

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

งานวิจัยเรื่องการบำบัดโลหะหนักที่ปนเปื้อนในดินด้วยพืชบริเวณพื้นที่กำจัดมูลฝอยชุมชน : กรณีศึกษาเทศบาลตำบลในเมือง อำเภอพิชัย จังหวัดอุตรดิตถ์ นี้ สืบเนื่องมาจากปัญหาการปนเปื้อนโลหะหนักในดินซึ่งเกิดจากการกำจัดขยะอย่างไม่ถูกสุขลักษณะ ซึ่งปัญหาดังกล่าวเป็นปัญหาที่สำคัญขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในหลายพื้นที่ ซึ่งมีแนวโน้มจะขยายตัวและเพิ่มความรุนแรงยิ่งขึ้น หากยังไม่ได้รับการดูแลและจัดการอย่างถูกต้อง

การกำจัดมูลฝอยของเทศบาลตำบลในเมือง อำเภอพิชัย จังหวัดอุตรดิตถ์ เป็นแบบเทกองกลางแจ้งในบ่อดิน โดยไม่มีการใช้วัสดุป้องกันการรั่วซึมปูรองพื้น หรือมีการก่อสร้างบ่อฝังกลบขยะตามหลักสุขาภิบาล ก็อาจเป็นสาเหตุการปนเปื้อนของน้ำชะขยะลงสู่ดินและน้ำใต้ดิน (สุขสมาน สังโยคะ และคณะ, 2552) ดังนั้นผู้วิจัยจึงเห็นว่าการศึกษาปริมาณโลหะหนักที่ปนเปื้อนในดินเป็นสิ่งที่จะต้องให้ความสำคัญ 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 อำเภอ พิชัย จังหวัดอุตรดิตถ์ พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เท่ากับ 8.00 ปริมาณตะกั่วเท่ากับ 235.93 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ปริมาณทองแดงเท่ากับ 271.55 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ปริมาณ แคดเมียมเท่ากับ 18.06 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ปริมาณสังกะสีเท่ากับ 602.06 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และปริมาณเหล็กเท่ากับ 3,863.61 มิลลิกรัม/กิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานโครงการ ดินดี ซีวีปลอดภัย ของกรมพัฒนาที่ดินนั้น พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ต้องอยู่ในช่วง 5.5-7.5 ปริมาณตะกั่วต้องไม่เกิน 55 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ปริมาณทองแดงต้องไม่เกิน 45 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ปริมาณแคดเมียมต้องไม่เกิน 0.5 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และปริมาณสังกะสีต้อง ไม่เกิน 100 มิลลิกรัม/กิโลกรัม แต่ปริมาณเหล็กไม่มีข้อกำหนดในมาตรฐาน โดยพบว่าปริมาณ โลหะหนักที่ทำการศึกษามีค่าเกินมาตรฐานของมาตรฐานโครงการดินดีซีวีปลอดภัย ของกรม พัฒนาที่ดินทุกตัว ซึ่งจัดว่าดินในพื้นที่ดังกล่าวอยู่ในสภาวะที่เกิดมลพิษจนไม่สามารถนำไปใช้ ประโยชน์ทางการเกษตรได้ 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 มะเขือ ที่เติมอีดีทีเอมีค่าอยู่ระหว่าง 26.75 – 30.50 องศาเซลเซียส และหญ้าแฝกมีค่าอยู่ระหว่าง 26.75 – 30.50 องศาเซลเซียส หญ้าแฝกที่เติมอีดีทีเอมีค่าอยู่ระหว่าง 27.00 – 31.00 องศาเซลเซียส ดังตาราง 4.2 จากการเปรียบเทียบผลการทดลองทางสถิติ พบว่า การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศแตกต่างกับชุดควบคุม และชุดควบคุมแตกต่างกับชุดการ ทดลองดาวเรือง มะเขือ มะเขือที่เติม อีดีทีเอ หญ้าแฝก หญ้าแฝกที่เติมอีดีทีเอ อย่างมีนัยสำคัญ ที่ ( $p < 0.05$ ) ดังตาราง 4.4

จะเห็นว่าอุณหภูมิในชุดการทดลองจะแปรผันไปในทิศทางเดียวกันกับ อุณหภูมิอากาศ ทั้งนี้อุณหภูมิมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของอัตราการคายน้ำ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น พืชจะคายน้ำมากยิ่งขึ้น และจะมีผลต่อการสะสมธาตุโลหะหนักของพืช เพราะการสะสมโลหะ หนักเข้าสู่รากพืชนั้นใช้แรงดึงจากการคายน้ำร่วมด้วย (วราภรณ์ ฉุนฉาย, 2551) ซึ่งสอดคล้อง กับ อลิสซา วังโน (2554) ที่ได้กล่าวว่าอุณหภูมิเป็นปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการย่อยสลายสารมลพิษ (Biodegradation Rate) โดยจะแปรผันตรงระหว่างอัตราการเกิดปฏิกิริยาและการเพิ่มขึ้นของ อุณหภูมิ

ตาราง 4.2 อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) ในแต่ละชุดการทดลอง

ครั้งที่	Control	ดาวเรือง	ดาวเรือง EDTA	มะเขือ	มะเขือ EDTA	หญ้าแฝก	หญ้าแฝก EDTA	อุณหภูมิ อากาศ
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 <sup>a</sup>	28.61 <sup>b</sup>	29.56 <sup>a</sup>	28.25 <sup>b</sup>	28.21 <sup>b</sup>	28.23 <sup>b</sup>	28.38 <sup>b</sup>	31.54 <sup>b</sup>

หมายเหตุ - ชุดการทดลองดาวเรืองที่ไม่มีค่าเนื่องจากต้นดาวเรืองตาย

ตัวอักษรที่แตกต่างกัน (<sup>a,b</sup>) แสดงความแตกต่างทางสถิติที่ ( $p < 0.05$ )

ตาราง 4.3 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติของอุณหภูมิ

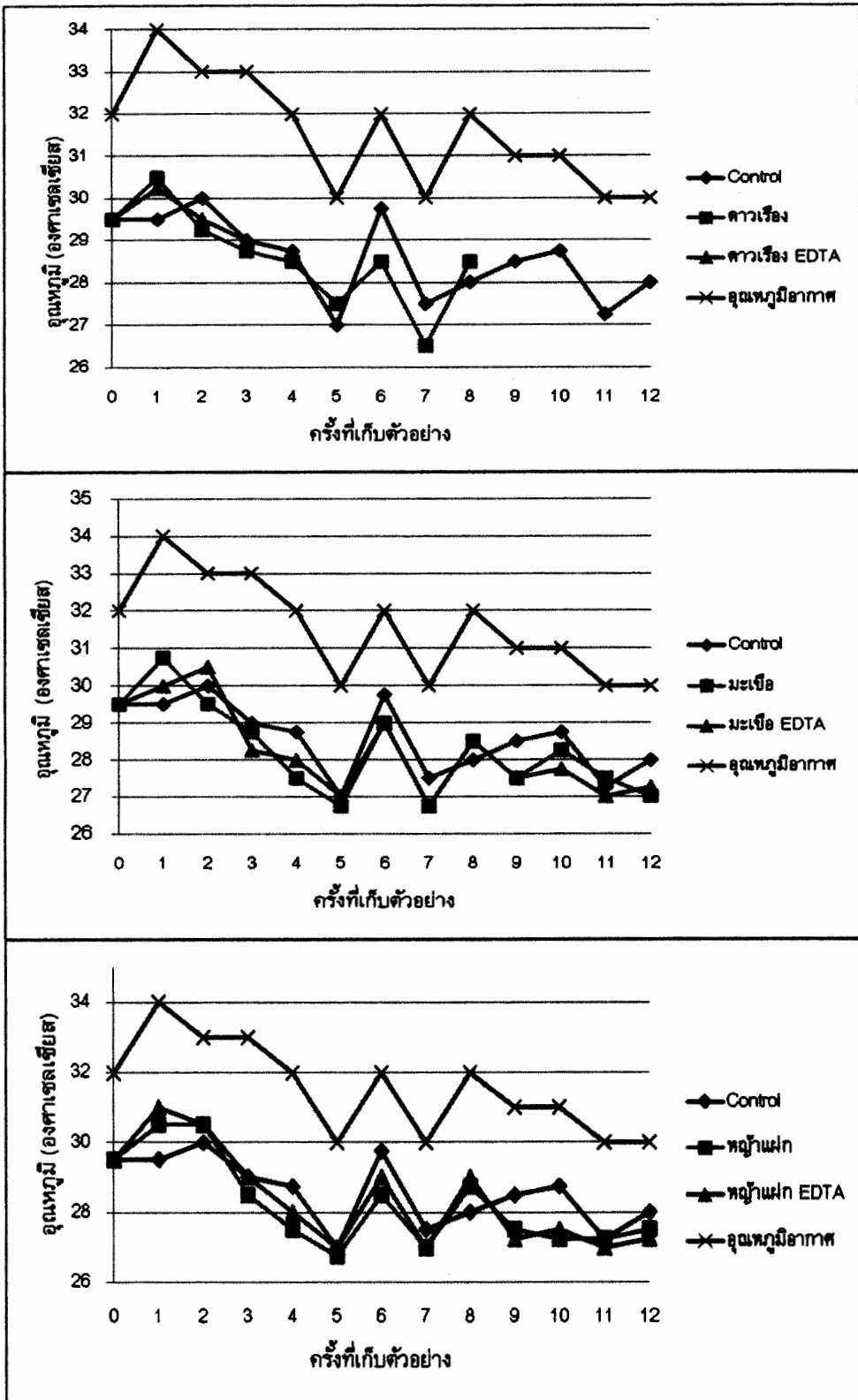
	Mean	Std.	F-test	Slg.
Control	28.58	0.98	11.16	0.00
ดาวเรือง	28.61	1.15		
ดาวเรือง EDTA	29.56	0.52		
มะเขือ	28.25	1.22		
มะเขือ EDTA	28.23	1.21		
หญ้าแฝก	28.23	1.28		
หญ้าแฝก EDTA	28.38	1.38		
อุณหภูมิกอากาศ	31.54	1.33		

หมายเหตุ ( $p < 0.05$ )

ตาราง 4.4 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติของอุณหภูมิ

	Control	ดาวเรือง	ดาวเรือง EDTA	มะเขือ	มะเขือ EDTA	หญ้าแฝก	หญ้าแฝก EDTA	อุณหภูมิ อากาศ
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 <sup>a</sup>	8.39 <sup>a</sup>	8.61 <sup>a</sup>	8.28 <sup>a</sup>	8.39 <sup>a</sup>	8.42 <sup>a</sup>	8.48 <sup>a</sup>

หมายเหตุ – ชุดการทดลองดาวเรืองที่ไม่มีค่าเนื่องจากต้นดาวเรืองตาย

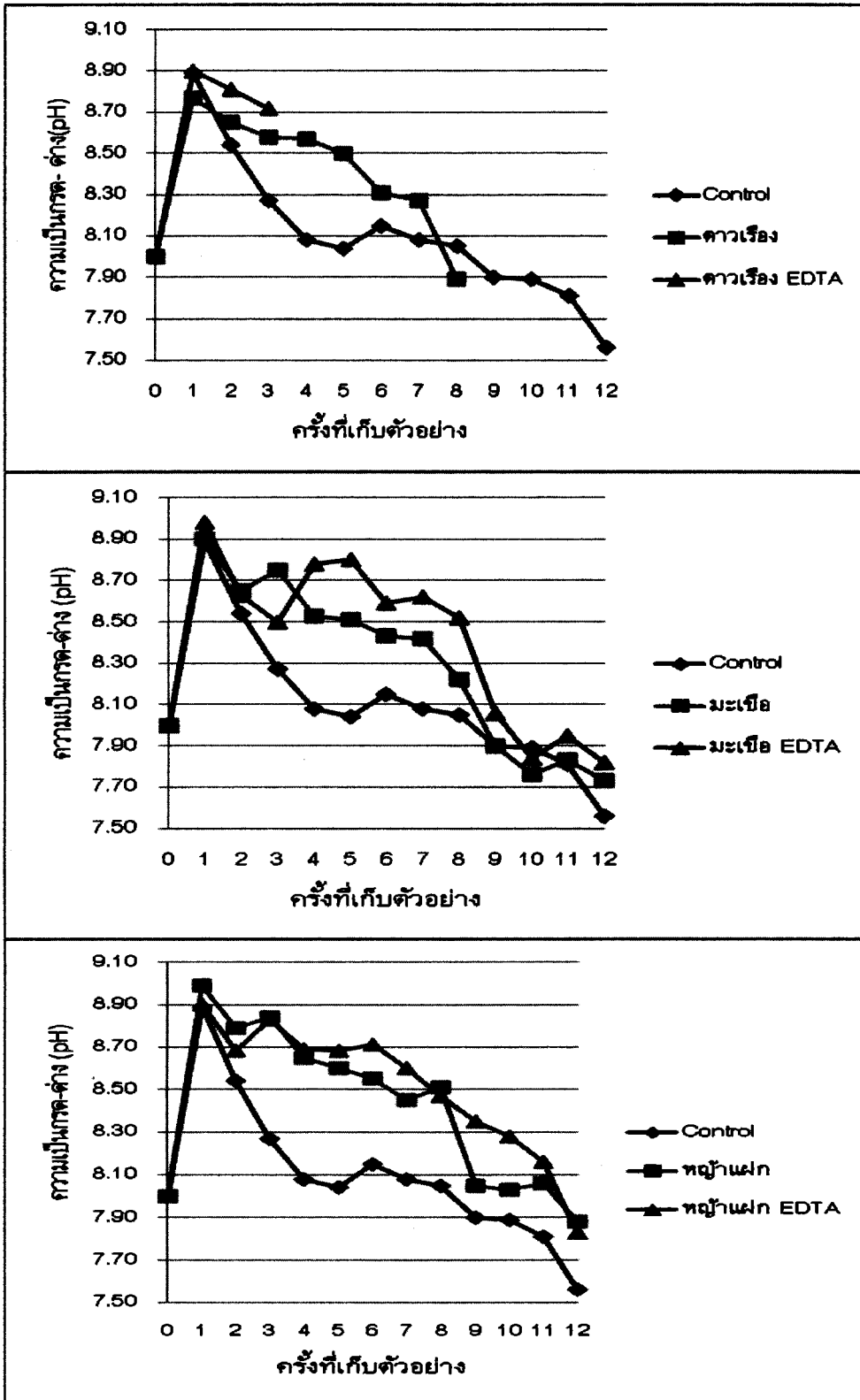
ตัวอักษรที่แตกต่างกัน (<sup>a,b</sup>) แสดงความแตกต่างกันทางสถิติที่ ( $p < 0.05$ )

