ผลของตัวคีเลตต่อการสะสมแคดเมียมของทานตะวัน *Helianthus annuus* Linn.

นางสาวชิดชนก อัศวโภคี

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา)
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2550
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECTS OF CHELATING AGENTS ON CADMIUM ACCUMULATION OF SUNFLOWER *Helianthus annuus* Linn.

Miss Chidchanok Ausawapokee

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science Program in Environmental Science

(Interdisciplinary Program)

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 2007

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของตัวดีเลตต่อการสะสมแคดเมียมของทานตะวัน *Helianthus annuus* Linn.
โดย	นางสาวชิดชนก อัศวโภคี
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร. นัยนันทน์ อริยกานนท์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาตราจารย์ ดร. ม.ร.ว.กัลยา ติงศภัทิย์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาตราจารย์ ดร. ชาญวิทย์ โฆษิตานนท์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร. นัยนันทน์ อริยกานนท์)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ปรีดา บุญ-หลง)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พงศ์ธาริน โล่ห์ตระกูล)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชิดชนก อัศวโภคี: ผลของตัวคีเลตต่อการสะสมแคดเมียมของทานตะวัน *Helianthus annuus* Linn. (EFFECTS OF CHELATING AGENTS ON CADMIUM ACCUMULATION OF SUNFLOWER *Helianthus annuus* Linn.) อ. ที่ปรึกษา : อ. ดร นัยนันทน์ อริยกานนท์, 224 หน้า.

การศึกษาผลของคีเลตต่อการสะสมแคดเมียมของทานตะวัน (*Helianthus annuus* Linn.) โดยการปลูกทานตะวันในกระถางทดลองที่เติมสารละลายแคดเมียมไนเตรต ($Cd(NO_3)_2.4H_2O$) ความเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม หลังจากการปลูกพืชเป็นเวลา 35 วันทำการเติมคีเลต 3 ชนิดคือ EDTA ความเข้มข้น 0.05 0.1 0.15 และ 0.2 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม EDDS และ citric acid ความเข้มข้น 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม โดยการเติมคีเลตแต่ละชนิดจะแบ่งเติม 1 2 และ 3 ครั้ง หลังจากนั้นทำการเก็บเกี่ยวพืชและทำการวิเคราะห์หาแคดเมียมในส่วนเหนือดิน ราก และทั้งต้น ผลการศึกษาพบว่าการเติม EDTA ความเข้มข้น 0.15 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัมเป็นจำนวน 2 ครั้ง มีการสะสมแคดเมียมในรากมากที่สุดคือ 222 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักแห้ง ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าชุดการทดลอง blank ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 mg/kg แบ่งเติมเป็นจำนวน 3 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.1 mg/kg แบ่งเติมเป็นจำนวน 2 และ 3 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.15 mg/kg แบ่งเติมเป็นจำนวน 2 และ 3 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.2 mg/kg แบ่งเติมเป็นจำนวน 1 ครั้ง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ส่วนการเติม EDTA ความเข้มข้น 0.15 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม จำนวน 1 ครั้ง พบว่ามีการสะสมแคดเมียมในส่วนเหนือพื้นดินมากที่สุดคือเท่ากับ 17 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้งซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าชุดการทดลอง blank ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 mg/kg เป็นจำนวน 1 2 และ 3 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.1 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 1.5 mg/kg เป็นจำนวน 1 และ 2 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 2.0 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% นอกจากนี้การเติม EDTA ความเข้มข้น 0.15 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม จำนวน 1 ครั้ง ยังทำให้มีการสะสมแคดเมียมในทั้งต้นมากที่สุดคือ 25 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าชุดการทดลอง blank control ชุดการทดลองที่เติม EDTA ทุกชุดมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ยกเว้นชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.1 mg/kg เป็นจำนวน 1 และ 3 ครั้ง เหตุผลที่ EDTA ที่ความเข้มข้น 0.15 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม ทำให้แคดเมียมสะสมในทานตะวันมากที่สุด น่าจะเป็นเพราะความสามารถของ EDTA ที่สลายตัวได้ช้าเมื่อเทียบกับ EDDS และ citric acid จึงทำให้สามารถปลดปล่อยแคดเมียมให้มาอยู่ในสารละลายได้มากกว่า EDDS และ citric acid

จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า ชนิดของคีเลต ความเข้มข้นของคีเลต และวิธีการเติมคีเลตที่เหมาะสมในการทดลองครั้งนี้คือ การเติม EDTA ความเข้มข้น 0.15 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม จำนวน 1 ครั้ง ทำให้มีการสะสมแคดเมียมในส่วนเหนือพื้นดินมากที่สุด

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต ชิดชนก อัศวโภคี

ปีการศึกษา 2550 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา นัยนันทน์ อริยกานนท์

4889068320: MAJOR ENVIRONMENTAL SCIENCE

KEY WORD: Phytoxetraction, cadmium and *Helianthus annuus* Linn.

CHIDCHANOK AUSAWAPOKEE: EFFECTS OF CHELATING AGENTS ON CADMIUM ACCUMULATION OF SUNFLOWER *Helianthus annuus* Linn. THESIS ADVISOR: NAIYANAN ARIYAKANON, Ph.D., 224 pp.

The effects of chelating agents on cadmium accumulation of sunflower (*Helianthus annuus* Linn.) were studied. The plant was grown in experimental pot added with cadmium nitrate ($Cd(NO_3)_2.4H_2O$) solution at 20 mg Cd/kg soil. After 35 day of growth, three kinds of chelating agents were added. EDTA at concentrations 0.05, 0.1, 0.15 and 0.2 mg/kg, EDDS and citric acid each at concentrations 0.5, 1.0, 1.5 and 2.0 mg/kg were separately added to the soil. Each chelating agent was divided to add at 1, 2 and 3 times. Plants were harvested and cadmium accumulation in shoot, roots and total plants was analyzed. The results showed that EDTA at 0.15 mg/kg which was added twice resulted in maximum concentrations of cadmium in root (222 mg/kg dry weight). The statistical analysis showed that there was significantly different with blank, EDTA 0.05 mg/kg which was added at 3 times, EDTA 0.1 mg/kg which was added at 2 and 3 times EDTA 0.15 mg/kg which was added at 2 and 3 times and EDTA 0.2 mg/kg which was added at 1 time at 95% confidence. In the pot added with EDTA 0.15 mg/kg, 1 time result in maximum concentrations of cadmium in shoot (17 mg/kg dry weight). The statistical analysis showed that there was significantly different with blank, EDTA 0.05 mg/kg which was added at 1, 2 and 3 times, EDTA 0.1 mg/kg which was added at 3 times EDTA 0.15 mg/kg which was added at 1 and 2 times and EDTA 0.2 mg/kg which was added at 1 time at 95% confidence. In the pot added with EDTA 0.15 mg/kg, 1 time result in maximum concentrations of cadmium in total (25 mg/kg dry weight). The statistical analysis showed that there was significantly different with blank, control, and all EDTA at 95% confidence except EDTA 0.15 mg/kg which was added at 1 and 3 times. The reasons of maximum concentrations of cadmium in the plants which added EDTA at 0.15 mg/kg may be the rate of decomposition of EDTA is more slowly than EDDS and citric acid so cadmium can be released into the soil solution more than the two agents.

It can be concluded that the optimum type of chelate, concentration of chelate, and the apply method was EDTA concentration 0.15 mg/kg and added at 1 time. This apply method result in the maximum cadmium accumulation in shoot and total of sunflower.

Field of Study Environmental Science Student's Signature Chidchanok Ausawapokee

Academic Year 2007 Advisor's Signature Naiyanan Ariyakanon

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี เนื่องจากความกรุณาของผู้เกี่ยวข้องทุกฝ่ายผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ ดร. นัยนันทน์ อริยกานนท์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาเอาใจใส่ มอบความรู้ คำแนะนำต่างๆ ที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อวิทยานิพนธ์ รวมทั้งตรวจแก้ไขข้อบกพร่องให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชาญวิทย์ โฆษิตานนท์ ที่กรุณาสละเวลามาเป็นประธานกรรมการการสอบวิทยานิพนธ์ ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ปรีดา บุญ-หลง และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พงศ์ธาริน โล่ห์ตระกูล ที่กรุณาสละเวลามาเป็นกรรมการการสอบวิทยานิพนธ์ รวมทั้งให้คำแนะนำและแก้ไขข้อบกพร่องให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณ สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ที่สนับสนุนทุนในการทำวิจัยบางส่วน ซึ่งมีผลทำให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลงได้

ขอกราบขอบพระคุณ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ภาควิชาธรณีวิทยา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือและห้องปฏิบัติการ และภาควิชาพฤกษศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์แปลงทดลองพฤกษศาสตร์เพื่อใช้ในการสร้างเรือนทดลอง

ขอขอบคุณ คุณเพ็ญศรี ชูบรรจง และ คุณเกศราภรณ์ สงโสด ที่อำนวยความสะดวกในการใช้อุปกรณ์ และห้องปฏิบัติการ

ขอขอบคุณ คุณนัฐพล ไทยสาครพันธ์ และพี่น้องสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมทุกคน ที่คอยช่วยเหลือ แก้ไขปัญหา ให้คำปรึกษา และให้กำลังใจจนวิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จ

ขอกราบขอบพระคุณ คุณลิ้นจี่ เตยหอม และ คุณอำนวย วิสูตรชัย คุณยายที่แสนดีทั้งสองคนที่ให้การอุปการะด้านทุนการศึกษา และเป็นกำลังใจที่ดีตลอดมา

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณ คุณศริพร อัศวโภคี คุณแม่ที่แสนดี และทุกคนในครอบครัว ที่ให้ทุกสิ่งทุกอย่าง ทั้งความรัก ความห่วงใย และกำลังใจมาตลอด

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....จ

กิตติกรรมประกาศ.....ฉ

สารบัญ.....ช

สารบัญตาราง.....ฎ

สารบัญรูป.....ด

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....3

1.3 สมมติฐานของการวิจัย.....3

1.4 ขอบเขตของการวิจัย.....4

1.5 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย.....4

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....4

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....5

2.1 แคดเมียม.....5

2.1.1 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี.....5

2.1.2 การผลิต.....5

2.1.3 การใช้ประโยชน์.....6

2.1.4 ความเป็นพิษ.....6

2.1.5 แหล่งที่มาของแคดเมียมที่ปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อม.....8

2.1.6 ค่าเกณฑ์มาตรฐานแคดเมียมในสิ่งแวดล้อม.....9

2.2 การบำบัดโดยใช้พืช (Phytoremediation).....10

2.2.1 คำจำกัดความของการบำบัดโดยใช้พืช.....10

2.2.2 ชนิดของการบำบัดโดยใช้พืช.....10

2.2.3 Phytoextraction.....12

2.2.4 ข้อดีและข้อเสียของการทำ phytoextraction.....15

2.3 การเติมสารคีเลตเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้พืชบำบัดโลหะหนัก.....16

2.3.1 ความหมายของสารคีเลต.....16

2.3.2 การใช้ประโยชน์ของสารคีเลต.....16

2.3.3 สารคีเลตที่เลือกใช้ในงานวิจัย.....18

หน้า

2.4 พืชที่นำมาใช้ในการบำบัดโดยใช้พืช....33
2.4.1 คุณสมบัติของพืชที่จะเลือกใช้....33
2.4.2 ทานตะวัน....33
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย....37
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย....37
3.1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างดิน....37
3.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการปลูกพืช....37
3.1.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บเกี่ยวพืช....37
3.1.4 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่าง....38
3.2 สถานที่ดำเนินงานวิจัย....38
3.2.1 สถานที่เก็บตัวอย่างดิน....38
3.2.2 สถานที่ปลูกพืช....39
3.2.3 สถานที่วิเคราะห์ตัวอย่าง....39
3.3 ขั้นตอนการวิจัย....39
3.3.1 เตรียมดิน....39
3.3.2 เตรียมเรือนทดลอง....41
3.3.3 การเตรียมเมล็ดพันธุ์....42
3.3.4 การปลูกพืช....42
3.3.5 การวิเคราะห์ตัวอย่างพืช....45
3.3.6 การวิเคราะห์ตัวอย่างดิน....45
3.3.7 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ....46
บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์....47
4.1 คุณสมบัติของดินที่ใช้ในการวิจัย....47
4.2 น้ำหนักแห้งของทานตะวัน....52
4.2.1 น้ำหนักแห้งของทานตะวันเมื่อ EDTA ที่ความเข้มข้นต่างกัน....53
4.2.2 น้ำหนักแห้งของทานตะวันเมื่อเติม EDDS ความเข้มข้นต่างกัน....58
4.2.3 น้ำหนักแห้งของทานตะวันเมื่อเติม citric acid ความเข้มข้นต่างกัน....63
4.2.4 น้ำหนักแห้งของทานตะวันเมื่อเติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 mg/kg EDDS และ citric acid ความเข้มข้น 0.5 mg/kg....68
4.2.5 น้ำหนักแห้งของทานตะวันเมื่อเติม EDTA ความเข้มข้น 0.1 mg/kg EDDS และ citric acid ความเข้มข้น 1.0 mg/kg....73

หน้า

4.2.6 น้ำหนักแห้งของทานตะวันเมื่อเติม EDTA ความเข้มข้น 0.15 mg/kg EDDS และ citric acid ความเข้มข้น 1.5 mg/kg.....78
4.2.7 น้ำหนักแห้งของทานตะวันเมื่อเติม EDTA ความเข้มข้น 0.2 mg/kg EDDS และ citric acid ความเข้มข้น 2.0 mg/kg.....83
4.3 การสะสมแคดเมียมในทานตะวัน.....88
4.3.1 การสะสมแคดเมียมในทานตะวันเมื่อเติม EDTA ความเข้มข้นต่างกัน.....88
4.3.2 การสะสมแคดเมียมในทานตะวันเมื่อเติม EDDS ความเข้มข้นต่างกัน.....93
4.3.3 การสะสมแคดเมียมในทานตะวันเมื่อเติม citric acid ความเข้มข้นต่างกัน.....98
4.3.4 การสะสมแคดเมียมในทานตะวันเมื่อเติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 mg/kg EDDS และ citric acid ความเข้มข้น 0.5 mg/kg.....104
4.3.5 การสะสมแคดเมียมในทานตะวันเมื่อเติม EDTA ความเข้มข้น 0.1 mg/kg EDDS และ citric acid ความเข้มข้น 1.0 mg/kg.....109
4.3.6 การสะสมแคดเมียมในทานตะวันเมื่อเติม EDTA ความเข้มข้น 0.15 mg/kg EDDS และ citric acid ความเข้มข้น 1.5 mg/kg.....114
4.3.7 การสะสมแคดเมียมในทานตะวันเมื่อเติม EDTA ความเข้มข้น 0.2 mg/kg EDDS และ citric acid ความเข้มข้น 2.0 mg/kg.....119
4.4 ปริมาณแคดเมียมในดิน.....125
4.4.1 ปริมาณของแคดเมียมในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ที่เหลืออยู่ในดิน และในดินทั้งหมดที่เหลืออยู่ในดิน หลังการเติม EDTA ความเข้มข้นต่างกัน.....125
4.4.2 ปริมาณของแคดเมียมในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ที่เหลืออยู่ในดิน และในดินทั้งหมดที่เหลืออยู่ในดิน หลังการเติม EDDS ความเข้มข้นต่างกัน.....129
4.4.3 ปริมาณของแคดเมียมในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ที่เหลืออยู่ในดิน และในดินทั้งหมดที่เหลืออยู่ในดิน หลังการเติม citric acid ความเข้มข้นต่างกัน.....133
4.4.4 ปริมาณของแคดเมียมในรูปที่ใช้ประโยชน์ได้ที่เหลืออยู่ในดิน และในดินทั้งหมดที่เหลืออยู่ในดิน หลังการเติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 EDDS และ citric acid ความเข้มข้น 0.5 mg/kg soil.....137

หน้า

4.4.5 ปริมาณของแคดเมียมในรูปที่ใช้ประโยชน์ได้ที่เหลืออยู่ในดิน และในดินทั้งหมดที่เหลืออยู่ในดิน หลังการเติม EDTA ความเข้มข้น 0.1 EDDS และ citric acid ความเข้มข้น 1.0 mg/kg soil.....141
4.4.6 ปริมาณของแคดเมียมในรูปที่ใช้ประโยชน์ได้ที่เหลืออยู่ในดิน และในดินทั้งหมดที่เหลืออยู่ในดิน หลังการเติม EDTA ความเข้มข้น 0.15 EDDS และ citric acid ความเข้มข้น 1.5 mg/kg soil.....145
4.4.7 ปริมาณของแคดเมียมในรูปที่ใช้ประโยชน์ได้ที่เหลืออยู่ในดิน และในดินทั้งหมดที่เหลืออยู่ในดิน หลังการเติม EDTA ความเข้มข้น 0.2 EDDS และ citric acid ความเข้มข้น 2.0 mg/kg soil.....149
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....153
5.1 สรุปผลการวิจัย.....153
5.1.1 มวลชีวภาพของทานตะวันเมื่อเติม EDTA ที่ความเข้มข้นต่างกัน.....153
5.1.2 มวลชีวภาพของทานตะวันเมื่อเติม EDDS ที่ความเข้มข้นต่างกัน.....153
5.1.3 มวลชีวภาพของทานตะวันเมื่อเติม citric acid ที่ความเข้มข้นต่างกัน.....154
5.1.4 ความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันเมื่อเติม EDTA ความเข้มข้นต่างกัน.....154
5.1.5 ความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันเมื่อเติม EDDS ความเข้มข้นต่างกัน.....154
5.16 ความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันเมื่อเติม citric acid ความเข้มข้นต่างกัน.....155
5.1.7 ปริมาณแคดเมียมในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ และในดินทั้งหมด หลังการเติม EDTA ความเข้มข้นต่างกัน.....155
5.1.8 ปริมาณแคดเมียมในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ และในดินทั้งหมด หลังการเติม EDDS ความเข้มข้นต่างกัน.....155
5.1.9 ปริมาณแคดเมียมในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ และในดินทั้งหมด หลังการเติม Citric acid ความเข้มข้นต่างกัน.....156
5.1.10 ชนิดตัวคีเลต ความเข้มข้น และวิธีการเติมตัวคีเลต.....156
5.2 ข้อเสนอแนะ.....156
รายการอ้างอิง.....157
ภาคผนวก.....163
ภาคผนวก ก.....164

หน้า

ภาคผนวก ข.....166
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....224

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของแคดเมียม.....5

2.2 ปริมาณโลหะหนักบางชนิดที่พบในปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชนจากแหล่งต่างๆ.....9

2.3 เกณฑ์มาตรฐานการปนเปื้อนของแคดเมียมในสิ่งต่างๆ.....10

2.4 เปอร์เซ็นต์การใช้งานของ EDTA ในบ้านเรือนและในโรงงานอุตสาหกรรมในตลาดโลก..... 17

2.5 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของ EDTA.....18

2.6 การย่อยสลายของ EDTA โดยจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ.....20

2.7 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของ S,S-EDDS.....24

2.8 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของ citric acid.....29

3.1 พารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์สมบัติดิน.....40

3.2 ชุดการทดลองสำหรับศึกษาผลของชนิด ความเข้มข้น และวิธีการเติมตัวคีเลตต่อการสะสมแคดเมียมของทานตะวันในการศึกษานี้.....43

4.1 คุณสมบัติของดินที่บ้านพะเด๊ะ อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก..... 48

4.2 คุณสมบัติของดินที่ใช้ในงานวิจัย.....51

ข-1 น้ำหนักแห้งของทานตะวันในส่วนเหนือพื้นดิน (shoot) ส่วนราก (root) ทั้งต้น (total) ที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 mg/kg.....167

ข-2 น้ำหนักแห้งของทานตะวันในส่วนเหนือพื้นดิน (shoot) ส่วนราก (root) ทั้งต้น (total) ที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.1 mg/kg.....168

ข-3 น้ำหนักแห้งของทานตะวันในส่วนเหนือพื้นดิน (shoot) ส่วนราก (root) ทั้งต้น (total) ที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.15 mg/kg.....169

ข-4 น้ำหนักแห้งของทานตะวันในส่วนเหนือพื้นดิน (shoot) ส่วนราก (root) ทั้งต้น (total) ที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.2 mg/kg.....170

ข-5 น้ำหนักแห้งของทานตะวันในส่วนเหนือพื้นดิน (shoot) ส่วนราก (root) ทั้งต้น (total) ที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 0.1 0.15 และ 0.2 mg/kg.....171

ข-6 น้ำหนักแห้งของทานตะวันในส่วนเหนือพื้นดิน (shoot) ส่วนราก (root) ทั้งต้น (total) ที่เติม EDDS ความเข้มข้น 0.5 mg/kg.....172

ข-7 น้ำหนักแห้งของทานตะวันในส่วนเหนือพื้นดิน (shoot) ส่วนราก (root) ทั้งต้น (total) ที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.0 mg/kg.....173

ข-8 น้ำหนักแห้งของทานตะวันในส่วนเหนือพื้นดิน (shoot) ส่วนราก (root) ทั้งต้น (total) ที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.5 mg/kg.....174

