในดินทั่วไปจะมีอยู่ระหว่าง 20 - 50 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (สุพิดา และ จุรีรัตน์, ม.ป.ป.) จะเห็นได้ว่าการแพร่กระจายของสังกะสีมีแนวโน้มเหมือนกับแคดเมียม ตะกั่ว และทองแดง และเมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์ประเมินโครงการดินดีชีวีปลอดภัยของกรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ พบว่าเกินเกณฑ์มาตรฐาน เนื่องจากมีปริมาณสังกะสีในดินต้องไม่เกิน 100 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

สังกะสีเป็นจุลธาตุที่จำเป็นสำหรับพืชธาตุหนึ่ง เนื่องจากสังกะสีเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของเซลล์เมมเบรนและเอนไซม์บางชนิด เมื่อพืชขาดธาตุสังกะสี จะทำให้การเจริญเติบโตของพืชชะงัก ลำต้นแคระแกรน ใบเป็นสีเหลืองและม้วนงอ ถ้าขาดรุนแรงอาจทำให้ไม่ให้ผลผลิต ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ที่พืชสามารถนำเอาธาตุสังกะสีไปใช้ประโยชน์ได้มากที่สุดจะอยู่ในช่วง 5.5-6.0 เมื่อค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) สูงกว่า 6.0 ปริมาณที่เป็นประโยชน์ของธาตุสังกะสีจะเริ่มลดลง (บุณแสน เดียวนุกูลธรรม, ม.ป.ป.)

ตาราง 4.14 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติเปอร์เซนต์การลดลงของสังกะสี

	Mean	Std.	F-test	Sig.
Control	42.99	13.40	0.33	0.92
ดาวเรือง	40.66	15.66		
ดาวเรือง EDTA	34.42	19.80		
มะเขือ	43.24	13.52		
มะเขือ EDTA	43.33	13.50		
หญ้าแฝก	43.25	13.47		
หญ้าแฝก EDTA	43.64	13.71		

หมายเหตุ ($p < 0.05$)

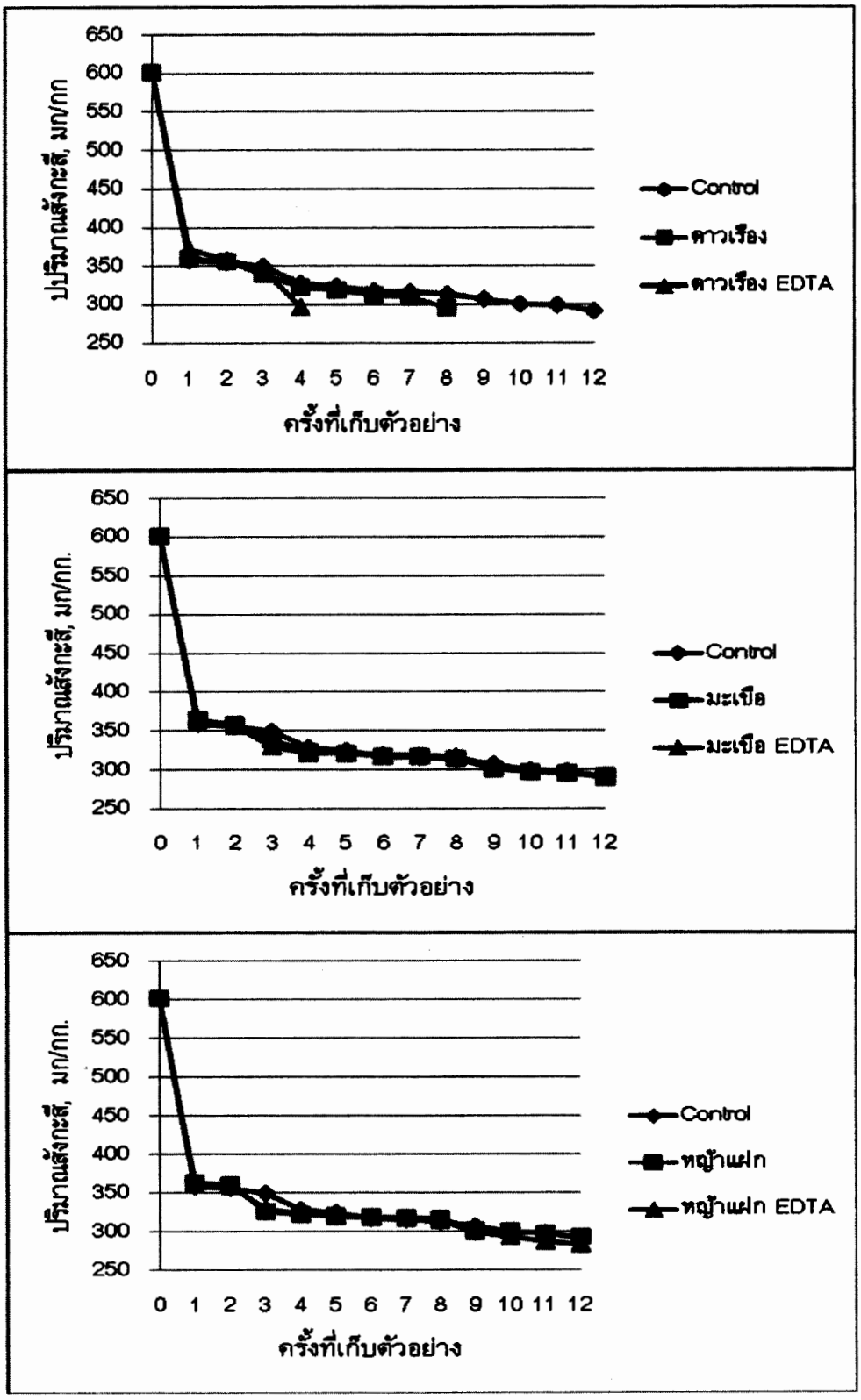
ตาราง 4.15 สังกะสี (Zn) (มิลลิกรัม/กิโลกรัม) ในแต่ละชุดการทดลอง

ครั้งที่	Control	% ลดลง	ดาวเรือง	% ลดลง	ดาวเรือง EDTA	% ลดลง	มะเขือ	% ลดลง	มะเขือ EDTA	% ลดลง	หญ้าแฝก	% ลดลง	หญ้าแฝก EDTA	% ลดลง
0	602.06±24.82	0.00	602.06±24.82	0.00	602.06±24.82	0.00	602.06±24.82	0.00	602.06±24.82	0.00	602.06±24.82	0.00	602.06±24.82	0.00
1	357.98±4.52	40.54	359.81±15.02	40.24	371.49±4.90	38.30	364.74±11.05	39.42	363.64±11.02	39.60	362.82±8.37	39.74	363.20±7.59	39.67
2	355.57±2.11	40.94	355.93±2.47	40.88	358.13±1.62	40.52	358.08±3.82	40.53	355.52±5.82	40.95	361.06±2.36	40.03	358.77±6.64	40.41
3	350.06±4.96	41.86	339.74±3.56	43.57	345.36±7.58	42.64	339.00±5.83	43.69	329.13±2.80	45.33	325.37±9.21	45.96	329.60±3.14	45.25
4	328.21±9.93	45.49	322.01±2.53	46.52	297.05±10.64	50.66[a]	323.18±7.84	46.32	320.91±6.89	46.70	322.03±9.68	46.51	323.36±14.68	46.29
5	324.20±8.14	46.15	318.97±8.73	47.02	-	-	320.65±11.40	46.74	320.51±6.32	46.76	320.69±6.41	46.73	319.15±9.71	46.99
6	317.55±5.05	47.26	311.97±3.94	48.18	-	-	317.42±5.21	47.28	319.88±6.90	46.87	319.43±3.37	46.94	318.85±3.68	47.04
7	316.20±4.44	47.48	309.20±4.18	48.64	-	-	316.66±5.07	47.40	318.94±4.46	47.02	317.90±5.24	47.20	317.58±4.27	47.25
8	313.85±2.19	47.87	295.60±6.88	50.90[a]	-	-	314.80±4.92	47.71	317.32±6.39	47.29	316.68±8.95	47.40	314.53±7.08	47.76
9	306.78±4.93	49.05	-	-	-	-	301.40±3.06	49.94	304.67±17.58	49.40	302.24±4.00	49.80	299.63±2.21	50.23
10	299.91±4.36	50.19	-	-	-	-	297.41±6.51	50.60	298.95±3.32	50.35	300.84±4.82	50.03	293.56±5.79	51.24
11	298.74±3.53	50.38	-	-	-	-	295.65±3.88	50.89	295.24±3.07	50.96	297.54±2.46	50.58	287.15±2.54	52.31
12	291.33±6.39	51.61[a]	-	-	-	-	291.46±2.55	51.59[a]	288.96±6.41	52.00[a]	292.81±6.97	51.37[a]	283.66±17.40	52.88[a]
ริมาณสังกะสีที่ลดลง	310.73	-	306.46	-	305.01	-	310.60	-	313.10	-	309.25	-	318.40	-

หมายเหตุ – ชุดการทดลองดาวเรืองที่ไม่มีค่าเนื่องจากต้นดาวเรืองตาย

Limit Of Detection ; LOD : Zn = 0.0077, Limit Of Quantitation ; LOQ : Zn = 0.0191, % Recovery ; 0.5 ppm. = 100 %, 1.0 ppm. = 100 %, 1.5 ppm. = 97 %

ตัวอักษรที่แตกต่างกัน (^{a,b}) แสดงความแตกต่างกันทางสถิติที่ ($p< 0.05$)



ภาพ 4.6 การลดลงของสังกะสีในดิน

4.1.7 เหล็ก (Fe)

จากการทดลอง พบว่า ปริมาณเหล็กของดินในชุดควบคุม (Control) ลดลง 1,745.41 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (คิดเป็น 45.18%) ดาวเรืองลดลง 1,803.76 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (คิดเป็น 46.69 %) ดาวเรืองที่เติมอีดีทีเอลดลง 1,671.28 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (คิดเป็น 43.26%) จากการเปรียบเทียบในระยะเวลา 4 สัปดาห์ พบว่า ดาวเรืองที่เติมอีดีทีเอมีปริมาณเหล็กลดลงมากกว่าดาวเรืองที่ไม่เติมอีดีทีเอ 20.92 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ในขณะที่มะเขือลดลง 1,904.23 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (คิดเป็น 49.29 %) มะเขือที่เติมอีดีทีเอลดลง 2,039.96 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (คิดเป็น 52.80%) และหญ้าแฝกลดลง 1,959.98 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (คิดเป็น 50.73%) หญ้าแฝกที่เติมอีดีทีเอลดลง 1,899.99 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (คิดเป็น 49.18%) ดังตาราง 4.17 จากการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การลดลงของปริมาณเหล็กทางสถิติ พบว่า ทุกชุดการทดลองไม่แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ดังตาราง 4.16

จากการศึกษาปริมาณเหล็กในดินในพื้นที่กำจัดขยะของเทศบาลตำบลในเมือง อำเภอพิชัย จังหวัดอุตรดิตถ์ มีปริมาณเท่ากับ 3,863.61 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ซึ่งเป็นปริมาณที่สูงมาก โดยเหล็กมีแหล่งกำเนิดคือเป็นส่วนประกอบของแร่ปฐมภูมิและอินทรียวัตถุในดินเป็นส่วนประกอบที่ถูกตรึงอยู่กับแร่ดินเหนียวและฮิวมัส ถูกดูดซับอยู่ที่ผิวของอนุภาคปฐมภูมิของดิน ผิวของอินทรียวัตถุ และผิวของฮิวมัสในดิน ซึ่งสามารถเคลื่อนย้ายได้แต่ไม่ถูกชะล้างออกไปจากดิน และละลายในรูปไอออนอิสระและคีเลตในสารละลายดิน เหล็กในดินส่วนใหญ่จะอยู่ในสภาพของกลุ่มแร่ปฐมภูมิที่เป็นพวก Ferromagnesian Silicate กลุ่มของแร่ปฐมภูมิที่เป็นพวกออกไซด์ของเหล็กและองค์ประกอบของแร่ทุติยภูมิโดยเฉพาะในแร่ดินเหนียว (ชัยฤกษ์ สุวรรณรัตน์, 2536)

เหล็กเป็นจุลธาตุที่มีปริมาณมากที่สุดในดิน มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช เนื่องจากเหล็กมีบทบาทสำคัญในขบวนการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ เป็นส่วนประกอบสำคัญของเอนไซม์ มีความสำคัญต่อกระบวนการการเปลี่ยนแปลง อาร์ เอน เอ ของคลอโรพลาสต์ เมื่อพืชขาดธาตุเหล็กใบจะเป็นสีเหลืองอ่อน และสีขาว จะพบทั้งต้น ใบล่างจะมีจุดสีน้ำตาล เริ่มจากจุดยอดและกระจายไปทั่ว และในกรณีที่พืชรับเหล็กมากเกินไป มักจะเกิดในดินที่ปลูกในดินกรด ในส่วนใบแก่จะแสดงอาการเป็นสีเงิน (Bronze) (บุณแสน เดียวนุกูลธรรม, ม.ป.ป.)