จากการทดลองจะเห็นว่าค่า pH จะเพิ่มสูงขึ้นในช่วงแรก เนื่องมาจากการรดน้ำให้พืชในชุดการทดลอง ซึ่งน้ำจะช่วยในการแตกตัวของ ( $\text{OH}^-$ ) 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&lt; 0.05)



ภาพ 4.2 ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในดิน



### 4.1.3 ตะกั่ว (Pb)

จากการทดลอง พบว่า ปริมาณตะกั่วของดินในทุกชุดการทดลองตั้งแต่ สัปดาห์แรกจนถึงสัปดาห์ที่ 12 ของการทดลองมีปริมาณลดลง โดยในดินของชุดควบคุม (Control) ลดลง 25.61 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (คิดเป็น 10.85%) ดาวเรืองลดลง 108.09 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (คิดเป็น 45.81 %) จากสัปดาห์แรก ดาวเรืองที่เติมอีดิตีเอลดลง 99.34 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (คิดเป็น 42.10%) จากสัปดาห์แรก จากการเปรียบเทียบในระยะเวลา 4 สัปดาห์ พบว่า ดาวเรืองที่เติมอีดิตีเอมีปริมาณตะกั่วลดลงมากกว่าดาวเรืองที่ไม่เติมอีดิตีเอ 54.02 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ในขณะที่มะเขือลดลง 48.77 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (คิดเป็น 20.67%) มะเขือที่เติมอีดิตีเอลดลง 64.68 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (คิดเป็น 27.42%) และหญ้าแฝกลดลง 34.48 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (คิดเป็น 14.62%) หญ้าแฝกที่เติมอีดิตีเอลดลง 36.49 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (คิดเป็น 15.47%) ดังตาราง 4.7 จากการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การลดลงของปริมาณตะกั่วทางสถิติ พบว่า ในชุดการทดลองดาวเรืองแตกต่างกับชุดควบคุมทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ ( $p < 0.05$ ) ในขณะที่เปอร์เซ็นต์การลดลงของตะกั่วในชุดการทดลองอื่นๆ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ดังตาราง 4.9

จากการตรวจวิเคราะห์ปริมาณตะกั่วในดินในพื้นที่กำจัดขยะมีปริมาณเท่ากับ 235.94 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ซึ่งใกล้เคียงกับ อภิชาติ วิจักขณ์รัตนะ และคณะ (2552) ที่ได้รายงานไว้ว่าปริมาณตะกั่วในพื้นที่กำจัดขยะชุมชนของเทศบาลนครขอนแก่น เท่ากับ 209 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และ Rizo et al., (2011) รายงานว่าตะกั่วในดินชั้นบนจากป้อมฝักกล้วยใน เมืองฮาวานา เท่ากับ 276 มิลลิกรัม/กิโลกรัม สอดคล้องกับ สุขสมาน สังโยคะ และคณะ (2552) ที่รายงานว่าปริมาณตะกั่วส่วนใหญ่จะมีมากในดินชั้นบน ซึ่งอาจจะเป็นเพราะดินชั้นบน มีปริมาณของอินทรีย์วัตถุในปริมาณสูงกว่าดินชั้นอื่นๆ และสอดคล้องกับ วรพร แจ่มปิยะรัตน์ (2536) ที่กล่าวว่าเมื่อปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินเพิ่มขึ้น ปริมาณตะกั่วก็เพิ่มขึ้นตามด้วย เนื่องจากอินทรีย์วัตถุในดินจะเกิดการแตกตัวของ Carbohic Group และ Phenolic Group ทำให้เกิดประจุลบที่สามารถดูดซับตะกั่วไว้ในดินได้สูง ดังนั้นอินทรีย์วัตถุในดินชั้นบนจึงเป็นแหล่งสะสมตะกั่วที่สำคัญ สารประกอบของตะกั่วจะสะสมในดินชั้นบน ตะกั่วในดินนี้จึงมีสภาพละลายได้ต่ำมาก และคงทนต่อการสลายตัวด้วยกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน ตะกั่วจึงยังคงอยู่ในดินได้นาน ดังนั้นการปนเปื้อนของตะกั่วจึงเสมือนการสะสมที่ไม่หวนกลับลดลงได้ แม้ว่าจะเป็นการสะสมในปริมาณต่ำและสะสมทีละน้อยๆ ก็ตาม (ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, 2540) ปริมาณตะกั่วที่ตรวจวัดได้ในดินพื้นที่กำจัดขยะมูลฝอยของเทศบาลตำบลในเมือง อำเภอพิชัย จังหวัด อุตรดิตถ์ พบว่า มีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานโครงการดินสีเขียวปลอดภัยของกรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ที่กำหนดให้ดินต้องมีปริมาณตะกั่วไม่เกิน 55 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

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

ครั้งที่	Control		% ตะกั่ว		% ตะกั่ว		% ตะกั่ว		% ตะกั่ว		% ตะกั่ว		% ตะกั่ว		% ตะกั่ว	
	ผล	ค่า	ผล	ค่า	ผล	ค่า	ผล	ค่า	ผล	ค่า	ผล	ค่า	ผล	ค่า	ผล	ค่า
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	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	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	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	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 <sup>a</sup>	230.69±39.06	2.23	227.73±26.83	3.48	222.14±5.87	5.85	219.96±3.97	6.77	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	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	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	215.54±42.67	8.64
8	221.29±2.45	6.21	127.85±19.72	45.81 <sup>b</sup>	-	-	214.40±28.50	9.13	211.79±12.76	10.23	208.65±29.26	11.57	213.75±37.87	9.40	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	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	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	202.27±24.10	14.27
12	210.33±17.67	10.85 <sup>a</sup>	-	-	-	-	187.17±16.70	20.67 <sup>a</sup>	171.26±14.74	27.42 <sup>a</sup>	201.46±17.20	14.62 <sup>a</sup>	199.45±10.95	15.47 <sup>a</sup>	199.45±10.95	15.47 <sup>a</sup>
ปริมาณตะกั่ว ที่ลดลง	25.61	-	108.09	-	99.34	-	48.77	-	64.68	-	34.48	-	36.49	-	36.49	-

หมายเหตุ - ชุดการทดลองดาวเรืองที่ไม่มีค่าเนื่องจากการคืนดาวเรืองตาย

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 (<sup>a</sup>) แสดงความแตกต่างทางสถิติที่ (p< 0.05)

ตาราง 4.8 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติเปอร์เซ็นต์การลดลงของตะกั่ว

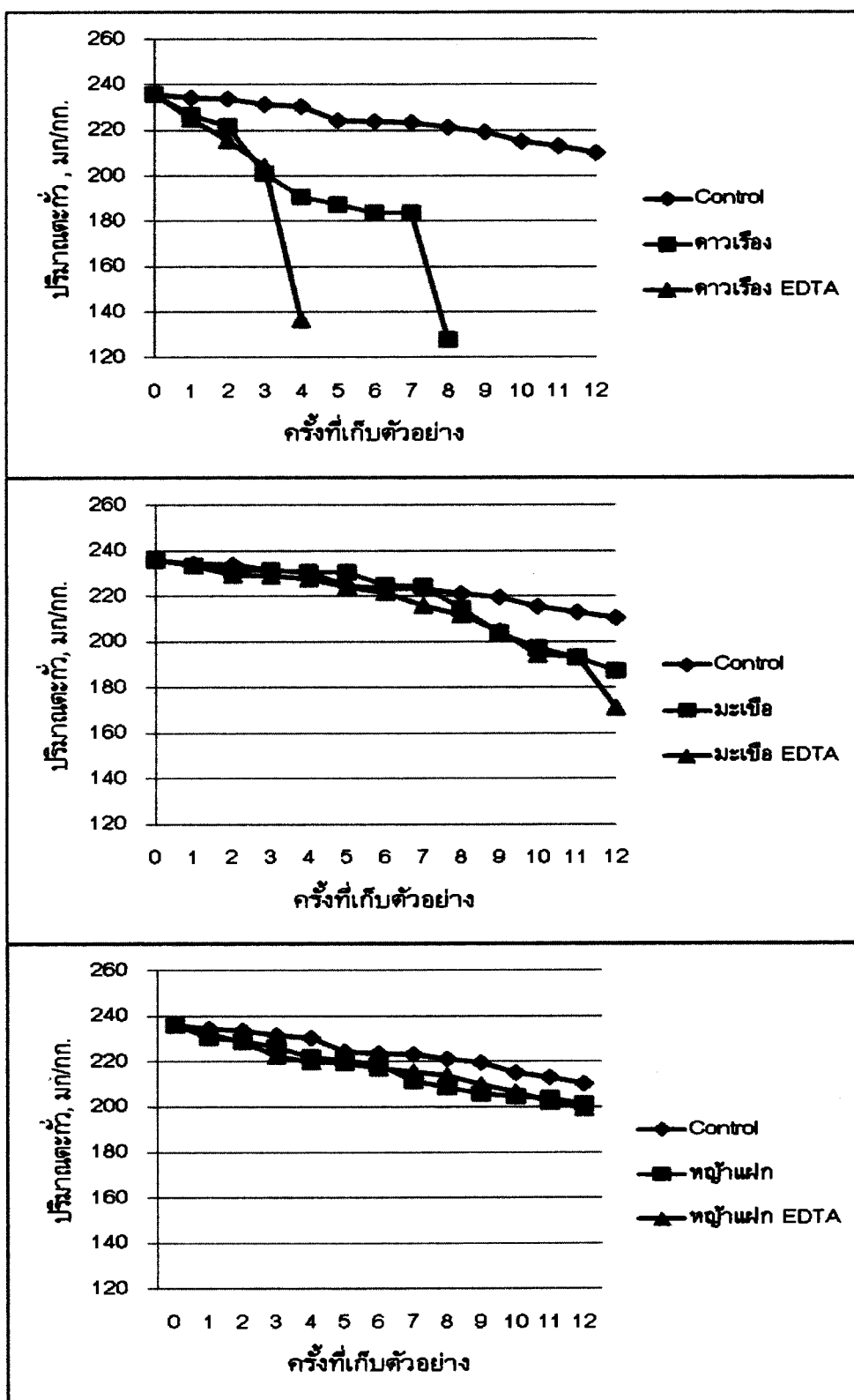
	Mean	Std.	F-test	Sig.
Control	4.90	3.58	2.51	0.03
ดาวเรือง	17.18*	13.63		
ดาวเรือง EDTA	13.74	16.61		
มะเขือ	7.46	7.26		
มะเขือ EDTA	8.97	8.09		
หญ้าแฝก	8.08	4.93		
หญ้าแฝก EDTA	7.90	4.68		

หมายเหตุ \* แสดงความแตกต่างกันทางสถิติที่ ( $p < 0.05$ )

ตาราง 4.9 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติเปอร์เซ็นต์การลดลงของตะกั่ว

	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 ปริมาณทองแดงของดินในทุกชุดการทดลองตั้งแต่ สัปดาห์แรกจนถึงสัปดาห์ที่ 12 ของการทดลองมีปริมาณลดลง โดยในดินชุดควบคุม (Control) ลดลง 60.44 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (คิดเป็น 22.26 %) ดาวเรืองลดลง 54.21 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (คิดเป็น 19.96 %) ดาวเรืองที่เติมอีดิตีเอลดลง 42.69 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (คิดเป็น 15.72 %) จากการเปรียบเทียบในระยะเวลา 4 สัปดาห์ พบว่า ดาวเรืองที่เติมอีดิตีเอมีปริมาณทองแดง ลดลงมากกว่าดาวเรืองที่ไม่เติมอีดิตีเอ 16.18 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ในขณะที่มะเขือลดลง 136.15 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (คิดเป็น 50.14 %) มะเขือที่เติมอีดิตีเอลดลง 145.78 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (คิดเป็น 53.68 %) และหญ้าแฝกลดลง 122.52 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (คิดเป็น 45.12 %) หญ้าแฝก ที่เติมอีดิตีเอลดลง 137.65 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (คิดเป็น 50.69 %) ดังตาราง 4.11 จากการ เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การลดลงของทองแดงทางสถิติ พบว่า ในทุกชุดการทดลองไม่แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) ดังตาราง 4.10