ตารางที่ หน้า

ข-9 น้ำหนักแห้งของทานตะวันในส่วนเหนือพื้นดิน (shoot) ส่วนราก (root) ทั้งต้น (total) ที่เติม EDDS ความเข้มข้น 2.0 mg/kg.....175
ข-10 น้ำหนักแห้งของทานตะวันในส่วนเหนือพื้นดิน (shoot) ส่วนราก (root) ทั้งต้น (total) ที่เติม EDDS ความเข้มข้น 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 mg/kg.....176
ข-11 น้ำหนักแห้งของทานตะวันในส่วนเหนือพื้นดิน (shoot) ส่วนราก (root) ทั้งต้น (total) ที่เติม citric acid ความเข้มข้น 0.5 mg/kg.....177
ข-12 น้ำหนักแห้งของทานตะวันในส่วนเหนือพื้นดิน (shoot) ส่วนราก (root) ทั้งต้น (total) ที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.0 mg/kg.....178
ข-13 น้ำหนักแห้งของทานตะวันในส่วนเหนือพื้นดิน (shoot) ส่วนราก (root) ทั้งต้น (total) ที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.5 mg/kg.....179
ข-14 น้ำหนักแห้งของทานตะวันในส่วนเหนือพื้นดิน (shoot) ส่วนราก (root) ทั้งต้น (total) ที่เติม citric acid ความเข้มข้น 2.0 mg/kg.....180
ข-15 น้ำหนักแห้งของทานตะวันในส่วนเหนือพื้นดิน (shoot) ส่วนราก (root) ทั้งต้น (total) ที่เติม citric acid ความเข้มข้น 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 mg/kg.....181
ข-16 น้ำหนักแห้งของทานตะวันเมื่อเติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 mg/kg EDDS และ citric acid ความเข้มข้น 0.5 mg/kg.....182
ข-17 น้ำหนักแห้งของทานตะวันเมื่อเติม EDTA ความเข้มข้น 0.1 mg/kg EDDS และ citric acid ความเข้มข้น 1.0 mg/kg.....183
ข-18 น้ำหนักแห้งของทานตะวันเมื่อเติม EDTA ความเข้มข้น 0.15 mg/kg EDDS และ citric acid ความเข้มข้น 1.5 mg/kg.....184
ข-19 น้ำหนักแห้งของทานตะวันเมื่อเติม EDTA ความเข้มข้น 0.2 mg/kg EDDS และ citric acid ความเข้มข้น 2.0 mg/kg.....185
ข-20 ความเข้มข้นแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้ในส่วนเหนือพื้นดิน (shoot) ส่วนราก (root) ทั้งต้น (total) ที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 mg/kg.....186
ข-21 ความเข้มข้นแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้ในส่วนเหนือพื้นดิน (shoot) ส่วนราก (root) ทั้งต้น (total) ที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.1 mg/kg.....187
ข-22 ความเข้มข้นแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้ในส่วนเหนือพื้นดิน (shoot) ส่วนราก (root) ทั้งต้น (total) ที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.15 mg/kg.....188
ข-23 ความเข้มข้นแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้ในส่วนเหนือพื้นดิน (shoot) ส่วนราก (root) ทั้งต้น (total) ที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.2 mg/kg.....189

ตารางที่ หน้า

ข-24 ความเข้มข้นแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้ในส่วนเหนือพื้นดิน (shoot) ส่วนราก (root) ทั้งต้น (total) ที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 0.1 0.15 และ 0.2 mg/kg.....190
ข-25 ความเข้มข้นแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้ในส่วนเหนือพื้นดิน (shoot) ส่วนราก (root) ทั้งต้น (total) ที่เติม EDDS ความเข้มข้น 0.5 mg/kg.....191
ข-26 ความเข้มข้นแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้ในส่วนเหนือพื้นดิน (shoot) ส่วนราก (root) ทั้งต้น (total) ที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.0 mg/kg.....192
ข-27 ความเข้มข้นแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้ในส่วนเหนือพื้นดิน (shoot) ส่วนราก (root) ทั้งต้น (total) ที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.5 mg/kg.....193
ข-28 ความเข้มข้นแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้ในส่วนเหนือพื้นดิน (shoot) ส่วนราก (root) ทั้งต้น (total) ที่เติม EDDS ความเข้มข้น 2.0 mg/kg.....194
ข-29 ความเข้มข้นแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้ในส่วนเหนือพื้นดิน (shoot) ส่วนราก (root) ทั้งต้น (total) ที่เติม EDDS ความเข้มข้น 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 mg/kg.....195
ข-30 ความเข้มข้นแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้ในส่วนเหนือพื้นดิน (shoot) ส่วนราก (root) ทั้งต้น (total) ที่เติม citric acid ความเข้มข้น 0.5 mg/kg.....196
ข-31 ความเข้มข้นแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้ในส่วนเหนือพื้นดิน (shoot) ส่วนราก (root) ทั้งต้น (total) ที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.0 mg/kg.....197
ข-32 ความเข้มข้นแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้ในส่วนเหนือพื้นดิน (shoot) ส่วนราก (root) ทั้งต้น (total) ที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.5 mg/kg.....198
ข-33 ความเข้มข้นแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้ในส่วนเหนือพื้นดิน (shoot) ส่วนราก (root) ทั้งต้น (total) ที่เติม citric acid ความเข้มข้น 2.0 mg/kg.....199
ข-34 ความเข้มข้นแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้ในส่วนเหนือพื้นดิน (shoot) ส่วนราก (root) ทั้งต้น (total) ที่เติม citric acid ความเข้มข้น 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 mg/kg.....200
ข-35 ความเข้มข้นแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้เมื่อเติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 mg/kg EDDS และ citric acid ความเข้มข้น 0.5 mg/kg.....201
ข-36 ความเข้มข้นแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้เมื่อเติม EDTA ความเข้มข้น 0.1 mg/kg EDDS และ citric acid ความเข้มข้น 1.0 mg/kg.....202
ข-37 ความเข้มข้นแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้เมื่อเติม EDTA ความเข้มข้น 0.15 mg/kg EDDS และ citric acid ความเข้มข้น 1.5 mg/kg.....203
ข-38 ความเข้มข้นแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้เมื่อเติม EDTA ความเข้มข้น 0.2 mg/kg EDDS และ citric acid ความเข้มข้น 2.0 mg/kg.....204

ตารางที่ หน้า

ข-39 ปริมาณแคดเมียมในดินในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ (available) และในดินทั้งหมด (total) หลังการเติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 mg/kg.....205
ข-40 ปริมาณแคดเมียมในดินในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ (available) และในดินทั้งหมด (total) หลังการเติม EDTA ความเข้มข้น 0.1 mg/kg.....206
ข-41 ปริมาณแคดเมียมในดินในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ (available) และในดินทั้งหมด (total) หลังการเติม EDTA ความเข้มข้น 0.15 mg/kg.....207
ข-42 ปริมาณแคดเมียมในดินในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ (available) และในดินทั้งหมด (total) หลังการเติม EDTA ความเข้มข้น 0.2 mg/kg.....208
ข-43 ปริมาณแคดเมียมในดินในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ (available) และในดินทั้งหมด (total) หลังการเติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 0.1 0.15 และ 0.2 mg/kg.....209
ข-44 ปริมาณแคดเมียมในดินในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ (available) และในดินทั้งหมด (total) หลังการเติม EDDS ความเข้มข้น 0.5 mg/kg.....210
ข-45 ปริมาณแคดเมียมในดินในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ (available) และในดินทั้งหมด (total) หลังการเติม EDDS ความเข้มข้น 1.0 mg/kg.....211
ข-46 ปริมาณแคดเมียมในดินในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ (available) และในดินทั้งหมด (total) หลังการเติม EDDS ความเข้มข้น 1.5 mg/kg.....212
ข-47 ปริมาณแคดเมียมในดินในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ (available) และในดินทั้งหมด (total) หลังการเติม EDDS ความเข้มข้น 2.0 mg/kg.....213
ข-48 ปริมาณแคดเมียมในดินในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ (available) และในดินทั้งหมด (total) หลังการเติม EDDS ความเข้มข้น 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 mg/kg.....214
ข-49 ปริมาณแคดเมียมในดินในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ (available) และในดินทั้งหมด (total) หลังการเติม citric acid ความเข้มข้น 0.5 mg/kg.....215
ข-50 ปริมาณแคดเมียมในดินในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ (available) และในดินทั้งหมด (total) หลังการเติม citric acid ความเข้มข้น 1.0 mg/kg.....216
ข-51 ปริมาณแคดเมียมในดินในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ (available) และในดินทั้งหมด (total) หลังการเติม citric acid ความเข้มข้น 1.5 mg/kg.....217
ข-52 ปริมาณแคดเมียมในดินในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ (available) และในดินทั้งหมด (total) หลังการเติม citric acid ความเข้มข้น 2.0 mg/kg.....218
ข-53 ปริมาณแคดเมียมในดินในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ (available) และในดินทั้งหมด (total) หลังการเติม citric acid ความเข้มข้น 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 mg/kg.....219

ตารางที่ หน้า

ข-54 ปริมาณแคดเมียมในดินในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ (available)
และในดินทั้งหมด (total) เมื่อเติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 mg/kg EDDS
และ citric acid ความเข้มข้น 0.5 mg/kg.....220
ข-55 ปริมาณแคดเมียมในดินในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ (available)
และในดินทั้งหมด (total) เมื่อเติม EDTA ความเข้มข้น 0.1 mg/kg EDDS
และ citric acid ความเข้มข้น 1.0 mg/kg.....221
ข-56 ปริมาณแคดเมียมในดินในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ (available)
และในดินทั้งหมด (total) เมื่อเติม EDTA ความเข้มข้น 0.15 mg/kg EDDS
และ citric acid ความเข้มข้น 1.5 mg/kg.....222
ข-57 ปริมาณแคดเมียมในดินในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ (available)
และในดินทั้งหมด (total) เมื่อเติม EDTA ความเข้มข้น 0.2 mg/kg EDDS
และ citric acid ความเข้มข้น 2.0 mg/kg.....223

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	กลไกการทำงานของ Phytoextraction	13
2.2	สูตรโครงสร้างของ EDTA	18
2.3	เส้นทางการย่อยสลายของ EDTA	21
2.4	สูตรโครงสร้างของ S,S-EDDS	24
2.5	การย่อยสลายของ stereoisomers ของ EDDS	26
2.6	สูตรโครงสร้างของ citric acid	29
2.7	Kreb's cycle หรือ citric acid cycle	31
3.1	รูปเรือนทดลอง	41
4.1	น้ำหนักแห้งของทานตะวันใน (ก) ส่วนเหนือพื้นดิน (ข) ส่วนราก และ (ค) ทั้งต้น ที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 0.1 0.15 และ 0.2 mg/kg	57
4.2	น้ำหนักแห้งของทานตะวันใน (ก) ส่วนเหนือพื้นดิน (ข) ส่วนราก และ (ค) ทั้งต้น ที่เติม EDDS ความเข้มข้น 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 mg/kg	62
4.3	น้ำหนักแห้งของทานตะวันใน (ก) ส่วนเหนือพื้นดิน (ข) ส่วนราก และ (ค) ทั้งต้น ที่เติม citric acid ความเข้มข้น 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 mg/kg	67
4.4	น้ำหนักแห้งของทานตะวันใน (ก) ส่วนเหนือพื้นดิน (ข) ส่วนราก และ (ค) ทั้งต้น ที่เติม EDTAความเข้มข้น 0.05 mg/kg ส่วน EDDS และ citric acid ความเข้มข้น 0.5 mg/kg	72
4.5	น้ำหนักแห้งของทานตะวันใน (ก) ส่วนเหนือพื้นดิน (ข) ส่วนราก และ (ค) ทั้งต้น ที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.1 mg/kg soil ส่วน EDDS และ citric acid ความเข้มข้น 1.0 mg/kg	77
4.6	น้ำหนักแห้งของทานตะวันใน (ก) ส่วนเหนือพื้นดิน (ข) ส่วนราก และ (ค) ทั้งต้น ที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.15 mg/kg ส่วน EDDS และ citric acid ความเข้มข้น 1.5 mg/kg	82
4.7	น้ำหนักแห้งของทานตะวันใน (ก) ส่วนเหนือพื้นดิน (ข) ส่วนราก และ (ค) ทั้งต้น ที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.2 mg/kg ส่วน EDDS และ citric acid ความเข้มข้น 2.0 mg/kg	87
4.8	ความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันใน (ก) ส่วนเหนือพื้นดิน (ข) ส่วนราก และ (ค) ทั้งต้น ที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 0.1 0.15 และ 0.2 mg/kg	92

รูปที่ หน้า
4.9 ความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันใน (ก) ส่วนเหนือพื้นดิน (ข) ส่วนราก และ (ค) ทั้งต้น ที่เติม EDDS ความเข้มข้น 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 mg/kg.....97
4.10 ความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันใน (ก) ส่วนเหนือพื้นดิน (ข) ส่วนราก และ (ค) ทั้งต้น ที่เติม citric acidความเข้มข้น 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 mg/kg.....103
4.11 ความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันใน (ก) ส่วนเหนือพื้นดิน (ข) ส่วนราก และ(ค) ทั้งต้น ที่เติม EDTAความเข้มข้น 0.05 mg/kg ส่วน EDDS และ citric acid ความเข้มข้น 0.5 mg/kg.....108
4.12 ความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันใน (ก) ส่วนเหนือพื้นดิน (ข) ส่วนราก และ (ค) ทั้งต้น ที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.1 mg/kg ส่วน EDDS และ citric acid ความเข้มข้น 1.0 mg/kg.....113
4.13 ความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันใน (ก) ส่วนเหนือพื้นดิน (ข) ส่วนราก และ (ค) ทั้งต้น ที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.15 mg/kg ส่วน EDDS และ citric acid ความเข้มข้น 1.5 mg/kg.....118
4.14 ความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันใน (ก) ส่วนเหนือพื้นดิน (ข) ส่วนราก และ (ค) ทั้งต้น ที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.2 mg/kg ส่วน EDDS และ citric acid ความเข้มข้น 2.0 mg/kg.....124
4.15 ปริมาณของแคดเมียมรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ที่เหลืออยู่ในดิน และในดินทั้งหมดที่เหลืออยู่ในดิน หลังการเติม EDTA ความเข้มข้นต่างกัน.....128
4.16 ปริมาณของแคดเมียมในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ที่เหลืออยู่ในดิน และในดินทั้งหมดที่เหลืออยู่ในดิน หลังการเติม EDDS ความเข้มข้นต่างกัน.....132
4.17 ปริมาณของแคดเมียมในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ที่เหลืออยู่ในดิน และในดินทั้งหมดที่เหลืออยู่ในดิน หลังการเติม citric acid ความเข้มข้นต่างกัน.....136
1.18 ปริมาณของแคดเมียมรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ที่เหลืออยู่ในดิน และในดินทั้งหมดที่เหลืออยู่ในดิน หลังการเติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 mg/kg ส่วน EDDS และ citric acid ความเข้มข้น 0.5 mg/kg.....140
4.19 ปริมาณของแคดเมียมในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ที่เหลืออยู่ในดิน และในดินทั้งหมดที่เหลืออยู่ในดิน หลังการเติม EDTA ความเข้มข้น 0.1 mg/kg ส่วน EDDS และ citric acid ความเข้มข้น 1.0 mg/kg.....144

รูปที่ หน้า

4.20 ปริมาณของแคดเมียมในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ที่เหลืออยู่ในดิน
และในดินทั้งหมดที่เหลืออยู่ในดิน หลังการเติม EDTAความเข้มข้น 0.15 mg/kg
ส่วน EDDS และ citric acid ความเข้มข้น 1.5 mg/kg.....148
4.21 ปริมาณของแคดเมียมในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ที่เหลืออยู่ในดิน
และในดินทั้งหมด หลังการเติม EDTA ความเข้มข้น 0.2 mg/kg
ส่วน EDDS และ citric acid ความเข้มข้น 2.0 mg/kg.....152
ก-1 เรือนทดลองที่ใช้ในการวิจัย.....164
ก-2 การวางกระถางภายในเรือนทดลอง.....164
ก-3 ต้นทานตะวันในวันที่ทำการเก็บเกี่ยว.....165
ก-4 รากของทานตะวันในวันที่ทำการเก็บเกี่ยว.....165

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในอุตสาหกรรมมีการนำแคดเมียมมาใช้ประโยชน์หลายด้าน เช่น สารกันสนิม ใช้ในโรงงานทำพลาสติก ทำสี แบตเตอรี และลวดเชื่อม การผลิตแคดเมียมเริ่มผลิตตั้งแต่ปลายศตวรรษที่ 19 ปริมาณที่ผลิตได้ส่วนใหญ่เป็นผลพลอยได้จากการถลุงสังกะสี และบางส่วนได้จากอุตสาหกรรมถลุงทองแดง และตะกั่ว สำหรับประเทศไทยเริ่มทำการผลิตแคดเมียมตั้งแต่ปี พ.ศ. 2533 โดยแคดเมียมเป็นของเหลือจากกระบวนการผลิตของโรงงานถลุงสังกะสี บริษัท ผาแดงอินดัสทรี จำกัด จังหวัดตาก โดยผลิตประมาณเดือนละ 1 ตัน (กรมควบคุมมลพิษ, 2541)ในสภาพธรรมชาติแคดเมียมเป็นสารเจือปนในสินแร่สังกะสี (อาจมากถึง 3%) แคดเมียมเป็นโลหะหนักชนิดหนึ่งที่มีความเป็นพิษสูง สามารถสะสมในดิน ดังนั้นแม้แคดเมียมปริมาณเล็กน้อยที่ปนเปื้อนในดินก็จะถูกดูดซับและสะสมในพืช ซึ่งในปริมาณน้อยๆ พืชจะไม่แสดงอาการเป็นพิษจากแคดเมียมซึ่งนับเป็นอันตรายอย่างมากเพราะพืชเป็นด่านแรกของห่วงโซ่อาหารของคนและสัตว์กินพืช (ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, 2545)

ความเป็นพิษของแคดเมียมนั้นมีทั้งความเป็นพิษแบบเฉียบพลันและความเป็นพิษแบบเรื้อรัง ความเป็นพิษแบบเฉียบพลัน เกิดจากการได้รับแคดเมียมในปริมาณที่มากเกินไป เช่น คนที่ดื่มน้ำที่มีแคดเมียมเจือปนตั้งแต่ 15 ppm จะทำให้เกิดภาวะปัสสาวะมีโปรตีนสูงอันเนื่องมาจากท่อไตชำรุดและไตบาดเจ็บ (ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, 2545) และถ้ามนุษย์ได้รับแคดเมียมจากการกินในปริมาณ 1,530-8,900 mg จะทำให้เสียชีวิต (กรมควบคุมมลพิษ, 2541) สำหรับความเป็นพิษแบบเรื้อรังของแคดเมียมจะทำให้เกิดโรคทางเดินหายใจ โรคหัวใจและความดันโลหิตสูง ในหญิงสูงอายุจะมีการเปลี่ยนแปลงของกระดูกผิดรูปที่เรียกว่าโรค อิไต-อิไต (Itai-Itai) และแคดเมียมเป็นสารก่อมะเร็ง โดยทำให้เกิดมะเร็งของเนื้อเยื่อที่อยู่ลึก (sarcoma) เช่น กล้ามเนื้อ กระดูก ในหนูทดลอง (ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, 2545) นอกจากนี้แคดเมียมปริมาณสูงจะทำให้เกิดความเป็นพิษต่อพืชโดยจะมีผลให้พืชดูดซับคาร์บอนน้อยลง ลดการปิดปากใบ ขัดขวางการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ ทำลายปลายราก ลดการดูดซับธาตุอาหาร และยับยั้งการเจริญเติบโตของพืช เป็นต้น (Zhou และ Qiu, 2005)

การปนเปื้อนของแคดเมียมในสิ่งแวดล้อมสามารถเกิดขึ้นได้หลายทาง เช่น จากการทำเหมืองแร่ ซึ่งกิจกรรมดังกล่าวจะปล่อยแคดเมียมปนเปื้อนออกมากับฝุ่น น้ำเสีย และกากตะกอน หรือจากการเผาของเสียที่มีแคดเมียมเป็นส่วนประกอบอยู่ เช่น พลาสติก เม็ดสี ฯลฯ สำหรับประเทศไทยแหล่งปนเปื้อนแคดเมียมที่สำคัญอยู่ที่ ห้วยแม่ตาว อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก จากการรายงานของหน่วยเฉพาะกิจตรวจสอบและประเมินการปนเปื้อนของสารแคดเมียมในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยแม่ตาว (2547) พบว่ามีแคดเมียมปนเปื้อนในตะกอนดินท้องน้ำลำห้วยแม่ตาวอยู่ในช่วง 0.3-326 mg/kg ซึ่งค่ามาตรฐานปริมาณสารแคดเมียมในตะกอนของประเทศแคนาดาเท่ากับ 3.5 mg/kg สำหรับแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินมีค่าอยู่ในช่วง 61-207 mg/kg ซึ่งค่ามาตรฐานการปนเปื้อนของแคดเมียมที่ยอมให้มีได้ในดินของประชาคมเศรษฐกิจยุโรปเท่ากับ 3 mg/kg และสำหรับการปนเปื้อนแคดเมียมในข้าวมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.33 mg/kg ซึ่งเกณฑ์มาตรฐานการบริโภคของ Codex Committee on Food Additives and Contaminants (CCFAC) กำหนดไว้ไม่เกิน 0.2 mg/kg (หน่วยเฉพาะกิจตรวจสอบและประเมินการปนเปื้อนของสารแคดเมียมในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยแม่ตาว, 2547)

เทคนิคในการกำจัดแคดเมียมออกจากดิน เช่น การล้างดิน (soil washing) เป็นวิธีการที่ต้องมีการขุดดินที่ปนเปื้อนออกนอกพื้นที่เพื่อทำการล้างดินที่ปนเปื้อนด้วยน้ำหรือตัวทำละลาย (United States Environmental Protection Agency, 2001) ซึ่งวิธีการดังกล่าวมีข้อเสียคือ การทำลายหน้าดินและโครงสร้างของดิน ค่าบำบัดค่อนข้างสูง

เทคนิคในการกำจัดแคดเมียมออกจากดินวิธีหนึ่งที่กำลังได้รับความสนใจคือ การใช้พืชในการดูดซับสารปนเปื้อนรวมทั้งโลหะหนักออกจากดินโดยอาศัยรากพืชและมีการส่งผ่านขึ้นมาภายในลำต้นของพืช หลังจากนั้นสารปนเปื้อนจะถูกนำออกไปโดยการเก็บเกี่ยวพืช (United States Environmental Protection Agency, 2000) เนื่องจากเป็นวิธีที่มีค่าใช้จ่ายในการบำบัดต่ำ สามารถนำโลหะกลับมาใช้ใหม่ได้และยังไม่รบกวนหน้าดินอีกด้วย นอกจากนี้ยังเป็นวิธีการบำบัดสารปนเปื้อนในดินที่ให้ทัศนียภาพที่สวยงาม ซึ่งพืชที่ใช้ในการบำบัดเป็นพืชที่มีความสามารถในการสะสมโลหะหนักได้ในปริมาณที่สูง หรือเรียกว่า hyperaccumulator การที่จะบอกว่าพืชชนิดใดเป็น hyperaccumulator นั้นสามารถวัดได้จากความสามารถในการสะสมโลหะหนักในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินต่อน้ำหนักแห้งของพืช อย่างเช่น *Thlaspi caerulescens* (Reeves และ Baker, 2000) และทานตะวัน (*Helianthus annuus*) (Brooks และ Robinson, 1998)

ทานตะวันเป็นพืชที่เหมาะสมในการนำมาใช้ในทำ Phytoextraction เนื่องจากทานตะวันจัดเป็นพืช hyperaccumulator ชนิดหนึ่งที่มีมวลชีวภาพสูง มีระบบรากที่ยาว ดังนั้นจึงมีการนำทานตะวันมาใช้ในการดูดซับโลหะหนักออกจากดิน เช่น การศึกษาของ Chen และ Cutright (2001) ใช้ทานตะวันในการกำจัด แคดเมียม โครเมียม และนิกเกิลออกจากดินนอกจากนี้ยังสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของ phytoextraction ได้โดยการทำให้โลหะหนักในดินละลายออกมาอยู่ใน