ตาราง 4.16 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติเปอร์เซนต์การลดลงของเหล็ก

	Mean	Std.	F-test	Sig.
Control	36.75	11.67	0.46	0.83
ดาวเรือง	36.98	14.52		
ดาวเรือง EDTA	30.49	17.74		
มะเขือ	38.42	12.43		
มะเขือ EDTA	41.03	13.11		
หญ้าแฝก	39.65	12.69		
หญ้าแฝก EDTA	37.32	12.39		

หมายเหตุ ($p < 0.05$)

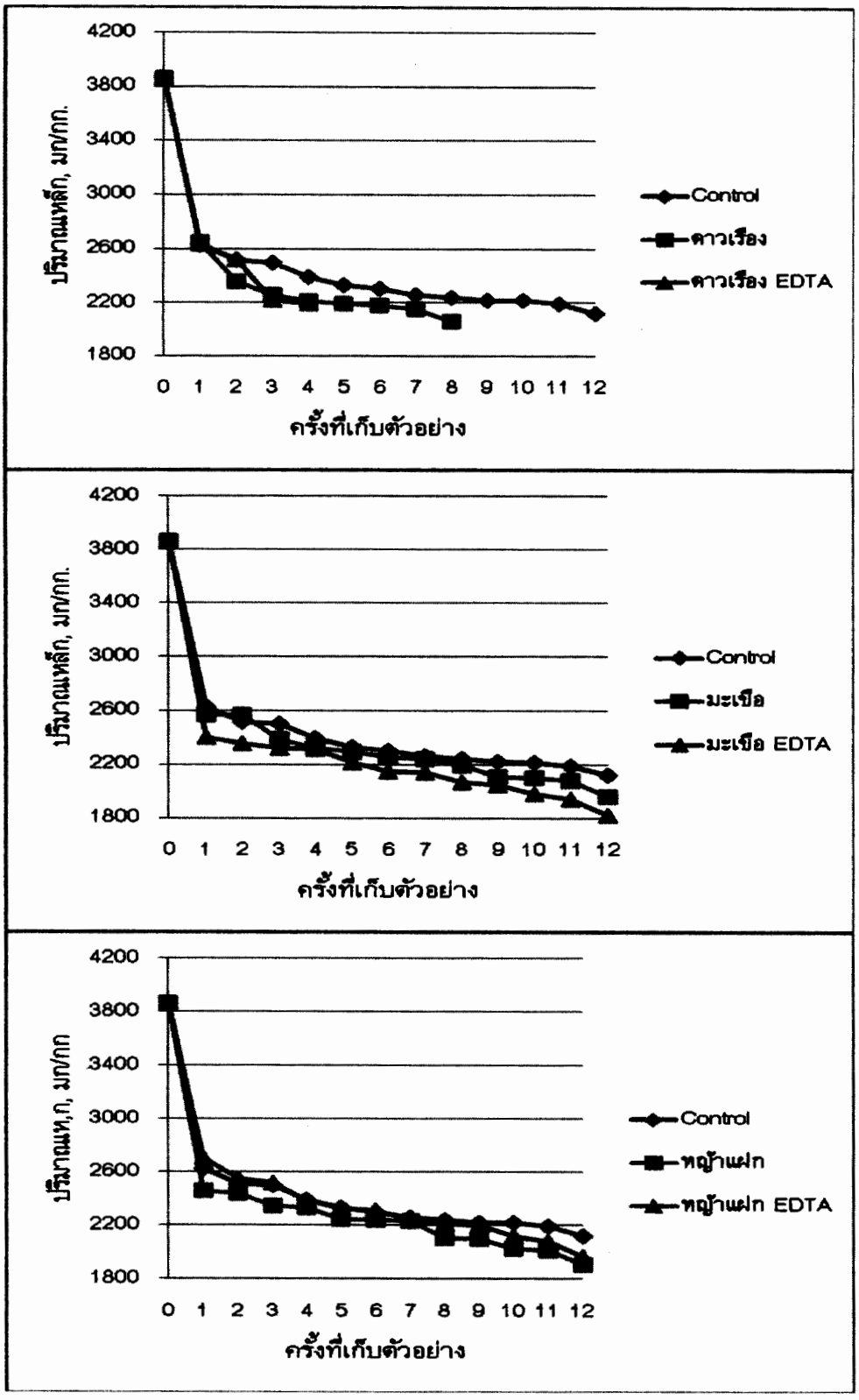
ตาราง 4.17 เหล็ก (Fe) (มิลลิกรัม/กิโลกรัม) ในแต่ละชุดการทดลอง

ครั้งที่	Control	% ลดลง	ดาวเรือง	% ลดลง	ดาวเรือง EDTA	% ลดลง	มะเขือ	% ลดลง	มะเขือ EDTA	% ลดลง	หญ้าแฝก	% ลดลง	หญ้าแฝก EDTA	% ลดลง
0	3863.61±232.01	0.00	3863.61±232.01	0.00	3863.61±232.01	0.00	3863.61±232.01	0.00	3863.61±232.01	0.00	3863.61±232.01	0.00	3863.61±232.01	0.00
1	2625.05±109.92	32.06	2644.50±114.58	31.55	2630.98±107.07	31.90	2565.37±213.76	33.60	2398.85±115.01	37.91	2459.45±181.01	36.34	2707.52±120.63	29.92
2	2512.25±122.71	34.98	2354.15±126.60	39.07	2522.88±107.11	34.70	2565.07±121.07	33.61	2352.58±129.80	39.11	2440.40±106.22	36.84	2554.43±117.41	33.88
3	2498.82±121.22	35.32	2254.82±118.01	41.64	2218.58±108.95	42.58	2385.72±111.63	38.25	2319.78±104.97	39.96	2346.98±143.76	39.25	2515.70±237.23	34.89
4	2391.97±109.25	38.09	2213.25±115.24	42.72	2192.33±103.23	43.26[a]	2318.87±110.80	39.98	2316.37±128.89	40.05	2331.67±115.73	39.65	2385.72±163.65	38.25
5	2330.12±315.06	39.69	2194.52±106.24	43.20	-	-	2291.68±111.51	40.69	2214.50±122.23	42.68	2244.20±111.18	41.91	2326.15±165.85	39.79
6	2301.98±324.69	40.42	2175.77±178.40	43.69	-	-	2251.49±107.31	41.73	2145.15±190.68	44.48	2242.00±147.80	41.97	2311.35±119.14	40.18
7	2258.87±157.67	41.53	2152.95±127.95	44.28	-	-	2240.13±135.57	42.02	2142.65±110.38	44.54	2231.68±148.45	42.24	2238.57±194.01	42.06
8	2239.52±194.32	42.04	2059.85±171.93	46.69[a]	-	-	2192.97±158.40	43.24	2065.78±121.63	46.53	2108.92±137.23	45.42	2214.83±119.22	42.67
9	2221.07±212.22	42.51	-	-	-	-	2111.10±111.70	45.36	2050.80±281.68	46.92	2099.85±105.49	45.65	2200.75±116.35	43.04
10	2216.68±110.56	42.63	-	-	-	-	2104.85±189.14	45.52	1984.87±176.23	48.63	2028.62±281.21	47.49	2121.72±109.94	45.08
11	2189.52±105.63	43.33	-	-	-	-	2078.90±135.23	46.19	1940.18±111.37	49.78	2009.25±107.81	48.00	2079.85±106.13	46.17
12	2118.20±143.12	45.18[a]	-	-	-	-	1959.38±101.97	49.29[a]	1823.65±204.83	52.80[a]	1903.63±120.43	50.73[a]	1963.62±108.11	49.18[a]
ปริมาณเหล็กที่ลดลง	1745.41	-	1803.76	-	1671.28	-	1904.23	-	2039.96	-	1959.98	-	1899.99	-

หมายเหตุ - ชุดการทดลองดาวเรืองที่ไม่มีค่าเนื่องจากต้นดาวเรืองตาย

Limit Of Detection ; LOD : Fe = 0.0576, Limit Of Quantitation ; LOQ : Fe = 0.1522, % Recovery ; 0.5 ppm. = 100 %, 1.0 ppm. = 100 %, 1.5 ppm. = 97 %

ตัวอักษรที่แตกต่างกัน (^{a,b}) แสดงความแตกต่างกันทางสถิติที่ ($p< 0.05$)



ภาพ 4.7 การลดลงของเหล็กในดิน

การดูดซึมโลหะหนักของพืช ซึ่งมีความสัมพันธ์กับค่าความเป็นกรด–ด่าง (pH) ในดิน (Zimdahl and Hassett, 1977) โดยค่า pH ของดิน เป็นค่าที่ใช้บอกถึงสภาพความเป็นกรด-ด่างของดิน ช่วงของ pH ของดินโดยทั่วไปจะมีค่าอยู่ระหว่าง 3.0-9.0 ค่า pH 7.0 บอกถึงสภาพความเป็นกลางของดิน กล่าวคือดินมีตัวที่ทำให้เป็นกรดและตัวที่ทำให้เป็นด่างอยู่ในปริมาณที่เท่ากันพอดี ค่าที่ต่ำกว่า 7.0 บอกสภาพความเป็นกรดของดิน ค่า pH ของดินที่ลดลงเท่าใดสภาพความเป็นกรดก็จะยิ่งรุนแรงยิ่งขึ้นเท่านั้น เช่นเดียวกับดินที่มี pH สูงกว่า 7.0 ก็จะบอกสภาพความเป็นด่าง ตัวที่แสดงความเป็นกรดคือไฮโดรเจนไอออน (H^+) ซึ่งมีอิทธิพลอย่างมากในการทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่สำคัญทางเคมีของดิน กล่าวคือทำให้มีการละลายตัวของธาตุหรือสารต่างๆ ในดินออกมา บ้างก็เป็นประโยชน์ บ้างก็อาจเป็นพิษต่อพืช ความเป็นประโยชน์ต่อธาตุอาหารต่างๆ ในดินที่พืชจะดึงดูดเอาไปใช้ได้ง่ายและมากน้อยแค่ไหน ขึ้นอยู่กับสภาพหรือระดับ pH ของดินเป็นอย่างมาก ความสำคัญของ pH ของดินยังเกี่ยวข้องอยู่กับการทำงานที่เป็นประโยชน์ของจุลินทรีย์ต่างๆ ในดินด้วย (สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชนฯ เล่มที่ 18) และอุณหภูมิยังมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของอัตราการคายน้ำ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นพืชจะคายน้ำมากยิ่งขึ้น และจะมีผลต่อการสะสมธาตุโลหะหนักของพืช เพราะการสะสมโลหะหนักเข้าสู่รากพืชนั้นใช้แรงดึงจากการคายน้ำร่วมด้วย (วราภรณ์ ฉุนฉาย, 2551) ซึ่งสอดคล้องกับ อลิสา วังใน (2554) ที่ได้กล่าวว่าอุณหภูมิเป็นปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการย่อยสลายสารมลพิษ (Biodegradation Rate) โดยจะแปรผันตรงระหว่างอัตราการเกิดปฏิกิริยาและการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ สำหรับปฏิกิริยาทางชีวภาพนั้น การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิจนถึงระดับหนึ่งส่งผลให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาในจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นด้วย นอกจากนั้นแล้วการเพิ่มอุณหภูมิขึ้นยังทำให้สารมลพิษที่ส่วนใหญ่มีสมบัติการละลายน้ำต่ำและเป็นสารไฮโดรโฟบิก มีการละลายน้ำออกมามากขึ้น ทำให้จุลินทรีย์สามารถดูดซึมเพื่อย่อยสลายได้มากขึ้นด้วย (Increase Bioavailability) และเนื่องจากอุณหภูมิมีผลต่อโครงสร้างและการทำงานของเอนไซม์ในวิถีเมทาบอลิซึมต่างๆ ของจุลินทรีย์ ดังนั้นการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิที่สูงเกินไปจึงมีผลเสียต่อความเสถียรของโครงสร้างและการทำงานของเอนไซม์ ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส อัตราการทำงานของวิถีเมทาบอลิซึมในจุลินทรีย์จะเป็นไปอย่างช้าๆ ส่งผลให้การย่อยสลายสารมลพิษเกิดขึ้นได้อย่างช้ามาก การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิส่งผลให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นจนถึงจุดสูงสุดซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดของการเกิดปฏิกิริยา (Optimum Temperature) ซึ่งอัตราการเกิดการย่อยสลายสารมลพิษจะเกิดได้อย่างสูงสุด และเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นต่อไปจะมีผลต่อระบบเอนไซม์ของจุลินทรีย์ ทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาลดลง (อลิสา วังใน, 2554)