จากการศึกษาปริมาณทองแดงในดินในพื้นที่กำจัดขยะมีปริมาณเท่ากับ 271.55 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ซึ่งใกล้เคียงกับ Rizo et al., (2011) ที่ได้รายงานไว้ว่าปริมาณ ทองแดงในดินจากบ่อฝังกลบขยะในเมืองฮาวานา เท่ากับ 252 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และดวงกมล คำสอน และชมพูชัช ไชยรักษ์ (2556) รายงานไว้ว่าปริมาณทองแดงจากจังหวัดนครศรีธรรมราช เท่ากับ 350 มิลลิกรัม/กิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบปริมาณทองแดงกับเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพดิน ที่ใช้ประเมินโครงการดินดีชีวีปลอดภัยของกรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ พบว่า เกินเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพดิน เนื่องจากมีปริมาณทองแดงในดินต้องไม่เกิน 45 มิลลิกรัม/ กิโลกรัม

ทองแดงเป็นจุลธาตุที่จำเป็นสำหรับพืชชนิดหนึ่ง เนื่องจากทองแดงมี บทบาทสำคัญในกระบวนการสังเคราะห์แสง กระบวนการสร้างคลอโรฟิลล์ เป็นองค์ประกอบที่ สำคัญของเอนไซม์หลายชนิด มีบทบาทสำคัญต่อกระบวนการเปลี่ยนแปลงของราก เมื่อพืชขาด ทองแดงใบอ่อนมีลักษณะคลอโรซิส และใบม่วงงอ ยอดของต้นพืชจะมีอาการยอดแห้งตาย พืช จะไม่ออกรวง ถ้าออกรวงเมล็ดจะลีบ พืชจะไม่เจริญเติบโตเต็มที่ ถ้าพืชได้รับทองแดงมาก เกินไปจนเป็นพิษพืชจะแคระแกรน การแตกกิ่งก้านจะน้อยลง (บุญแสน เตียนนุกูลธรรม, ม.ป.ป.) ซึ่งทองแดงมีความสำคัญมากสำหรับพืช แต่พืชต้องการในปริมาณน้อย ในสภาวะที่ดิน มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ต่ำๆ ทองแดงจะมีประโยชน์ต่อพืชได้มากขึ้น (ชัยฤกษ์ สุวรรณ รัตน์, 2536)

ตาราง 4.10 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติเปอร์เซ็นต์การลดลงของทองแดง

	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)

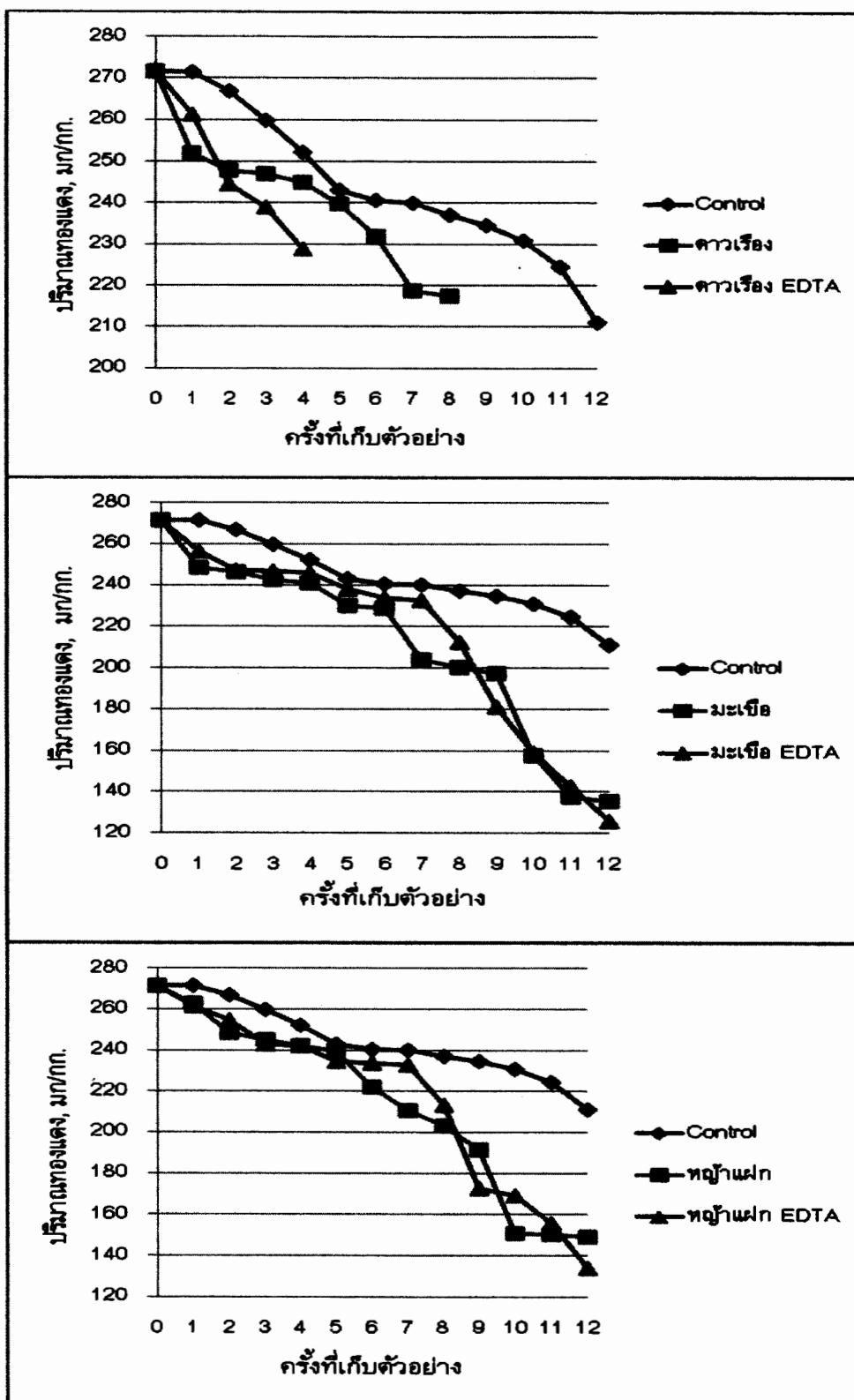
ตาราง 4.11 ทองแดง (Cu) (มีลิกนด์/กีโกลกรัม) ในแต่ละชุดการทดลอง

ครั้งที่	Control		ดาวเรือง		มะเขือ		ดาวเรือง		มะเขือ		EDTA		EDTA		EDTA	
	%	ผลลง	%	ผลลง	%	ผลลง	%	ผลลง	%	ผลลง	%	ผลลง	%	ผลลง	%	ผลลง
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	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	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	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	242.87±17.81	10.56
4	252.24±18.22	7.11	245.04±18.39	9.76	228.96±18.60	15.72 <sup>a</sup>	240.79±12.62	11.33	245.90±20.93	9.45	242.26±11.35	10.79	242.09±19.48	10.85	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	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	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	232.84±12.62	14.26
8	237.00±6.25	12.72	217.34±10.13	19.96 <sup>a</sup>	-	-	200.24±5.26	26.26	212.31±5.62	21.81	203.09±26.56	25.21	213.01±19.44	21.56	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	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	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	155.91±18.70	42.58
12	211.11±2.75	22.26 <sup>a</sup>	-	-	-	-	135.40±26.20	50.14 <sup>a</sup>	125.77±19.39	53.68 <sup>a</sup>	149.03±19.77	45.12 <sup>a</sup>	133.90±10.33	50.69 <sup>a</sup>	133.90±10.33	50.69 <sup>a</sup>
ปริมาณ	60.44	-	54.21	-	42.69	-	136.15	-	145.78	-	122.52	-	137.65	-	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 (<sup>a,b</sup>) แสดงความแตกต่างทางสถิติที่ (p< 0.05)



ภาพ 4.4 การลดลงของทองแดงในดิน



#### 4.1.5 แคดเมียม (Cd)

จากการทดลอง พบว่า ปริมาณแคดเมียมของดินในชุดควบคุม (Control) ลดลง 8.72 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (คิดเป็น 48.27%) คาวเรืองลดลง 8.58 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (คิดเป็น 47.54%) คาวเรืองที่เติมอีดิตีที่เอลดลง 8.34 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (คิดเป็น 46.19%) จากการเปรียบเทียบในระยะเวลา 4 สัปดาห์ พบว่า คาวเรืองที่เติมอีดิตีที่เอมีปริมาณแคดเมียมลดลงมากกว่าคาวเรืองที่ไม่เติมอีดิตีที่เอ 1.68 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ในขณะที่มะเขือลดลง 12.96 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (คิดเป็น 71.76%) มะเขือที่เติมอีดิตีที่เอลดลง 14.43 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (คิดเป็น 79.91%) และหย้าแฝกลดลง 8.14 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (คิดเป็น 45.09%) หย้าแฝกที่เติมอีดิตีที่เอลดลง 8.31 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (คิดเป็น 46.03%) ดังตาราง 4.13 จากการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การลดลงของปริมาณแคดเมียมทางสถิติ พบว่า ในทุกชุดการทดลอง ไม่แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) ดังตาราง 4.12

จากการศึกษาปริมาณแคดเมียมในดินในพื้นที่กำจัดขยะมีปริมาณเท่ากับ 18.06 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ซึ่งใกล้เคียงกับ ชิดชนก อัสวโกติ (2550) รายงานว่าพบที่บ้านท่าแฉลบ อำเภอ นครชัยศรี 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 (คะเน็งนิจ นิซานนท์ และ ฉันทนา ผดุงทศ, 2548) และการปนเปื้อนของแคดเมียมในดินบริเวณพื้นที่กำจัดขยะนั้นมาจากน้ำชะขยะ เนื่องจากการจัดการขยะของเทศบาลตำบลในเมือง อำเภอพิชัย จังหวัดอุตรดิตถ์ ซึ่งไม่มีการคัดแยกขยะอันตรายออกไปกำจัดโดยวิธีอื่นที่ปลอดภัยกว่า ทำให้ประชาชนส่วนใหญ่เลือกทิ้งภาชนะใส่สารเคมีทางการเกษตรในถังขยะ ก่อนนำมากำจัดในพื้นที่นี้

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

กำจัดขยะของเทศบาลตำบลในเมือง อำเภอพิชัย จังหวัดอุตรดิตถ์ มีปริมาณแคดเมียมอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์ประเมินโครงการดินดีชีวีปลอดภัยของกรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ซึ่งเป็นเกณฑ์มาตรฐานโลหะหนักในดินเกษตรกรรมของประเทศไทย กำหนดให้แคดเมียมต้องมีค่าไม่เกิน 0.5 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (สุขสมาน สักโยคะ และคณะ, 2552) จะพบว่าดินในบ่อฝังกลบขยะมีปริมาณแคดเมียมเกินกว่าเกณฑ์มาตรฐานดินดีชีวีปลอดภัย จึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้เพื่อการเกษตร และยังคงเฝ้าระวังไม่ให้น้ำชะขยะปนเปื้อนออกสู่พื้นที่ภายนอกเนื่องจากแคดเมียมเป็นโลหะหนักที่มีพิษ

ตาราง 4.12 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติเปอร์เซ็นต์การลดลงของแคดเมียม

	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)

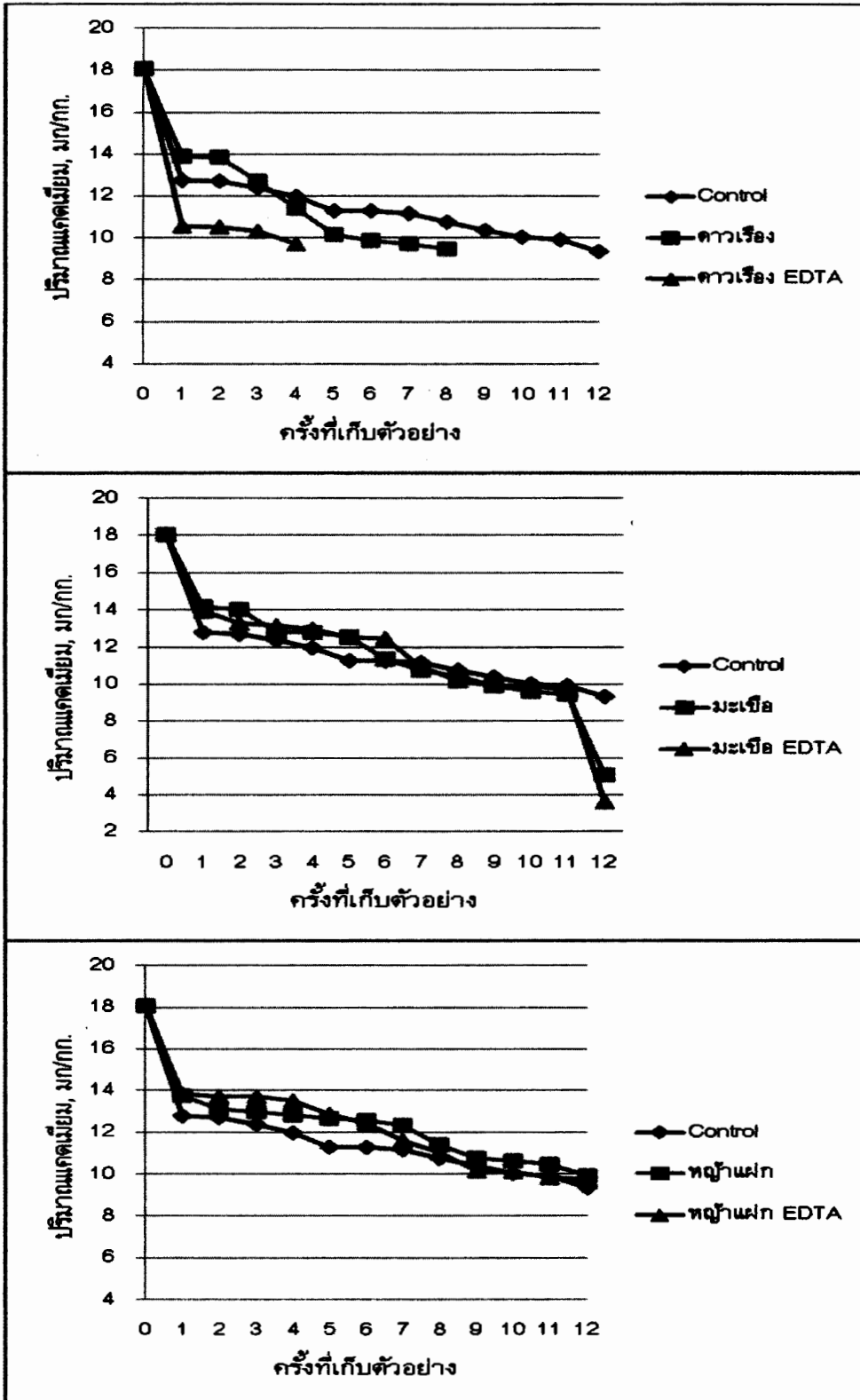
ตาราง 4.13 แคดเมียม (Cd) (มิลลิกรัม/กิโลกรัม) ในแต่ละชุดการทดลอง