สารละลายได้มากขึ้น โดยการเติมตัวคีเลต (chelating agent) เช่น EDTA EDDS และ citric acid ฯลฯ เช่น การศึกษาของ Liphadzi และ Kirkham (2006) พบว่าการเติม EDTA ช่วยเพิ่มปริมาณแคดเมียม นิกเกิล และตะกั่ว ในสารละลายดินและยังเพิ่มการสะสมโลหะทั้ง 3 ชนิดในใบ (leaves) และ ลำต้น (stems) ของทานตะวัน

อย่างไรก็ตามการใช้พืชในการดูดซับสารปนเปื้อนออกจากดิน ก็ยังมีข้อด้อยเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการบำบัดแบบอื่นๆ คือ ใช้เวลาในการบำบัดนาน และไม่สามารถทำการบำบัดสารปนเปื้อนได้ 100% เนื่องจากการบำบัดโดยใช้พืชจะจำกัดอยู่เฉพาะในส่วนที่รากไปถึงเท่านั้น สารปนเปื้อนที่อยู่ลึกลงไปกว่านั้นจึงไม่ได้รับการบำบัด (Glass, 2000) ดังนั้นจึงอาจจำเป็นต้องมีการใช้ phytoextraction ร่วมกับวิธีการบำบัดแบบอื่นๆ นอกจากนี้การใช้พืชในการดูดซับสารปนเปื้อนออกจากดินยังเป็นวิธีการที่ใหม่ จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาเพื่อหาพืชที่เหมาะสมในการดูดซับสารปนเปื้อนแต่ละชนิดต่อไป

งานวิจัยนี้ได้มีการประยุกต์วิธีการเติมคีเลตสามชนิดคือ EDTA EDDS และ citric acid ซึ่งแต่ละความเข้มข้นของคีเลตจะแบ่งเติมเป็นจำนวน 1 2 และ 3 ครั้ง ซึ่งแนวคิดในการแบ่งเติมคีเลตนั้นเพื่อลดความเป็นพิษของคีเลตต่อพืชและช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการดูดซับโลหะหนักของพืช และวิธีการเติมคีเลตแบบนี้ยังไม่มีการทดลองกับทานตะวัน

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาความสามารถในการสะสมแคดเมียมของทานตะวันในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินและส่วนราก

1.2.2 เพื่อศึกษาผลของตัวคีเลต ความเข้มข้นของตัวคีเลตและวิธีการเติมตัวคีเลตต่อการสะสมแคดเมียมของทานตะวัน

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

1.3.1 ทานตะวันเป็นพืชที่มีความสามารถในการสะสมแคดเมียมในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินและส่วนรากต่างกัน

1.2.3 ชนิดของตัวคีเลต ความเข้มข้นของตัวคีเลตและวิธีการเติมตัวคีเลตมีผลต่อการสะสมแคดเมียมของทานตะวัน

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1.4.1 ทำการศึกษาชนิดของตัวคีเลต ปริมาณของตัวคีเลตและวิธีการเติมตัวคีเลต 3 ชนิด คือ EDTA EDDS และ citric acid ต่อปริมาณการสะสมแคดเมียมของทานตะวันในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินและในส่วนราก

1.5 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

1.5.1 phytoextraction หมายถึง การใช้พืชในการเคลื่อนย้ายโลหะหนักจากดินไปสะสมไว้ยังส่วนของลำต้นและรากของพืช (Ensley, 2000)

1.5.2 hyperaccumulator หมายถึง พืชที่สามารถสะสมโลหะหนักได้ในปริมาณที่มากเป็นพิเศษ การที่จะระบุว่าพืชชนิดใดเป็น hyperaccumulator นั้นสามารถวัดได้จากความสามารถในการสะสมโลหะหนักต่อน้ำหนักแห้งของพืชอย่างเช่น พืชที่เป็น hyperaccumulator ของแคดเมียม (Cd) ต้องสะสมแคดเมียมในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินมากกว่า 100 mg/kg น้ำหนักแห้ง (Chen และ Cutright, 2001)

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 ทราบถึงความสามารถในการสะสมแคดเมียมในส่วนเหนือพื้นดินและส่วนรากของทานตะวัน

1.6.2 ทราบถึงชนิดของตัวคีเลต ปริมาณตัวคีเลตและวิธีการเติมตัวคีเลตที่เหมาะสมในการเพิ่มการสะสมแคดเมียมของทานตะวัน

1.6.3 ข้อมูลจากการศึกษาวิจัยนี้สามารถนำไปเป็นข้อมูลพื้นฐาน เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการบำบัดดินที่ปนเปื้อนแคดเมียม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แคดเมียม

2.1.1 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี

แคดเมียมเป็นธาตุที่อยู่ในกลุ่ม II b ของตารางพีริออดิค (periodic table of elements) เป็นโลหะหนักที่มีสีเงินแกมขาว มีคุณสมบัติเบา อ่อน ดัดงอได้ง่าย และทนต่อการกัดกร่อน แคดเมียมเป็นธาตุที่ไม่ละลายในน้ำเย็นและน้ำร้อน แต่ละลายได้ในแอมโมเนียมไนเตรท (NH_4NO_3) และละลายในกรดซัลฟูริคที่ร้อน

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของแคดเมียม

คุณสมบัติ	แสดงผล
1. สูตรทางเคมี	Cd
2. น้ำหนักอะตอมหรือโมเลกุล	112.4
3. ความถ่วงจำเพาะ (specific gravity)	8.642
4. จุดหลอมละลาย (melting point) (^oC)	321
5. จุดเดือด (boiling point) (^oC)	767±2

ที่มา: ดัดแปลงจาก กรมควบคุมมลพิษ (2541)

2.1.2 การผลิต

การผลิตแคดเมียมเริ่มตั้งแต่ปลายศตวรรษที่ 19 ปริมาณที่ผลิตได้ส่วนใหญ่เป็นผลพลอยได้จากการถลุงสังกะสี และบางส่วนได้จากอุตสาหกรรมถลุงทองแดง และตะกั่ว สำหรับประเทศไทยเริ่มทำการผลิตแคดเมียมตั้งแต่ปี พ.ศ. 2533 โดยแคดเมียมเป็นของเหลือจากกระบวนการผลิตของโรงงานถลุงสังกะสี บริษัท ผาแดงอินดัสทรี จำกัด จังหวัดตาก (กรมควบคุมมลพิษ, 2541)

2.1.3 การใช้ประโยชน์

1) ใช้ผสมกับโลหะอื่นเป็นโลหะผสม (alloy) เพื่อเพิ่มความเหนียวและทนต่อการสึกกร่อน เช่น โลหะผสมของแคดเมียมกับทองแดงที่มีแคดเมียม 1% ใช้ในการผลิตเส้นลวดโทรเลขและโทรศัพท์

2) ใช้ในการชุบโลหะ โดยใช้แคดเมียมเคลือบบนแผ่นเหล็ก ทองแดง อะลูมิเนียม โลหะที่ได้จากการชุบนำไปใช้เป็นส่วนประกอบของรถยนต์

3) ใช้ผลิตแบตเตอรี่ โดยใช้ร่วมกับโลหะนิกเกิล (กรมควบคุมมลพิษ, 2541)

2.1.4 ความเป็นพิษ

(1) ความเป็นพิษต่อพืช

แคดเมียมปริมาณเล็กน้อยที่ปนเปื้อนในดินจะถูกดูดซับและสะสมในพืช ซึ่งในปริมาณน้อยๆพืชจะไม่แสดงอาการเป็นพิษจากแคดเมียม แต่ถ้าแคดเมียมปริมาณสูงจะทำให้เกิดความเป็นพิษต่อพืชโดยจะมีผลให้พืชดูดซับคาร์บอนน้อยลง ลดการปิดปากใบ ขัดขวางการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ ทำลายปลายราก ลดการดูดซับธาตุอาหาร และยับยั้งการเจริญเติบโตของพืช เป็นต้น (Zhou และ Qiu, 2005) โดยส่วนใหญ่พืชจะได้รับแคดเมียมจากการดูดซับแคดเมียมที่อยู่ในดินขึ้นไป โดยปริมาณในดินทั่วไปมีค่าเฉลี่ยระหว่าง 0.07- 1.0 ppm และแคดเมียมที่อยู่ในดินจะอยู่ในสภาพละลายได้ง่ายโดยจะอยู่ในรูป Cd^{2+} เป็นส่วนใหญ่ บางครั้งอาจพบในรูปไอออนเชิงซ้อน (complex ion) ของแคทไอออน เช่น $CdCl^{+}$, $CdOH^{+}$, $CdHCO_3^{+}$ และแอนไอออน เช่น $CdCl_3^{-}$, $CdCl_4^{2-}$, $Cd(OH)_3^{-}$, $Cd(OH)_4^{2-}$ นอกจากนี้ยังพบในรูปสารประกอบ เช่น CdO, $CdCO_3$ (ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, 2545)

(2) ความเป็นพิษต่อมนุษย์และสัตว์

ก. ความเป็นพิษแบบเฉียบพลัน

- ความเป็นพิษต่อระบบทางเดินอาหาร เนื่องจากระบบทางเดินอาหารเป็นระบบแรกในร่างกายที่จะได้รับพิษเมื่อร่างกายได้รับแคดเมียมโดยการกิน ซึ่งส่วนใหญ่จะมีสาเหตุมาจากการกินอาหารหรือเครื่องดื่มที่มีแคดเมียมปนเปื้อน เนื่องจากอาหารหรือเครื่องดื่มดังกล่าวบรรจุในภาชนะที่เคลือบด้วยแคดเมียม อาการที่ปรากฏเริ่มแรกคือ รู้สึกคลื่นเหียนอย่าง

รุนแรง ตามด้วยการอาเจียน ท้องร่วง เป็นตะคริว และน้ำลายฟูมปาก โดยการกินแคดเมียมในปริมาณมากกว่า 3 mg ภายในครั้งเดียวจะทำให้เกิดการอาเจียน และถ้าได้ในปริมาณ 350-3,500 mg จะทำให้เสียชีวิตได้ โดยค่ามาตรฐานที่อนุโลมให้มีแคดเมียมได้สูงสุดในน้ำดื่มในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท คือ 0.005 mg/l (กรมควบคุมมลพิษ, 2549)

- ความเป็นพิษต่อระบบหายใจ เนื่องจากการสูดหายใจไอของแคดเมียมซึ่งส่วนใหญ่เกิดขึ้นเนื่องจากกิจการอุตสาหกรรม โดยเฉพาะการเชื่อมโลหะด้วยความร้อนสูง อาการโดยรวมจะปรากฏหลังจากสูดหายใจไอของแคดเมียมเข้าไปแล้ว 2-3 ชั่วโมง จะเกิดอาการระคายเคืองที่หลอดลมและปอด ไอ ปวดศีรษะ อ่อนเพลีย หนาวสั่น มีไข้ เจ็บหน้าอก และถ้าสูดหายใจไอแคดเมียมความเข้มข้น 5 mg/m^3 เป็นเวลา 8 ชั่วโมงจะทำให้เสียชีวิตได้ (กรมควบคุมมลพิษ, 2549)

ข. ความเป็นพิษแบบเรื้อรัง

- ความเป็นพิษต่อปอด เมื่อมีการหายใจเอาฝุ่นหรือไอของแคดเมียมจะทำให้เกิดการบวมหรือพองของเนื้อเยื่อปอด และเกิดอาการหายใจขัด สำหรับปริมาณความเข้มข้นต่ำสุดของแคดเมียมที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษในระยะยาวยังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด แต่มีการรายงานเสนอไว้ว่าการได้รับแคดเมียมในปริมาณความเข้มข้น 2 $\mu g/m^3$ นานติดต่อกัน (วันละ 24 ชั่วโมง เป็นเวลา 70 ปี) เป็นระดับที่ไม่มีผลต่อปอด (กรมควบคุมมลพิษ, 2549)

- ความเป็นพิษต่อไต สำหรับผู้ที่ได้รับแคดเมียมเข้าสู่ร่างกายนานติดต่อกัน จะเกิดแผลที่ไต สำหรับปริมาณแคดเมียมที่สะสมอยู่ในไตที่คาดว่าอาจจะก่อให้เกิดความเป็นพิษขึ้นได้ คือ 200 $\mu g/g$ ของเนื้อไต (น้ำหนักเปียก)

- ความเป็นพิษต่อกระดูก เกิดจากการได้รับแคดเมียมเข้าสู่ร่างกายนานติดต่อกันจนทำให้เกิดโรคอิไต-อิไต คือ กระดูกจะพรุน งอโค้ง ทำให้กระดูกเสียรูปทรงและหักได้ และมีอาการปวดที่เอว ปวดกล้ามเนื้อขาและเจ็บกระดูก ตามที่เคยปรากฏขึ้นในประเทศญี่ปุ่น ทำให้มีผู้เสียชีวิตถึง 280 คน เนื่องจากการบริโภคข้าวและพืชซึ่งได้รับแคดเมียมจากการปล่อยน้ำเสียของโรงงานถลุงแร่เหล็ก โรงงานผลิตทองแดง ตะกั่ว และสังกะสี ลงสู่ไร่นาที่ปลูกข้าวและพืชผักต่างๆ ซึ่งทำให้เกิดการสะสมแคดเมียมในข้าวและน้ำมันถั่วเหลืองถึง 0.4-3.36 ppm (อรรณพ หอมจันทร์, 2535)

- ความเป็นพิษต่อระบบการสร้างเม็ดโลหิต จะทำให้เกิดโรคโลหิตจาง โดยความเข้มข้นของแคดเมียมที่ไม่มีผลต่อการสร้างเม็ดโลหิตในหนู (mice) มีค่าในช่วง 5-10 ppm (กรมควบคุมมลพิษ, 2549)

2.1.5 แหล่งที่มาของแคดเมียมที่ปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อม

(1) กากตะกอนอุตสาหกรรม

การนำเอากากตะกอนมาใช้ในการเกษตรเริ่มเป็นที่นิยมมากขึ้น เนื่องจากเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการกำจัดขยะ นอกเหนือจากการเผาและนำไปถมทะเล (อนงนาฎ ศรีประโชติ, 2549) แต่เนื่องจากกากตะกอนจากอุตสาหกรรมชุบโลหะ เคลือบโลหะ ผลิตโลหะผสม ผลิตแบตเตอรี่จะมีแคดเมียมเจือปนอยู่ ดังนั้นเมื่อมีการนำมาใช้เพื่อปลูกพืชก็จะทำให้มีการสะสมในพืชและในโซ่อาหารต่อไป ด้วยเหตุนี้จึงมีการกำหนดปริมาณแคดเมียมที่ตกค้างหลังจากใช้กากตะกอนไม่เกิน 1.9 kg Cd ha^{-1} yr^{-1} โดยประเทศสหรัฐอเมริกา (Havlin และ คณะ, 1999)

(2) เหมืองแร่และการถลุงแร่

การทำเหมืองแร่และการถลุงแร่เป็นสาเหตุของการปนเปื้อนแคดเมียมในสภาพแวดล้อม แคดเมียมมาจากหลายส่วนของเหมืองแร่และการถลุงแร่ เช่นจากน้ำที่ใช้ในกระบวนการลอยแร่ กระบวนการถลุงแร่ บ่อน้ำทิ้งของเหมือง และเมื่อเกิดการไหลบ่าของน้ำฝนหรือน้ำป่าที่ชะเอาตะกอนจากบ่อทิ้งตะกอนกากแร่ลงสู่แหล่งน้ำ ทำให้เกิดการตกค้างของแคดเมียมในดินและแหล่งน้ำเป็นเวลานาน ดังเช่นที่ลุ่มแม่น้ำจินทซึของประเทศญี่ปุ่น ที่ประสบปัญหาการปนเปื้อนของแคดเมียมในน้ำดื่มและข้าวมาเป็นเวลานานกว่า 30 ปี ทำให้ประชาชนที่อาศัยอยู่ในบริเวณดังกล่าวป่วยเป็นโรค อิไต-อิไต (อนงนาฎ ศรีประโชติ, 2549)

(3) จากการเกษตรกรรม

การใช้ปุ๋ยฟอสเฟตในการเกษตรกรรมเป็นอีกเส้นทางหนึ่งที่ทำให้มีการปนเปื้อนแคดเมียมในพื้นที่ทำการเกษตรได้ เนื่องจากในปุ๋ยฟอสเฟตที่ใช้เติมลงไปในดินนั้นมีแคดเมียมเจือปนอยู่ในช่วง < 0.02-0.5 mg/kg การเจือปนของแคดเมียมในปุ๋ยฟอสเฟตมีสาเหตุมาจากในหินฟอสเฟตที่นำมาใช้ในการผลิตปุ๋ยฟอสเฟตจะมีแคดเมียมเจือปนอยู่ ซึ่งปริมาณแคดเมียมที่เจือปนอยู่จะขึ้นอยู่กับหินฟอสเฟตที่นำมาใช้ในการผลิตปุ๋ย เช่น Gafsa phosphate rock และ Mexican phosphate rock มีแคดเมียมเจือปนอยู่ 38 และ 8 mg/kg ตามลำดับ (อนงนาฎ ศรีประโชติ, 2549)

ปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชนมีปริมาณธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองในปริมาณที่มาก จึงมีการนำปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชนมาใส่ในดินที่ทำการเกษตรเพื่อเพิ่มแร่ธาตุต่างๆ ให้กับพืช แต่ในปุ๋ยหมักมูลฝอยชุมชนนั้นนอกจากจะมีแร่ธาตุที่จำเป็นต่อพืชแล้วยังพบว่ามีโลหะหนักที่เป็นพิษซึ่งรวมถึงแคดเมียมเจือปนอยู่ด้วย (ตารางที่ 2.2)

ตารางที่ 2.2 ปริมาณโลหะหนักบางชนิดที่พบในปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชนจากแหล่งต่างๆ

ชนิดของโลหะหนัก	ปริมาณโลหะหนักทั้งหมด (mg/kg)	
	กรุงเทพมหานคร	เทศบาลเพชรบุรี
ทองแดง	621.72	0.011-0.032
สังกะสี	1081.90	0.045-0.094
แมงกานีส	543.38	ไม่มีรายงานไว้
นิเกิล	61.18	ไม่มีรายงานไว้
แคดเมียม	3.56	0.899
ตะกั่ว	275.75	51.817
โครเมียม	448.87	ไม่มีรายงานไว้
ปรอท	2.18	0.362

ที่มา : ดาวรุ่ง สังข์ทอง (2539)

2.1.5 ค่าเกณฑ์มาตรฐานของปริมาณแคดเมียมในสิ่งแวดล้อม

ปัญหาการปนเปื้อนแคดเมียมในสิ่งแวดล้อมในที่ต่างๆ เริ่มมีปัญหารุนแรงขึ้น ดังนั้นประเทศต่างๆ รวมทั้งประเทศไทย (โดยกรมควบคุมมลพิษ) จึงมีการกำหนดค่าสูงสุดที่ยอมให้มีแคดเมียมได้ดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 เกณฑ์มาตรฐานการปนเปื้อนของแคดเมียมในสิ่งต่างๆ

ตัวกลาง	เกณฑ์อนุโลมสูงสุด	ประเทศ
ดิน	3 mg/kg	ประชาคมเศรษฐกิจยุโรป (EEC)
ตะกอนดิน	3.5 mg/kg	ประเทศแคนาดา
ปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชน	3 mg/kg	ประเทศแคนาดา
น้ำผิวดิน	0.05 mg/l	ประเทศไทย
น้ำบาดาลที่ใช้บริโภค	0.01 mg/l	ประเทศไทย
น้ำดื่มในภาชนะบรรจุปิดสนิท	0.005 mg/l	ประเทศไทย
น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม	0.03 mg/l	ประเทศไทย

ที่มา: ดัดแปลงจากกรมควบคุมมลพิษ (2549) และ ดาวรุ่ง สังข์ทอง (2539)

2.2 การบำบัดโดยใช้พืช (Phytoremediation)

2.2.1 คำจำกัดความของการบำบัดโดยใช้พืช

การบำบัดโดยใช้พืช (phytoremediation) คือ การใช้พืชในการกำจัด ควบคุม หรือกระตุ้นการย่อยสลายของเสีย เช่น โลหะหนัก สารอินทรีย์ ปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอน สารกัมมันตรังสี ฯลฯ ที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำ ดิน และอากาศ (United States Environmental Protection Agency, 2000)

2.2.2 ชนิดของการบำบัดโดยใช้พืช

การบำบัดโดยใช้พืชมีหลายชนิด ซึ่งสามารถแบ่งชนิดตามกลไกของพืชที่ใช้ในการกำจัดสารพิษต่างๆ ที่ปนเปื้อนอยู่ในสิ่งแวดล้อม ได้ดังต่อไปนี้ (United States Environmental Protection Agency, 2000)

(1) Phytoextraction หรืออาจเรียกว่า phytoaccumulation คือ การดูดซับสารปนเปื้อนโดยอาศัยรากพืชและมีการส่งผ่านขึ้นมาภายในลำต้นของพืช หลังจากนั้นสารปนเปื้อนจะถูกนำออกไปโดยการเก็บเกี่ยวพืช ตัวกลางที่สามารถใช้วิธีนี้ในการบำบัดได้ คือ ดิน ตะกอน และกากตะกอน สารปนเปื้อนที่สามารถบำบัดได้โดยวิธี Phytoextraction คือ โลหะหนัก เช่น

แคดเมียม ตะกั่ว ปรอท ฯลฯ นอกจากนั้นยังสามารถบำบัดสารกัมมันตรังสีได้ เช่น ยูเรเนียม พลูโทเนียม สตรอนเชียม ฯลฯ ตัวอย่างพืชที่มีการนำมาใช้ เช่น Indian mustard (*Brassica juncea* L.) และ ทานตะวัน (*Helianthus annuus* L.) (United States Environmental Protection Agency , 2000)

(2) Rhizofiltration คือ การดูดซับสารปนเปื้อนเข้าไปในรากหรือ การตกตะกอนในบริเวณรากโดยของเหลวที่ซึมออกมาจากรากพืช Rhizofiltration จะทำให้สารปนเปื้อนไม่มีการเคลื่อนที่หรือเกิดการสะสมในบริเวณราก สารปนเปื้อนจะถูกกำจัดออกไปโดยการเก็บเกี่ยวพืช ตัวกลางที่สามารถใช้วิธีนี้ในการบำบัดได้ คือ น้ำใต้ดิน และ น้ำผิวดิน สารปนเปื้อนที่สามารถบำบัดได้โดยวิธี Rhizofiltration คือ โลหะหนัก และ สารกัมมันตรังสี