4.2 การสะสมโลหะหนักในพืช

4.2.1 ปริมาณโลหะหนักที่สะสมในพืชก่อนปลูกในชุดการทดลอง

4.2.1.1 ตะกั่ว (Pb) มิลลิกรัม/กิโลกรัม

จากการทดลอง พบว่า ปริมาณตะกั่วที่สะสมอยู่ในดาวเรือง เท่ากับ 29.86 มิลลิกรัม/กิโลกรัม มะเขือเท่ากับ 18.75 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และหญ้าแฝกเท่ากับ 9.21 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ซึ่งสามารถแยกตามส่วนประกอบต่างๆ ของพืชได้ดังนี้ รากดาวเรือง 17.50 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ลำต้นดาวเรือง 4.27 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และใบดาวเรือง 8.09 มิลลิกรัม/กิโลกรัม รากมะเขือ 11.09 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ลำต้นมะเขือ 4.48 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และใบมะเขือ 3.18 มิลลิกรัม/กิโลกรัม รากหญ้าแฝก 6.18 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และใบหญ้าแฝก 3.03 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ดังตาราง 4.18

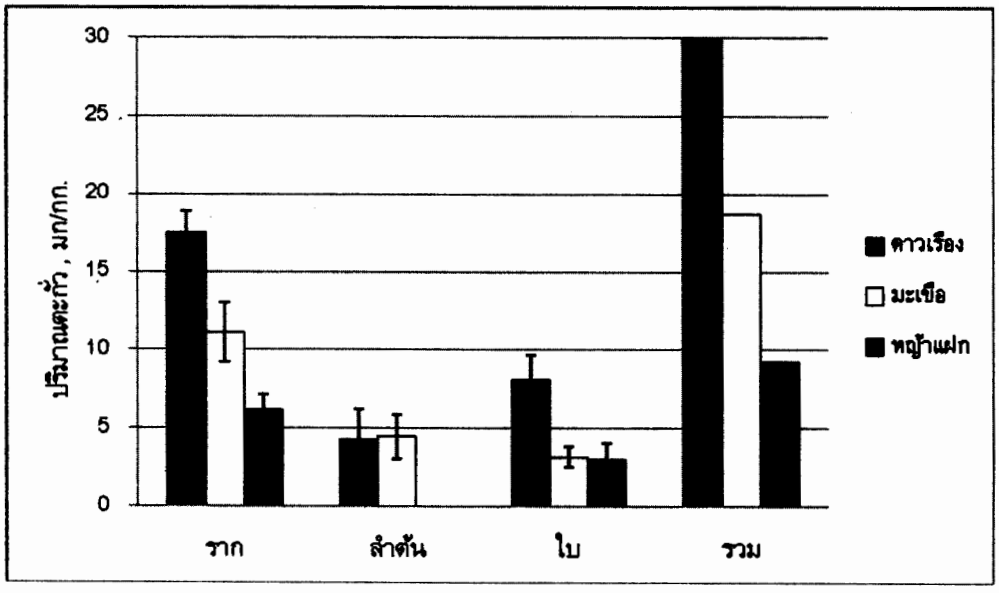
ตาราง 4.18 ปริมาณตะกั่ว (Pb) ที่สะสมในพืชก่อนปลูก (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)

ส่วนประกอบของพืช	ดาวเรือง	มะเขือ	หญ้าแฝก
ราก	17.50±1.41	11.09±1.92	6.18±0.94
ลำต้น	4.27±1.93	4.48±1.41	-
ใบ	8.09±1.58	3.18±0.64	3.03±1.04
ปริมาณโลหะหนัก(รวม)	29.86	18.75	9.21

หมายเหตุ – ชุดการทดลองหญ้าแฝกที่ไม่มีค่าเนื่องจากหญ้าแฝกไม่มีลำต้น

Limit Of Detection ; LOD : Pb = 0.0531, Limit Of Quantitation ; LOQ : Pb = 0.1136

% Recovery ; 0.5 ppm. = 100 %, 1.0 ppm. = 100 %, 1.5 ppm. = 97 %



ภาพ 4.8 ปริมาณตะกั่ว (Pb) ที่สะสมในพืชก่อนปลูก

4.2.1.2 ทองแดง (Cu) มิลลิกรัม/กิโลกรัม

จากการทดลอง พบว่า ปริมาณทองแดงที่สะสมอยู่ในดาวเรือง เท่ากับ 60.15 มิลลิกรัม/กิโลกรัม มะเขือเท่ากับ 60.08 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และหญ้าแฝกเท่ากับ 13.75 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ซึ่งสามารถแยกตามส่วนประกอบต่างๆ ของพืชได้ดังนี้ รากดาวเรือง 26.31 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ลำต้นดาวเรือง 12.11 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และใบดาวเรือง 21.73 มิลลิกรัม/กิโลกรัม รากมะเขือ 27.80 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ลำต้นมะเขือ 13.61 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และใบมะเขือ 18.67 มิลลิกรัม/กิโลกรัม รากหญ้าแฝก 8.71 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และใบหญ้าแฝก 5.04 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ดังตาราง 4.19

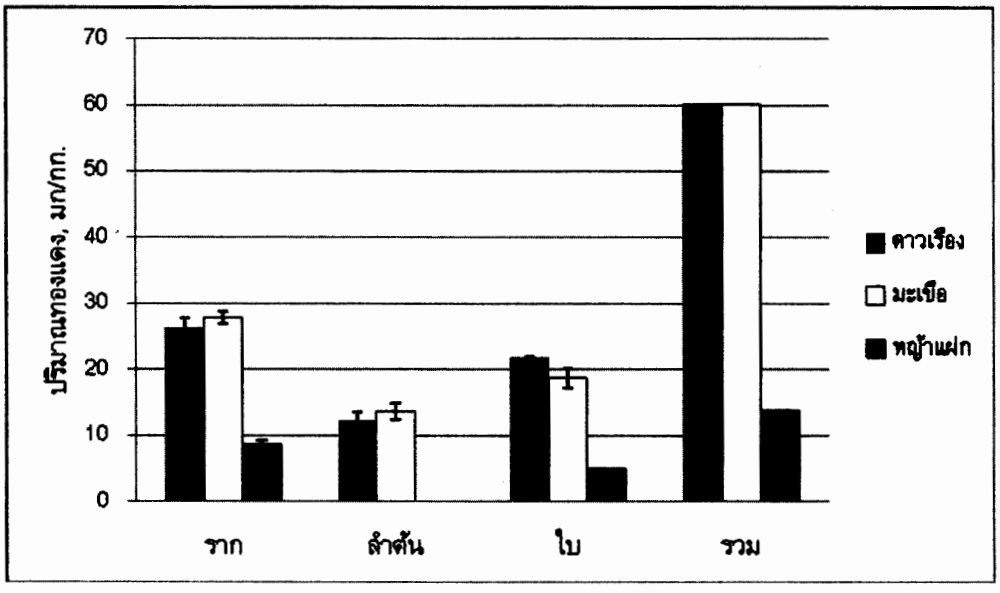
ตาราง 4.19 ปริมาณทองแดง (Cu) ที่สะสมในพืชก่อนปลูก (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)

ส่วนประกอบของพืช	ดาวเรือง	มะเขือ	หญ้าแฝก
ราก	26.31±1.40	27.80±0.91	8.71±0.45
ลำต้น	12.11±1.34	13.61±1.27	-
ใบ	21.73±0.21	18.67±1.48	5.04±0.04
ปริมาณโลหะหนัก(รวม)	60.15	60.08	13.75

หมายเหตุ – ชุดการทดลองหญ้าแฝกที่ไม่มีค่าเนื่องจากหญ้าแฝกไม่มีลำต้น

Limit Of Detection ; LOD : Cu = 0.0319, Limit Of Quantitation ; LOQ : Cu = 0.0699

% Recovery ; 0.5 ppm. = 100 %, 1.0 ppm. = 100 %, 1.5 ppm. = 97 %



ภาพ 4.9 ปริมาณทองแดง (Cu) ที่สะสมในพืชก่อนปลูก

4.2.1.3 แคดเมียม (Cd) มิลลิกรัม/กิโลกรัม

จากการทดลอง พบว่า ปริมาณแคดเมียมที่สะสมอยู่ในดาวเรือง เท่ากับ 15.62 มิลลิกรัม/กิโลกรัม มะเขือเท่ากับ 0.50 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และหญ้าแฝกเท่ากับ 5.03 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ซึ่งสามารถแยกตามส่วนประกอบต่างๆ ของพืชได้ดังนี้ รากดาวเรือง 6.92 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ลำต้นดาวเรือง 4.52 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และใบดาวเรือง 4.18 มิลลิกรัม/กิโลกรัม รากมะเขือ 0.31 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ลำต้นมะเขือ 0.09 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และใบมะเขือ 0.10 มิลลิกรัม/กิโลกรัม รากหญ้าแฝก 2.66 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และใบหญ้าแฝก 2.37 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ดังตาราง 4.20

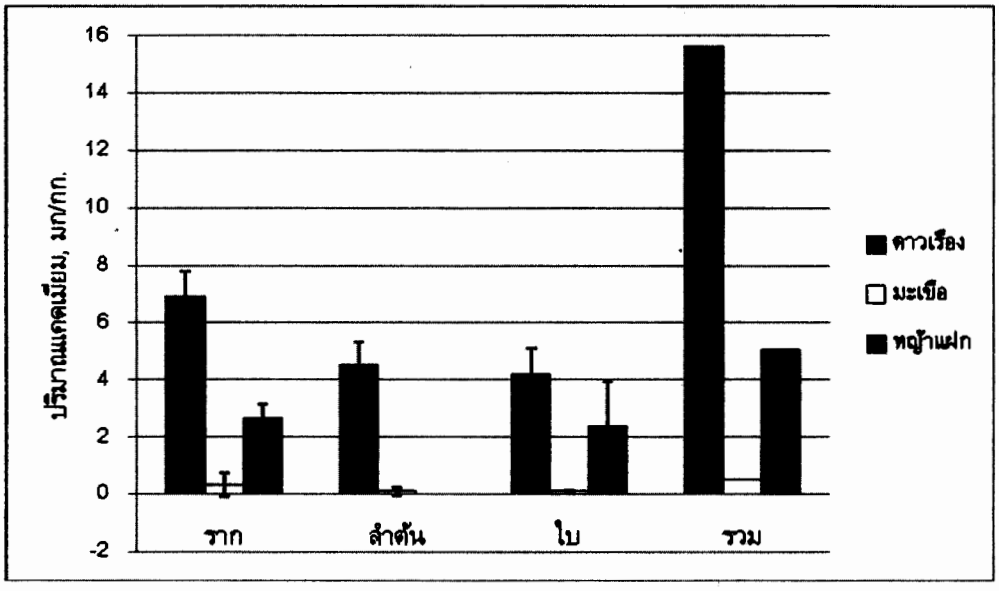
ตาราง 4.20 ปริมาณแคดเมียม (Cd) ที่สะสมในพืชก่อนปลูก (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)