ครั้งที่	Control		% ดาวเรือง		% ดาวเรือง		% มะเขือ		% มะเขือ		% หนุ่ยแฝก		% หนุ่ยแฝก	
	ผลล	%	ผลล	%	ผลล	%	ผลล	%	ผลล	%	ผลล	%	EDTA	%
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 <sup>a</sup>	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 <sup>a</sup>	-	-	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 <sup>a</sup>	-	-	-	-	5.10±1.23	71.76 <sup>a</sup>	3.63±0.58	79.91 <sup>a</sup>	9.92±0.31	45.09 <sup>a</sup>	9.75±0.77	46.03 <sup>a</sup>
ปริมาณ	8.72	-	8.58	-	8.34	-	12.96	-	14.43	-	8.14	-	8.31	-
แคดเมียมที่														
ลดลง														

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 (<sup>a</sup>) แสดงความแตกต่างกันทางสถิติ (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 %) หนุ่ยแผลลดลง 309.25 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (คิดเป็น 51.37%) และหนุ่ยแผลที่เติมอีดีทีเอลดลง 318.40 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (คิดเป็น 52.88%) ดังตาราง 4.15 จากการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การลดลงของปริมาณสังกะสีทางสถิติ พบว่า ในทุกชุดการทดลองไม่แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) ดังตาราง 4.14

จากการศึกษาปริมาณสังกะสีในดินในพื้นที่กำจัดขยะมีปริมาณเท่ากับ 602.06 มิลลิกรัม/กิโลกรัม อภิชาติ 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 พบว่าเกินเกณฑ์มาตรฐานเนื่องจากมีปริมาณสังกะสีในดินต้องไม่เกิน 100 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

สังกะสีเป็นจุลธาตุที่จำเป็นสำหรับพืชชนิดหนึ่ง เนื่องจากสังกะสีเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของเซลล์เมมเบรนและเอนไซม์บางชนิด เมื่อพืชขาดธาตุสังกะสี จะทำให้การเจริญเติบโตของพืชชะงัก ลำต้นแคระแกรน ใบเป็นสีเหลืองและม้วนงอ ถ้าขาดรุนแรงอาจทำให้ไม่ให้ผลผลิต ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ที่พืชสามารถนำเอาธาตุสังกะสีไปใช้ประโยชน์ได้มากที่สุดจะอยู่ในช่วง 5.5-6.0 เมื่อค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) สูงกว่า 6.0 ปริมาณที่เป็นประโยชน์ของธาตุสังกะสีจะเริ่มลดลง (บุญแสน เตียวกุลธรรม, ม.ป.ป.)

ตาราง 4.14 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติเปอร์เซ็นต์การลดลงของสังกะสี

	Mean	Std.	F-test	Slg.
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 ( $p < 0.05$ )

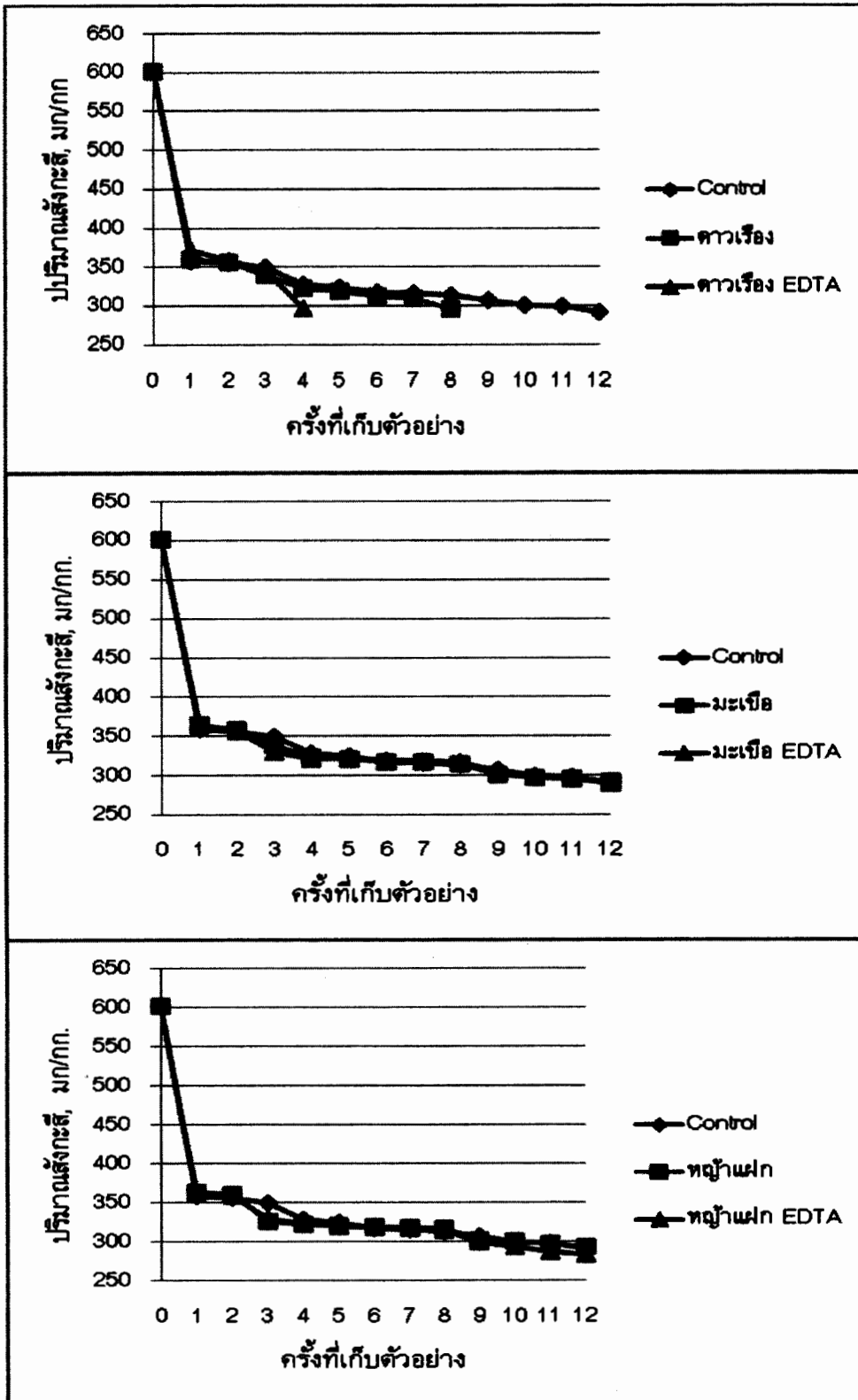
ตาราง 4.15 สังกะสี (Zn) (มิลลิกรัม/กิโลกรัม) ในแต่ละชุดการทดลอง

ครั้งที่	Control		% ดาวเรือง		% ดาวเรือง		% มะเขือ		% มะเขือ		% หนุ่ยแม่ก		% หนุ่ยแม่ก	
	ผลล	EDTA	ผลล	EDTA	ผลล	EDTA	ผลล	EDTA	ผลล	EDTA	ผลล	EDTA	ผลล	EDTA
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 <sup>a</sup>	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 <sup>a</sup>	-	-	314.80±4.92	47.71	317.32±6.39	47.29	316.69±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 <sup>a</sup>	-	-	-	-	291.46±2.55	51.59 <sup>a</sup>	288.96±6.41	52.00 <sup>a</sup>	292.81±6.97	51.37 <sup>a</sup>	283.66±17.40	52.88 <sup>a</sup>
ปริมาณสังกะสี ที่ลดลง	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 (<sup>a,b</sup>) 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 %) ดาวเรืองที่เติมฮีทีที่เอลดลง 1,671.28 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (คิดเป็น 43.26%) จากการเปรียบเทียบในระยะเวลา 4 สัปดาห์ พบว่า ดาวเรืองที่เติมฮีทีที่เอมีปริมาณเหล็กลดลงมากกว่าดาวเรืองที่ไม่เติมฮีทีที่เอ 20.92 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ในขณะที่มะเขือลดลง 1,904.23 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (คิดเป็น 49.29 %) มะเขือที่เติมฮีทีที่เอลดลง 2,039.96 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (คิดเป็น 52.80%) และหญ้าแฝกลดลง 1,959.98 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (คิดเป็น 50.73%) หญ้าแฝกที่เติมฮีทีที่เอลดลง 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 โดยเหล็กมีแหล่งกำเนิดคือเป็นส่วนประกอบของแร่ปฐมภูมิและอินทรีย์วัตถุในดินเป็นส่วนประกอบที่ถูกตรึงอยู่กับแร่ดินเหนียวและฮิวมัส ถูกดูดซับอยู่ที่ผิวของอนุภาคปฐมภูมิของดิน ผิวของอินทรีย์วัตถุ 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) (บุญแสน เตียวบุญธรรม, ม.ป.ป.)

ตาราง 4.16 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติเปอร์เซ็นต์การลดลงของเหล็ก

	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&lt; 0.05)

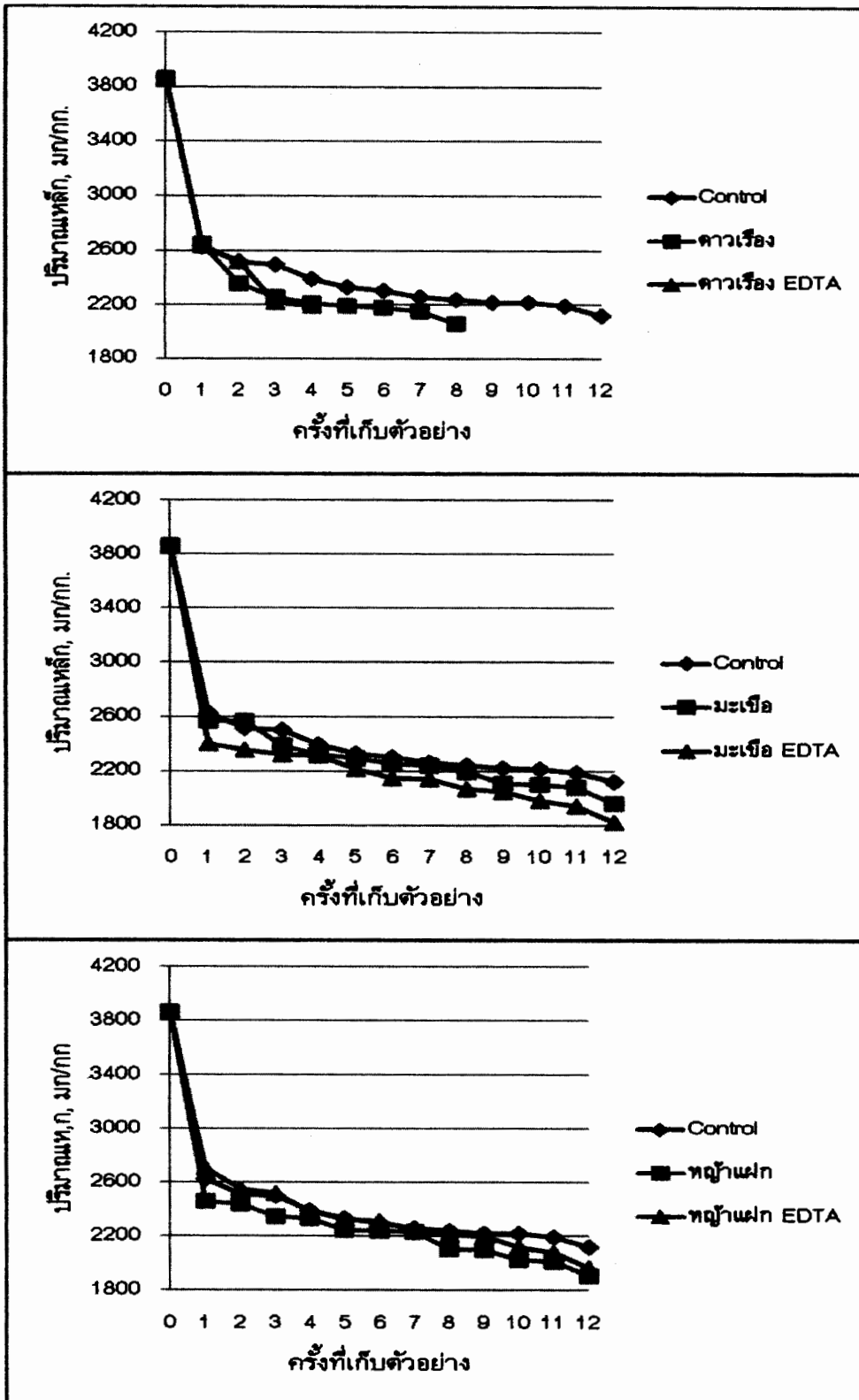
ตาราง 4.17 เหล็ก (Fe) (มิลลิกรัม/กิโลกรัม) ในแต่ละชุดการทดลอง