(3) Phytostabilization คือ การใช้พืชหรือรากพืชทำให้สารปนเปื้อนในดินไม่ให้เคลื่อนที่ โดยการดูดซับและสะสมในราก การเกิดสารประกอบ และ การตกตะกอนในบริเวณรากพืช Phytostabilization เกิดขึ้นได้โดยอาศัยจุลินทรีย์และสารเคมีที่ซึมออกมาจากรากพืชหรือการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของสารปนเปื้อน ตัวกลางที่สามารถใช้วิธีนี้ในการบำบัดได้ คือ ดิน ตะกอน และกากตะกอน สารปนเปื้อนที่สามารถบำบัดได้โดยวิธี Phytostabilization คือ โลหะหนัก

(4) Rhizodegradation หรือชื่ออื่นที่มีการเรียกกัน เช่น rhizosphere biodegradation phytostimulation plant-assisted bioremediation/degradation คือ การกำจัด หรือการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนในดินโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ ซึ่งจะมีประสิทธิภาพมากขึ้นเมื่ออยู่บริเวณรากพืช เพราะบริเวณรากพืชจะมีของเหลวซึมออกมา ได้แก่ น้ำตาล กรดอะมิโน กรดไขมัน และเอมไซม์ ซึ่งจุลินทรีย์ใช้เป็นอาหารและยังช่วยเพิ่มปริมาณและกิจกรรมของจุลินทรีย์ในบริเวณรากพืช ตัวกลางที่สามารถใช้วิธีนี้ในการบำบัดได้ คือ ดิน ตะกอน กากตะตอน และ น้ำใต้ดิน สารปนเปื้อนที่สามารถบำบัดได้โดยวิธี Rhizodegradation คือ สารประกอบอินทรีย์ เช่น Total Petroleum Hydrocarbon (TPH) Polynuclear Aromatic Hydrocarbons (PAHs) Polychlorinated Biphenyls (PCBs) สารกำจัดแมลงและศัตรูพืชบางชนิด เป็นต้น

(5) Phytodegradation หรือรู้จักกันในอีกชื่อหนึ่งก็คือ phytotransformation คือ การทำให้สารปนเปื้อนมีการเปลี่ยนรูป โดยเอมไซม์ที่พืชปล่อยออกมา หรือผ่านทางกระบวนการเมทตาโบริซึม (metabolism) ของพืช ตัวกลางที่สามารถใช้วิธีนี้ในการบำบัดได้ คือ ดิน ตะกอน กากตะตอน น้ำผิวดิน และ น้ำใต้ดิน สารปนเปื้อนที่สามารถบำบัดได้โดยวิธี Phytodegradation คือ สารประกอบอินทรีย์

(6) Phytovolatilization คือ การดูดซับสารปนเปื้อนและมีการเปลี่ยนรูปสารปนเปื้อนเพื่อปล่อยออกสู่บรรยากาศโดยผ่านกระบวนการดูดซับสารปนเปื้อน กระบวนการเมทตาโบริซึม และการหายใจของพืช ตัวกลางที่สามารถใช้วิธีนี้ในการบำบัดได้ คือ น้ำใต้ดิน ดินตะกอน และ กากตะกอน สารปนเปื้อนที่สามารถบำบัดได้โดยวิธีนี้ คือ chlorinated solvents

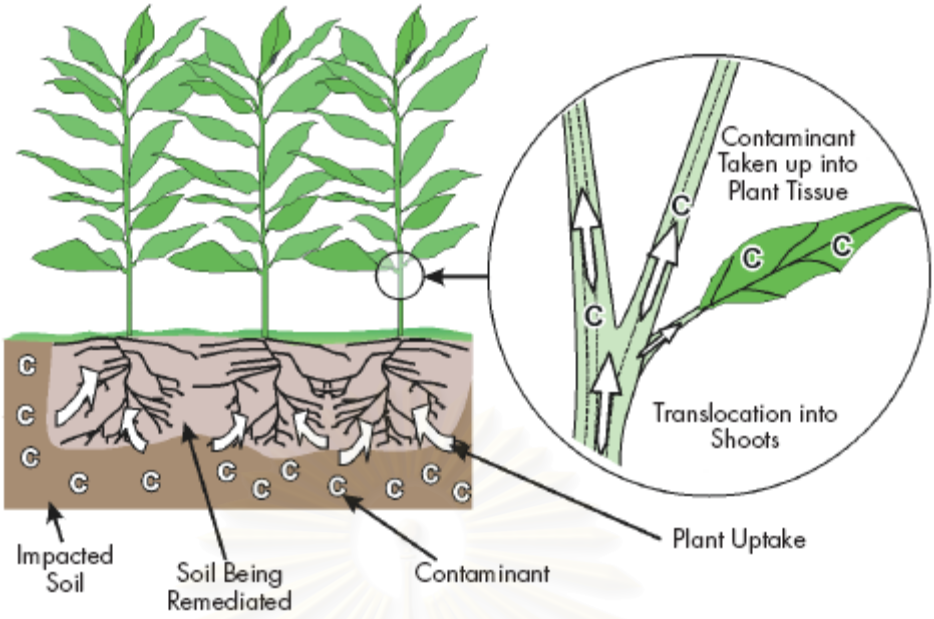
2.2.3 Phytoextraction

(1) คำจำกัดความ

Phytoextraction เป็นการบำบัดโดยใช้พืชชนิดหนึ่งซึ่งหมายถึง การใช้พืชดูดซับสารปนเปื้อน ดังที่กล่าวไว้แล้วข้างต้น ซึ่งพืชแต่ละชนิดมีความสามารถในการสะสมโลหะหนักได้ไม่เท่ากัน ด้วยเหตุดังกล่าวในการทำ phytoextraction จึงมีความจำเป็นที่จะต้องเลือกใช้พืชที่มีความสามารถในการสะสมโลหะหนักได้มากเป็นพิเศษซึ่งพืชที่มีความสามารถดังกล่าวเรียกว่า hyperaccumulator นอกจากนี้พืชที่จะนำมาใช้ในกระบวนการ phytoextraction ควรจะต้องมีระบบรากที่กว้าง มีมวลชีวภาพที่สูง และมีความทนต่อโลหะหนัก

(2) กลไกการทำงานของ Phytoextraction

กลไกการทำงานของ phytoextraction จะประกอบไปด้วยกระบวนการหลักๆ 2 กระบวนการคือ 1. การนำเข้าโลหะหนักโดยรากพืช โดยอาศัยระบบการลำเลียงผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ 2 ระบบ คือ การลำเลียงผ่านตัวลำเลียงประจุบวก และการแพร่ผ่านเข้าทางช่องที่เป็นประจุบวกสอง (divalent cation membrane channel) โดยการเคลื่อนที่ผ่านทางช่องประจุบวกสองนั้นจะอาศัยความเข้มข้นที่แตกต่างกันของสาร (Welch และ Norvell., 1999) ตัวอย่างเช่น Cd^{2+}และ Zn^{2+} ได้มีการศึกษาการนำเข้า Zn^{2+} ในเยื่อหุ้มเซลล์บริเวณรากของข้าวสาลีโดยพบว่า Zn^{2+}จะเคลื่อนที่ผ่านทางช่อง Ca^{2+} (Ca^{2+} channel) และเนื่องจากความคล้ายคลึงกันทางเคมีของ Cd^{2+}และ Zn^{2+} จึงเป็นไปได้ว่า Cd^{2+} จะเคลื่อนที่เข้าสู่รากพืชโดยใช้เส้นทางเดียวกับ Zn^{2+} และ 2. การเคลื่อนย้ายโลหะหนักจากรากไปสู่ยอดพืช ในตอนนี้โลหะหนักจะถูกขนส่งไปตามท่อลำเลียงน้ำ (xylem) โดยจะอาศัยกระบวนการคายน้ำ (transpiration) เป็นแรงดึง (Kochian, 1991) กลไกการทำงานของ Phytoextraction แสดงในรูปที่ 1



รูป ที่ 2.1 กลไกการทำงานของ Phytoextraction (ที่มา: Brookhaven National Laboratory, 2000)

(3) ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการสะสมโลหะหนักในดินและพืช

ก. ชนิดของโลหะหนัก

โลหะหนักแต่ละชนิดมีลักษณะในการถูกปลดปล่อยสู่สารละลายดิน และถูกดูดเข้าสู่ส่วนต่างๆ ของพืชแตกต่างกัน เช่น พบว่าการใส่กากตะกอนลงดินทำให้มีการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญของ สังกะสี ทองแดง แคดเมียม และนิกเกิล ในดินตามอัตราการใส่กากตะกอน และธาตุทั้ง 4 สามารถถูกพืชดูดดึงไปใช้ได้ดีกว่า ตะกั่ว ปรอท และโครเมียม (อรรณพ หอมจันทร์, 2535)

ข. ความเป็นกรดด่างของดิน (pH)

ความเป็นกรดด่างของดินเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลอย่างมากต่อปริมาณโลหะหนักที่ละลายออกมาในสารละลายดิน และปริมาณโลหะหนักที่พืชดูดดึงได้ เช่น Yanai และ คณะ (2006) ศึกษาลักษณะของดินต่อการดูดซับ Cd โดย *T. caerulescens* พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับมากที่สุดคือ ความเป็นกรดด่าง ซึ่งความเป็นกรดด่างที่เหมาะสมมีค่าอยู่ระหว่าง 5 – 6 โดยทั่วไปแล้วการละลายในสารละลายดินของ แคดเมียม ทองแดง และสังกะสีจะเพิ่มขึ้นเมื่อดินเป็นกรดมากขึ้น (อรรณพ หอมจันทร์, 2535)

ค. ปริมาณอินทรียวัตถุ (organic matter)

อินทรียวัตถุในดิน (soil organic matter) มีความหมายครอบคลุมตั้งแต่ส่วนของซากพืชหรือซากสัตว์ที่กำลังสลายตัว เซลล์จุลินทรีย์ที่ยังมีชีวิตอยู่และส่วนที่ตายแล้วตลอดจนสารอินทรีย์ที่ได้จากการย่อยสลาย หรือส่วนที่สังเคราะห์ขึ้นมาใหม่ แต่ไม่รวมถึงรากพืชหรือเศษซากพืชหรือสัตว์ที่ยังไม่ย่อยสลาย ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าอินทรียวัตถุในดินประกอบไปด้วยสารอินทรีย์แทบทุกชนิดที่สามารถเกิดขึ้นได้ตามธรรมชาติ (อนงนาฎ ศรีประโชติ, 2549) อินทรียวัตถุสามารถจับยึดโลหะหนักไว้ได้ดี จึงทำให้โลหะหนักสะสมอยู่ในอินทรียวัตถุ และพืชดูดดึงเข้าไปได้น้อย (อรรณพ หอมจันทร์, 2535)

ง. ชนิดพืช

พืชแต่ละชนิดจะมีการดูดดึง และสะสมโลหะหนักแตกต่างกัน แม้แต่พืชชนิดเดียวกันก็ยังมีการสะสมโลหะในแต่ละส่วนของพืชแตกต่างกันด้วย (Ensley, 2000)

จ. สิ่งต่างๆ ที่เติมลงสู่ดิน

สิ่งต่างๆ ที่เติมลงสู่ดินอย่างเช่น ตัวคีเลต (chelating agent) มีผลต่อการละลายของโลหะหนักในสารละลายดินและการดูดดึงของพืช เช่น การศึกษาของ Turgut และคณะ (2004) ศึกษาผลของคีเลต 2 ชนิด คือ EDTA และ citric acid ต่อการสะสมของแคดเมียม โครเมียม และนิกเกิล ในต้นทานตะวัน 2 พันธุ์ คือ พันธุ์ Dwarf Sunspot และพันธุ์ Teddy Bear Sunflowers พบว่าเมื่อใช้พันธุ์ Dwarf Sunspot ในชุดการทดลองที่มีการเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับโดยใช้ EDTA ความเข้มข้น 0.1 g/kg ปริมาณโลหะทั้งหมดที่พืชดูดซับได้คือ 0.730 mg และเมื่อเพิ่มความเข้มข้น EDTA เป็น 0.3 g/kg ปริมาณโลหะทั้งหมดที่พืชดูดซับได้คือ 0.336 mg และเมื่อทำการทดสอบการเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับโดยใช้ citric acid ความเข้มข้น 1.0 และ 3.0 g/kg ปริมาณโลหะทั้งหมดที่พืชดูดซับได้ คือ 0.449 และ 0.390 mg ตามลำดับ สำหรับสายพันธุ์ Teddy Bear Sunflowers เมื่อเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับโดยใช้ EDTA ความเข้มข้น 0.1 g/kg ปริมาณโลหะทั้งหมดที่พืชดูดซับได้คือ 0.714 mg และเมื่อเพิ่มความเข้นข้น EDTA ที่ใช้เป็น 0.3 g/kg ปริมาณโลหะทั้งหมดที่พืชดูดซับได้คือ 0.566 mg และเมื่อทำการทดสอบการเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับโดยใช้ citric acid ความเข้มข้น 1.0 และ 3.0 g/kg ปริมาณโลหะทั้งหมดที่พืชดูดซับได้คือ 0.649 mg และ 0.470 mg ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ EDTA และ citric acid ทำให้ปริมาณโลหะทั้งหมดที่พืชดูดซับได้ลดลง Turgut และคณะ ให้

เหตุผลว่าเมื่อใช้ EDTA และ citric acid ที่ความเข้มข้นสูงๆ จะทำให้มวลชีวภาพลดลง โดยมวลชีวภาพจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับการดูดซับโลหะหนักของพืช คือ ถ้ามวลชีวภาพของพืชมีมากการดูดซับโลหะหนักก็จะมากตามไปด้วย

2.2.4 ข้อดีและข้อเสียของการทำ phytoextraction

ข้อดีของการทำ phytoextraction (Glass, 2000)

- ต้นทุนต่ำเนื่องจากเป็นการใช้พืชในการบำบัดจึงไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ราคาแพงและ วิธีการในการบำบัดไม่ยุ่งยากซับซ้อนนอกจากนั้นยังสามารถนำโลหะที่พืชดูดซับเอากลับมาใช้ได้ใหม่
- เป็นวิธีการบำบัดสารปนเปื้อนในดินได้อย่างถาวร กล่าวคือเป็นการบำบัดที่นำเอาสารปนเปื้อนออกมาจากดินเลย
- เป็นวิธีการบำบัดสารปนเปื้อนในดินโดยไม่มีการขุดตักดินไปจึงไม่มีการทำลายหน้าดิน
- เป็นวิธีการบำบัดสารปนเปื้อนในดินที่เป็นที่ยอมรับว่าให้ทัศนียภาพที่สวยงามเนื่องจากปีนการบำบัดโดยใช้พืช

ข้อเสียของการทำ phytoextraction (Glass, 2000)

- ใช้เวลาในการบำบัดนานเนื่องจากพืชที่เป็น hyperaccumulators ส่วนใหญ่มักโตช้า นอกจากนี้ในการใช้พืชบำบัดยังต้องขึ้นอยู่กับฤดูกาล
- การบำบัดสารปนเปื้อนไม่สามารถทำการบำบัดได้ 100% เนื่องจากการบำบัดโดยใช้พืชจะจำกัดอยู่เฉพาะในส่วนที่รากไปถึงเท่านั้นสารปนเปื้อนที่อยู่ลึกลงไปกว่านั้นจึงไม่ได้รับการบำบัด
- ถ้ามีการปนเปื้อนที่ความเข้มข้นสูงมากๆ จนเกินความสามารถในการทนต่อโลหะหนักของพืชได้ การบำบัดโดยใช้พืชจะไม่สามารถทำได้

2.3 การเติมสารคีเลตเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้พืชบำบัดโลหะหนัก

2.3.1 ความหมายของสารคีเลต

สารคีเลตเป็นสารที่อาจเกิดขึ้นโดยธรรมชาติหรือสารสังเคราะห์ ได้แก่ กรดอินทรีย์ กรดอะมิโน โปรตีน เป็นต้น ซึ่งสารพวกนี้เป็นสารที่ให้ไอออนของโลหะ หรือจุลธาตุอาหาร (micronutrients) ยึดเกาะและรวมตัวกันเป็นสารประกอบคีเลต ซึ่งเป็นสารประกอบที่มีความคงตัว และสามารถปลดปล่อยธาตุอาหารให้แก่พืชได้ทีละน้อย (ชวนพิศ แดงสวัสดิ์, 2544)

2.3.2 การใช้ประโยชน์ของสารคีเลต

สารคีเลตเป็นสารที่มีการใช้งานกันอย่างกว้างขวางทั้งในบ้านเรือนและโรงงานอุตสาหกรรม โดยสารคีเลตสามารถเกิดสารเชิงซ้อนกับโลหะได้ ซึ่งไอออนโลหะจะสร้างความเสียหายให้กับกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมและผลิตภัณฑ์หลายชนิด โดยไอออนที่มีประจุ +2 เช่น Ca^{2+}, Mg^{2+} และ Ba^{2+} สามารถเกิดตะกอนที่ไม่ละลายน้ำกับ carbonates sulfate และ phosphate ได้ซึ่งจะเป็นการรบกวนกระบวนการผลิต นอกจากนี้โลหะทรานซิชั่น เช่น ทองแดง เหล็ก สังกะสี และ แมงกานีส ยังทำให้สีของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนไปได้ ด้วยสาเหตุดังกล่าวจึงมีการนำสารคีเลตชนิดต่างๆ มาใช้เพื่อกำจัดโลหะดังกล่าวออกไป สารคีเลตยังนำไปใช้งานในโรงงานผลิตกระดาษเพื่อใช้เป็นสารฟอกขาว นอกจากนี้สารทำความสะอาดที่ใช้กันอยู่ในบ้านเรือนก็มีส่วนผสมของสารคีเลตนี้เหมือนกัน (Oviedo และ Rodríguez, 2003) ตัวอย่างสารคีเลตที่มีการใช้อย่างมากคือ EDTA เปอร์เซ็นต์ การใช้งานของ EDTA แสดงในตารางที่ 2.4

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.4 เปอร์เซ็นต์การใช้งานของ EDTA ในบ้านเรือนและในโรงงานอุตสาหกรรมในตลาดโลก

การใช้งาน	เปอร์เซ็นต์(%)
สารทำความสะอาด	33
การบำบัดน้ำ	17
การผลิตกระดาษ	12
อุตสาหกรรมภาพถ่าย	5
สารกำจัดโลหะ	5
ผลิตภัณฑ์ความงาม ยา และอาหาร	5
การเกษตร	4
อุตสาหกรรมสิ่งทอ	4
ส่วนประกอบของหมึกพิมพ์	3
ส่วนผสมของคอนกรีต	2
อื่นๆ	10

ที่มา: ดัดแปลงมาจาก Oviedo และ Rodríguez (2003)

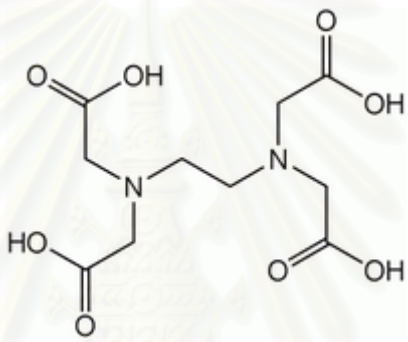
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.3.3 สารคีเลตที่เลือกใช้ในงานวิจัย

(1) EDTA (ethylenediaminetetraacetic acid)

ก. คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี

EDTA ยังมีชื่อเรียกอื่นๆ เช่น diaminoethanetetraacetic acid ethylenedinitrilotetraacetic acid edetic acid edentate ฯลฯ สูตรโครงสร้างของ EDTA แสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2.2 สูตรโครงสร้างของ EDTA

ที่มา: Maryadele และ คณะ (2001)

ตารางที่ 2.5 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของ EDTA

คุณสมบัติ	แสดงผล
1. สูตรทางเคมี	$C_{10}H_{16}N_2O_8$
2. น้ำหนักอะตอมหรือโมเลกุล (g/mol)	292.25
3. ความหนาแน่นที่ 20°C (density)	0.86 g/cm^3
4. จุดหลอมละลาย (melting poit) (°C)	>150°C
5. การละลายที่ 20 °C (solubility)	0.4 g/l

ที่มา: Maryadele และ คณะ (2001)

ข. การย่อยสลาย

การศึกษาการย่อยสลายของ EDTA ที่ความเข้มข้นต่างๆ ในน้ำ และในดิน แสดงให้เห็นว่าว่า EDTA ย่อยสลายได้ยากในสิ่งแวดล้อม แต่การย่อยสลายก็ขึ้นกับความเข้มข้นของ EDTA ที่ใช้ในการทดลอง เช่น

การศึกษาของ Ginkel (1999) ศึกษาการย่อยสลายของ EDTA ในน้ำ โดยเก็บตัวอย่างน้ำจากแม่น้ำและทะเลสาบ และศึกษาการย่อยสลายของ Na_2EDTA ความเข้มข้น 8.0 mg/l ที่ pH 6.5 และ 8.0 Ginkel ทำการทดลองในขวดซึ่งเป็นระบบปิด ผลการศึกษาพบว่าที่ pH 6.5 ไม่พบการย่อยสลายของ EDTA หรือ พบการย่อยสลายเพียงเล็กน้อยคือ 2-12% ใน 28 วัน แรกของการทดลอง และเมื่อเวลาผ่านไป 49 วัน พบว่าการย่อยสลายของ EDTA มีค่าระหว่าง 60-83% สำหรับการทดลองที่ pH 8 พบว่าการย่อยสลายเป็น 53-72% ภายใน 28 วันของการทดลอง และมีค่า 75-89% เมื่อการทดลองผ่านไป 35 วัน

การศึกษาของ Meer และคณะ (2005) ทำการศึกษาประสิทธิภาพของ EDDS และ EDTA ในการเพิ่มการดูดซับโลหะหนักโดยพืช และทำการศึกษาความเข้มข้นของโลหะหนักในสารละลายดินด้วย โดยการทดลองครั้งนี้ใช้ EDTA ความเข้มข้น 4 1.6 และ 0.8 mmol ติดตามผลเป็นเวลา 40 วัน พบว่าความเข้มข้นของโลหะหนักในดินมีความสัมพันธ์กับการย่อยสลายของ EDTA โดยพบว่ากลุ่มการทดลองที่เติม EDTA ไม่พบการลดลงอย่างมีนัยสำคัญภายใน 40 วันจากผลดังกล่าวทำให้ Meers และคณะ ได้ประมาณค่าครึ่งชีวิตของ EDTA ว่ามีค่า 36 วัน

นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการย่อยสลายของ EDTA โดยจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ ดังแสดงใน ตารางที่ 2.6