ส่วนประกอบของพืช	ดาวเรือง	มะเขือ	หญ้าแฝก
ราก	6.92±0.85	0.31±0.41	2.66±0.46
ลำต้น	4.52±0.81	0.09±0.14	-
ใบ	4.18±0.91	0.10±0.01	2.37±1.54
ปริมาณโลหะหนัก(รวม)	15.62	0.50	5.03

หมายเหตุ – ชุดการทดลองหญ้าแฝกที่ไม่มีค่าเนื่องจากหญ้าแฝกไม่มีลำต้น

Limit Of Detection ; LOD : Cd = 0.0124, Limit Of Quantitation ; LOQ : Cd = 0.0315

% Recovery ; 0.5 ppm. = 100 %, 1.0 ppm. = 100 %, 1.5 ppm. = 97 %



ภาพ 4.10 ปริมาณแคดเมียม (Cd) ที่สะสมในพืชก่อนปลูก

4.2.1.4 สังกะสี (Zn) มิลลิกรัม/กิโลกรัม

จากการทดลอง พบว่า ปริมาณสังกะสีที่สะสมอยู่ในดาวเรือง เท่ากับ 299.92 มิลลิกรัม/กิโลกรัม มะเขือเท่ากับ 165.64 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และหญ้าแฝก เท่ากับ 185.17 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ซึ่งสามารถแยกตามส่วนประกอบต่างๆ ของพืชได้ดังนี้ รากดาวเรือง 137.78 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ลำต้นดาวเรือง 74.15 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และใบดาวเรือง 87.99 มิลลิกรัม/กิโลกรัม รากมะเขือ 80.89 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ลำต้นมะเขือ 50.57 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และใบมะเขือ 34.18 มิลลิกรัม/กิโลกรัม รากหญ้าแฝก 118.53 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และใบหญ้าแฝก 66.64 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ดังตาราง 4.21

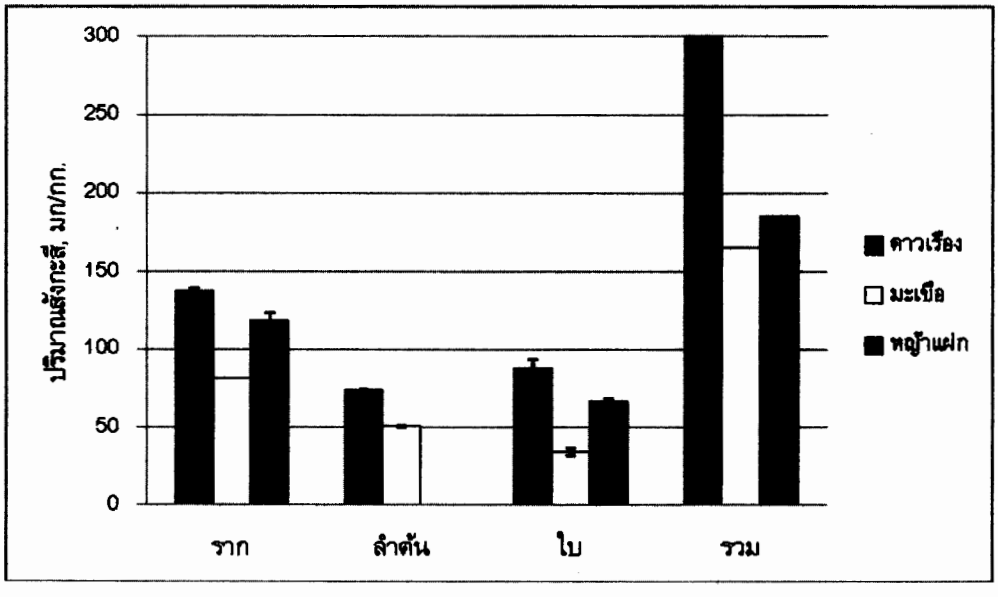
ตาราง 4.21 ปริมาณสังกะสี (Zn) ที่สะสมในพืชก่อนปลูก (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)

ส่วนประกอบของพืช	ดาวเรือง	มะเขือ	หญ้าแฝก
ราก	137.78±1.40	80.89±0.25	118.53±5.10
ลำต้น	74.15±0.38	50.57±0.67	-
ใบ	87.99±5.53	34.18±2.56	66.64±1.51
ปริมาณโลหะหนัก(รวม)	299.92	165.64	185.17

หมายเหตุ - ชุดการทดลองหญ้าแฝกที่ไม่มีค่าเนื่องจากหญ้าแฝกไม่มีลำต้น

Limit Of Detection ; LOD : Zn = 0.0077, Limit Of Quantitation ; LOQ : Zn = 0.0191

% Recovery ; 0.5 ppm. = 100 %, 1.0 ppm. = 100 %, 1.5 ppm. = 97 %



ภาพ 4.11 ปริมาณสังกะสี (Zn) ที่สะสมในพืชก่อนปลูก

4.2.1.5 เหล็ก (Fe) มิลลิกรัม/กิโลกรัม

จากการทดลอง พบว่า ปริมาณเหล็กที่สะสมอยู่ในดาวเรือง เท่ากับ 193.40 มิลลิกรัม/กิโลกรัม มะเขือเท่ากับ 211.84 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และหญ้าแฝก เท่ากับ 142.95 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ซึ่งสามารถแยกตามส่วนประกอบต่างๆ ของพืชได้ดังนี้ รากดาวเรือง 141.18 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ลำต้นดาวเรือง 22.76 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และใบดาวเรือง 29.46 มิลลิกรัม/กิโลกรัม รากมะเขือ 153.48 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ลำต้นมะเขือ 29.21 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และใบมะเขือ 29.15 มิลลิกรัม/กิโลกรัม รากหญ้าแฝก 97.93 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และใบหญ้าแฝก 45.02 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ดังตาราง 4.22

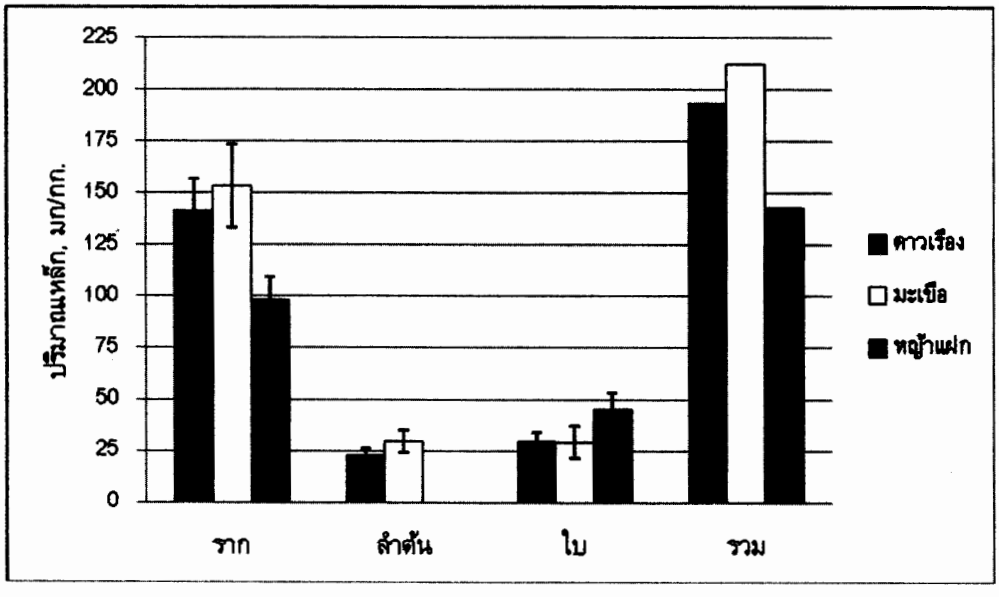
ตาราง 4.22 ปริมาณเหล็ก (Fe) สะสมในพืชก่อนปลูก (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)

ส่วนประกอบของพืช	ดาวเรือง	มะเขือ	หญ้าแฝก
ราก	141.18±15.42	153.48±20.00	97.93±11.57
ลำต้น	22.76±3.46	29.21±5.46	-
ใบ	29.46±4.28	29.15±7.63	45.02±8.22
ปริมาณโลหะหนัก(รวม)	193.40	211.84	142.95

หมายเหตุ – ชุดการทดลองหญ้าแฝกที่ไม่มีค่าเนื่องจากหญ้าแฝกไม่มีลำต้น

Limit Of Detection ; LOD : Fe = 0.0576, Limit Of Quantitation ; LOQ : Fe =: 0.1522

% Recovery ; 0.5 ppm. = 100 %, 1.0 ppm. = 100 %, 1.5 ppm. = 97 %



ภาพ 4.12 ปริมาณเหล็ก (Fe) ที่สะสมในพืชก่อนปลูก

4.2.2 ปริมาณโลหะหนักที่สะสมในพืชหลังทำการทดลอง 12 สัปดาห์

4.2.2.1 ตะกั่ว (Pb) มิลลิกรัม/กิโลกรัม

จากการทดลอง พบว่า ปริมาณตะกั่วที่สะสมอยู่ในดาวเรืองที่ไม่เติมอีดีทีเอมีปริมาณเท่ากับ 62.42 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ซึ่งใกล้เคียงกับ Sun et al., (2011) ที่รายงานว่าดาวเรืองสะสมตะกั่วเท่ากับ 69.75 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตาวเรืองที่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 74.60 มิลลิกรัม/ กิโลกรัม มะเขือที่ไม่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 37.63 มิลลิกรัม/กิโลกรัม มะเขือที่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 53.51 มิลลิกรัม/ กิโลกรัม และหญ้าแฝกที่ไม่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 17.59 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และหญ้าแฝกที่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 17.96 มิลลิกรัม/ กิโลกรัม ใกล้เคียงกับ Chen et al., (2004) ที่รายงานว่าหญ้าแฝกที่เติมอีดีทีเอ 5 มิลลิโมล/กิโลกรัม สะสมตะกั่วได้ 19.19 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับการบำบัดโลหะหนักของทานตะวันพบว่าทานตะวันสะสมตะกั่วอยู่ระหว่าง 6.65-9.81 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (อภิชิต วิจักขณ์รัตนะ และคณะ, 2552) ดวงกมล คำสอน และ ชมพูนุช ไชยรักษ์ (2556) รายงานว่าทานตะวันสะสมตะกั่วได้ 29.91 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และ Liphadzi et al., (2003) รายงานว่าทานตะวันสะสมตะกั่วในช่วง 5.2-46.9 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

โดยสามารถแยกตามส่วนประกอบต่างๆ ของพืชได้ดังนี้ รากดาวเรืองที่ไม่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 30.24 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ลำต้นดาวเรืองที่ไม่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 5.82 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ใบดาวเรืองที่ไม่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 16.32 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และดอกดาวเรืองที่ไม่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 10.04 มิลลิกรัม/กิโลกรัม รากตาวเรืองที่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 11.07 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ลำต้นดาวเรืองที่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 23.68 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และใบดาวเรืองที่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 39.85 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

รากมะเขือที่ไม่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 25.65 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ลำต้นมะเขือที่ไม่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 5.83 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และใบมะเขือที่ไม่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 6.15 มิลลิกรัม/กิโลกรัม รากมะเขือที่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 33.49 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ลำต้นมะเขือที่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 8.66 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ใบมะเขือที่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 9.08 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และผลมะเขือที่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 2.29 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