ครั้งที่	Control		% คิวเวอเรีย		% คิวเวอเรีย		% มะเขือ		% มะเขือ		% ฟูยาแมก		% ฟูยาแมก		%
	ผลล	ผลล	ผลล	EDTA	ผลล	EDTA	ผลล	EDTA	ผลล	EDTA	ผลล	EDTA	ผลล	EDTA	
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	0.00
1	2625.05±109.92	32.06	2644.50±114.58	31.55	2630.98±107.07	31.90	2565.37±13.76	33.60	2398.85±115.01	37.91	2459.45±181.01	36.34	2707.52±120.63	36.34	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	36.84	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	39.25	34.89
4	2391.97±109.25	38.09	2213.25±115.24	42.72	2192.33±103.23	43.26 <sup>a</sup>	2318.87±110.80	39.98	2316.37±128.89	40.05	2331.67±115.73	39.65	2385.72±163.65	39.65	38.25
5	2330.12±15.06	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	41.91	39.79
6	2301.98±324.89	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	41.97	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	42.24	42.06
8	2239.52±194.32	42.04	2059.85±171.93	46.69 <sup>a</sup>	-	-	2192.97±158.40	43.24	2065.78±121.63	46.53	2108.92±137.23	45.42	2214.83±119.22	45.42	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	45.65	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±108.94	47.49	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	48.00	46.17
12	2118.20±143.12	45.18 <sup>a</sup>	-	-	-	-	1959.38±101.97	49.29 <sup>b</sup>	1823.65±204.83	52.80 <sup>a</sup>	1903.63±120.43	50.73 <sup>a</sup>	1963.62±108.11	50.73 <sup>a</sup>	49.18 <sup>a</sup>
ปริมาณเหล็ก ที่ลดลง	1745.41	-	1803.76	-	1671.28	-	1904.23	-	2039.96	-	1959.98	-	1899.99	-	-

หมายเหตุ - ชุดการทดลองคิวเวอเรียที่ไม่มีค่าเนื่องจากต้นคิวเวอเรียตาย

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 (<sup>a</sup>,<sup>b</sup>) แสดงความแตกต่างทางสถิติที่ (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 ก็จะมีสภาพความเป็นด่าง 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) และเนื่องจากอุณหภูมิมิมีผลต่อโครงสร้างและการทำงานของเอนไซม์ในวิถีเมทาบอลิซึมต่างๆ 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 และหญาแฝกเท่ากับ 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 รากหญาแฝก 6.18 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และใบหญาแฝก 3.03 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ดังตาราง 4.18

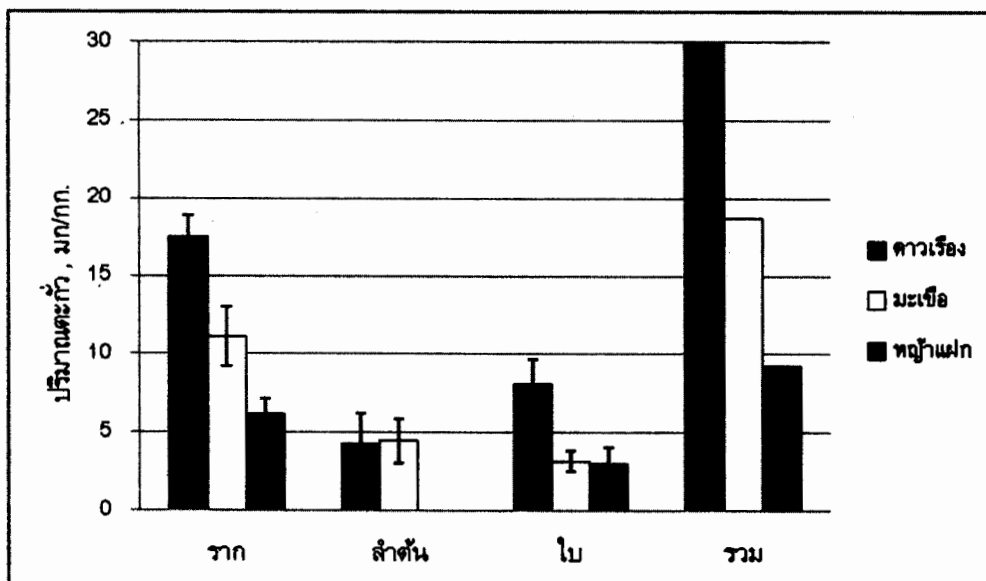
ตาราง 4.18 ปริมาณตะกั่ว (Pb) ที่สะสมในพืชก่อนปลูก (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)

ส่วนประกอบของพืช	ดาวเรือง	มะเขือ	หญาแฝก
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
<b>ปริมาณโลหะหนัก(รวม)</b>	<b>29.86</b>	<b>18.75</b>	<b>9.21</b>

หมายเหตุ – ชุดการทดลองหญาแฝกที่ไม่มีค่าเนื่องจากหญาแฝกไม่มีลำต้น

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 และหนุ้าแฝกเท่ากับ 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 รากหนุ้าแฝก 8.71 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และใบหนุ้าแฝก 5.04 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ดังตาราง 4.19

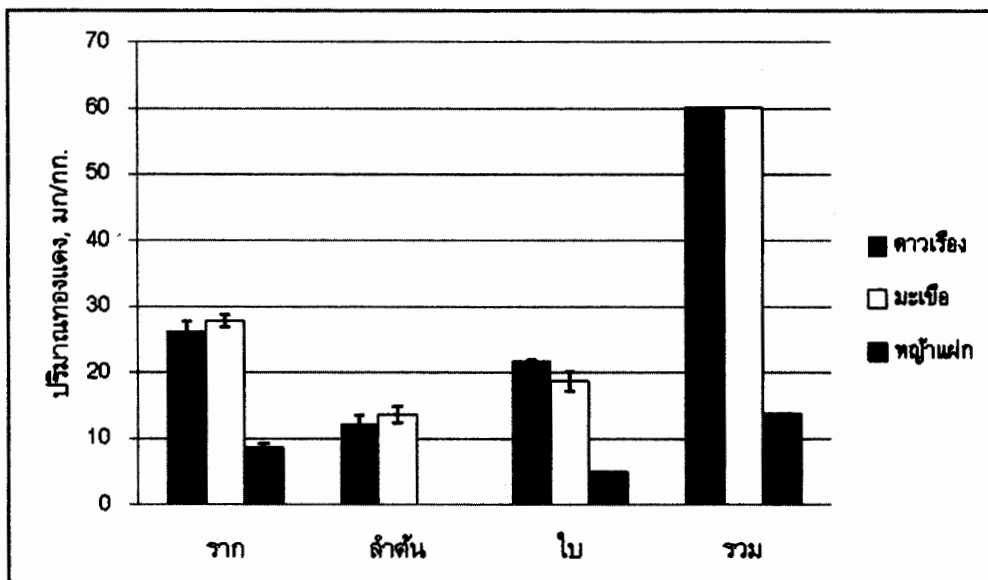
ตาราง 4.19 ปริมาณทองแดง (Cu) ที่สะสมในพืชก่อนปลูก (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)

ส่วนประกอบของพืช	ดาวเรือง	มะเขือ	หนุ้าแฝก
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 – ชุดการทดลองหนุ้าแฝกที่ไม่มีค่าเนื่องจากหนุ้าแฝกไม่มีลำต้น

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 และหยู้าแฝกเท่ากับ 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 รากหยู้าแฝก 2.66 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และใบหยู้าแฝก 2.37 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ดังตาราง 4.20

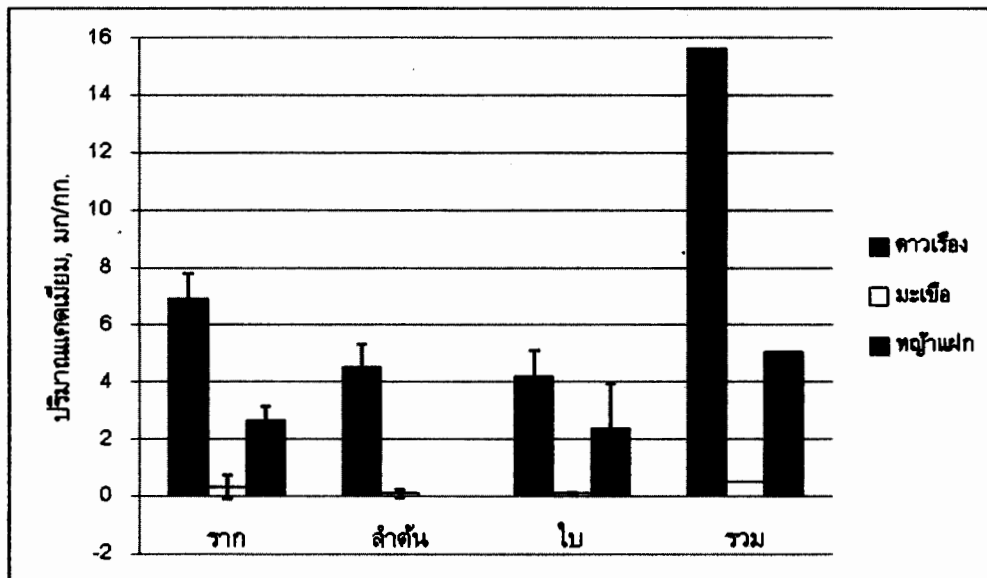
ตาราง 4.20 ปริมาณแคดเมียม (Cd) ที่สะสมในพืชก่อนปลูก (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)

ส่วนประกอบของพืช	ดาวเรือง	มะเขือ	หยู้าแฝก
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 – ชุดการทดลองหยู้าแฝกที่ไม่มีค่าเนื่องจากหยู้าแฝกไม่มีลำต้น

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 และพริกไทยเผก เท่ากับ 185.17 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ซึ่งสามารถแยกตามส่วนประกอบต่างๆ ของพืชได้ดังนี้ รากดาวเรือง 137.78 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ลำต้นดาวเรือง 74.15 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และ ใบดาวเรือง 87.99 มิลลิกรัม/กิโลกรัม รากมะเขือ 80.89 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ลำต้นมะเขือ 50.57 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และใบมะเขือ 34.18 มิลลิกรัม/กิโลกรัม รากพริกไทยเผก 118.53 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และใบพริกไทยเผก 66.64 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ดังตาราง 4.21

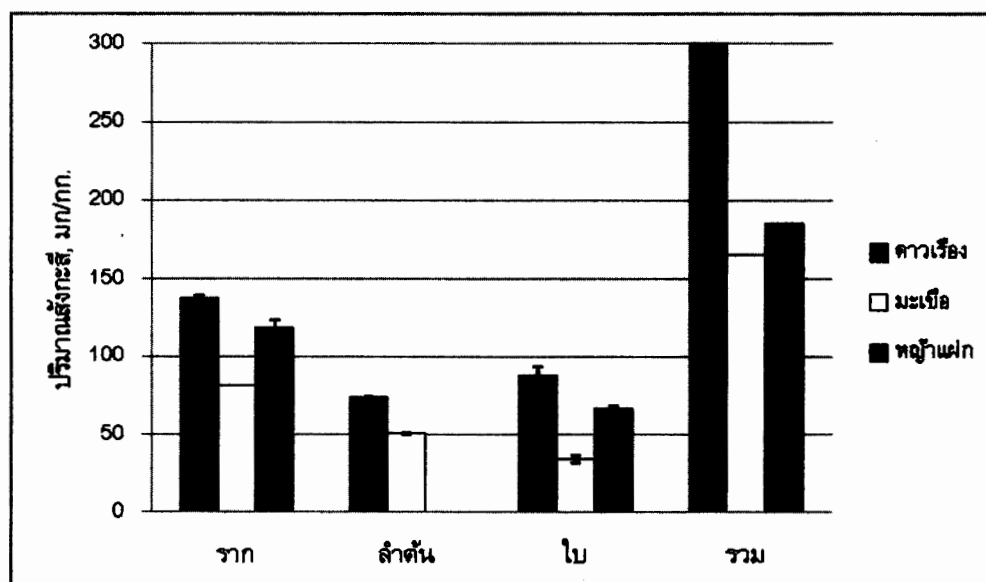
ตาราง 4.21 ปริมาณสังกะสี (Zn) ที่สะสมในพืชก่อนปลูก (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)

ส่วนประกอบของพืช	ดาวเรือง	มะเขือ	พริกไทยเผก
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 - ชุดการทดลองพริกไทยเผกที่ไม่มีค่าเนื่องจากพริกไทยเผกไม่มีลำต้น

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 และพญาแฝก เท่ากับ 142.95 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ซึ่งสามารถแยกตามส่วนประกอบต่างๆ ของพืชได้ดังนี้ รากดาวเรือง 141.18 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ลำต้นดาวเรือง 22.76 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และ ใบดาวเรือง 29.46 มิลลิกรัม/กิโลกรัม รากมะเขือ 153.48 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ลำต้นมะเขือ 29.21 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และใบมะเขือ 29.15 มิลลิกรัม/กิโลกรัม รากพญาแฝก 97.93 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และใบพญาแฝก 45.02 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ดังตาราง 4.22