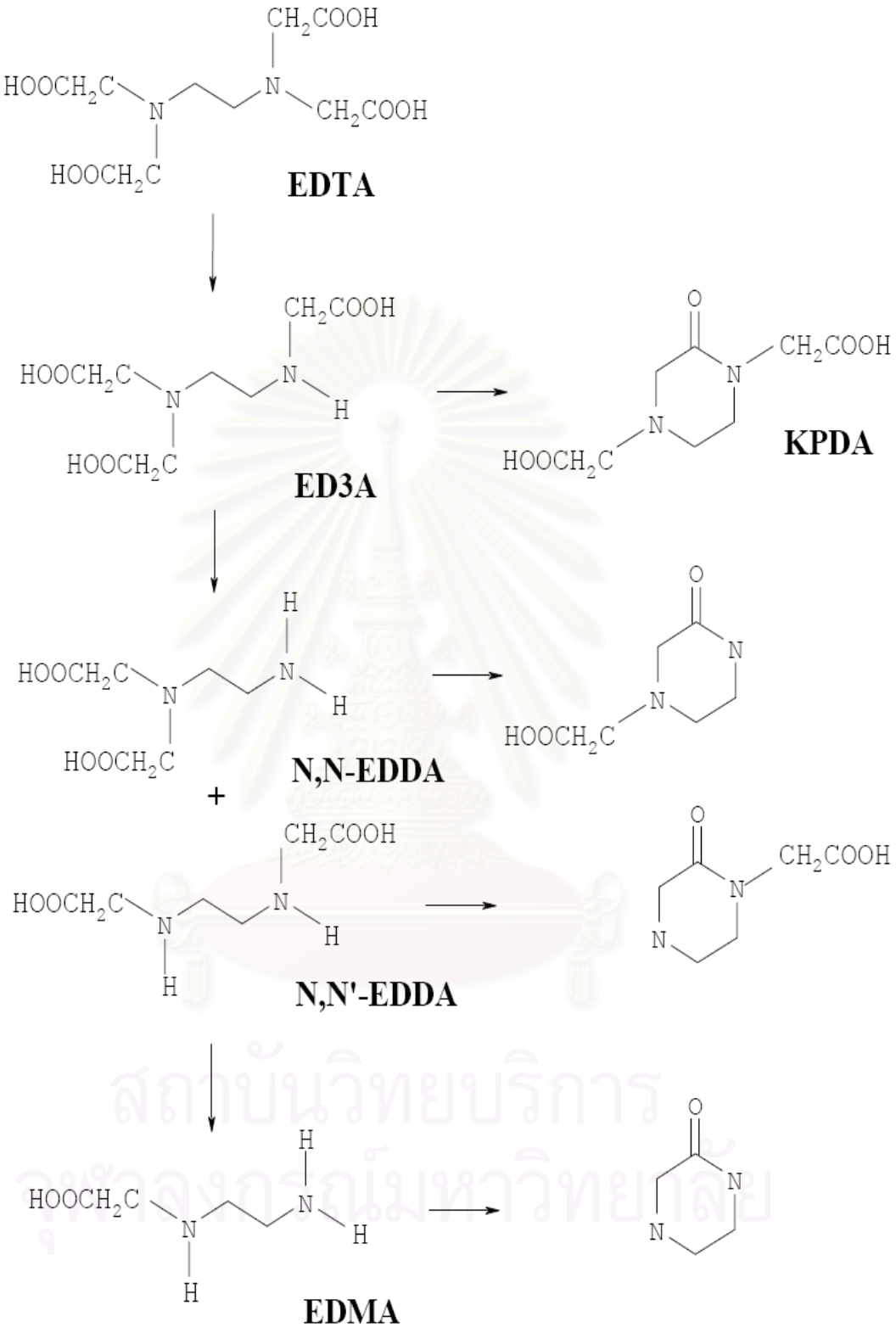
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.6 การย่อยสลายของ EDTA โดยจุลินทรีย์และจุลินทรีย์ในตัวกลางชนิดต่างๆ

จุลินทรีย์และจุลินทรีย์ในตัวกลางชนิดต่างๆ	ความเข้มข้นของ EDTA	เวลา (วัน)
Agrobacterium sp.	35 mM	3
Activated sludge	3 mM	5
Bacterial strain DSM 9103	1 mM	< 0.5
Bacterial consortia rich in strain BNC_1	1.53 mM	3.3
Soil consortia and agricultural sediment	4 µg ^{14}C-EDTA/g of soil	28-49
Surface and subsurface soil consortia	0.01 mM	115

ที่มา: ดัดแปลงมาจาก Oviedo และ Rodríguez (2003)

ผลจากการย่อยสลายของ EDTA ได้มีการศึกษาไว้โดย Haberer และ Ternes (1996) ซึ่งทำการศึกษาการย่อยสลายของ EDTA ในดินในสภาพที่มีอากาศเป็นเวลามากกว่า 100 วัน ผลจากการศึกษาพบว่า EDTA จะมีการย่อยสลายเป็น ethylenediaminetriacetic acid (ED3A) และ ketopiperazinediacetate (KPDA) นอกจากนี้ยังมีการศึกษาโดยใช้จุลินทรีย์บริสุทธิ์พบว่าเส้นทางการย่อยสลายของ EDTA จะมีได้ 2 เส้นทาง โดยทั้งสองเส้นทางของการย่อยสลายนั้นจะเกิดการแยกพันธะคาร์บอน-ไนโตรเจน เส้นแรกของการย่อยสลายคือการเอา carboxymethyl group ออก เช่น EDTA จะเกิดการย่อยสลายเป็น ED3A ethylendiaminediacetic acid (N,N'-EDDA) และ glyoxlic acid สำหรับเส้นทางการย่อยสลายเส้นทางที่สองคือ EDTA ย่อยสลายเป็น ED3A จากนั้น ED3A จะย่อยสลายต่อกลายเป็น KPDA (ketopiperazine diacetate) (Ginkel, 1999) เส้นทางการย่อยสลายของ EDTA แสดงไว้ในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 เส้นทางการย่อยสลายของ EDTA

ที่มา: Arbeitsschutz และ Chemikaliengesetz (2003)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ค. ความเป็นพิษ

ความเป็นพิษต่อสัตว์

ความเป็นพิษของ EDTA ด้านการระคายเคือง (irritation) ต่อผิวหนัง ได้มีการทดสอบกับกระต่าย (rabbit) โดยใช้ EDTA 50% (w/v) ในน้ำทาบนใบหูเป็นเวลา 20 ชั่วโมง พบว่าเกิดอาการระคายเคืองเล็กน้อย นอกจากนี้ยังทำการทดสอบกับตาโดยใช้ EDTA 50 mg พบว่าเกิดอาการระคายเคือง มีอาการบวมน้ำอย่างรุนแรง (oedema) ตาพร่ามัว (opacity) และมีเลือดออกภายใน 1 ชั่วโมงที่ทำการทดสอบ ผลการทดสอบเมื่อเวลา 24 ชั่วโมง อาการที่พบคือมีอาการระคายเคืองอย่างรุนแรง อาการบวมน้ำ และตาพร่ามัวอย่างรุนแรง (BASF AG, 1973)

นอกจากนี้ยังมีการศึกษาความเป็นพิษเฉียบพลันของ EDTA โดยให้ EDTA ทางปากของหนู (rat) พบว่ามีค่า LD_{50} (Lethal Dose fifty คือปริมาณสารเคมีที่ทำให้สัตว์ทดลองที่ได้รับสารนั้นเพียงครั้งเดียวตายไปเป็นจำนวนครึ่งหนึ่งของสัตว์ทดลองเริ่มต้น) มีค่ามากกว่า 2000 mg/kg น้ำหนักตัว และเมื่อทำการทดสอบโดยใช้ EDTA 4500 mg/น้ำหนักตัว 1 kg พบว่า 30% ของหนูมีอาการท้องเสีย กระตุกเวลาเดิน นอกจากนี้เมื่อหนูตายได้ทำการตรวจสอบ พบว่า มีการบวมของหัวใจ เป็นแผลที่กระเพาะอาหาร นอกจากนี้ยังพบของเหลวในอวัยวะภายใน (BASF AG, 1973)

ความเป็นพิษต่อพืช

การทดสอบความเป็นพิษต่อพืชมีการศึกษาในสาหร่ายชนิด *Scenedesmus subspicatus* โดยใช้ Na_4EDTA พบว่ามีค่า EC_{50} (effective concentration คือค่าประสิทธิภาพของความเข้มข้นที่ยับยั้งการเจริญเติบโต 50 เปอร์เซ็นต์) เท่ากับ 1.01 mg/L ซึ่งถ้าใช้ H_4EDTA จะมีค่า EC_{50} 0.78 mg/L และมีค่า EC_{10} (effective concentration คือค่าประสิทธิภาพของความเข้มข้นที่ระงับการเจริญเติบโต 10 เปอร์เซ็นต์) เมื่อใช้ Na_4EDTA เท่ากับ 0.48 mg/L และมีค่า EC_{10} เมื่อใช้ H_4EDTA เท่ากับ 0.37 mg/L (BASF AG, 1994)

นอกจากนี้ยังมีการศึกษาในสาหร่ายชนิด *Scenedesmus quadricauda* โดย Dufková (1984) ได้ทำการทดสอบความเป็นพิษโดยใช้ H_4EDTA ความเข้มข้น 310 mg/l พบว่ามีการยับยั้งการแบ่งเซลล์ ยับยั้งการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ นอกจากนี้ยังยับยั้งการสร้างมวลชีวภาพของสาหร่ายอีกด้วย

ง. EDTA กับ phytoextraction

EDTA มีการนำใช้กับการบำบัดโดยใช้พืช อย่างกว้างขวางเนื่องจากพบว่า EDTA สามารถช่วยเพิ่มการดูดซับและสะสมโลหะหนักจากดินโดยพืชได้ จึงมีการศึกษาเพื่อยืนยันความสามารถของ EDTA ในการเพิ่มการดูดซับและสะสมโลหะหนักจากดินโดยพืช ดังเช่น

Lombi และคณะ (2001) ได้ศึกษาการใช้ EDTA เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดโดยใช้พืช 2 ชนิดคือ *Thlaspi caerulescens.* และ ข้าวโพด (*Zea mays* L.) ผลการศึกษาพบว่า EDTA สามารถเพิ่มการสะสมแคดเมียมในพืชทั้ง 2 ชนิดได้

Santos และคณะ (2006) ได้ศึกษาผลของสารคีเลตที่มีต่อการบำบัดโดยใช้พืช โดยใช้ *Brachiaria decumbens* ซึ่งสารคีเลตที่ใช้ในการทดลองนี้คือ EDTA และ EDDS ผลการศึกษาพบว่าทั้ง EDTA และ EDDS สามารถเพิ่มการสะสมโลหะหนักในส่วนของลำต้น *B. decumbens* ได้โดยที่ EDTA เพิ่มการสะสมแคดเมียมในส่วนลำต้นเป็น 1.77 เท่า ในขณะที่ EDDS เพิ่มการสะสมแคดเมียมในส่วนลำต้น เป็น 2.54 เท่าตามลำดับ เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมที่ไม่มีการเติม EDTA

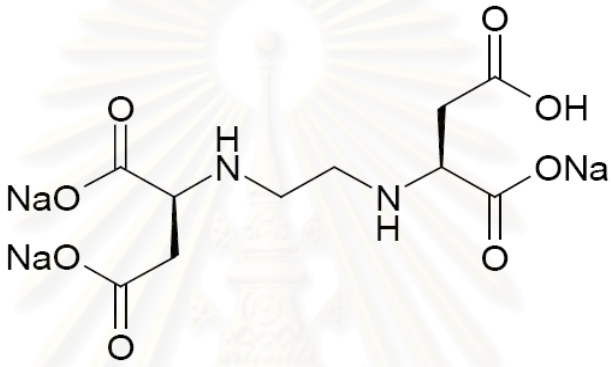
ถึงแม้ว่า EDTA จะสามารถช่วยเพิ่มการดูดซับและการสะสมโลหะหนักในการบำบัดโดยใช้พืชได้ก็ตาม แต่ก็ยังคงมีความกังวลเรื่องการสลายตัวยากของ EDTA และการไหลลงสู่น้ำใต้ดินของโลหะหนักเนื่องจาก EDTA จะช่วยเพิ่มความสามารถในการละลายของโลหะหนักในสารละลายดิน จึงได้มีความพยายามที่จะหาสารคีเลตตัวใหม่ที่สามารถเพิ่มการดูดซับและการสะสมโลหะหนักในการบำบัดโดยใช้พืชได้และมีการสลายตัวได้เร็ว อย่างเช่น EDDS

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(2) EDDS (S,S-(ethylenediamine N,N'-disuccinic acid))

ก. คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี

EDDS ยังมีชื่อเรียก อื่นๆ เช่น N,N'-Ethylenediamine disuccinic acid L-ethylenediaminedisuccinic acid N,N'-ethylenedi-L-aspartic acid N,N'-ethylenediaspartic acid สูตรโครงสร้างของ EDDS แสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 สูตรโครงสร้างของ S,S-EDDS
ที่มา: Maryadele และ คณะ (2001)

ตารางที่ 2.7 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของ S,S-EDDS

คุณสมบัติ	แสดงผล
1. สูตรทางเคมี	$C_{10}H_{13}N_2O_8$+3Na
2. น้ำหนักอะตอมหรือโมเลกุล tri-sodium salt (g/mol)	358.19
3. ความหนาแน่น (density) ที่ 20°C (g/cm^3)	1.63
4. จุดหลอมละลาย (melting poit) (°C)	311
5. ค่าการละลาย (solubility) ที่ 20°C (g/L)	>1000

ที่มา: Maryadele และ คณะ (2001)

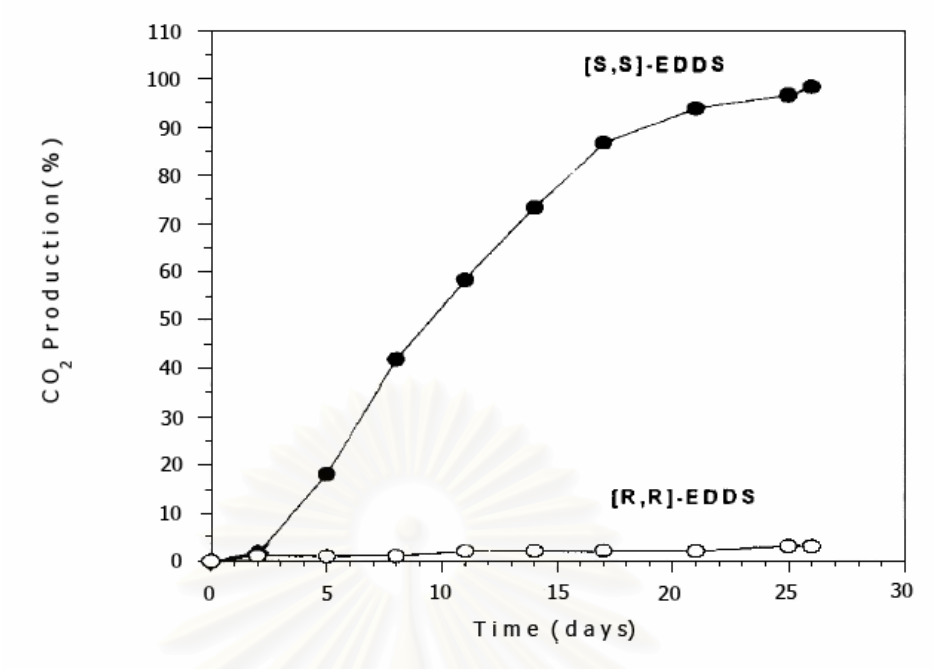
ข. การย่อยสลาย

EDDS เป็น isomer กับ EDTA โดย EDDS เป็นสารที่สามารถผลิตได้จาก actinomyces *Amycolatopis japonica* sp. nov. และ *Amycolatopsis orientalis* ซึ่งเป็นแบคทีเรียที่พบในธรรมชาติโดย EDDS จะประกอบไปด้วย aspartic acid 2 โมเลกุลซึ่งเชื่อมกันด้วย ethylene bridge และปรากฏเป็น stereoisomers ได้ 4 แบบ คือ R,R-EDDS R,S-EDDS S,R-EDDS และ S,S-EDDS ซึ่งทั้ง 4 stereoisomers มีเพียง S,S-EDDS ที่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้โดย S,S-EDDS มีรูปพื้นฐานคือ amino acid L-aspartic acid ซึ่งสามารถพบได้ตามธรรมชาติดังแสดงในรูปที่ 2.4

Tandy Ammann Schulin และ Nowack (2006) ได้ศึกษาการย่อยสลายทางชีวภาพของ EDDS ในสารละลายดินที่ได้หลังจากทำการล้างดิน (soil washing) โดยใช้ Na_3EDDS ความเข้มข้น 20 mmol/kg หลังจากนั้นดินที่ผ่านการล้างเรียบร้อยแล้วจะถูกนำมาใส่กระถางเพื่อทำการทดสอบการย่อยสลายของ EDDS โดยพบว่า EDDS จะเริ่มย่อยสลายภายใน 7-11 วัน และมีค่าครึ่งชีวิตเป็น 4.18-5.60 วัน

การศึกษาของ Meers และคณะ (2005) ทำการศึกษาประสิทธิภาพของ EDDS และ EDTA ในการเพิ่มการดูดซับโลหะหนักโดยพืช และศึกษาความเข้มข้นของโลหะหนักในสารละลายดินด้วย โดยการเติม EDDS ความเข้มข้น 4 2.4 1.6 และ 0.8 mmol ติดตามผลเป็นเวลา 40 วัน พบว่าความเข้มข้นของโลหะหนักมีความสัมพันธ์กับการย่อยสลายของ EDDS โดยพบว่ากลุ่มการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้นของโลหะหนักในสารละลายดินค่อยๆ ลดลงใน 30 วัน ซึ่งจากผลดังกล่าวทำให้ Meers และคณะ สามารถคำนวนหาค่าครึ่งชีวิตของ EDDS ได้จาก $c_t = c_o.e^{-kt}$ (c_o คือ ความเข้มข้นของโลหะในสารละลายดินตอนเริ่มต้น c_t คือ ความเข้มข้นของโลหะในสารละลายดินที่เวลา t k คือ ค่าคงที่การย่อยสลายของคีเลต และ t คือ เวลาระยะเวลาในการติดตามผล) พบว่ามีค่าระหว่าง 3.8 และ 7.5 วัน ขณะที่กลุ่มการทดลองที่เติม EDTA ไม่พบการลดลงอย่างมีนัยสำคัญภายใน 40 วัน จากผลดังกล่าวทำให้ Meers และคณะ ได้ประมาณค่าครึ่งชีวิตของ EDTA ว่ามีค่า 36 วัน

การศึกษาของ Schowanek และคณะ (1997) ได้ทำการศึกษาการย่อยสลายทางชีวภาพของ stereoisomers ของ EDDS โดยวิธีการวัดคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้น (CO_2 Production) โดยใช้วิธี sturm test และใช้ EDDS และ stereoisomers ของ EDDS ความเข้มข้น 20 mg/l ผสมลงในถังปฏิกิริยา (reactor) ซึ่งมี activated sludge และ น้ำ ซึ่งผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันและทำการวัดคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้น ซึ่งผลการศึกษาพบว่าการย่อยสลายของ [S,S]-EDDS เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและย่อยสลายได้มากกว่า 90% ภายใน 28 วัน ขณะที่การย่อยสลายของ [R,R]-EDDS เกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย การย่อยสลายของ stereoisomers ของ EDDS แสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 การย่อยสลายของ stereoisomers ของ EDDS
ที่มา: Schowanek และคณะ (1997)

ตามที่กล่าวไว้ข้างต้นว่า EDDS เป็นสารที่พบในธรรมชาติและผลิตได้จาก Actinomycetes *A. japonica* sp. nov. และ *A. orientalis* การย่อยสลายจึงเป็นไปอย่างรวดเร็ว กลไกการย่อยสลายของ EDDS ยังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด แต่น่าจะเริ่มจากการแตกพันธะคาร์บอน-ไนโตรเจนระหว่าง ethlenediamine กับสาย succinyl แล้วเกิดเป็น fumarate และ AEAA [N-(2-aminoethyl) aspartic acid] แล้วคาดว่าหมู่ asparty ถูกกำจัดออกไปโดยการแตกพันธะคาร์บอน-ไนโตรเจนในส่วนของ ethylenediamine ของ AEAA ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายเป็นสารที่พบทั่วไปในธรรมชาติ เช่น succinic acid (United States Environmental Protection Agency, 2005)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ค. ความเป็นพิษ

ความเป็นพิษต่อสัตว์

ในการศึกษาความเป็นพิษของ EDDS ต่อสัตว์นั้นมีการศึกษาทั้งการได้รับทางปาก ทางผิวหนังและการหายใจโดยได้ทำการศึกษากับหนู (rat) ทั้งเพศผู้และเพศเมีย จากการให้ EDDS ทางปากพบว่าค่า LD_{50} ในหนูเพศผู้มีค่ามากกว่า 2700 mg/น้ำหนักตัว 1 kg และค่า LD_{50} ในหนูเพศเมียมีค่ามากกว่า 2000 mg/น้ำหนักตัว 1 kg นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการบริโภค EDDS เป็นเวลา 14 วันโดยหนู โดยใช้ EDDS ที่ระดับความเข้มข้น 0 750 1000 และ 1,250 พบว่าหนูทุกตัวรอดชีวิตและไม่แสดงอาการผิดปกติใดๆ จากการทดลองดังกล่าวจึงคาดว่ามีค่า NOEL (No observe effect level คือค่าที่มากที่สุดที่ไม่ก่อให้เกิดความเป็นพิษหรือความผิดปกติ) โดยพบว่ามีมากกว่า 1250 mg/kg/วัน นอกจากนี้ยังมีการทดลองความเป็นพิษต่อผิวหนัง พบว่าค่า LD_{50} ในหนูเพศผู้มีค่ามากกว่า 2640 mg/น้ำหนักตัว 1 kg และค่า LD_{50} ในหนูเพศเมียมีค่ามากกว่า 2000 mg/น้ำหนักตัว 1 kg สำหรับความเป็นพิษต่อระบบทางเดินหายใจนั้นมีค่า LC_{50} (Lethal Concentration fifty ความเข้มข้นของสารเคมีในอากาศที่สัตว์ทดลองสูดดมตายไปครึ่งหนึ่ง) จากการทดลองดังกล่าวพบว่ามีค่ามากกว่า 1.49 mg/L (United States Environmental Protection Agency, 2005)