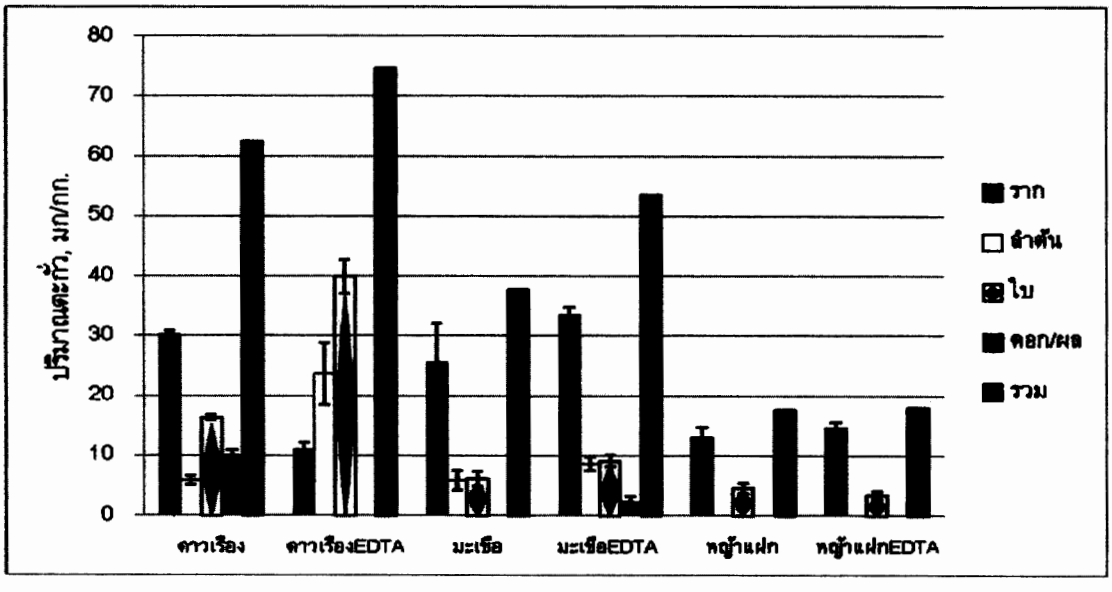
รากหญ้าแฝกที่ไม่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 13.03 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และใบหญ้าแฝกที่ไม่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 4.56 มิลลิกรัม/กิโลกรัม รากหญ้าแฝกที่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 14.62 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และใบหญ้าแฝกที่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 3.34 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ดังตาราง 4.23

ตาราง 4.23 ปริมาณตะกั่ว (Pb) ที่สะสมในพืชหลังปลูก (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)

ส่วนประกอบของพืช	ดาวเรือง	ดาวเรือง EDTA	มะเขือ	มะเขือ EDTA	หญ้าแฝก	หญ้าแฝก EDTA
ราก	30.24±0.62	11.07±1.06	25.65±6.46	33.49±1.36	13.03±1.70	14.62±0.90
ลำต้น	5.82±0.80	23.68±5.15	5.83±1.62	8.66±1.13	-	-
ใบ	16.32±0.51	39.85±2.84	6.15±1.23	9.08±0.91	4.56±0.85	3.34±0.74
ดอก/ผล	10.04±0.92	-	-	2.28±0.83	-	-
รวม	62.42	74.60	37.63	53.51	17.59	17.96

หมายเหตุ

- ชุดการทดลองดาวเรืองที่เติมอีดีทีเอที่ไม่มีค่าเนื่องจากต้นดาวเรืองตาย
- ชุดการทดลองหญ้าแฝกที่ไม่มีค่าเนื่องจากหญ้าแฝกไม่มีลำต้น
- ชุดการทดลองมะเขือที่ไม่มีค่าเนื่องจากมะเขือไม่ออกผล



ภาพ 4.13 ปริมาณตะกั่ว (Pb) ที่สะสมในพืชหลังปลูก

4.2.2.2 ทองแดง (Cu) มิลลิกรัม/กิโลกรัม

จากการทดลอง พบว่า ปริมาณทองแดงที่สะสมอยู่ในดาวเรืองที่ไม่เติมอีดีทีเอมีปริมาณเท่ากับ 133.34 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ซึ่งใกล้เคียงกับ Sun et al., (2011) ที่รายงานว่าดาวเรืองสะสมทองแดงเท่ากับ 121.44 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ดาวเรืองที่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 138.79 มิลลิกรัม/ กิโลกรัม มะเขือที่ไม่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 92.09 มิลลิกรัม/กิโลกรัม มะเขือที่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 99.23 มิลลิกรัม/ กิโลกรัม และหญ้าแฝกที่ไม่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 44.42 มิลลิกรัม/ กิโลกรัม และหญ้าแฝกที่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 52.23 มิลลิกรัม/ กิโลกรัม และเมื่อเปรียบเทียบกับการบำบัดโลหะหนักของทานตะวันพบว่าทานตะวันสะสมทองแดงเท่ากับ 45.50 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (ดวงกมล คำสอน และ ชมพูนุช ไชยรักษ์, 2556)

โดยสามารถแยกตามส่วนประกอบต่างๆ ของพืชได้ดังนี้ รากดาวเรืองที่ไม่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 81.85 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ลำต้นดาวเรืองที่ไม่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 8.23 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ใบดาวเรืองที่ไม่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 19.88 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และดอกดาวเรืองที่ไม่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 23.38 มิลลิกรัม/กิโลกรัม รากดาวเรืองที่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 40.00 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ลำต้นดาวเรืองที่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 42.80 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และใบดาวเรืองที่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 55.99 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

รากมะเขือที่ไม่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 69.22 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ลำต้นมะเขือที่ไม่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 8.44 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และใบมะเขือที่ไม่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 14.43 มิลลิกรัม/กิโลกรัม รากมะเขือที่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 65.07 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ลำต้นมะเขือที่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 8.78 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ใบมะเขือที่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 16.89 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และผลมะเขือที่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 8.49 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

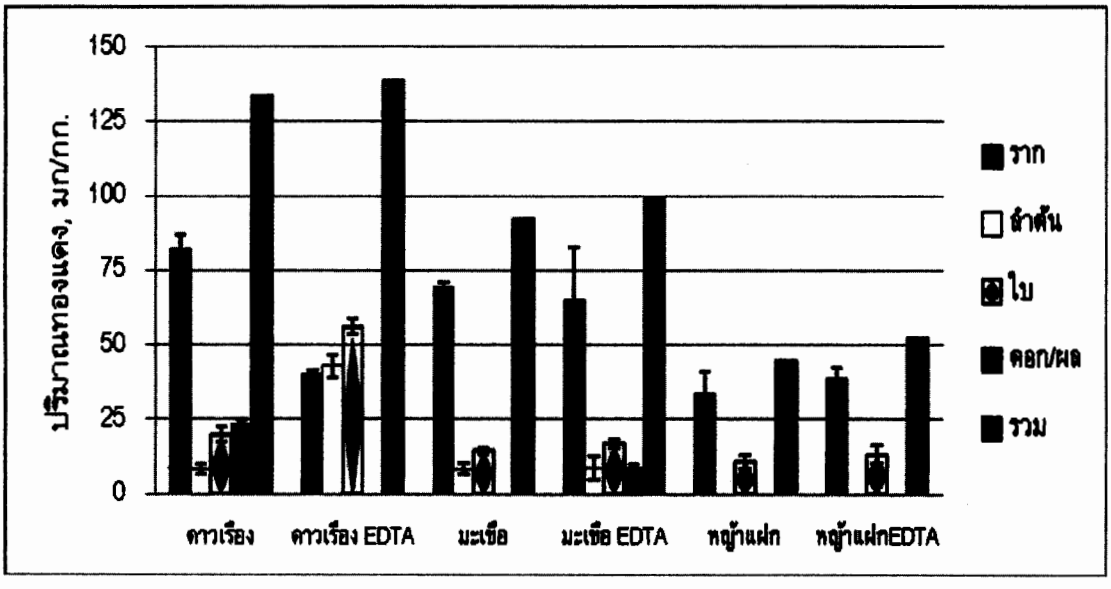
รากหญ้าแฝกที่ไม่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 33.81 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และใบหญ้าแฝกที่ไม่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 10.61 มิลลิกรัม/กิโลกรัม รากหญ้าแฝกที่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 38.85 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และใบหญ้าแฝกที่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 13.38 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ดังตาราง 4.24

ตาราง 4.24 ปริมาณทองแดง (Cu) ที่สะสมในพืชหลังปลูก (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)

ส่วนประกอบของพืช	ดาวเรือง	ดาวเรือง EDTA	มะเขือ	มะเขือ EDTA	หญ้าแฝก	หญ้าแฝก EDTA
ราก	81.85±4.92	40.00±1.17	69.22±1.83	65.07±17.56	33.81±7.20	38.85±3.23
ลำต้น	8.23±1.52	42.80±3.64	8.44±1.69	8.78±4.12	-	-
ใบ	19.88±2.52	55.99±2.58	14.43±1.27	16.89±1.49	10.61±2.32	13.38±3.07
ดอก/ผล	23.38±1.40	-	-	8.49±1.18	-	-
รวม	133.34	138.79	92.06	99.23	44.42	52.23

หมายเหตุ

- ชุดการทดลองดาวเรืองที่เติมอีดีทีเอที่ไม่มีค่าเนื่องจากต้นดาวเรืองตาย
- ชุดการทดลองหญ้าแฝกที่ไม่มีค่าเนื่องจากหญ้าแฝกไม่มีลำต้น
- ชุดการทดลองมะเขือที่ไม่มีค่าเนื่องจากมะเขือไม่ออกผล



ภาพ 4.14 ปริมาณทองแดง (Cu) ที่สะสมในพืชหลังปลูก

4.2.2.3 แคดเมียม (Cd) มิลลิกรัม/กิโลกรัม

จากการทดลอง พบว่า ปริมาณแคดเมียมที่สะสมอยู่ในดาวเรืองที่ไม่เติมอีดีทีเอมีปริมาณเท่ากับ 25.83 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ซึ่งใกล้เคียงกับ Sun et al., (2011) ที่รายงานว่าดาวเรืองสะสมแคดเมียมเท่ากับ 19.25 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ดาวเรืองที่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 23.55 มิลลิกรัม/ กิโลกรัม มะเขือที่ไม่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 5.39 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และ

ใกล้เคียงกับ Ji et al., (2011) ที่รายงานว่ามะเขือสะสมแคดเมียมเท่ากับ 9.92 มิลลิกรัม/กิโลกรัม มะเขือที่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 7.42 มิลลิกรัม/ กิโลกรัม และหญ้าแฝกที่ไม่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 2.56 มิลลิกรัม/ กิโลกรัม และหญ้าแฝกที่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 2.99 มิลลิกรัม/ กิโลกรัม

โดยสามารถแยกตามส่วนประกอบต่าง ๆ ของพืชได้ดังนี้ รากดาวเรืองที่ไม่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 4.75 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ลำต้นดาวเรืองไม่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 5.07 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ใบดาวเรืองไม่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 11.18 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และดอกดาวเรืองไม่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 4.83 มิลลิกรัม/กิโลกรัม รากดาวเรืองที่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 4.29 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ลำต้นดาวเรืองที่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 6.48 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และใบดาวเรืองที่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 12.77 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

รากมะเขือที่ไม่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 3.81 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ลำต้นมะเขือที่ไม่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 0.84 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และใบมะเขือที่ไม่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 0.74 มิลลิกรัม/กิโลกรัม รากมะเขือที่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 4.35 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ลำต้นมะเขือที่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 1.18 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ใบมะเขือที่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 0.94 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และผลมะเขือที่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 0.95 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