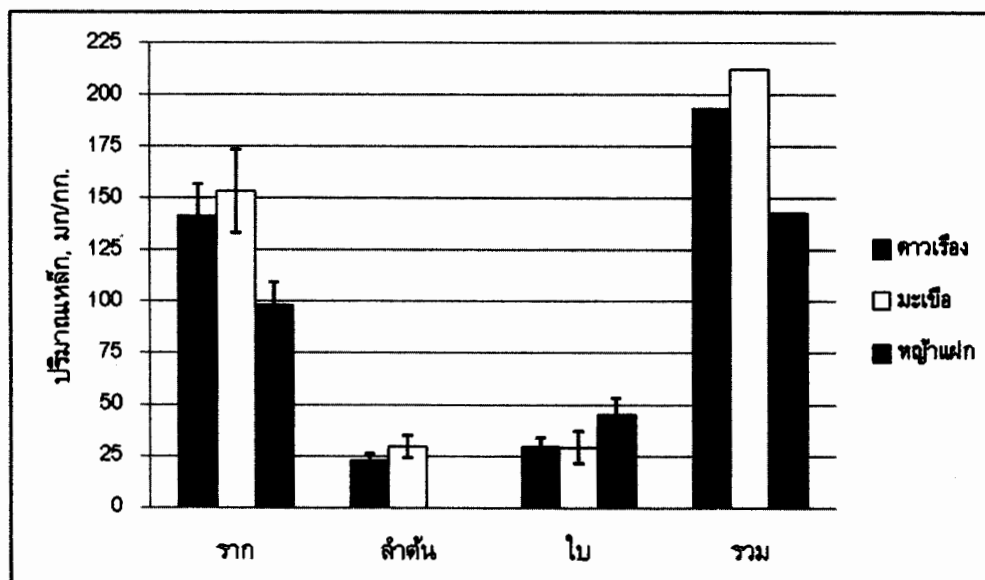
ตาราง 4.22 ปริมาณเหล็ก (Fe) สะสมในพืชก่อนปลูก (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)

ส่วนประกอบของพืช	ดาวเรือง	มะเขือ	พญาแฝก
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
<b>ปริมาณโลหะหนัก(รวม)</b>	<b>193.40</b>	<b>211.84</b>	<b>142.95</b>

หมายเหตุ - ชุดการทดลองพญาแฝกที่ไม่มีค่าเนื่องจากพญาแฝกไม่มีลำต้น

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 ปริมาณตะกั่วที่สะสมอยู่ในดาวเรืองที่ไม่เติมอิตีทีเอมีปริมาณเท่ากับ 62.42 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ซึ่งใกล้เคียงกับ Sun et al., (2011) ที่รายงานว่าดาวเรืองสะสมตะกั่วเท่ากับ 69.75 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ดาวเรืองที่เติมอิตีทีเอเท่ากับ 74.60 มิลลิกรัม/กิโลกรัม มะเขือที่ไม่เติมอิตีทีเอเท่ากับ 37.63 มิลลิกรัม/กิโลกรัม มะเขือที่เติมอิตีทีเอเท่ากับ 53.51 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และหญ้าแฝกที่ไม่เติมอิตีทีเอเท่ากับ 17.59 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และหญ้าแฝกที่เติมอิตีทีเอเท่ากับ 17.96 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ใกล้เคียงกับ Chen et al., (2004) ที่รายงานว่าหญ้าแฝกที่เติมอิตีทีเอ 5 มิลลิโมล/กิโลกรัม สะสมตะกั่วได้ 19.19 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับ การบำบัดโลหะหนักของทานตะวันพบว่าทานตะวันสะสมตะกั่วอยู่ระหว่าง 6.65-9.81 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (อภิชาติ 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 รากดาวเรืองที่ไม่เติมอิตีทีเอเท่ากับ 30.24 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ลำต้นดาวเรืองที่ไม่เติมอิตีทีเอเท่ากับ 5.82 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ใบดาวเรืองที่ไม่เติมอิตีทีเอเท่ากับ 16.32 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และดอกดาวเรืองที่ไม่เติมอิตีทีเอเท่ากับ 10.04 มิลลิกรัม/กิโลกรัม รากดาวเรืองที่เติมอิตีทีเอเท่ากับ 11.07 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ลำต้นดาวเรืองที่เติมอิตีทีเอเท่ากับ 23.68 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และใบดาวเรืองที่เติมอิตีทีเอเท่ากับ 39.85 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

รากมะเขือที่ไม่เติมอิตีทีเอเท่ากับ 25.65 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ลำต้นมะเขือที่ไม่เติมอิตีทีเอเท่ากับ 5.83 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และใบมะเขือที่ไม่เติมอิตีทีเอเท่ากับ 6.15 มิลลิกรัม/กิโลกรัม รากมะเขือที่เติมอิตีทีเอเท่ากับ 33.49 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ลำต้นมะเขือที่เติมอิตีทีเอเท่ากับ 8.66 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ใบมะเขือที่เติมอิตีทีเอเท่ากับ 9.08 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และผลมะเขือที่เติมอิตีทีเอเท่ากับ 2.29 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

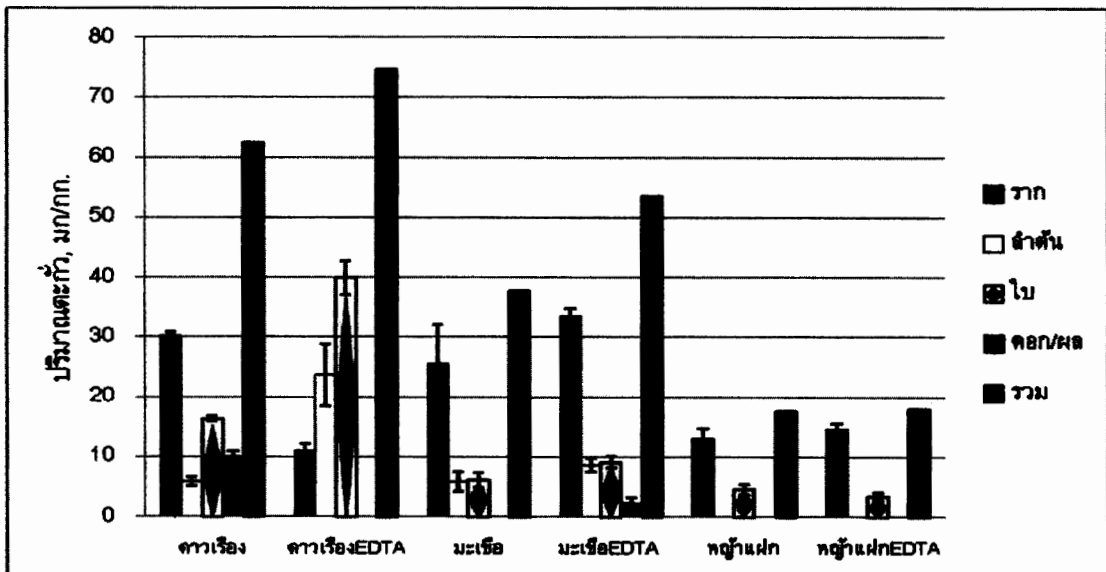
รากหญ้าแฝกที่ไม่เติมอิตีทีเอเท่ากับ 13.03 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และใบหญ้าแฝกที่ไม่เติมอิตีทีเอเท่ากับ 4.56 มิลลิกรัม/กิโลกรัม รากหญ้าแฝกที่เติมอิตีทีเอเท่ากับ 14.62 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และใบหญ้าแฝกที่เติมอิตีทีเอเท่ากับ 3.34 มิลลิกรัม/กิโลกรัม  
 ดังตาราง 4.23

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

ส่วนประกอบ ของพืช	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

- ชุดการทดลองดาวเรืองที่เติมฮีสทีโอที่ไม่มีค่าเนื่องจากต้นดาวเรืองตาย
- 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 และเมื่อเปรียบเทียบกับกรับำบัดโลหะหนักของทานตะวันพบว่าทานตะวันสะสมทองแดงเท่ากับ 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

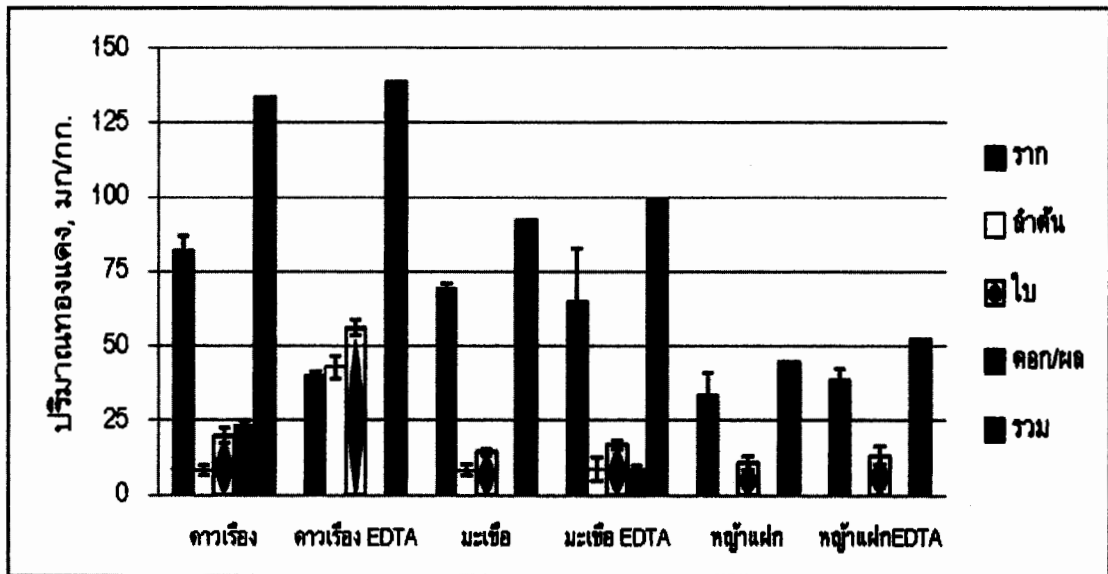
รากหญ้าแฝกที่ไม่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 33.81 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และใบหญ้าแฝกที่ไม่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 10.61 มิลลิกรัม/กิโลกรัม รากหญ้าแฝกที่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 38.85 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และใบหญ้าแฝกที่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 13.38 มิลลิกรัม/กิโลกรัม  
 ดังตาราง 4.24

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

ส่วนประกอบ ของพืช	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

- ชุดการทดลองดาวเรืองที่เติมฮิโดรเจนซัลไฟด์ที่ไม่มีค่าเนื่องจากต้นดาวเรืองตาย
- ชุดการทดลองหญ้าแฝกที่ไม่มีค่าเนื่องจากหญ้าแฝกไม่มีลำต้น
- ชุดการทดลองมะเขือที่ไม่มีค่าเนื่องจากมะเขือไม่ออกผล



ภาพ 4.14 ปริมาณทองแดง (Cu) ที่สะสมในพืชหลังปลูก

## 4.2.2.3 แคดเมียม (Cd) มิลลิกรัม/กิโลกรัม

จากการทดลอง พบว่า ปริมาณแคดเมียมที่สะสมอยู่ในดาวเรืองที่ไม่เติมฮิโดรเจนซัลไฟด์มีปริมาณเท่ากับ 25.83 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ซึ่งใกล้เคียงกับ Sun et al., (2011) ที่รายงานว่าดาวเรืองสะสมแคดเมียมเท่ากับ 19.25 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ดาวเรืองที่เติมฮิโดรเจนซัลไฟด์เท่ากับ 23.55 มิลลิกรัม/กิโลกรัม มะเขือที่ไม่เติมฮิโดรเจนซัลไฟด์เท่ากับ 5.39 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และ

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

โดยสามารถแยกตามส่วนประกอบต่างๆ 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

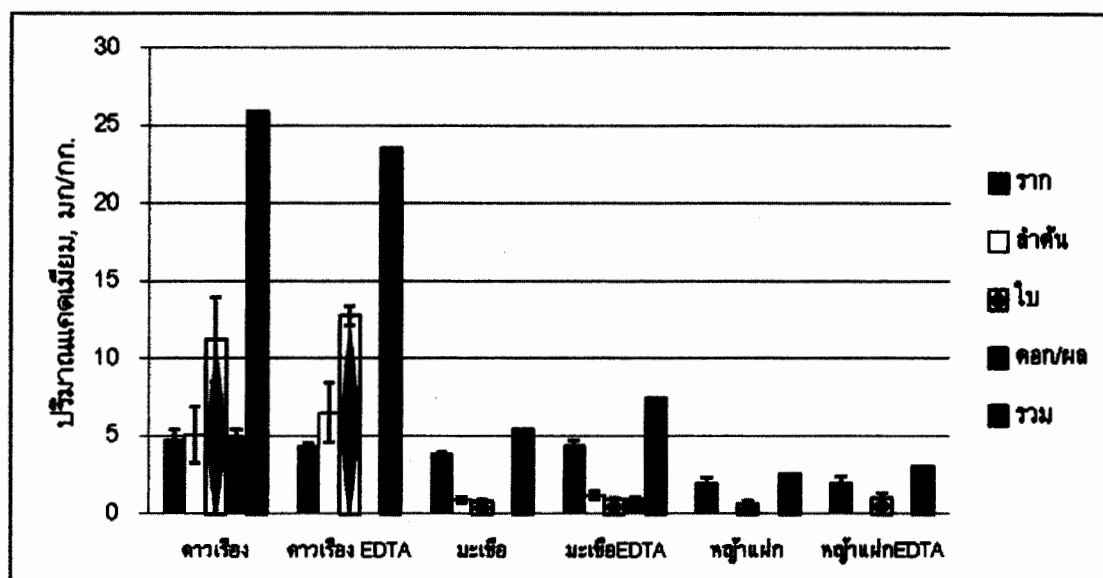
รากพญาแฝกที่ไม่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 1.93 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และใบพญาแฝกที่ไม่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 0.63 มิลลิกรัม/กิโลกรัม รากพญาแฝกที่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 1.99 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และใบพญาแฝกที่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 1.00 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ดังตาราง 4.25