ความเป็นพิษต่อพืช

การศึกษาความเป็นพิษของ EDDS ต่อพืชยังมีน้อยเนื่องจาก EDDS ยังเป็นสารที่เพิ่งได้รับความสนใจไม่นานนัก แต่ก็มีการศึกษาความเป็นพิษของ EDDS ต่อสาหร่าย *Chlorella vulgaris* ซึ่งทำการศึกษาโดย Schowanek และคณะ (1996) โดยพบว่าเมื่อเติม EDDS ความเข้มข้น 1 mg/L ลงในตัวกลาง (AAP- medium) มีผลทำให้อัตราการเจริญเติบโตของ *C. vulgaris* ลดลง 53%

ง. EDDS กับ phytoextraction

EDDS เป็นตัวคีเลตที่มีความสามารถนำมาใช้ทดแทน EDTA ได้ เนื่องจากความกังวลเรื่องการย่อยสลายของ EDTA ที่ย่อยสลายได้ยาก ส่วน EDDS สามารถย่อยสลายได้ง่าย อย่างไรก็ตามต้องมีการทดสอบความสามารถในการเพิ่มการดูดซับและสะสมโลหะหนักในการบำบัดโดยใช้พืชเพื่อยืนยันความสามารถของ EDDS ในการเพิ่มการดูดซับและสะสมโลหะหนัก

Meers และคณะ (2005) ได้ทำการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบความสามารถของ EDTA และ EDDS ในการเพิ่มการดูดซับโลหะหนักโดยใช้พืช ในการทดลองครั้งนี้ Meers และคณะเลือกใช้ทานตะวัน ในการทดสอบ โดยทำการเติม EDTA และ EDDS ที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน ผลการทดลองพบว่าทั้ง EDTA และ EDDS สามารถเพิ่มการสะสมโลหะหนักเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมแต่การเพิ่มการสะสมจะแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมเมื่อใช้ EDTA และ EDDS ที่ความเข้มข้นสูงๆ

Tandy Schulin และ Nowack (2006) ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของ EDDS ในการดูดซับโลหะหนักของทานตะวัน ที่ปลูกแบบ hydroponic และทำการทดลองกับโลหะหนัก 3 ชนิดคือ ทองแดง สังกะสี และ ตะกั่ว พบว่า EDDS ช่วยเพิ่มการสะสมและการเคลื่อนย้ายตะกั่วไปยังยอดของทานตะวัน แต่ไม่พบผลดังกล่าวในทองแดงและ สังกะสี

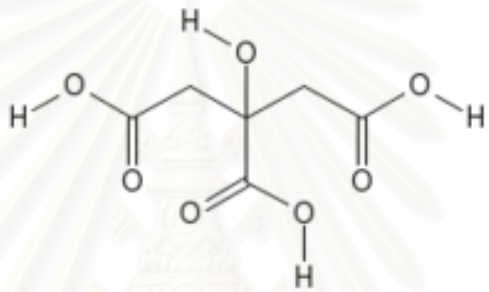
ถึงแม้ว่า EDDS จะเป็นคีเลตที่ย่อยสลายได้ง่ายสามารถผลิตได้ตามธรรมชาติและการสังเคราะห์ แต่ EDDS ก็เป็นสารคีเลตที่มีราคาแพง ดังนั้นคีเลตธรรมชาติที่มีราคาไม่แพง เช่น citric acid จึงเป็นคีเลตที่น่าสนใจในการนำมาใช้เพิ่มการดูดซับและการสะสมโลหะหนักในพืช

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(3) Citric acid

ก. คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี

Citric acid ชื่อเรียกอื่นๆ เช่น 2-hydroxy-1,2,3-Propanetricarboxylic acid 2-Hydroxypropanetricarboxylic acid 2-Hydroxytricarballylic acid ฯลฯ citric acid เป็นกรดอินทรีย์อย่างอ่อน เป็นผงสีขาวไม่มีกลิ่น สูตรโครงสร้างของ citric acid แสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 สูตรโครงสร้างของ citric acid
ที่มา: Maryadele และ คณะ (2001)

ตารางที่ 2.8 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของ citric acid

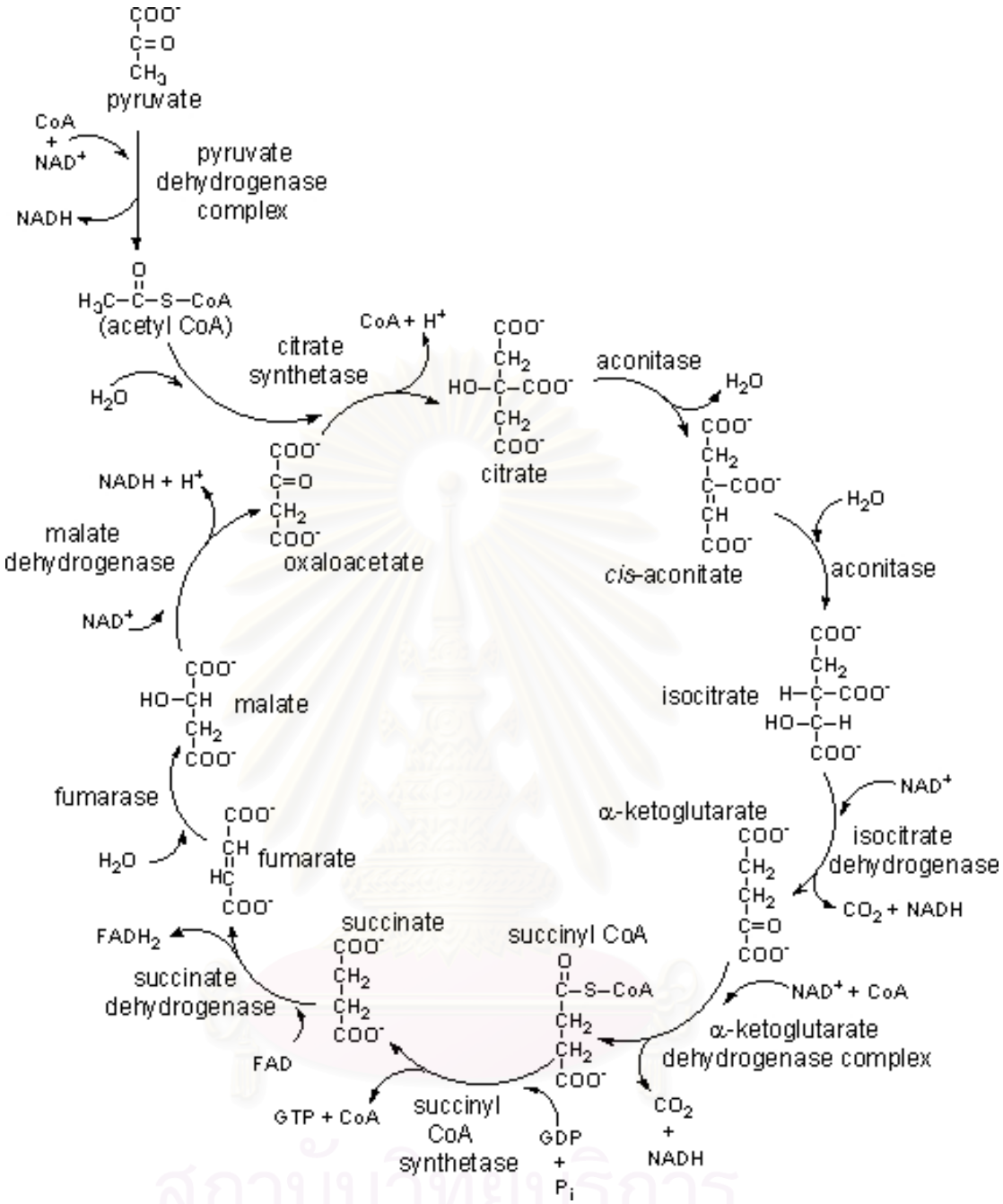
คุณสมบัติ	แสดงผล
1. สูตรทางเคมี	$C_6H_8O_7$
2. น้ำหนักอะตอมหรือโมเลกุล (g/mol)	192.13
3. ความหนาแน่น (density) ที่ 20°C (g/cm^3)	1.665
4. จุดหลอมละลาย (melting poit) (°C)	153
5. จุดเดือด (boiling point) (°C)	175

ที่มา: Maryadele และ คณะ (2001)

ข. การย่อยสลาย

citric acid เป็นสารที่พบได้ทั่วไปในธรรมชาติ เช่นพบได้ในผลไม้ที่มีรสเปรี้ยวเช่น มะนาว สับปะรด citric acid ยังเป็นตัวกลางในกระบวนการ Kreb's cycle ของการหายใจของสิ่งมีชีวิตต่างๆ (ชวนพิศ แดงสวัสดิ์, 2544) นอกจากนี้ยังมีการนำ citric acid มาใช้เป็นส่วนผสมของเครื่องสำอาง ใช้ผสมอาหารเพื่อให้มีรสเปรี้ยว

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.7 Kreb's cycle หรือ citric acid cycle

ที่มา: Hall และคณะ (2004)

การย่อยสลายของ citric acid จึงเกิดขึ้นได้ง่ายและการศึกษาการย่อยสลายของ citric acid มีมานานแล้วและผลที่ได้จากการย่อยสลายของ citric acid เช่น acetic acid succinic acid ไฮโดรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นต้น

ค. ความเป็นพิษ

ถึงแม้ว่า citric acid จะพบได้ตามธรรมชาติและมีการนำมาใช้ในการบริโภค แต่ citric acid ก็ยังมีความเป็นพิษถ้าได้รับในปริมาณที่มากเกินไป สำหรับมนุษย์ถ้ามีการหายใจเอา citric acid เข้าไปก็จะทำให้เกิดการระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจ เกิดอาการไอ ถ้าได้รับ citric acid โดยการรับประทานจะทำให้เกิดอาการคลื่นไส้ อาเจียนและท้องเสียได้สำหรับความเป็นพิษแบบเรื้อรังของ citric acid คือการกัดกร่อนสารเคลือบฟัน(United States National Library of Medicine, 2007)

การทดสอบความเป็นพิษของ citric acid ได้มีการทำการทดสอบกับหนู โดยการฉีดเข้าเส้นเลือดพบว่ามีค่า LD_{50} เท่ากับ 42 mg/kg นอกจากนี้หนูยังแสดงอาการสั่นอย่างรุนแรงและมีอาการตัวเขียว นอกจากนี้ยังมีการทดสอบโดยให้ citric acid ทางปากหนู พบว่ามีค่า LD_{50} เท่ากับ 5040 mg/kg และถ้าทำการทดสอบโดยการฉีดใต้ผิวหนังพบว่ามีค่า LD_{50} เท่ากับ 2700 mg/kg (United States National Library of Medicine, 2007)

ง. Citric acid กับ phytoextraction

Turgut และคณะ (2004) ได้ศึกษาผลของ citric acid ต่อการสะสมแคดเมียมของทานตะวัน โดยใช้ citric acid ความเข้มข้น 1.0 และ 3 g/kg โดยทำการทดสอบกับทานตะวัน 2 สายพันธุ์คือ พันธุ์ dwarf sunspot และพันธุ์ teddy bear พบว่า citric acid ทั้ง 2 ความเข้มข้นไม่ได้ช่วยเพิ่มการสะสมแคดเมียมทั้งในส่วนเหนือพื้นดินและส่วนรากของทานตะวันพันธุ์ dwarf sunspot แต่สำหรับพันธุ์ teddy bear พบว่า citric acid ความเข้มข้น 1.0 g/kg ช่วยเพิ่มการสะสมแคดเมียมในส่วนรากและที่ความเข้มข้น 3.0 g/kg ช่วยเพิ่มการสะสมแคดเมียมในส่วนเหนือพื้นดินตามลำดับ

Nascimento และคณะ (2006) ได้ศึกษาเปรียบเทียบความสามารถของคีเลตธรรมชาติและคีเลตสังเคราะห์ในการเพิ่มการสะสมโลหะหนักโดยใช้พืช ในการศึกษาครั้งนี้เลือกใช้พืชคือ Indian mustard (*Brassica juncea* L.) พบว่า citric acid ช่วยเพิ่มการสะสมแคดเมียมทั้งในส่วนเหนือพื้นดิน จาก 85.5 µg/g เป็น 138 µg/g และส่วนราก จาก 70.6 µg/g เป็น 105.3 µg/g

2.4 พืชที่นำมาใช้ในการบำบัดโดยใช้พืช

2.4.1 คุณสมบัติของพืชที่จะเลือกใช้

พืชที่ใช้ในการทำ phytoextraction ควรจะเป็นพืชที่โตเร็ว มีมวลชีวภาพสูง มีระบบรากที่กว้าง เก็บเกี่ยวง่าย มีความทนและสะสมโลหะหนักได้สูงในส่วนที่สามารถเก็บเกี่ยวได้ (Yang และคณะ, 2005) ซึ่งพืชที่สามารถสะสมโลหะหนักได้ในปริมาณที่มากเป็นพิเศษนี้ เรียกว่า hyperaccumulator ในปัจจุบันพบพืชที่เป็น hyperaccumulator มากกว่า 400 ชนิด การที่จะระบุว่าพืชชนิดใดเป็น hyperaccumulator นั้นสามารถวัดได้จากความสามารถในการสะสมโลหะหนักในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินต่อน้ำหนักแห้งของพืช อย่างเช่น พืชที่เป็น hyperaccumulator ของนิกเกิล (Ni) และทองแดง (Cu) จะต้องสะสมโลหะทั้งสองชนิดได้มากกว่า 1,000 mg/kg สำหรับแมงกานีส (Mn) และสังกะสี (Zn) ต้องสะสมได้มากว่า 10,000 mg/kg และสำหรับแคดเมียม (Cd) ต้องสะสมมากกว่า 100 mg/kg (Chen และ Cutright, 2001) ตัวอย่างพืชที่เป็น hyperaccumulator เช่น *Thlaspi caerulescens* สามารถสะสมสังกะสี ได้ถึง 43,710 mg/kg และสะสมแคดเมียม ได้ถึง 2,130 mg/kg (Reeves และ Baker, 2000) และ ทานตะวัน(Brooks และ Robinson, 1998)

2.4.2 ทานตะวัน (กรมวิชาการเกษตร, 2550)

ทานตะวัน มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Helianthus annuus* L. ทานตะวันเป็นพืชน้ำมันที่สำคัญชนิดหนึ่งของโลกรองจากถั่วเหลืองและปาล์มน้ำมัน ประเทศที่ปลูกทานตะวันมากที่สุดในโลก คือ ประเทศรัสเซีย ส่วนแหล่งกำเนิดของทานตะวันยังไม่เป็นที่แน่ชัด แต่มีหลักฐานทำให้เชื่อได้ว่าทานตะวันมีถิ่นกำเนิดอยู่ในอเมริกาเหนือ

(1) ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของทานตะวัน

ก. ใบ

ลักษณะของใบมีความแตกต่างกันมากทั้งขนาดและรูปร่างของใบ ใบที่อยู่ในต้นเดียวกันแต่ต่างตำแหน่งกันจะมีขนาดต่างกัน แต่ตรงกลางลำต้นใบจะมีความกว้างมากที่สุด ใบจะมีขนมากทั้งสองด้านของใบ แต่ละต้นจะมีจำนวนใบประมาณ 12-40 ใบ

ข. ต้น

ลำต้นโดยทั่วไปมีลักษณะหนาแข็ง และมีขนหยาบ มีความสูง 50-500 cm. แต่พันธุ์น้ำมันจะมีความสูง 80-220 cm. เส้นผ่าศูนย์กลางของลำต้นประมาณ 1-10 cm. โดยพันธุ์ที่ไม่ใช่พันธุ์น้ำมันโดยเฉลี่ยจะมีความสูงมากกว่า

ค. ราก

ทานตะวันเป็นพืชที่มีรากแก้วหยั่งลึกได้ถึง 3 m. เจริญเติบโตเร็ว รากแก้วนี้เจริญเร็วกว่ารากอื่น ส่วนรากแขนงที่เจริญจากรากแก้วจะเจริญอยู่บริเวณลึกจากผิวดินประมาณ 30 cm. รากแขนงนี้จะมีความยาว 60-150 cm. สามารถช่วยยึดลำต้นไม่ให้ล้มได้เป็นอย่างดี

ง. ดอก

ดอกของทานตะวันเป็นดอกรวม แต่ละจานดอก (inflorescence หรือ capitulum หรือ head) ประกอบไปด้วยดอกย่อย (florets) 700-3,000 ดอก แต่สำหรับพันธุ์น้ำมันอาจมากถึง 8,000 ดอก ในแต่ละจานดอกมีดอก 2 ประเภท คือ ray flowers และ disc flowers โดย ray flowers อยู่บริเวณรอบนอกสุดของจานดอกมีอยู่จำนวน 2 แถว เป็นดอกที่เป็นหมันมีไว้เพื่อสวยงาม มีสีต่างๆกันตั่งแต่สีเหลือง สีส้ม และสีแดง ส่วน disc flowers มีจำนวน 30-50 แถว

จ. เมล็ด

เมล็ดของทานตะวันมีความยาวตั้งแต่ 7-25 mm. กว้าง 4-13 mm. รูปร่างลักษณะของเมล็ดอาจเป็นเหลี่ยม หรือรูปไข่ สีของเมล็ดเป็นแบบแถบขาวสลับดำหรือเทาหรือดำล้วน ขนาดของเมล็ดที่อยู่ใกล้กับขอบของจานดอกจะใหญ่กว่าเมล็ดที่อยู่ลึกเข้าไปในจานดอก และขนาดของเมล็ดที่เล็กที่สุดจะอยู่ตรงกลางจานดอก ส่วนเมล็ดที่อยู่ตรงใจกลางของจานดอกมักจะลีบอยู่เสมอ

(2) สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของทานตะวัน

ก. แสง

ทานตะวันเป็นพืชที่ต้องการแสงมากเพื่อการเจริญเติบโต และให้ผลผลิตที่ดี ถ้าทานตะวันได้รับแสงไม่เพียงพอจะส่งผลกระทบทางลำต้นและใบ รวมทั้งผลผลิต โดยสังเกตได้ว่าต้นจะสูงขึ้น และพื้นที่ใบลดลง

ข. อุณหภูมิ

ทานตะวันเป็นพืชที่มีความทนต่อทั้งอุณหภูมิต่ำ และอุณหภูมิสูง ด้วยเหตุนี้จึงมีการปลูกทานตะวันทั้งในเขตหนาวและเขตร้อน การงอกของเมล็ดตามปกติต้องการอุณหภูมิสูงกว่า 8-10°C ถ้าอุณหภูมิต่ำกว่านี้ก็งอกได้แต่ใช้เวลานานขึ้น แต่อาจจะไม่งอกถ้าอุณหภูมิต่ำกว่า 3-5 °C แต่สำหรับอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตดีอยู่ระหว่าง 21-24 °C

ค. ความชื้น

ทานตะวันเป็นพืชที่มีความทนทานต่อความแห้งแล้งพอสมควร แต่ถ้าความแห้งแล้งรุนแรงมาก ลำต้นอาจแตกได้ และใบล่างจะแห้งอย่างถาวร

ง. ธาตุอาหาร

ทานตะวันสามารถเจริญเติบโตในดินได้หลายชนิดตั้งแต่ดินทรายจนถึงดินเหนียวแต่ดินนั้นต้องมีการระบายน้ำดี ในการปลูกนั้นอาจใช้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ที่มีขายอยู่ในท้องตลาดในอัตรา 19-31 kg/km^2 โดยใส่ก่อนปลูกในระหว่างการเตรียมดิน ทานตะวันเป็นพืชที่ต้องการโบรอน (B) และไวต่อการขาดธาตุนี้ ถ้าทานตะวันขาดธาตุโบรอนใบอ่อนจะมีสีน้ำตาลขยายใหญ่ขึ้นเป็นลำดับและแห้งกรอบในที่สุด เพื่อป้องกันการขาดธาตุโบรอนควรใส่บอแร็กซ์ก่อนปลูกในอัตรา 0.6-0.9 kg/km^2

(3) การเก็บเกี่ยวทานตะวัน

การเก็บเกี่ยวจะทำการเก็บเกี่ยวทานตะวันเมื่อเมล็ดสุกแก่แล้ว โดยสามารถสังเกตได้จากฐานรองดอกจะเปลี่ยนจากสีเขียวไปเป็นสีเหลือง โดยประมาณทานตะวันจะมีอายุเก็บเกี่ยวอยู่ระหว่าง 85-110 วัน

(4) โรคและแมลง

ก. โรคราน้ำค้าง (Downy mildew) จะพบมากในระยะต้นอ่อน โดยเฉพาะในสภาพที่มีความชื้นสูง อาจทำให้ต้นอ่อนตายได้ การป้องกันกำจัดสามารถทำได้โดยใช้พันธุ์ต้านทานและปลูกพืชหมุนเวียน

ข. โรคราสนิม (Rust) อาการจะปรากฏแผลนูนเล็กๆ มีตั้งแต่สีส้มไปจนถึงสีดำเกิดขึ้นทุกส่วนของต้นพืช แต่ส่วนมากจะเกิดขึ้นบริเวณใบ จะเริ่มเกิดจากใบล่างขึ้นสู่ใบบนของลำต้นและสู่ส่วนยอด ถ้าหากเกิดรุนแรงจะทำให้ใบร่วงหล่น การป้องกันสามารถทำได้โดยใช้พันธุ์ต้านทานและปลูกพืชหมุนเวียน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ค. โรคโคนเน่า (Stem Rot) เกิดขึ้นมากโดยเฉพาะในระยะต้นอ่อน ทำให้ต้นอ่อนเหี่ยวและตายในที่สุด สามารถป้องกันได้โดยใช้ยาฆ่าเชื้อรา Terrachor

ง. Sunflower moth (*Homoeosoma electellum*) ตัวแก่จะวางไข่บนดอกทานตะวัน ตัวหนอนมีสีเหลืองอมเขียว และมีแถบสีน้ำตาลตามความยาวของลำต้น จะทำลายทานตะวันโดยการกัดกินส่วนของดอกและเมล็ด การป้องกันสามารถทำได้โดยใช้สารกำจัดแมลง

จ. Sunflower beetle (*Zygogramma exelamtionis*) หรือแมลงเต่าตัวเต็มวัยจะกัดกินใบอ่อนของทานตะวันตั้งแต่เป็นต้นอ่อน ทำให้ใบมีรูพรุน หรือทำให้ใบขาดและร่วงหล่นไป สามารถป้องกันโดยใช้สารกำจัดแมลง Toxaphane

(5) ทานตะวันกับการนำมาใช้ใน phytoextraction

ทานตะวันเป็นพืชที่มีมวลชีวภาพสูงและยังจัดเป็นพืช hyperaccumulator ชนิดหนึ่ง ดังนั้นจึงมีผู้ให้ความสนใจในการนำทานตะวันมาใช้ในการบำบัดดินที่ปนเปื้อนด้วยโลหะหนักดังเช่น