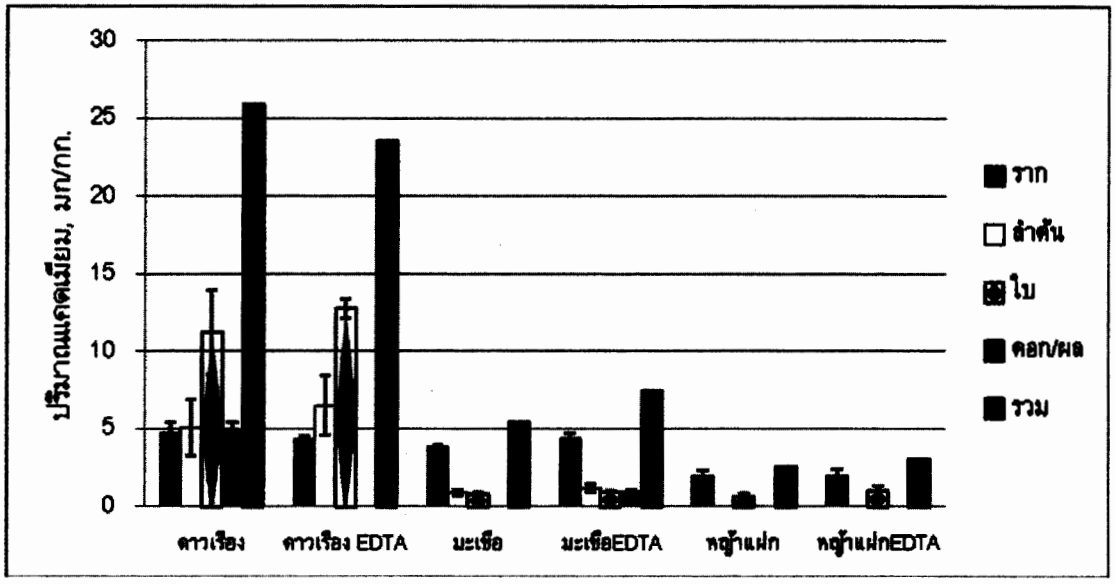
รากหญ้าแฝกที่ไม่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 1.93 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และใบหญ้าแฝกที่ไม่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 0.63 มิลลิกรัม/กิโลกรัม รากหญ้าแฝกที่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 1.99 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และใบหญ้าแฝกที่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 1.00 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ดังตาราง 4.25

ตาราง 4.25 ปริมาณแคดเมียม (Cd) ที่สะสมในพืชหลังปลูก (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)

ส่วนประกอบของพืช	ดาวเรือง	ดาวเรือง EDTA	มะเขือ	มะเขือ EDTA	หญ้าแฝก	หญ้าแฝก EDTA
ราก	4.75±0.62	4.29±0.21	3.81±0.13	4.35±0.33	1.93±0.34	1.99±0.39
ลำต้น	5.07±1.80	6.48±1.93	0.84±0.19	1.18±0.24	-	-
ใบ	11.18±2.71	12.77±0.62	0.74±0.13	0.94±0.07	0.63±0.23	1.00±0.31
ดอก/ผล	4.83±0.55	-	-	0.95±0.13	-	-
รวม	25.83	23.55	5.39	7.42	2.56	2.99

หมายเหตุ

- ชุดการทดลองดาวเรืองที่เติมอีดีทีเอที่ไม่มีค่าเนื่องจากต้นดาวเรืองตาย
- ชุดการทดลองหญ้าแฝกที่ไม่มีค่าเนื่องจากหญ้าแฝกไม่มีลำต้น
- ชุดการทดลองมะเขือที่ไม่มีค่าเนื่องจากมะเขือไม่ออกผล



ภาพ 4.15 ปริมาณแคดเมียม (Cd) ที่สะสมในพืชหลังปลูก

4.2.2.4 สังกะสี (Zn) มิลลิกรัม/กิโลกรัม

จากการทดลอง พบว่า ปริมาณสังกะสีที่สะสมอยู่ในดาวเรืองที่ไม่มีการเติมอีดีทีเอมีปริมาณเท่ากับ 620.81 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ดาวเรืองที่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 632.16 มิลลิกรัม/ กิโลกรัม มะเขือที่ไม่มีการเติมอีดีทีเอเท่ากับ 343.86 มิลลิกรัม/กิโลกรัม มะเขือที่เติม อีดีทีเอเท่ากับ 430.86 มิลลิกรัม/ กิโลกรัม และหญ้าแฝกที่ไม่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 225.23 มิลลิกรัม/ กิโลกรัม และหญ้าแฝกที่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 241.26 มิลลิกรัม/ กิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับการบำบัดโลหะหนักของทานตะวันพบว่าทานตะวันสะสมสังกะสีเท่ากับ 100.70 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (ดวงกมล คำสอน และ ชมพูนุช ไชยรักษ์, 2556) และ อภิชิต วิจักขณ์รัตนะ และคณะ (2552) รายงานว่าทานตะวันสะสมสังกะสีได้ระหว่าง 109.8-134.2 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

โดยสามารถแยกตามส่วนประกอบต่างๆ ของพืชได้ดังนี้ รากดาวเรืองที่ไม่มีการเติมอีดีทีเอเท่ากับ 261.95 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ลำต้นดาวเรืองที่ไม่มีการเติมอีดีทีเอเท่ากับ 87.75 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ใบดาวเรืองที่ไม่มีการเติมอีดีทีเอเท่ากับ 179.18 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และดอกดาวเรืองที่ไม่มีการเติมอีดีทีเอเท่ากับ 91.93 มิลลิกรัม/กิโลกรัม รากดาวเรืองที่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 59.82 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ลำต้นดาวเรืองที่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 259.63 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และใบดาวเรืองที่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 312.71 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

รากมะเขือที่ไม่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 156.70 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ลำต้นมะเขือไม่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 126.79 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และใบมะเขือไม่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 60.37 มิลลิกรัม/กิโลกรัม รากมะเขือที่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 156.09 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ลำต้น

มะเขือที่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 147.95 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ใบมะเขือที่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 86.41 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และผลมะเขือที่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 40.41 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

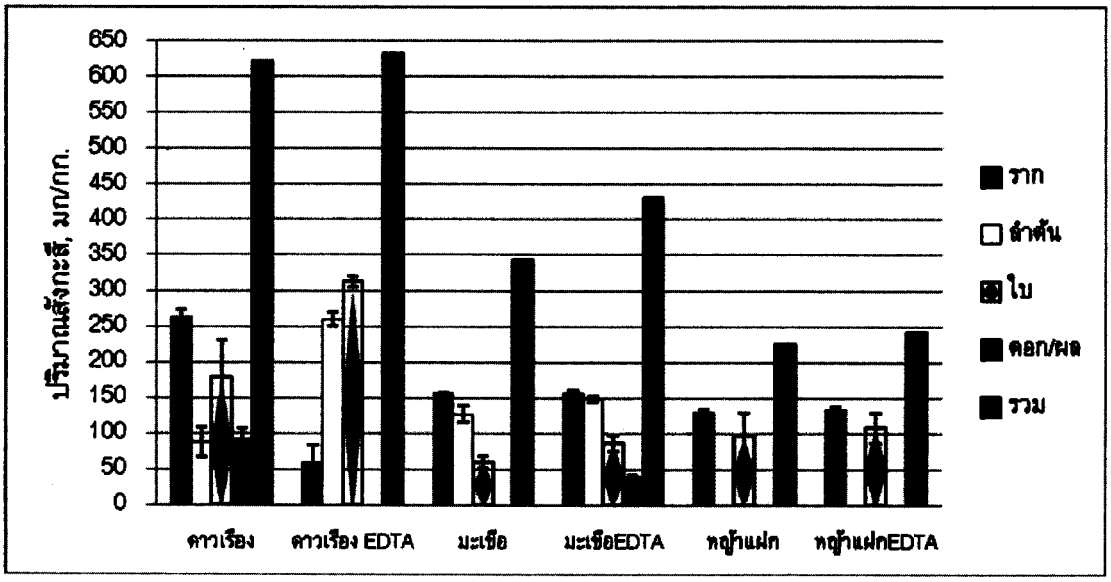
รากหญ้าแฝกที่ไม่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 128.85 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และใบหญ้าแฝกที่ไม่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 96.38 มิลลิกรัม/กิโลกรัม รากหญ้าแฝกที่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 132.97 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และใบหญ้าแฝกที่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 108.29 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ดังตาราง 4.26

ตาราง 4.26 ปริมาณสังกะสี (Zn) ที่สะสมในพืชหลังปลูก (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)

ส่วนประกอบของพืช	ดาวเรือง	ดาวเรือง EDTA	มะเขือ	มะเขือ EDTA	หญ้าแฝก	หญ้าแฝก EDTA
ราก	261.95±11.37	59.82±24.32	156.70±0.60	156.09±4.64	128.85±5.63	132.97±4.45
ลำต้น	87.75±20.57	259.63±10.25	126.79±11.86	147.95±4.10	-	-
ใบ	179.18±50.95	312.71±6.91	60.37±8.53	86.41±10.61	96.38±32.73	108.29±20.85
ดอก/ผล	91.93±15.17	-	-	40.41±1.68	-	-
รวม	620.81	632.16	343.86	430.86	225.23	241.26

หมายเหตุ

- ชุดการทดลองดาวเรืองอีดีทีเอที่ไม่มีค่าเนื่องจากต้นดาวเรืองตาย
- ชุดการทดลองหญ้าแฝกที่ไม่มีค่าเนื่องจากหญ้าแฝกไม่มีลำต้น
- ชุดการทดลองมะเขือที่ไม่มีค่าเนื่องจากมะเขือไม่ออกผล



ภาพ 4.16 ปริมาณสังกะสี (Zn) ที่สะสมในพืชหลังปลูก

4.2.2.5 เหล็ก (Fe) มิลลิกรัม/กิโลกรัม

จากการทดลอง พบว่า ปริมาณเหล็กที่สะสมอยู่ในดาวเรืองที่ไม่เติมอีดีทีเอมีปริมาณเท่ากับ 1,580.83 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ดาวเรืองที่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 1,616.01 มิลลิกรัม/ กิโลกรัม มะเขือที่ไม่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 1,603.18 มิลลิกรัม/กิโลกรัม มะเขือที่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 1,925.15 มิลลิกรัม/ กิโลกรัม และหญ้าแฝกที่ไม่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 1,052.05 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และหญ้าแฝกที่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 997.26 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

โดยสามารถแยกตามส่วนประกอบต่างๆ ของพืชได้ดังนี้ รากดาวเรืองที่ไม่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 902.91 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ลำต้นดาวเรืองที่ไม่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 139.57 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และใบดาวเรืองที่ไม่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 367.94 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ดอกดาวเรืองที่ไม่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 170.40 มิลลิกรัม/กิโลกรัม รากดาวเรืองที่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 465.39 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ลำต้นดาวเรืองที่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 524.06 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และใบดาวเรืองที่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 626.55 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

รากมะเขือที่ไม่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 859.27 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ลำต้นมะเขือที่ไม่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 293.99 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และใบมะเขือที่ไม่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 449.92 มิลลิกรัม/กิโลกรัม รากมะเขือที่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 848.54 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ลำต้นมะเขือที่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 256.35 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และใบมะเขือที่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 647.60 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และผลมะเขือที่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 172.66 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