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

ส่วนประกอบ ของพืช	ดาวเรือง	ดาวเรือง EDTA	มะเขือ	มะเขือ EDTA	พญาแฝก	พญาแฝก 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
- ชุดการทดลองพญาแฝกที่ไม่มีค่าเนื่องจากพญาแฝกไม่มีลำต้น
- ชุดการทดลองมะเขือที่ไม่มีค่าเนื่องจากมะเขือไม่ออกผล



ภาพ 4.15 ปริมาณแคดเมียม (Cd) ที่สะสมในพืชหลังปลูก

#### 4.2.2.4 สังกะสี (Zn) มิลลิกรัม/กิโลกรัม

จากการทดลอง พบว่า ปริมาณสังกะสีที่สะสมอยู่ในดาวเรืองที่ไม่มีการเติมฮีดรอกซีดีมีปริมาณเท่ากับ 620.81 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ดาวเรืองที่เติมฮีดรอกซีดีเท่ากับ 632.16 มิลลิกรัม/กิโลกรัม มะเขือที่ไม่มีการเติมฮีดรอกซีดีเท่ากับ 343.86 มิลลิกรัม/กิโลกรัม มะเขือที่เติม ฮีดรอกซีดีเท่ากับ 430.86 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และหนุ่ยฝักที่ไม่เติมฮีดรอกซีดีเท่ากับ 225.23 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และหนุ่ยฝักที่เติมฮีดรอกซีดีเท่ากับ 241.26 มิลลิกรัม/กิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของดินพบว่าดินที่ปลูกพืชเหล่านี้สะสมสังกะสีเท่ากับ 100.70 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (ดวงกมล คำสอน และ ชมพูนุช ไชยรักษ์, 2556) และ อภิชาติ วิจักขณ์รัตนะ และคณะ (2552) รายงานว่าดินที่ปลูกพืชเหล่านี้สะสมสังกะสีได้ระหว่าง 109.8-134.2 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

โดยสามารถแยกตามส่วนประกอบต่างๆ ของพืชได้ดังนี้ รากดาวเรืองที่ไม่มีการเติมฮีดรอกซีดีเท่ากับ 261.95 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ลำต้นดาวเรืองที่ไม่มีการเติมฮีดรอกซีดีเท่ากับ 87.75 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ใบดาวเรืองที่ไม่มีการเติมฮีดรอกซีดีเท่ากับ 179.18 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และดอกดาวเรืองที่ไม่มีการเติมฮีดรอกซีดีเท่ากับ 91.93 มิลลิกรัม/กิโลกรัม รากดาวเรืองที่เติมฮีดรอกซีดีเท่ากับ 59.82 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ลำต้นดาวเรืองที่เติมฮีดรอกซีดีเท่ากับ 259.63 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และใบดาวเรืองที่เติมฮีดรอกซีดีเท่ากับ 312.71 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

รากมะเขือที่ไม่เติมฮีดรอกซีดีเท่ากับ 156.70 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ลำต้นมะเขือไม่เติมฮีดรอกซีดีเท่ากับ 126.79 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และใบมะเขือไม่เติมฮีดรอกซีดีเท่ากับ 60.37 มิลลิกรัม/กิโลกรัม รากมะเขือที่เติมฮีดรอกซีดีเท่ากับ 156.09 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ลำต้น



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

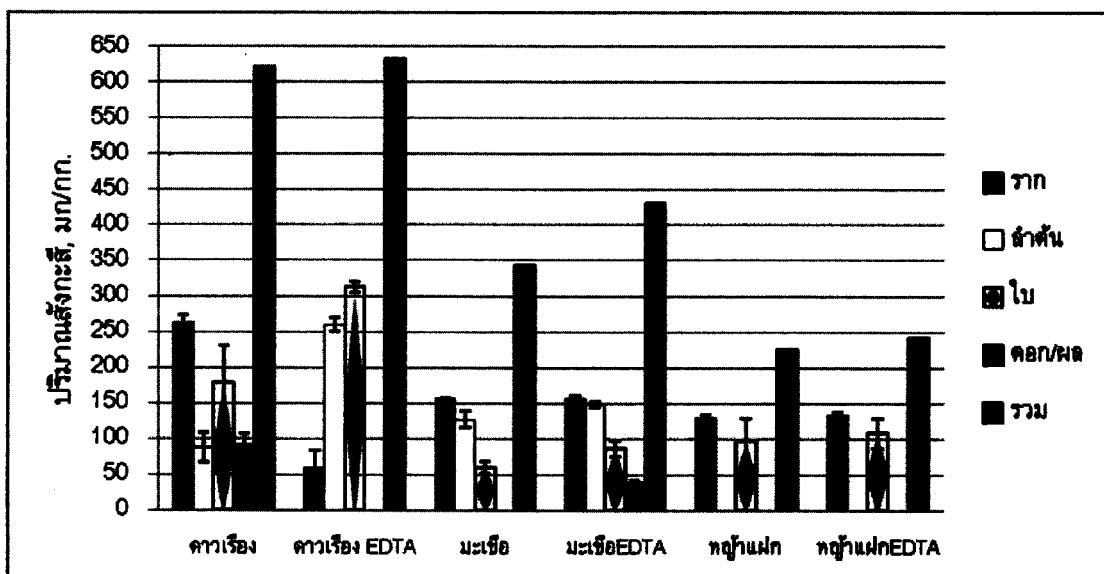
รากหญ้าแฝกที่ไม่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 128.85 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และใบหญ้าแฝกที่ไม่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 96.38 มิลลิกรัม/กิโลกรัม รากหญ้าแฝกที่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 132.97 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และใบหญ้าแฝกที่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 108.29 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ดังตาราง 4.26

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

ส่วนประกอบ ของพืช	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 ปริมาณเหล็กที่สะสมอยู่ในดาวเรืองที่ไม่เติมฮีตีทีเอมีปริมาณเท่ากับ 1,580.83 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ดาวเรืองที่เติมฮีตีทีเอเท่ากับ 1,616.01 มิลลิกรัม/กิโลกรัม มะเขือที่ไม่เติมฮีตีทีเอเท่ากับ 1,603.18 มิลลิกรัม/กิโลกรัม มะเขือที่เติมฮีตีทีเอเท่ากับ 1,925.15 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และหญ้าแฝกที่ไม่เติมฮีตีทีเอเท่ากับ 1,052.05 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และหญ้าแฝกที่เติมฮีตีทีเอเท่ากับ 997.26 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

โดยสามารถแยกตามส่วนประกอบต่างๆ ของพืชได้ดังนี้ รากดาวเรืองที่ไม่เติมฮีตีทีเอเท่ากับ 902.91 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ลำต้นดาวเรืองที่ไม่เติมฮีตีทีเอเท่ากับ 139.57 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และใบดาวเรืองที่ไม่เติมฮีตีทีเอเท่ากับ 367.94 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ดอกดาวเรืองที่ไม่เติมฮีตีทีเอเท่ากับ 170.40 มิลลิกรัม/กิโลกรัม รากดาวเรืองที่เติมฮีตีทีเอเท่ากับ 465.39 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ลำต้นดาวเรืองที่เติมฮีตีทีเอเท่ากับ 524.06 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และใบดาวเรืองที่เติมฮีตีทีเอเท่ากับ 626.55 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

รากมะเขือที่ไม่เติมฮีตีทีเอเท่ากับ 859.27 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ลำต้นมะเขือที่ไม่เติมฮีตีทีเอเท่ากับ 293.99 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และใบมะเขือที่ไม่เติมฮีตีทีเอเท่ากับ 449.92 มิลลิกรัม/กิโลกรัม รากมะเขือที่เติมฮีตีทีเอเท่ากับ 848.54 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ลำต้นมะเขือที่เติมฮีตีทีเอเท่ากับ 256.35 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และใบมะเขือที่เติมฮีตีทีเอเท่ากับ 647.60 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และผลมะเขือที่เติมฮีตีทีเอเท่ากับ 172.66 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

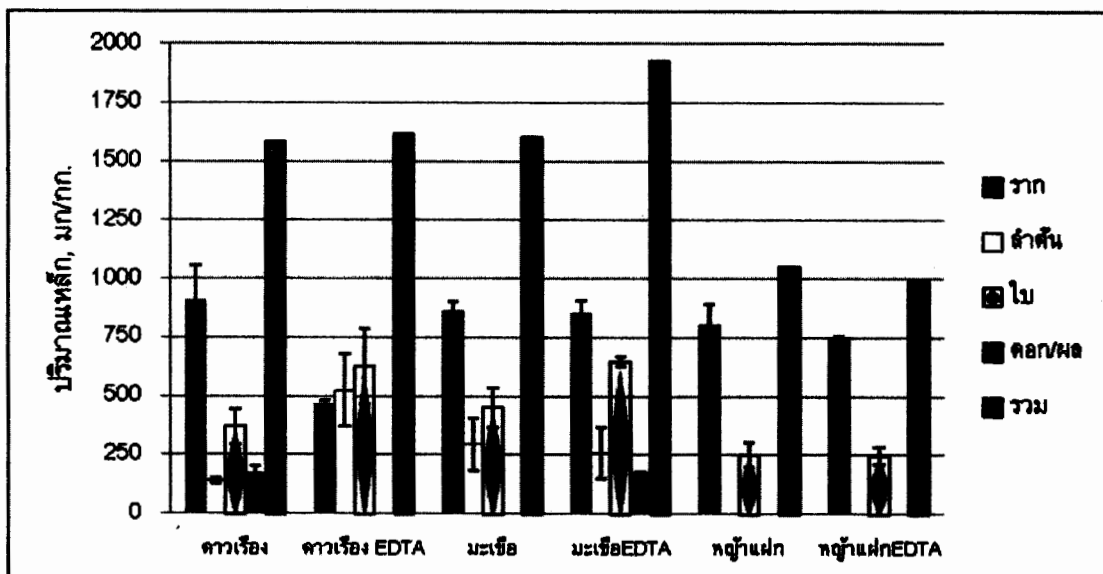
รากหญ้าแฝกที่ไม่เติมฮีตีทีเอเท่ากับ 802.57 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และใบหญ้าแฝกที่ไม่เติมฮีตีทีเอเท่ากับ 249.48 มิลลิกรัม/กิโลกรัม รากหญ้าแฝกที่เติมฮีตีทีเอเท่ากับ 751.54 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และใบหญ้าแฝกที่เติมฮีตีทีเอเท่ากับ 245.71 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ดังตาราง 4.27

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

ประกอบ	ดาวเรือง	ดาวเรือง	มะเขือ	มะเขือ	หญ้าแฝก	หญ้าแฝก
ของพืช		EDTA		EDTA		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
ลำต้น	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
ดอก/ผล	170.40±31.38	-	-	172.66±6.29	-	-
รวม	1580.83	1616.01	1603.18	1925.15	1052.05	997.26

## หมายเหตุ

- ชุดการทดลองดาวเรืองอีติทีเอที่ไม่มีค่าเนื่องจากต้นดาวเรืองตาย
- ชุดการทดลองหญ้าแฝกที่ไม่มีค่าเนื่องจากหญ้าแฝกไม่มีลำต้น
- ชุดการทดลองมะเขือที่ไม่มีค่าเนื่องจากมะเขือไม่ออกผล



ภาพ 4.17 ปริมาณเหล็ก (Fe) ที่สะสมในพืชหลังปลูก

จากการทดลองจะเห็นได้ว่าในชุดการทดลองดาวเรืองที่มีการเติมอีติทีเอ ดาวเรืองจะตายลงในสัปดาห์ที่ 3 เนื่องจากอีติทีเอเป็นพิษสำหรับพืชบางชนิด Dufkova, (1984) รายงานว่าอีติทีเอออกฤทธิ์ยับยั้งการแบ่งเซลล์ ยับยั้งการสร้างคลอโรฟิลล์ และยับยั้งการสร้างมวลชีวภาพของสาหร่าย Chen et al., (2004) รายงานว่าอีติทีเอสามารถเป็นพิษต่อพืชและจุลินทรีย์ในดิน และในชุดการทดลองมะเขือโดยมะเขือที่ไม่มีการเติมอีติทีเอไม่ออกผล เนื่องจากขาดแคลเซียม (Ca) ซึ่งแคลเซียมเป็นธาตุที่มีความจำเป็นต่อพืชเนื่องจากเป็นธาตุ

อาหารรองมีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของผนังเซลล์ที่อยู่ในรูปของแคลเซียมแพคเตต (Calcium Pectate) ช่วยในการแบ่งเซลล์ ช่วยในการสร้างโปรตีนและช่วยในการทำงานของเอนไซม์หลายชนิด (บุญแสน เตียวบุญธรรม, 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 และในสภาวะที่มีการเติมอิทธิที่เอทำให้พืชมีการดูดซึมโลหะหนักได้เพิ่มขึ้น เนื่องจากอิทธิที่เอซึ่งมีคุณสมบัติเป็นสารก่อคีเลต จะช่วยให้โลหะหนักที่จับตัวเป็นโครงสร้างที่ซับซ้อนในดินมีการกระจายตัวและทำให้เกิดการเคลื่อนที่ได้มากขึ้น ทำให้สามารถดูดซึมโลหะหนักได้ดีขึ้น ส่งผลดีต่อการบำบัดพื้นที่ปนเปื้อนโดยใช้พืช (อภิชาติ 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 ๆ ในดินด้วย (สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน เล่มที่ 18)