Chen และ Cutright (2001) ได้ทำการศึกษาผลของ EDTA และ HEDTA (N-(2-hydroxyethyl)-ethylenediaminetriacetic acid) ต่อการดูดซับ แคดเมียม โครเมียม และ นิกเกิล โดยใช้ทานตะวัน พบว่าทั้ง EDTA และ HEDTA ช่วยเพิ่มการดูดซับแคดเมียมและนิกเกิลในส่วนเหนือพื้นดินของทานตะวัน สำหรับโครเมียมทั้ง EDTA และ HEDTA ช่วยเพิ่มการดูดซับโครเมียมในส่วนรากของทานตะวัน

Marchiol และคณะ (2007) ได้ทำการศึกษาการนำเอาโลหะออกจากพื้นที่ที่บนเปื้อนของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม โดยใช้ทานตะวันโดยพบว่าในส่วนรากของทานตะวันจะสะสม ทองแดง > สังกะสี > สารหนู > ตะกั่ว > โคบอลต์ > แคดเมียม สำหรับการสะสมโลหะในส่วนเหนือพื้นดินของทานตะวันจะเป็นดังนี้ สังกะสี > ทองแดง > ตะกั่ว > แคดเมียม > สารหนู > โคบอลต์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

3.1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างดิน

(1) จอบสำหรับขุดและตักดิน

(2) ถุงสำหรับเก็บตัวอย่างดิน

3.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการปลูกพืช

(1) เรือนเพาะชำ

(2) ดินที่ใช้สำหรับปลูกเก็บมาจาก บ้านท่าแฉลบ หมู่ที่ 5 ตำบลศีรษะทอง อำเภอนครชัยศรี จังหวัดนครปฐม ซึ่งเป็นพื้นที่ทำสวนผัก

(3) เมล็ดทานตะวันสายพันธุ์แปซิฟิค 55 บริษัท แปซิฟิคเมล็ดพันธุ์

(4) แคดเมียม $Cd(NO_3)_2.4H_2O$ ที่มีความเข้มข้นของ Cd 20 mg/ ดิน 1 kg

(5) ตัวคีเลต 3 ชนิด คือ EDTA EDDS และ citric acid

(6) กระถางปลูกต้นไม้ไม่มีรูระบายน้ำขนาด 12 นิ้วจำนวน 114 ใบ

(7) ถุงดำสำหรับรองกระถางก่อนใส่ดินลงไป

(8) เครื่องชั่ง

(9) ฉลาก

3.2.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บเกี่ยวพืช

(1) ถุงสำหรับเก็บตัวอย่างพืชและดิน

(2) ฉลาก

(3) เสียมขนาดเล็กสำหรับขุดพืชและตักดิน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.1.4 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่าง

(1) เครื่องแก้ว เช่น กระบวกตวง บิกเกอร์ กรวยกรอง ฯลฯ

(2) เครื่องเขย่า (Shaker): LAB-LINE ORBIT ENVIRON-SHAKER , Texas, United States of America

(3) Spectrophotometer: Spectro BECTHAI รุ่น Spectronic 20 Genesys, Krackele Scientific, Inc., New York, United States of America

(4) Centrifuge: A.L.C. International รุ่น Centrifugtte 4206 DJB Labcare Ltd., Buckinghamshire, England

(5) Suction: HCT รุ่น 180/110

(6) Vacuum pump: ABM รุ่น 4EKF56CX-4

(7) ตู้ดูดควัน: Science Technology

(8) Hot plate: KIKA Labortechnik staufen รุ่น RH, Germany

(9) เครื่องย่อยไนโตรเจน (Nitrogen Analyzer): Buchi Digestion Unit K-435 BÜCHI Labortechnik AG, Postfach, Switzerland

(10) เครื่องชั่งไฟฟ้าอย่างละเอียด (analytical balance): Denver Instrument Company รุ่น TC-254, Denver, Colorado

(11) ถาดขนาดเล็กสำหรับตากดิน

(12) เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS): PerkinElmer รุ่น AAnalyst 200 , Waltham United States of America

3.2 สถานที่ดำเนินงานวิจัย

3.2.1 สถานที่เก็บตัวอย่างดิน

ดินที่ใช้ในงานวิจัยเก็บมาจาก บ้านท่าแฉลบ หมู่ที่ 5 ตำบลศีรษะทอง อำเภอนครชัยศรี จังหวัดนครปฐม ซึ่งเป็นพื้นที่ทำสวนผัก

3.2.2 สถานที่ปลูกพืช

งานวิจัยนี้ทำการปลูกพืชในเรือนทดลองที่สร้างขึ้นในแปลงทดลองของภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2.3 สถานที่วิเคราะห์ตัวอย่าง

งานวิจัยนี้ได้ดำเนินการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ห้องปฏิบัติการชั้น 4 ตึกวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3 ขั้นตอนการวิจัย

3.3.1 เตรียมดิน

(1) ดินที่ใช้ในการปลูกพืช

นำดินมาผึ่งในที่ร่ม และทำการแยกเศษไม้ เศษขยะและวัตถุที่ไม่ต้องการออกโดยให้เหลือเฉพาะดิน

(2) ดินที่ใช้ในการวิเคราะห์สมบัติดิน

นำดินจากข้อ (1) มาบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 0.5 และ 2 มิลลิเมตร เพื่อนำไปวิเคราะห์สมบัติของดินดังตารางที่ 3.1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์สมบัติดิน

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์
ลักษณะเนื้อดิน (soil texture)	Hydrometer method (Tan, 2005)
ปริมาณน้ำในดิน (soil water content)	Gravimetric method (Tan, 2005)
ความเป็นกรดด่างของดิน (pH)	Potentiometric method (ดิน : น้ำกลั่น = 1 : 1) (Tan, 2005)
ความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกของดิน (cation exchange capacity)	NH_4OAc method (Tan, 2005)
ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน (organic matter content)	Walkley and Black rapid titration (Tan, 2005)
ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (total nitrogen)	Kjeldahl method (Tan, 2005)
ปริมาณฟอสฟอรัสที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ (available phosphorus)	Mehlich No.1 method (Tan, 2005)
ปริมาณโปแตสเซียมที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ (exchangeable potassium)	AAS (Tan, 2005)
ปริมาณแคดเมียมทั้งหมด (total cadmium)	AAS (Tan, 2005)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3.2 เตรียมเรือนทดลอง

เตรียมกระถางถางต้นไม้และปรับปรุงสภาพพื้นที่ในบริเวณที่จะปลูกเรือนทดลอง จากนั้นทำการปลูกเรือนทดลองขนาดกว้าง 5 เมตร ยาว 5 เมตรและคลุมด้วย syran สีเขียว ภายในมีโต๊ะสูงจากพื้นดินประมาณ 60 เซ็นติเมตรสำหรับวางกระถางต้นไม้ รูปเรือนทดลองและการวางกระถางในแต่ละความเข้มข้นแสดงในรูปที่ 3.1 และ 3.2 ตามลำดับ

รูปที่ 3.1 เรือนทดลองในแปลงทดลองของภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3.3 การเตรียมเมล็ดพันธุ์

เมล็ดพืชที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือ เมล็ดทานตะวันสายพันธุ์แปซิฟิค 55 เนื่องจากเป็นทานตะวันที่มีขนาดใหญ่ แข็งแรง (แปซิฟิคเมล็ดพันธุ์, 2549) ซึ่งมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการทำ Phytoextraction ในการคัดเลือกเมล็ดที่จะนำมาใช้ในการทดลองทำได้โดย เลือกเมล็ดที่มีขนาดเท่าๆกัน ไม่มีรอยแตกหรือแหว่ง จากนั้นนำเมล็ดมาลอยน้ำและเลือกเฉพาะเมล็ดที่จมน้ำมาใช้ทำการทดลอง

3.3.4 การปลูกพืช

ทำการปลูกพืชโดยเพาะเมล็ดลงในกระถางเป็นเวลา 2 สัปดาห์นับจากวันที่เมล็ดงอก จากนั้นย้ายต้นกล้าที่แข็งแรงมาปลูกในกระถางที่มีดินซึ่งเตรียมไว้ในข้อ (1) ของหัวข้อ 3.3.1 4.0 kg ผสมกับ $Cd(NO_3)_2.4H_2O$ ที่มีความเข้มข้นของ Cd 20 mg/ ดิน 1 kg ไว้เรียบร้อยแล้ว กระถางละ 1 ต้น ในวันที่ 35 นับจากวันที่เมล็ดงอกเติมตัวคีเลต 3 ชนิด คือ EDTA ที่ความเข้มข้น 0.05 0.1 0.15 และ 0.2 mg/kg สำหรับ EDDS และ citric acid ที่ความเข้มข้น 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 mg/kg ลงไปในแต่ละกระถาง ดังนั้นคิดเป็นชุดการทดลองทั้งหมด 38 ชุด รวมชุด blank (ปลูกพืชในดินที่ไม่มีแคดเมียมและไม่มีการเติมคีเลต)และ control (ปลูกพืชในดินที่มีแคดเมียมแต่ไม่มีการเติมคีเลต) และทำการทดลอง 3 ซ้ำ โดยวางแผนการทดลองแบบ Complete Randomize Block Design (ตารางที่ 3.2)

สำหรับการรดน้ำจะทำการรดน้ำในตอนเช้าของทุกวัน ประมาณ 250 ml และถ้าวันไหนไม่มีแดด หรือ ฝนตกจะทำการรดน้ำวันเว้นวันเพื่อป้องกันน้ำขัง เนื่องจากใช้กระถางชนิดไม่มีรูระบายน้ำและใช้ถุงพลาสติกรองกระถางอีกครั้งเพื่อป้องกันการปนเปื้อนแคดเมียม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.2 ชุดการทดลองสำหรับศึกษาผลของชนิด ความเข้มข้น และวิธีการเติมตัวคีเลตต่อการสะสมแคดเมียมของทานตะวันในการศึกษานี้

คีเลต	ความเข้มข้น	ชุดการทดลอง	วันที่เติมคีเลตหลังจากการงอก 35 วัน			
			วันที่ 1	วันที่ 4	วันที่ 7	วันที่ 10
ไม่เติม	-	ชุดที่ 1 (blank)	ไม่เติม	ไม่เติม	ไม่เติม	เก็บเกี่ยว
ไม่เติม	-	ชุดที่ 2 (control)	ไม่เติม	ไม่เติม	ไม่เติม	เก็บเกี่ยว
EDTA	0.05mg/kg	ชุดที่ 3	เติม 0.05	ไม่เติม	ไม่เติม	เก็บเกี่ยว
		ชุดที่ 4	เติม 0.025	เติม 0.025	ไม่เติม	เก็บเกี่ยว
		ชุดที่ 5	เติม 0.0166	เติม 0.0166	เติม 0.0166	เก็บเกี่ยว
	0.1 mg/kg	ชุดที่ 6	เติม 0.1	ไม่เติม	ไม่เติม	เก็บเกี่ยว
		ชุดที่ 7	เติม 0.05	เติม 0.05	ไม่เติม	เก็บเกี่ยว
		ชุดที่ 8	เติม 0.033	เติม 0.033	เติม 0.033	เก็บเกี่ยว
	0.15mg/kg	ชุดที่ 9	เติม 0.15	ไม่เติม	ไม่เติม	เก็บเกี่ยว
		ชุดที่ 10	เติม 0.075	เติม 0.075	ไม่เติม	เก็บเกี่ยว
		ชุดที่ 11	เติม 0.05	เติม 0.05	เติม 0.05	เก็บเกี่ยว
	0.2 mg/kg	ชุดที่ 12	เติม 0.2	ไม่เติม	ไม่เติม	เก็บเกี่ยว
		ชุดที่ 13	เติม 0.1	เติม 0.1	ไม่เติม	เก็บเกี่ยว
		ชุดที่ 14	เติม 0.066	เติม 0.066	เติม 0.066	เก็บเกี่ยว

คีเลต	ความเข้มข้น	ชุดการทดลอง	วันที่เติมคีเลตหลังจากการงอก 35 วัน			
			วันที่ 1	วันที่ 4	วันที่ 7	วันที่ 10
EDDS	0.5 mg/kg	ชุดที่ 15	เติม 0.5	ไม่เติม	ไม่เติม	เก็บเกี่ยว
		ชุดที่ 16	เติม 0.25	เติม 0.25	ไม่เติม	เก็บเกี่ยว
		ชุดที่ 17	เติม 0.166	เติม 0.166	เติม 0.166	เก็บเกี่ยว
	1.0 mg/kg	ชุดที่ 18	เติม 1.0	ไม่เติม	ไม่เติม	เก็บเกี่ยว
		ชุดที่ 19	เติม 0.5	เติม 0.5	ไม่เติม	เก็บเกี่ยว
		ชุดที่ 20	เติม 0.33	เติม 0.33	เติม 0.33	เก็บเกี่ยว
	1.5 mg/kg	ชุดที่ 21	เติม 1.5	ไม่เติม	ไม่เติม	เก็บเกี่ยว
		ชุดที่ 22	เติม 0.75	เติม 0.75	ไม่เติม	เก็บเกี่ยว
		ชุดที่ 23	เติม 0.5	เติม 0.5	เติม 0.5	เก็บเกี่ยว
	2.0 mg/kg	ชุดที่ 24	เติม 2.0	ไม่เติม	ไม่เติม	เก็บเกี่ยว
		ชุดที่ 25	เติม 1.0	เติม 1.0	ไม่เติม	เก็บเกี่ยว
		ชุดที่ 26	เติม 0.66	เติม 0.66	เติม 0.66	เก็บเกี่ยว
citric acid	0.5 mg/kg	ชุดที่ 27	เติม 0.5	ไม่เติม	ไม่เติม	เก็บเกี่ยว
		ชุดที่ 28	เติม 0.25	เติม 0.25	ไม่เติม	เก็บเกี่ยว
		ชุดที่ 29	เติม 0.166	เติม 0.166	เติม 0.166	เก็บเกี่ยว
	1.0 mg/kg	ชุดที่ 30	เติม 1.0	ไม่เติม	ไม่เติม	เก็บเกี่ยว
		ชุดที่ 31	เติม 0.5	เติม 0.5	ไม่เติม	เก็บเกี่ยว
		ชุดที่ 32	เติม 0.33	เติม 0.33	เติม 0.33	เก็บเกี่ยว
	1.5 mg/kg	ชุดที่ 33	เติม 1.5	ไม่เติม	ไม่เติม	เก็บเกี่ยว
		ชุดที่ 34	เติม 0.75	เติม 0.75	ไม่เติม	เก็บเกี่ยว
		ชุดที่ 35	เติม 0.5	เติม 0.5	เติม 0.5	เก็บเกี่ยว

คีเลต	ความเข้มข้น	ชุดการทดลอง	วันที่เติมคีเลตหลังจากการงอก 35 วัน			
			วันที่ 1	วันที่ 4	วันที่ 7	วันที่ 10
citric acid	2.0 mg/kg	ชุดที่ 36	เติม 2.0	ไม่เติม	ไม่เติม	เก็บเกี่ยว
		ชุดที่ 37	เติม 1.0	เติม 1.0	ไม่เติม	เก็บเกี่ยว
		ชุดที่ 38	เติม 0.66	เติม 0.66	เติม 0.66	เก็บเกี่ยว

3.3.5 การวิเคราะห์ตัวอย่างพืช

(1) การหาน้ำหนักแห้ง

นำตัวอย่างพืชที่เก็บเกี่ยวแล้วมาล้างทำความสะอาดดินที่ติดอยู่ตามรากและลำต้นออกให้หมด จากนั้นนำพืชมาแบ่งเป็นส่วนลำต้น (shoot) และส่วนราก (root) นำพืชที่แบ่งเรียบร้อยแล้วไปชั่งน้ำหนักสด จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 1 คืน แล้วทำการชั่งน้ำหนักเพื่อหาน้ำหนักแห้งโดยน้ำหนักแห้งทั้งต้น (total) สามารถหาได้จากนำค่าน้ำหนักแห้งในส่วนต้นมากบวกกับค่าน้ำหนักแห้งในส่วนราก

(2) การวิเคราะห์หาปริมาณของแคดเมียม

นำตัวอย่างพืชที่ได้ในข้อ (1) มาทำการย่อยพืชทั้ง 2 ส่วนด้วย conc.HNO_3 และ conc.$HClO_4$ (อัตราส่วน 4:1) จากนั้นวิเคราะห์หาปริมาณของแคดเมียมโดยใช้เครื่อง AAS (Tan, 2005)

3.3.6 การวิเคราะห์ตัวอย่างดิน

นำดินที่เหลือจากการเก็บเกี่ยวพืชไปแล้วมาทำการคลุกเคล้าให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นนำดินมาผึ่งในที่ร่มให้แห้ง นำมาบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร

ส่วนที่ 1 นำมาหา Available cadmium โดยใช้ Diethylene triamine pentaacetic acid (DTPA) จากนั้นวิเคราะห์หาปริมาณของ Cd โดยใช้เครื่อง AAS (Tan, 2005)

ส่วนที่ 2 นำมาหา Total cadmium โดยใช้ conc.HNO_3 และ conc.$HClO_4$ (อัตราส่วน 4:1) จากนั้นวิเคราะห์หาปริมาณของ Cdโดยใช้เครื่อง AAS (Tan, 2005)

3.3.7 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

รวบรวมข้อมูลและนำมาวิเคราะห์ความแตกต่างของการสะสมแคดเมียมของทานตะวัน เมื่อเติมคีเลต 3 ชนิดคือ EDTA EDDS และ citric acid ที่ความเข้มข้นต่างกันและวิธีการเติมต่างกันโดยใช้ One-way ANOVA (SPSS for Windows) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4
ผลการวิจัยและวิจารณ์

4.1 คุณสมบัติของดินที่ใช้ในการวิจัย

ดินที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้เป็นดินที่เก็บมาจากพื้นที่เก็บตัวอย่างดังกล่าวมาแล้วข้างต้น เนื่องจากดินในบริเวณที่เก็บตัวอย่างมีคุณสมบัติค่อนข้างคลายกับดิน ในพื้นที่บ้านพะเด๊ะ อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก ซึ่งเป็นบริเวณที่มีการปนเปื้อนแคดเมียม ซึ่งคุณสมบัติของดินที่บ้านพะเด๊ะ อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก แสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติของดินที่บ้านพะเด๊ะ อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก

พารามิเตอร์	ลักษณะสมบัติของดิน
ลักษณะเนื้อดิน (soil texture) (sand : silt : clay)	49.19-55.60 : 18.96-22.28 : 23.44-31.85 (53.01 : 20.95 : 26.03) (sandy clay lome)
ความเป็นกรดด่างของดิน (pH)	7.02-8.00 (7.50)
ความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกของดิน (cation exchange capacity)	12.29-19.45 (15.33 me/100g)
ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน (organic matter content)	2.90-4.49 (3.59%)
ปริมาณแคดเมียมทั้งหมด (total cadmium)	3.49-70.98 (23.02 mg/kg)

ที่มา: ดัดแปลงมาจาก อนงนาฎ ศรีประโชติ.(2549)

หมายเหตุ: ค่าในวงเล็บคือค่าเฉลี่ย

ดินที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้มีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

(1) ลักษณะเนื้อดิน (soil texture)

ดินที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้มีอัตราส่วนของ sand : silt : clay เป็น 44.05 : 18.31 : 37.64 (ตารางที่ 4.2) เมื่อนำมาเทียบกับสามเหลี่ยมประเภทของเนื้อดินพบว่าเป็นดินเหนียวปนทราย (sandy clay) ซึ่งจัดเป็นดินประเภทเนื้อละเอียด (fine-textured soil) ดินประเภทนี้มีช่องระหว่างอนุภาคขนาดเล็กจึงทำให้มีการแทรกซึมน้ำต่ำ และการกระจายน้ำในหน้าตัดเกิดได้ช้า ดินประเภทเนื้อละเอียดโดยธรรมชาติจะเกาะกันเป็นก้อน และมักเกิดแผ่นแข็งปิดผิว (surface crust) ซึ่งทำให้เมล็ดพืชงอกได้ยาก ดินประเภทเนื้อละเอียดมีข้อดีคือมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูง อนุภาคมีประจุและช่องว่างระหว่างอนุภาคมีขนาดเล็กจึงดูดซับน้ำและธาตุอาหารพืชได้มาก (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548)

(2) ปริมาณน้ำในดิน (soil water content)

ปริมาณน้ำในดินเป็นการวัดปริมาณน้ำที่ค้างอยู่ตามช่องอนุภาค หรือเคลือบเป็นฟิล์มรอบอนุภาค และคงอยู่นานพอที่จะตรวจวัดจำนวนได้ การวัดปริมาณน้ำในดินจะวัดเป็นระดับความชื้น (water content) กล่าวคือเป็นการหาสัดส่วนระหว่างปริมาณของน้ำกับปริมาณของดินที่น้ำนั้นบรรจุอยู่ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) ซึ่งดินที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้มีระดับความชื้น 18.88% มีค่าใกล้เคียงกับระดับความชื้นของดินประเภทเนื้อดินละเอียด(คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) (ตารางที่ 4.2)

(3) ความเป็นกรดด่างของดิน (pH)

ความเป็นกรดด่างของดินจะมีผลต่อสมบัติทางเคมีและทางชีวภาพของดิน นอกจากนี้ความเป็นกรดด่างของดินจะบอกถึงสภาพละลายได้ของธาตุอาหารพืช ซึ่งมีผลต่อการนำธาตุต่างๆไปใช้ของพืช อย่างเช่นแคดเมียมจะละลายได้ดีเมื่อดินที่มีค่าความเป็นกรดด่าง ระหว่าง 4.5-5.5 (ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, 2545) และในการวิจัยครั้งนี้ดินที่ใช้ในการวิจัยมีค่ามีความเป็นกรดด่างของดินอยู่ที่ 7.23 (ตารางที่ 4.2) จัดว่าเป็นดินกลาง ซึ่งค่าความเป็นกรดด่างดังกล่าวจะส่งผลให้แคดเมียมละลายออกมาอยู่ในสารละลายดินได้น้อย

(4) ความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกของดิน (cation exchange capacity)

ความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกของดิน หมายถึงปริมาณแคตไอออนแลกเปลี่ยนได้ทั้งหมดที่ดินสามารถดูดซับไว้ได้ การที่ดินมีประจุไฟฟ้าเป็นผลเนื่องมาจากอนุภาคดินเหนียวและอินทรียวัตถุ ซึ่งประจุที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่เป็นประจุลบ จึงทำให้ดินมีความสามารถในการดึงดูดแคตไอออนได้ ในดินแคตไอออนแลกเปลี่ยนได้ส่วนใหญ่จะเป็น Ca^{2+} Mg^{2+} K^{+} Na^{+} Al^{3+} และ H^{+} (ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, 2545) ซึ่งความสามารถในการดูดซับแคตไอออนในดินมีความสำคัญมากเนื่องจากเป็นการป้องกันมิให้ธาตุอาหารพืชถูกชะละลายไปกับน้ำได้ง่าย (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) ซึ่งดินทั่วไปจะมีค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกของหน้าดินมี