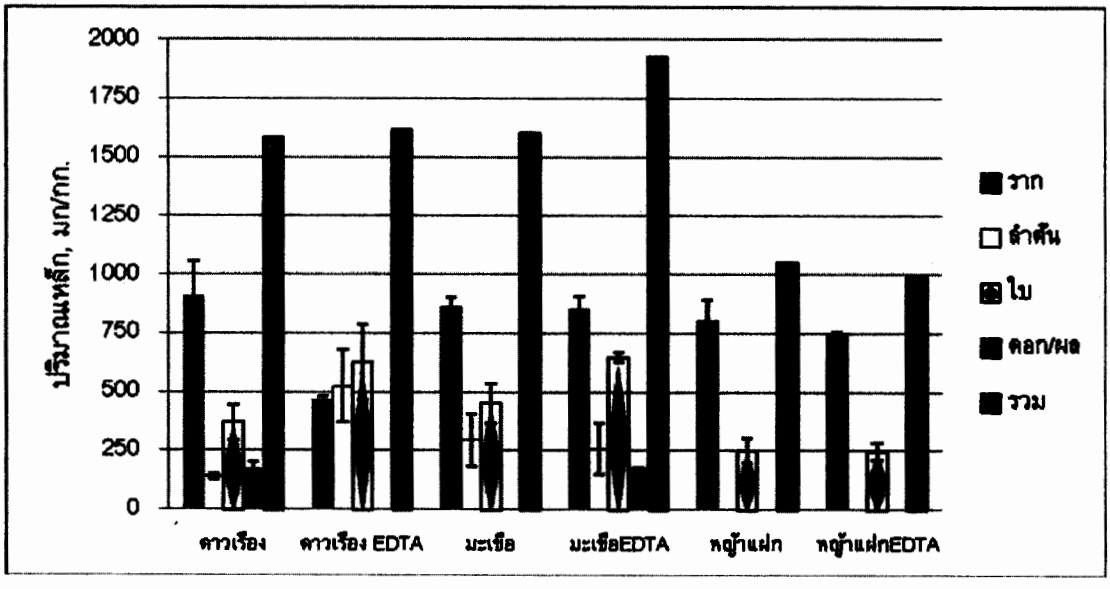
รากหญ้าแฝกที่ไม่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 802.57 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และใบหญ้าแฝกที่ไม่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 249.48 มิลลิกรัม/กิโลกรัม รากหญ้าแฝกที่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 751.54 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และใบหญ้าแฝกที่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 245.71 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ดังตาราง 4.27

ตาราง 4.27 เหล็ก (Fe) ที่สะสมในพืชหลังปลูก (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)

ประกอบ องพืช	ดาวเรือง	ดาวเรือง EDTA	มะเขือ	มะเขือ EDTA	หญ้าแฝก	หญ้าแฝก EDTA
ราก	902.91±155.34	465.39±17.28	859.27±40.77	848.54±56.40	802.57±91.42	751.54±2.70
ำต้น	139.57±10.02	524.06±155.09	293.99±111.81	256.35±107.73	-	-
ใบ	367.94±74.33	626.55±160.58	449.92±86.48	647.60±21.88	249.48±54.53	245.71±36.70
อก/ผล	170.40±31.38	-	-	172.66±6.29	-	-
รวม	1580.83	1616.01	1603.18	1925.15	1052.05	997.26

หมายเหตุ

- ชุดการทดลองดาวเรืองอีดีทีเอที่ไม่มีค่าเนื่องจากต้นดาวเรืองตาย
- ชุดการทดลองหญ้าแฝกที่ไม่มีค่าเนื่องจากหญ้าแฝกไม่มีลำต้น
- ชุดการทดลองมะเขือที่ไม่มีค่าเนื่องจากมะเขือไม่ออกผล



ภาพ 4.17 ปริมาณเหล็ก (Fe) ที่สะสมในพืชหลังปลูก

จากการทดลองจะเห็นได้ว่าในชุดการทดลองดาวเรืองที่มีการเติมอีดีทีเอ ดาวเรืองจะตายลงในสัปดาห์ที่ 3 เนื่องจากอีดีทีเอเป็นพิษสำหรับพืชบางชนิด Dufkova, (1984) รายงานว่าอีดีทีเอออกฤทธิ์ยับยั้งการแบ่งเซลล์ ยับยั้งการสร้างคลอโรฟิลล์ และยับยั้งการสร้างมวลชีวภาพของสาหร่าย Chen et al., (2004) รายงานว่าอีดีทีเอสามารถเป็นพิษต่อพืชและจุลินทรีย์ในดิน และในชุดการทดลองมะเขือโดยมะเขือที่ไม่มีการเติมอีดีทีเอไม่ออกผล เนื่องมาจากขาดแคลเซียม (Ca) ซึ่งแคลเซียมเป็นธาตุที่มีความจำเป็นต่อพืชเนื่องจากเป็นธาตุ

อาหารรองมีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของผนังเซลล์ที่อยู่ในรูปของแคลเซียมแพคเตต (Calcium Pectate) ช่วยในการแบ่งเซลล์ ช่วยในการสร้างโปรตีนและช่วยในการทำงานของเอนไซม์หลายชนิด (บุญแสน เตียวนุกูลธรรม, ม.ป.ป.) แต่มะเขือมีการเจริญเติบโตที่เร็วเกินไป พืชสร้างเซลล์ใหม่อย่างรวดเร็วในขณะที่การดูดหรือลำเลียงแคลเซียม (Ca) เกิดขึ้นช้า ไม่ทันต่อความต้องการใช้สร้างผนังเซลล์ที่เกิดใหม่ มักเกิดขึ้นเมื่อพืชอายุ 3-4 สัปดาห์ เป็นระยะที่พืชเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นระยะที่พืชต้องการแคลเซียม (Ca) สูง (สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ ,ม.ป.ป.) และปริมาณโลหะหนักที่สะสมในหญ้าแฝกหลังปลูกนั้นมีปริมาณโลหะหนักน้อยกว่าหญ้าแฝกก่อนปลูกสาเหตุเนื่องมาจากลักษณะการเจริญเติบโตของหญ้าแฝก การปลูกหญ้าแฝกที่ใช้ในการทดลองจะนำกล้าหญ้าแฝกที่ไม่มีรากมาปลูกเมื่อหญ้าแฝกเริ่มมีการแตกใบใหม่และเจริญเติบโต ลำต้นเก่าจะแห้งเหี่ยวและหลุดลอกไป จึงไม่สามารถนำปริมาณโลหะหนักที่สะสมในหญ้าแฝกก่อนปลูกและหลังปลูกมาเปรียบเทียบกันได้ ซึ่งแตกต่างจากลักษณะการเจริญเติบโตของดาวเรืองและมะเขือที่เจริญเติบโตจากลำต้นเดิม และในสภาวะที่มีการเติมอีดีทีเอทำให้พืชมีการดูดซึมโลหะหนักได้เพิ่มขึ้น เนื่องจากอีดีทีเอซึ่งมีคุณสมบัติเป็นสารก่อคีเลต จะช่วยให้โลหะหนักที่จับตัวเป็นโครงสร้างที่ซับซ้อนในดินมีการกระจายตัวและทำให้เกิดการเคลื่อนที่ได้มากขึ้น ทำให้สามารถดูดซึมโลหะหนักได้ดีขึ้น ส่งผลดีต่อการบำบัดพื้นที่ปนเปื้อนโดยใช้พืช (อภิชิต วิจักขณ์รัตนะ และคณะ, 2552) อีกทั้งการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในชุดการทดลอง มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของอัตราการคายน้ำ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นพืชจะคายน้ำมากยิ่งขึ้น มีผลต่อการสะสมธาตุโลหะหนักของพืช เพราะการสะสมโลหะหนักเข้าสู่รากพืชนั้นใช้แรงดึงจากการคายน้ำร่วมด้วย (วราภรณ์ ฉุนฉาย, 2551) ซึ่งสอดคล้องกับ อลิสา วังใน (2554) ที่ได้กล่าวว่าอุณหภูมิเป็นปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการย่อยสลายสารมลพิษ (Biodegradation Rate) โดยจะแปรผันตรงระหว่างอัตราการเกิดปฏิกิริยาและการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ และค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) มีผลต่อการละลายของโลหะหนักในดิน ถ้าดินมี pH สูงกว่า 7 ถือว่าเป็นด่าง ทำให้โลหะหนักละลายได้ในปริมาณน้อย และความสำคัญของ pH ของดินยังเกี่ยวข้องอยู่กับการทำงานที่เป็นประโยชน์ของจุลินทรีย์ต่าง ๆในดินด้วย (สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชนฯ เล่มที่ 18)

โดยกลไกการสะสมสารมลพิษ โลหะหนัก หรือสารกัมมันต์ในพืชแบ่งได้เป็น 3 ส่วน ได้แก่ การดูดซึม (Absorption) การลำเลียงและการเคลื่อนย้ายสารมลพิษจากสิ่งแวดล้อมภายนอกเข้าสู่พืช ซึ่งสารมลพิษเหล่านั้นจะถูกกักเก็บ (Store) แยกไว้ในส่วนใดส่วนหนึ่งของเซลล์พืช (Sequestration) และจะอยู่ในรูปแบบที่ไม่เป็นพิษต่อเซลล์พืช ซึ่งพืชที่นำมาใช้ในการบำบัดโลหะหนักต้องเป็นพืชที่มีความสามารถทนทานต่อความเป็นพิษของสารมลพิษนั้น ๆ เจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว และมีรากแขนงที่แผ่ออกไปได้กว้างเพื่อเพิ่มพื้นที่ในการดูดซึมสารมลพิษ (อลิสา วังใน, 2554) อีกทั้งกลไกการดูดซึมของพืชจะเริ่มจากราก การส่งผ่านโลหะหนัก

จากรากไปยังลำต้น ใบ และดอก ตามลำดับ โดยที่กลไกการเคลื่อนที่ของโลหะหนักในต้นไม้เกิดได้ 2 กรณี ได้แก่ 1. เนื่องจากโลหะหนักไปเกาะกับสารคีเลตในเซลล์ของต้นไม้และส่งผ่านไปยังส่วนบนของต้นไม้ 2. เนื่องจากการคายน้ำของพืชทำให้โลหะหนักเคลื่อนตัวไปพร้อมกับน้ำ เมื่อโลหะหนักเคลื่อนที่ไปได้จะเกิดการสะสมอยู่ในส่วนต่างๆ ของพืช โดยการตกผลึกในเซลล์พืช โดยอีดีทีเอจะเป็นสารคีเลตที่ทำให้โลหะหนักเคลื่อนตัวได้ดีขึ้นในต้นพืช และส่งผลให้สะสมในลำต้นและใบมากขึ้น (อภิชิต วิจักขณ์รัตนะ และคณะ, 2552)

4.2.3 ผลต่างของปริมาณโลหะหนักที่พืชดูดซึมก่อนและหลังทำการทดลอง

จากการวิเคราะห์หาปริมาณการสะสมของตะกั่วในทุกส่วนของพืชที่ทำการทดลองพบว่าดาวเรืองที่ไม่เติมอีดีทีเอมีค่าเท่ากับ 32.56 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และดาวเรืองที่เติมอีดีทีเอมีค่าเท่ากับ 44.74 มิลลิกรัม/กิโลกรัม มะเขือที่ไม่เติมอีดีทีเอมีค่าเท่ากับ 18.88 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และมะเขือที่เติมอีดีทีเอมีค่าเท่ากับ 34.76 มิลลิกรัม/กิโลกรัม หญ้าแฝกที่ไม่เติมอีดีทีเอมีค่าเท่ากับ 17.59 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และหญ้าแฝกที่เติมอีดีทีเอมีค่าเท่ากับ 17.96 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

ปริมาณการสะสมของทองแดงในดาวเรืองที่ไม่เติมอีดีทีเอมีค่าเท่ากับ 73.19 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และดาวเรืองที่เติมอีดีทีเอมีค่าเท่ากับ 78.64 มิลลิกรัม/กิโลกรัม มะเขือที่ไม่เติมอีดีทีเอมีค่าเท่ากับ 32.01 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และมะเขือที่เติมอีดีทีเอมีค่าเท่ากับ 39.15 มิลลิกรัม/กิโลกรัม หญ้าแฝกที่ไม่เติมอีดีทีเอมีค่าเท่ากับ 44.42 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และหญ้าแฝกที่เติมอีดีทีเอมีค่าเท่ากับ 52.23 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

ปริมาณการสะสมของแคดเมียมในดาวเรืองที่ไม่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 10.21 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และดาวเรืองที่เติมอีดีทีเอมีค่าเท่ากับ 7.93 มิลลิกรัม/กิโลกรัม มะเขือที่ไม่เติมอีดีทีเอมีค่าเท่ากับ 4.89 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และมะเขือที่เติมอีดีทีเอมีค่าเท่ากับ 6.92 มิลลิกรัม/กิโลกรัม หญ้าแฝกที่ไม่เติมอีดีทีเอมีค่าเท่ากับ 2.56 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และหญ้าแฝกที่เติมอีดีทีเอมีค่าเท่ากับ 2.99 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