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

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

#### 4.2.3 ผลต่างของปริมาณโลหะหนักที่พืชดูดซึมก่อนและหลังทำการ

##### ทดลอง

จากการวิเคราะห์หาปริมาณการสะสมของตะกั่วในทุกส่วนของพืช ที่ทำการทดลองพบว่าดาวเรืองที่ไม่เติมอิตีที่เอมีค่าเท่ากับ 32.56 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และดาวเรืองที่เติมอิตีที่เอมีค่าเท่ากับ 44.74 มิลลิกรัม/กิโลกรัม มะเขือที่ไม่เติมอิตีที่เอมีค่าเท่ากับ 18.88 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และมะเขือที่เติมอิตีที่เอมีค่าเท่ากับ 34.76 มิลลิกรัม/กิโลกรัม หงั่วแผลกที่ไม่เติมอิตีที่เอมีค่าเท่ากับ 17.59 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และหงั่วแผลกที่เติมอิตีที่เอมีค่าเท่ากับ 17.96 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

ปริมาณการสะสมของทองแดงในดาวเรืองที่ไม่เติมอิตีที่เอมีค่าเท่ากับ 73.19 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และดาวเรืองที่เติมอิตีที่เอมีค่าเท่ากับ 78.64 มิลลิกรัม/กิโลกรัม มะเขือที่ไม่เติมอิตีที่เอมีค่าเท่ากับ 32.01 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และมะเขือที่เติมอิตีที่เอมีค่าเท่ากับ 39.15 มิลลิกรัม/กิโลกรัม หงั่วแผลกที่ไม่เติมอิตีที่เอมีค่าเท่ากับ 44.42 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และหงั่วแผลกที่เติมอิตีที่เอมีค่าเท่ากับ 52.23 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

ปริมาณการสะสมของแคดเมียมในดาวเรืองที่ไม่เติมอิตีที่เอมีค่าเท่ากับ 10.21 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และดาวเรืองที่เติมอิตีที่เอมีค่าเท่ากับ 7.93 มิลลิกรัม/กิโลกรัม มะเขือที่ไม่เติมอิตีที่เอมีค่าเท่ากับ 4.89 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และมะเขือที่เติมอิตีที่เอมีค่าเท่ากับ 6.92 มิลลิกรัม/กิโลกรัม หงั่วแผลกที่ไม่เติมอิตีที่เอมีค่าเท่ากับ 2.56 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และหงั่วแผลกที่เติมอิตีที่เอมีค่าเท่ากับ 2.99 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

ปริมาณการสะสมของสังกะสีในดาวเรืองที่ไม่เติมอิตีที่เอมีค่าเท่ากับ 320.89 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และดาวเรืองที่เติมอิตีที่เอมีค่าเท่ากับ 332.94 มิลลิกรัม/กิโลกรัม มะเขือที่ไม่เติมอิตีที่เอมีค่าเท่ากับ 178.22 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และมะเขือที่เติมอิตีที่เอมีค่าเท่ากับ 265.22 มิลลิกรัม/กิโลกรัม หงั่วแผลกที่ไม่เติมอิตีที่เอมีค่าเท่ากับ 225.23 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และหงั่วแผลกที่เติมอิตีที่เอมีค่าเท่ากับ 241.26 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

ปริมาณการสะสมของเหล็กในดาวเรืองที่ไม่เติมอิตีที่เอมีค่าเท่ากับ 1,387.43 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และดาวเรืองที่เติมอิตีที่เอมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,422.61 มิลลิกรัม/กิโลกรัม มะเขือที่ไม่เติมอิตีที่เอมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 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

ผลของอีดีทีเอซึ่งมีคุณสมบัติเป็นสารก่อกับเลด จะช่วยให้โลหะหนักที่จับตัวเป็นโครงสร้างที่ซับซ้อนในดินมีการกระจายตัว และทำให้เกิดการเคลื่อนที่ได้มากขึ้น ทำให้พืชสามารถดูดซึมโลหะหนักได้ดีขึ้น ซึ่งส่งผลดีต่อการบำบัดพื้นที่ปนเปื้อนโดยใช้พืช (อภิชาติ วิจักขณ์รัตน์ และคณะ, 2552)

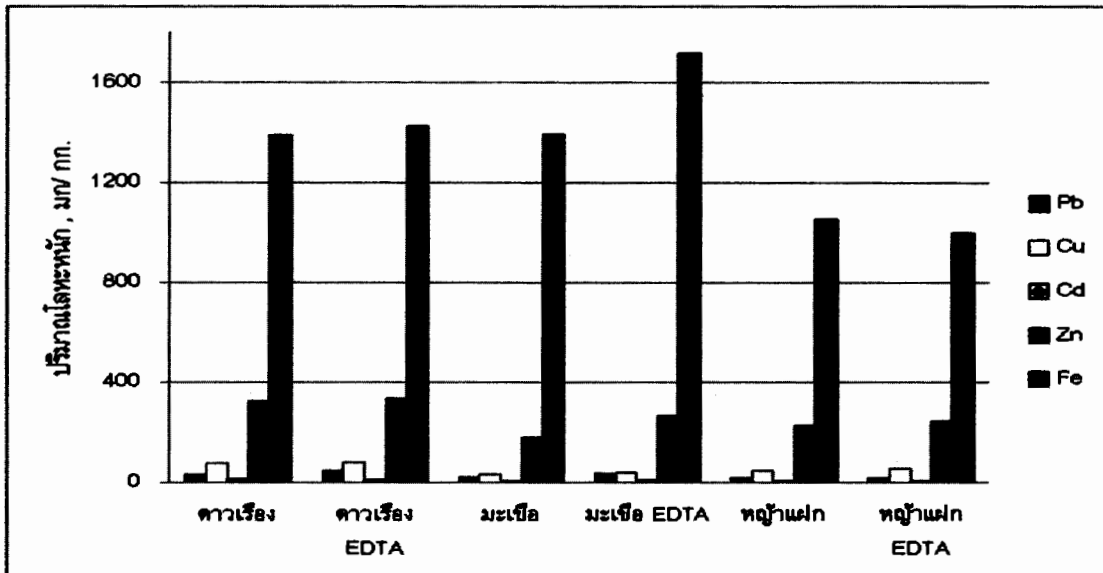
ตาราง 4.28 ประสิทธิภาพการดูดซึมโลหะหนักของพืชแต่ละชนิด (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)

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	slg
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 ประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนักของพืชแต่ละชนิด

#### 4.2.4 ปริมาณโลหะหนักในพืช (เปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนักของพืชแต่ละชนิด)

จากการวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์การสะสมของตะกั่วในดาวเรืองที่ไม่เติมฮีดรอกซิดที่เอเท่ากับ 13.80% และดาวเรืองที่เติมฮีดรอกซิดที่เอเท่ากับ 18.89% มะเขือที่ไม่เติมฮีดรอกซิดที่เอมีเท่ากับ 8.00% และมะเขือที่เติมฮีดรอกซิดที่เอเท่ากับ 14.73% หนุ่ยแฝกที่ไม่เติมฮีดรอกซิดที่เอเท่ากับ 7.46% และหนุ่ยแฝกที่เติมฮีดรอกซิดที่เอเท่ากับ 7.61%

การสะสมของทองแดงในดาวเรืองที่ไม่เติมฮีดรอกซิดที่เอเท่ากับ 26.95% และดาวเรืองที่เติมฮีดรอกซิดที่เอเท่ากับ 28.96% มะเขือที่ไม่เติมฮีดรอกซิดที่เอมีเท่ากับ 11.79% และมะเขือที่เติมฮีดรอกซิดที่เอเท่ากับ 14.42% หนุ่ยแฝกที่ไม่เติมฮีดรอกซิดที่เอเท่ากับ 16.36% และหนุ่ยแฝกที่เติมฮีดรอกซิดที่เอเท่ากับ 19.23%

การสะสมของแคดเมียมในดาวเรืองที่ไม่เติมฮีดรอกซิดที่เอเท่ากับ 56.53% และดาวเรืองที่เติมฮีดรอกซิดที่เอเท่ากับ 43.91% มะเขือที่ไม่เติมฮีดรอกซิดที่เอมีเท่ากับ 27.08% และมะเขือที่เติมฮีดรอกซิดที่เอเท่ากับ 38.32% หนุ่ยแฝกที่ไม่เติมฮีดรอกซิดที่เอเท่ากับ 14.17% และหนุ่ยแฝกที่เติมฮีดรอกซิดที่เอเท่ากับ 16.56%

การสะสมของสังกะสีในดาวเรืองที่ไม่เติมฮีดรอกซิดที่เอเท่ากับ 53.30% และดาวเรืองที่เติมฮีดรอกซิดที่เอเท่ากับ 55.30% มะเขือที่ไม่เติมฮีดรอกซิดที่เอมีเท่ากับ 29.60% และมะเขือที่เติมฮีดรอกซิดที่เอเท่ากับ 44.05% หนุ่ยแฝกที่ไม่เติมฮีดรอกซิดที่เอเท่ากับ 37.41% และหนุ่ยแฝกที่เติมฮีดรอกซิดที่เอเท่ากับ 40.07%

การสะสมของเหล็กในดาวเรืองที่ไม่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 35.91% และดาวเรืองที่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 36.82% มะเขือที่ไม่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 36.01% และมะเขือที่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 44.34% หนุ่ยผ่าฝักที่ไม่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 27.23% และหนุ่ยผ่าฝักที่เติมอีดีทีเอเท่ากับ 25.81% ดังตาราง 4.30 ซึ่งจากการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การดูดซึมโลหะหนักของพืชในทุกชุดการทดลอง ไม่แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) ดังตาราง 4.31

ผลของอีดีทีเอซึ่งมีคุณสมบัติเป็นสารก่อกลิเลต จะช่วยให้โลหะหนักที่จับตัวเป็นโครงสร้างที่ซับซ้อนในดินมีการกระจายตัว และทำให้เกิดการเคลื่อนที่ได้มากขึ้น ทำให้พืชสามารถดูดซึมโลหะหนักได้ดีขึ้น ซึ่งส่งผลดีต่อการบำบัดพื้นที่ปนเปื้อนโดยใช้พืช (อภิชาติ วิจักขณ์รัตนะ และคณะ, 2552)

ตาราง 4.30 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซึมโลหะหนักของพืชแต่ละชนิด

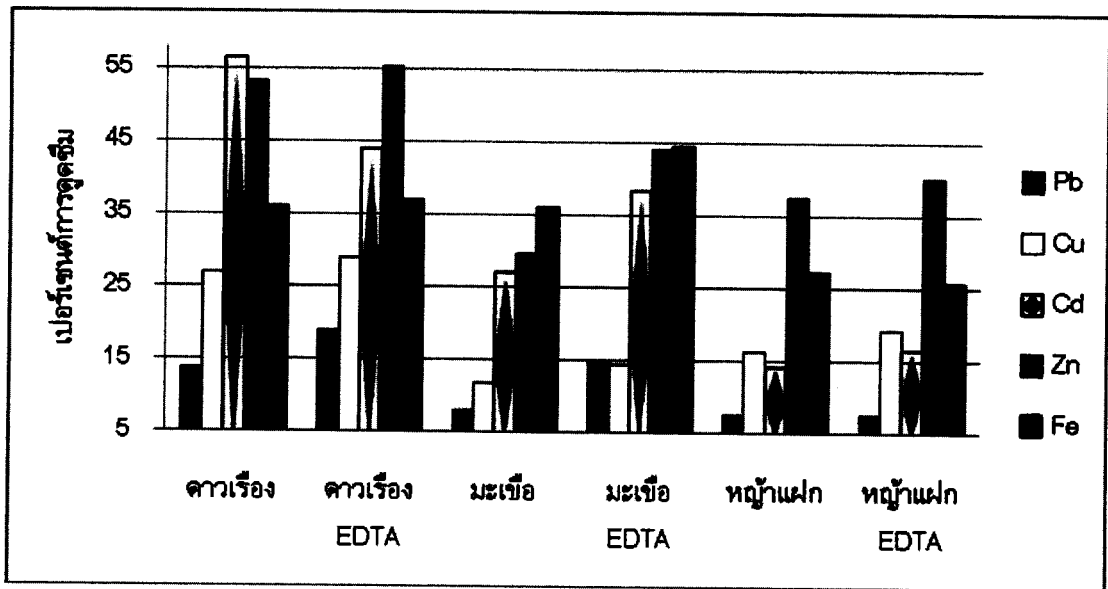
ชนิดพืช	เปอร์เซ็นต์การดูดซึมโลหะหนักของพืช				
	ตะกั่ว(Pb)	ทองแดง(Cu)	แคดเมียม(Cd)	สังกะสี (Zn)	เหล็ก (Fe)
ดาวเรือง	13.80	26.95	56.53	53.30	35.91
ดาวเรือง EDTA	18.89	28.96	43.91	55.30	36.82
มะเขือ	8.00	11.79	27.08	29.60	36.01
มะเขือ EDTA	14.73	14.42	38.32	44.05	44.34
หนุ่ยผ่าฝัก	7.46	16.36	14.17	37.41	27.23
หนุ่ยผ่าฝัก 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		
หนุ่ยผ่าฝัก	20.53	11.82		
หนุ่ยผ่าฝัก EDTA	21.86	12.10		

หมายเหตุ ( $p < 0.05$ )





ภาพ 4.19 ประสิทธิภาพการดูดซึมโลหะหนักของพืชแต่ละชนิดเปรียบเทียบกับเปอร์เซ็นต์