ปริมาณการสะสมของสังกะสีในดาวเรืองที่ไม่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 320.89 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และดาวเรืองที่เติมอีดีทีเอมีค่าเท่ากับ 332.94 มิลลิกรัม/กิโลกรัม มะเขือที่ไม่เติมอีดีทีเอมีค่าเท่ากับ 178.22 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และมะเขือที่เติมอีดีทีเอมีค่าเท่ากับ 265.22 มิลลิกรัม/กิโลกรัม หญ้าแฝกที่ไม่เติมอีดีทีเอมีค่าเท่ากับ 225.23 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และหญ้าแฝกที่เติมอีดีทีเอมีค่าเท่ากับ 241.26 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

ปริมาณการสะสมของเหล็กในดาวเรืองที่ไม่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 1,387.43 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และดาวเรืองที่เติมอีดีทีเอมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,422.61 มิลลิกรัม/กิโลกรัม มะเขือที่ไม่เติมอีดีทีเอมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,391.34 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และมะเขือที่เติม

อีดีทีเอมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,713.31 มิลลิกรัม/กิโลกรัม หญ้าแฝกที่ไม่เติมอีดีทีเอมีค่าเท่ากับ 1,052.05 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และหญ้าแฝกที่เติมอีดีทีเอมีค่าเท่ากับ 997.26 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ดังตารางที่ 4.28 ซึ่งการดูดซึมโลหะหนักของพืชในทุกชุดการทดลองไม่แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ดังตาราง 4.29

ผลของอีดีทีเอซึ่งมีคุณสมบัติเป็นสารก่อคีเลต จะช่วยให้โลหะหนักที่จับตัวเป็นโครงสร้างที่ซับซ้อนในดินมีการกระจายตัว และทำให้เกิดการเคลื่อนที่ได้มากขึ้น ทำให้พืชสามารถดูดซึมโลหะหนักได้ดีขึ้น ซึ่งส่งผลดีต่อการบำบัดพื้นที่ปนเปื้อนโดยใช้พืช (อภิชิด วิจักขณ์รัตนะ และคณะ, 2552)

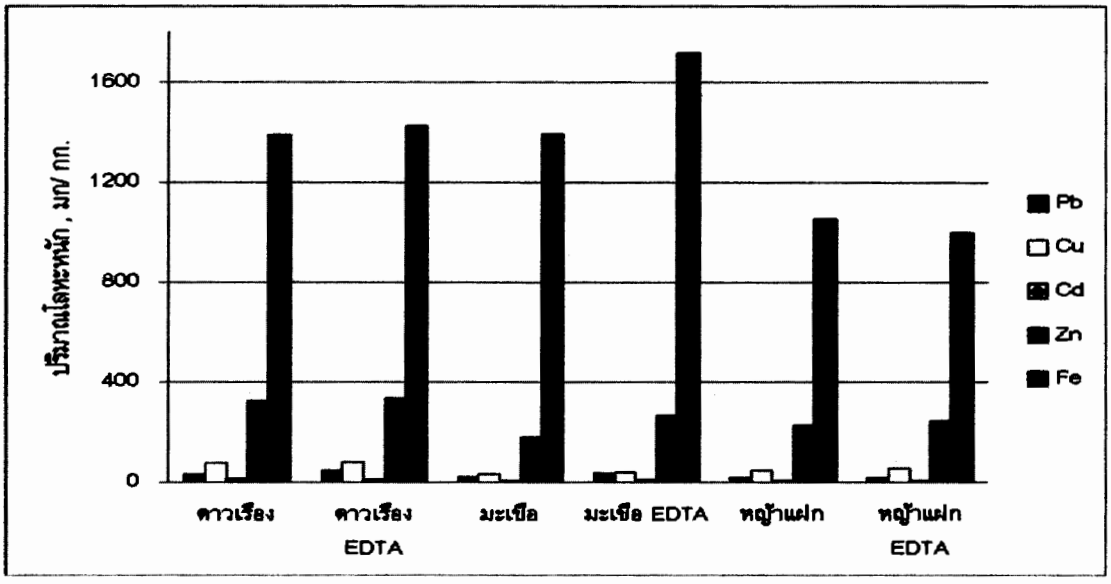
ตาราง 4.28 ประสิทธิภาพการดูดซึมโลหะหนักของพืชแต่ละชนิด (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)

ชนิดพืช	การดูดซึมโลหะหนักของพืช (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)				
	ตะกั่ว(Pb)	ทองแดง(Cu)	แคดเมียม(Cd)	สังกะสี (Zn)	เหล็ก (Fe)
ดาวเรือง	32.56	73.19	10.21	320.89	1,387.43
ดาวเรือง EDTA	44.74	78.64	7.93	332.94	1,422.61
มะเขือ	18.83	32.01	4.89	178.22	1,391.34
มะเขือ EDTA	34.76	39.15	6.92	265.22	1,713.31
หญ้าแฝก	17.59	44.42	2.56	225.23	1,052.05
หญ้าแฝก EDTA	17.96	52.23	2.99	241.26	997.26

ตาราง 4.29 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของประสิทธิภาพการดูดซึมโลหะหนักของพืชแต่ละชนิด

	Mean	std	F-test	sig
ดาวเรือง	364.86	584.99	0.06	0.10
ดาวเรือง EDTA	377.37	589.09		
มะเขือ	325.06	600.14		
มะเขือ EDTA	411.87	734.91		
หญ้าแฝก	268.37	447.13		
หญ้าแฝก EDTA	262.34	421.81		

หมายเหตุ ($p< 0.05$)



ภาพ 4.18 ประสิทธิภาพการดูดซึมโลหะหนักของพืชแต่ละชนิด

4.2.4 ปริมาณโลหะหนักในพืช (เปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซึมโลหะหนักของพืชแต่ละชนิด)

จากการวิเคราะห์หาเปอร์เซนต์การสะสมของตะกั่วในดาวเรืองที่ไม่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 13.80% และดาวเรืองที่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 18.89% มะเขือที่ไม่เติมอีดีทีเอมีเท่ากับ 8.00% และมะเขือที่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 14.73% หญ้าแฝกที่ไม่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 7.46% และหญ้าแฝกที่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 7.61%

การสะสมของทองแดงในดาวเรืองที่ไม่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 26.95% และดาวเรืองที่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 28.96% มะเขือที่ไม่เติมอีดีทีเอมีเท่ากับ 11.79% และมะเขือที่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 14.42% หญ้าแฝกที่ไม่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 16.36% และหญ้าแฝกที่เติมอีดีเท่ากับ 19.23%

การสะสมของแคดเมียมในดาวเรืองที่ไม่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 56.53% และดาวเรืองที่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 43.91% มะเขือที่ไม่เติมอีดีทีเอมีเท่ากับ 27.08% และมะเขือที่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 38.32% หญ้าแฝกที่ไม่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 14.17% และหญ้าแฝกที่เติมอีดีเท่ากับ 16.56%

การสะสมของสังกะสีในดาวเรืองที่ไม่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 53.30% และดาวเรืองที่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 55.30% มะเขือที่ไม่เติมอีดีทีเอมีเท่ากับ 29.60% และมะเขือที่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 44.05% หญ้าแฝกที่ไม่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 37.41% และหญ้าแฝกที่เติมอีดีเท่ากับ 40.07%

การสะสมของเหล็กในดาวเรืองที่ไม่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 35.91% และดาวเรืองที่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 36.82% มะเขือที่ไม่เติมอีดีทีเอมีเท่ากับ 36.01% และมะเขือที่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 44.34% หญ้าแฝกที่ไม่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 27.23% และหญ้าแฝกที่เติมอีดีเท่ากับ 25.81% ดังตาราง 4.30 ซึ่งจากการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การดูดซึมโลหะหนักของพืชในทุกชุดการทดลอง ไม่แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ดังตาราง 4.31

ผลของอีดีทีเอซึ่งมีคุณสมบัติเป็นสารก่อคีเลต จะช่วยให้โลหะหนักที่จับตัวเป็นโครงสร้างที่ซับซ้อนในดินมีการกระจายตัว และทำให้เกิดการเคลื่อนที่ได้มากขึ้น ทำให้พืชสามารถดูดซึมโลหะหนักได้ดีขึ้น ซึ่งส่งผลดีต่อการบำบัดพื้นที่ปนเปื้อนโดยใช้พืช (อภิชิด วิจักขณ์รัตนะ และคณะ, 2552)

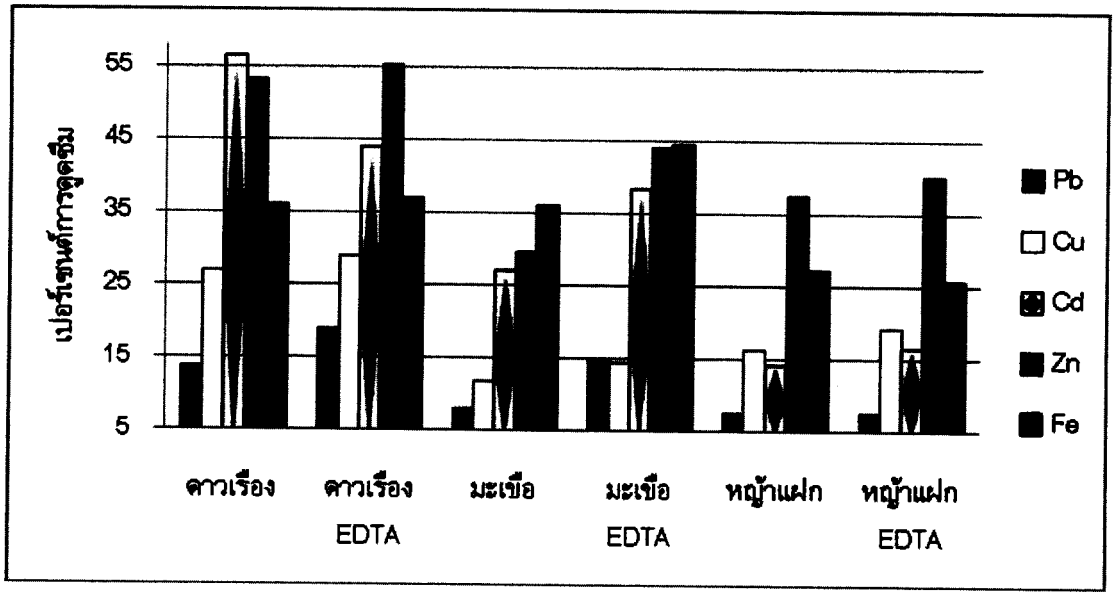
ตาราง 4.30 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซึมโลหะหนักของพืชแต่ละชนิด

ชนิดพืช	เปอร์เซนต์การดูดซึมโลหะหนักของพืช				
	ตะกั่ว(Pb)	ทองแดง(Cu)	แคดเมียม(Cd)	สังกะสี (Zn)	เหล็ก (Fe)
ดาวเรือง	13.80	26.95	56.53	53.30	35.91
ดาวเรือง EDTA	18.89	28.96	43.91	55.30	36.82
มะเขือ	8.00	11.79	27.08	29.60	36.01
มะเขือ EDTA	14.73	14.42	38.32	44.05	44.34
หญ้าแฝก	7.46	16.36	14.17	37.41	27.23
หญ้าแฝก EDTA	7.61	19.23	16.56	40.07	25.81

ตาราง 4.31 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติของประสิทธิภาพการดูดซึมโลหะหนักของพืชแต่ละชนิด

	Mean	std	F-test	sig
ดาวเรือง	37.30	17.94	1.51	0.23
ดาวเรือง EDTA	36.78	13.92		
มะเขือ	22.50	12.03		
มะเขือ EDTA	31.17	15.34		
หญ้าแฝก	20.53	11.82		
หญ้าแฝก EDTA	21.86	12.10		

หมายเหตุ ($p< 0.05$)



ภาพ 4.19 ประสิทธิภาพการดูดซึมโลหะหนักของพืชแต่ละชนิดเปรียบเทียบเปอร์เซนต์