ค่าระหว่าง 0.5-50 me/100g ในงานวิจัยนี้ดินที่ใช้ในงานวิจัยมีค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกของดินเท่ากับ 15.43 me/100g (ตารางที่ 4.2) ซึ่งถือว่ามีค่าปานกลาง (สุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, 2545)

(5) ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน (organic matter content)

ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน หมายถึง ส่วนของซากพืชหรือซากสัตว์ที่กำลังสลายตัว เซลล์จุลินทรีย์ทั้งที่ยังมีชีวิตอยู่และส่วนที่ตายแล้ว ตลอดจนสารอินทรีย์ที่ได้จากการย่อยสลาย หรือส่วนที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นมาใหม่ แต่ไม่รวมถึงเศษซากพืชหรือสัตว์ที่ยังไม่ย่อยสลาย (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) อินทรียวัตถุในดินเป็นองค์ประกอบสำคัญของดินที่มีอิทธิพลอย่างมากต่อสมบัติของดินรวมถึงความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกของดิน กล่าวคือถ้าดินมีปริมาณอินทรียวัตถุสูงก็จะส่งผลให้ความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกของดินสูงไปด้วย ดินที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้มีค่าปริมาณอินทรียวัตถุในดินเท่ากับ 2.99% (ตารางที่ 4.2) ซึ่งถือว่ามีปริมาณปานกลาง โดยปริมาณอินทรียวัตถุในดินจะมีค่าอยู่ในช่วง 0.74-15% (เกษมศรี ซับซ้อน, 2541)

(6) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (total nitrogen)

ไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารที่พืชต้องการเป็นปริมาณมาก (macronutrient) ไนโตรเจนเป็นธาตุที่มีบทบาทสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช เพราะไนโตรเจนเป็นธาตุที่ช่วยให้พืชสร้างโปรตีนได้อย่างเพียงพอ พืชทุกชนิดต้องการโปรตีนเพราะโปรตีนเป็นส่วนประกอบที่สำคัญที่สุดของโพรโทพลาซึม (protoplasm) (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) ถ้าพืชขาดไนโตรเจนอาการที่แสดงออกคือ ใบแก่จะมีสีเหลืองซีด ลำต้นแคระแกรน ผลผลิตลดลง (เกษมศรี ซับซ้อน, 2541) สำหรับดินที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด 0.158% (ตารางที่ 4.2) โดยปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของดินโดยเฉลี่ยตามปกติจะมีค่าประมาณ 0.14% โดยปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินที่หามาได้ จะหมายถึงผลรวมของไนโตรเจนที่อยู่ในรูปสารอนินทรีย์ เช่น แอมโมเนียม (NH_4^+) ไนเตรต (NO_3^-) และไนโตรเจนในรูปสารอินทรีย์ เช่น กรดอะมิโน (amino acid) ซึ่งพืชสามารถนำไนโตรเจนในรูปของสารอินทรีย์ไปใช้ได้โดยตรง ในขณะที่ไนโตรเจนในรูปสารอินทรีย์จะทำหน้าที่เป็นแหล่งสะสมของไนโตรเจนในดิน (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) ฉะนั้นดินที่นำมาใช้ในงานวิจัยครั้งนี้จึงถือว่ามีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืช

(7) ปริมาณฟอสฟอรัสที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ (available phosphorus)

ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารที่พืชต้องการเป็นปริมาณมาก (macronutrient) ฟอสฟอรัสเป็นธาตุที่มีบทบาทสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช ความแข็งแรงของพืช ทั้งส่วนที่อยู่เหนือดินและรากตลอดจนการออกดอกออกผล ถ้าพืชขาดฟอสฟอรัสจะมีอาการ คือ ทุกส่วนของพืชจะแคระแกรน ถ้าขาดอย่างรุนแรงใบจะมีสีม่วงเช่นที่พบในข้าวโพด (เกษมศรี ซับซ้อน, 2541) ฟอสฟอรัส

ในดินพบได้หลายรูปด้วยกัน แต่ฟอสฟอรัสที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้จะอยู่ในรูปไอออนฟอสเฟต ($H_2PO_4^-$ HPO_4^{2-} PO_4^{3-}) โดยเฉลี่ยแล้วในดินมีฟอสฟอรัสในสารละลายดินประมาณ10-15 mg/kg (ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, 2545) สำหรับดินที่ใช้ในงานวิจัยในครั้งนี้มีปริมาณฟอสฟอรัสที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ 568 mg/kg (ตารางที่ 4.2) เมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์จะได้ 0.0568% ซึ่งถือว่าเป็นปริมาณที่สูงมาก ฉะนั้นดินที่นำมาใช้ในงานวิจัยครั้งนี้ จึงถือว่ามีปริมาณฟอสฟอรัสที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืช

(8) ปริมาณโปแตสเซียมที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ (exchangeable potassium)

โปแตสเซียมเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อพืชธาตุหนึ่ง ถ้าพืชขาดโปแตสเซียมขอบใบจะมีสีซีด (leaf margin chlorosis) กลายเป็นสีน้ำตาลและแห้งไปในที่สุด นอกจากนี้การขาดโปแตสเซียมยังทำให้พืชล้ม (lodging) ได้ง่ายเพราะพืชที่ขาดโปแตสเซียมจะมีลำต้นอ่อน โดยทั่วไปโปแตสเซียมในดินจะมีอยู่ด้วยกัน 3 รูป คือ 1.ส่วนที่พืชไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้ทันที (relatively unavailable form) 2. ส่วนที่พืชใช้ประโยชน์ได้อย่างช้าๆ (slowly available form) 3. ส่วนที่พืชใช้ประโยชน์ได้ทันที (readily available form) ซึ่งจะอยู่ในรูปสารละลายดิน (soil solution) และโปแตสเซียมที่ถูกดูดซับอยู่ที่ผิวคอลลอยด์ในรูปแลกเปลี่ยนได้ (exchangeable form) โดยปกติโปแตสเซียมในรูปนี้จะมีอยู่ 1-2% ของปริมาณโปแตสเซียมทั้งหมด ซึ่งโปแตสเซียมทั้งหมดในดินจะมีค่า 0.83% (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) ดินที่นำมาใช้ในงานวิจัยครั้งนี้มีค่าปริมาณโปแตสเซียมที่สามารถแลกเปลี่ยนได้เท่ากับ 819 mg/kg (ตารางที่ 4.2) ซึ่งเป็นปริมาณที่สูงมาก ฉะนั้นดินที่นำมาใช้ในงานวิจัยครั้งนี้ จึงถือว่ามีปริมาณโปแตสเซียมที่สามารถแลกเปลี่ยนได้เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืช

(9) ปริมาณแคดเมียมทั้งหมด (total cadmium)

ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในดินที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีค่า 17 mg/kg (ตารางที่ 4.2) ซึ่งถือว่าเป็นปริมาณที่สูงมาก โดยปริมาณแคดเมียมในดินโดยทั่วไปมีค่าเฉลี่ยระหว่าง 0.07-1.0 mg/kg สำหรับดินที่มีการปนเปื้อนจะมีปริมาณแคดเมียมโดยเฉลี่ยคือ 0.53 mg/kg (ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา , 2545) สำหรับเกณฑ์มาตรฐานการปนเปื้อนของแคดเมียมที่ยอมให้มีในดินของประชาคมเศรษฐกิจยุโรปเท่ากับ 3 mg/kg (กรมควบคุมมลพิษ, 2549) ปริมาณแคดเมียมที่มีอยู่ในดินที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้มีค่าค่อนข้างสูงมากอาจมีสาเหตุ เนื่องมาจากการใช้ปุ๋ยฟอสเฟต(ปริมาณแคดเมียมในปุ๋ยฟอสเฟตโดยทั่วไปอยู่ในช่วง < 0.02-0.5 mg/kg) และอาจจะมีการใช้กากตะกอนเพื่อเป็นปุ๋ยในบริเวณที่ทำการเก็บดินมา ซึ่งปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในดินจากพื้นที่การเกษตรที่มีการใส่กากตะกอน (sewage sludge) เพื่อเป็นปุ๋ยของประเทศอังกฤษมีค่าสูงถึง 42 mg/kg (Lombi และคณะ, 2001) เนื่องจากบริเวณที่เก็บดินมานั้นมีลักษณะเป็นสวนผักจึงอาจเป็นไปได้ว่ามีการสะสมแคดเมียมในดินบริเวณนั้น

ดินที่นำมาใช้ในการวิจัยครั้งนี้มีธาตุอาหารเพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืช แต่ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดมีค่าค่อนข้างสูงจนเกินเกณฑ์มาตรฐานการปนเปื้อนของแคดเมียมที่ยอมให้มีในดินของประชาคมเศรษฐกิจยุโรปดังกล่าวไว้ข้างต้น ซึ่งสอดคล้องกับการใช้ประโยชน์จากที่ดินในการทำการเกษตรมาเป็นเวลานาน สำหรับดินที่ใช้ในการทดลองจะมีการเติมแคดเมียมลงไปอีก 20 mg/kg เพื่อให้ค่าแคดเมียมในดินอยู่ในช่วงของดินที่มีการปนเปื้อนแคดเมียมในพื้นจริงที่บ้านพะเด๊ะ อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก สาเหตุที่ใช้ดินในจังหวัดนครปฐมแทนดินของจังหวัดตากเนื่องจากไม่สามารถไปเก็บตัวอย่างดินในจังหวัดตากได้ (ตารางที่ 4.1)

ตารางที่ 4.2 คุณสมบัติของดินที่ใช้ในงานวิจัย

พารามิเตอร์	ลักษณะสมบัติของดิน
ลักษณะเนื้อดิน (soil texture) (sand : silt : clay)	44.05 : 18.31 : 37.64 (sandy clay)
ปริมาณน้ำในดิน (soil water content)	18.88%
ความเป็นกรดด่างของดิน (pH)	7.23
ความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกของดิน (cation exchange capacity)	15.43 me/100g
ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน (organic matter content)	2.99%
ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (total nitrogen)	0.158%
ปริมาณฟอสฟอรัสที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ (available phosphorus)	568 mg/kg
ปริมาณโปแตสเซียมที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ (exchangeable potassium)	819 mg/kg
ปริมาณแคดเมียมทั้งหมด (total cadmium)	17 mg/kg

4.2 น้ำหนักแห้งของทานตะวัน

สำหรับทานตะวันที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เลือกใช้ทานตะวันพันธุ์แปซิฟิค 55 เนื่องจากเป็นทานตะวันที่มีลักษณะเด่น คือ ลำต้นใหญ่ซึ่งพืชที่มีลำต้นใหญ่จะมีข้อดีคือมีมวลชีวภาพมากการที่พืชมีมวลชีวภาพมากจะทำให้พืชสะสมโลหะหนักได้ดีกว่าพืชที่มีมวลชีวพน้อย แข็งแรง ต้านทานการหักล้มได้ดีก็เป็นลักษณะที่ดีเพราะมีความเหมาะสมในการนำไปใช้ทำ phytoextraction ในพื้นที่จริงได้ (แปซิฟิคเมล็ดพันธุ์, 2549)

น้ำหนักแห้งของทานตะวันจะแบ่งเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนเหนือพื้นดิน (shoot) ส่วนราก (root) และทั้งต้น (total) ซึ่งข้อมูลน้ำหนักแห้งของทานตะวันได้แสดงไว้ดังรูปที่ 4.1- 4.7 ตามลำดับ

ตำรับทดลองแบ่งออกเป็น 5 กลุ่มดังนี้

Blank เป็นตำรับการทดลองที่ไม่มีการเติมแคดเมียมและตัวคีเลต

Control เป็นตำรับการทดลองที่เติมแคดเมียมแต่ไม่เติมตัวคีเลต

EDTA เป็นตำรับการทดลองที่เติมแคดเมียมและเติม EDTA ที่ความเข้มข้น 0.05 0.1 0.15 และ 0.2 mg/kg soil

EDDS เป็นตำรับการทดลองที่เติมแคดเมียมและเติม S,S'-EDDS ที่ความเข้มข้น 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 mg/kg soil

Citric acid เป็นตำรับการทดลองที่เติมแคดเมียมและเติม citric acid ที่ความเข้มข้น 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 mg/kg soil

เติม 1 ครั้ง เติม 2 ครั้ง เติม 3 ครั้ง หมายถึง การเติมตัวคีเลตที่ความเข้มข้นต่างๆ จำนวน เติม 1 ครั้ง เติม 2 ครั้ง เติม 3 ครั้ง ตามลำดับ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.1 น้ำหนักแห้งของทานตะวันเมื่อเติม EDTA ที่ความเข้มข้นต่างกัน

ผลการศึกษาน้ำหนักแห้งของทานตะวันในส่วนเหนือพื้นดินเมื่อเติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 0.1 0.15 และ 0.2 mg/kg soil ดังรูปที่ 4.1(ก) พบว่าค่าน้ำหนักแห้งของทานตะวันในส่วนเหนือพื้นดิน เมื่อทำการเติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 mg/kg มีค่ามากที่สุดเมื่อทำการแบ่งเติมเป็นจำนวน 3 ครั้ง โดยมีค่าเท่ากับ 0.9870 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank control ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 เป็นจำนวน 2 ครั้งอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และมีค่าน้อยที่สุดใน blank กล่าวคือมีค่าเท่ากับ 0.5328 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 เป็นจำนวน 1 และ 3 ครั้งอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และเมื่อทำการเติม EDTA ความเข้มข้น 0.1 mg/kg พบว่าน้ำหนักแห้งของทานตะวันในส่วนเหนือพื้นดินมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 0.9706 g เมื่อแบ่งเติมเป็นจำนวน 2 ครั้ง ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%และมีค่าน้อยที่สุดใน blank คือมีค่าเท่ากับ 0.5328 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.1 mg/kg เป็นจำนวน 1 และ 2 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และเมื่อทำการเพิ่มความเข้มข้นของ EDTA เป็น 0.15 mg/kg ค่าน้ำหนักแห้งของทานตะวันในส่วนเหนือพื้นดิน มีค่ามากที่สุดเท่ากับ 0.8453 g เมื่อแบ่งเติมเป็นจำนวน 3 ครั้ง ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างน้ำหนักแห้งในส่วนเหนือพื้นดินระหว่างชุดการทดลอง blank control และชุดการทดลองที่เติม EDTA ทุกชุดและค่าน้ำหนักแห้งของทานตะวันในส่วนเหนือพื้นดินมีค่าน้อยที่สุดใน blank คือมีค่าเท่ากับ 0.5328 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างน้ำหนักแห้งในส่วนเหนือพื้นดินระหว่างชุดการทดลอง blank control และชุดการทดลองที่เติม EDTA ทุกชุด สำหรับ EDTA ความเข้มข้น 0.2 mg/kg พบว่าค่าน้ำหนักแห้งของทานตะวันในส่วนเหนือพื้นดินมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 0.9183 g เมื่อเติมเป็นจำนวน 1 ครั้ง ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.2 เป็นจำนวน 2 และ 3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และมีค่าน้อยที่สุดเมื่อแบ่งเติมเป็นจำนวน 3 ครั้งโดยมีค่าเท่ากับ 0.5315 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลอง control ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.2 เป็นจำนวน 1 และ 2 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากผลดังกล่าวแสดงว่าค่าน้ำหนักแห้งของทานตะวันในส่วนเหนือพื้นดิน มีแนวโน้มว่าเมื่อเติม EDTA ที่มีความเข้มข้นต่ำๆ จะมีค่าน้ำหนักแห้งของทานตะวันในส่วนเหนือพื้นดินมากกว่าการเติม EDTA ที่ความเข้มข้นสูงๆ โดยเมื่อเติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง มีแนวโน้มว่าค่าน้ำหนักแห้งของทานตะวันในส่วนเหนือพื้นดินมากที่สุดกล่าวคือมีค่าเท่ากับ 0.9870 g ซึ่งผลการ

วิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank และชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.2 เป็นจำนวน 3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ผลการศึกษาน้ำหนักแห้งของทานตะวันในส่วนราก เมื่อเติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 0.1 0.15 และ 0.2 mg/kg ดังรูปที่ 4.1(ข) พบว่าเมื่อเติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 mg/kg น้ำหนักแห้งของทานตะวันในส่วนรากจะมีค่ามากที่สุดเมื่อทำการแบ่งเติมเป็นจำนวน 3 ครั้ง คือมีค่าเท่ากับ 0.0580 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank control ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 เป็นจำนวน 1 และ 2 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และพบว่าน้ำหนักแห้งของทานตะวันในส่วนรากมีค่าน้อยที่สุดใน blank คือมีค่าเท่ากับ 0.0298 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 เป็นจำนวน 3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และเมื่อทำการเปลี่ยนความเข้มข้นของ EDTA เป็น 0.1 mg/kg น้ำหนักแห้งของทานตะวันในส่วนรากมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 0.0475 g เมื่อทำการเติมเป็นจำนวน 1 ครั้ง ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 0.0298 g ใน blank ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าละชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.1 เป็นจำนวน 1 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ EDTA เป็น 0.15 mg/kg พบว่าน้ำหนักแห้งของทานตะวันในส่วนรากจะมีค่ามากที่สุดเมื่อแบ่งเติมเป็นจำนวน 3 ครั้งคือเท่ากับ 0.0417 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างน้ำหนักแห้งในส่วนรากระหว่างชุดการทดลอง blank control และชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.15 mg/kg เป็นจำนวน 1 2 และ 3 ครั้ง สำหรับค่าน้ำหนักแห้งของทานตะวันในส่วนรากที่น้อยที่สุดมีค่าเท่ากับ 0.0298 g ใน blank ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างน้ำหนักแห้งในส่วนรากระหว่างชุดการทดลอง blank control และชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.15 mg/kg เป็นจำนวน 1 2 และ 3 ครั้ง เมื่อใช้ความเข้มข้นของ EDTA เป็น 0.2 mg/kg พบว่าค่าน้ำหนักแห้งของทานตะวันในส่วนรากมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 0.049 g เมื่อทำการแบ่งเติม 1 ครั้งและ 2 ครั้ง ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากว่าชุดการทดลอง blank และชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.2 เป็นจำนวน 3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สำหรับค่าน้ำหนักแห้งของทานตะวันในส่วนรากน้อยที่สุดเมื่อทำการแบ่งเติมเป็นจำนวน 3 ครั้ง คือมีค่าเท่ากับ 0.0280 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.2 เป็นจำนวน 1 และ 2 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าค่าน้ำหนักแห้งของทานตะวันในส่วนรากจะมีแนวโน้มมากที่สุดเมื่อเติม EDTA ที่ความเข้มข้น 0.05 mg/kg โดยทำการแบ่งเติมเป็นจำนวน 3 ครั้ง คือมีค่าเท่ากับ 0.0580 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank control ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 เป็น

จำนวน 2 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 1.0 เป็นจำนวน 3 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 1.5 เป็นจำนวน 2 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.2 เป็นจำนวน 3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

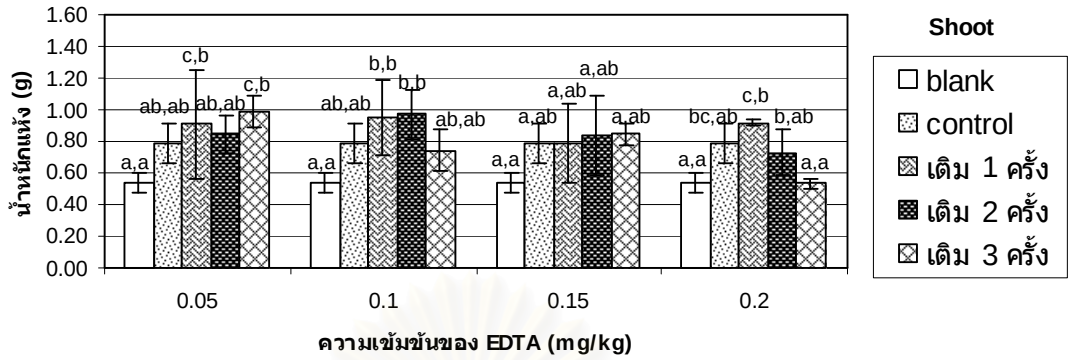
ผลการศึกษาน้ำหนักแห้งของทานตะวันทั้งต้น (น้ำหนักแห้งของส่วนเหนือพื้นดินรวมกับน้ำหนักแห้งของส่วนราก) เมื่อเติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 0.1 0.15 และ 0.2 mg/kg ดังรูปที่ 4.1 (ค) พบว่าเมื่อเติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 mg/kg น้ำหนักแห้งของทานตะวันทั้งต้นมีค่ามากที่สุดเมื่อแบ่งเติมเป็นจำนวน 3 ครั้ง โดยมีค่าเท่ากับ 1.0450 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 0.5626 g ใน blank ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 mg/kg เป็นจำนวน 1 และ 3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ EDTA ที่เติมเป็น 0.1 mg/kg พบว่าค่าน้ำหนักแห้งของทานตะวันทั้งต้นมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 1.0119 g โดยทำการแบ่งเติมเป็นจำนวน 2 ครั้ง ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank control และชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.1 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 0.5626 g ใน blank ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.1 mg/kg เป็นจำนวน 1 และ 2 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สำหรับ EDTA ความเข้มข้น 0.15 mg/kg จะมีค่าน้ำหนักแห้งของทานตะวันทั้งต้นมากที่สุดเมื่อเติมเป็นจำนวน 3 ครั้ง โดยมีค่าเท่ากับ 0.8870 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างน้ำหนักแห้งทั้งต้นระหว่างชุดการทดลอง blank control และชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.15 mg/kg เป็นจำนวน 1 2 และ 3 ครั้ง และพบว่ามีค่าน้อยที่สุดใน blank คือมีค่าเท่ากับ 0.5626 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างน้ำหนักแห้งทั้งต้นระหว่างชุดการทดลอง blank control และชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.15 mg/kg เป็นจำนวน 1 2 และ 3 ครั้ง เมื่อเปลี่ยนความเข้มข้นของ EDTA เป็น 0.2 mg/kg พบว่าค่าน้ำหนักแห้งของทานตะวันทั้งต้นมีค่ามากที่สุดเมื่อเติมเป็นจำนวน 1 ครั้ง คือมีค่าเท่ากับ 0.9673 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank และชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.2 mg/kg เป็นจำนวน 2 และ 3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 0.5595 g เมื่อแบ่งเติมเป็นจำนวน 3 ครั้ง ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลอง control และชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.2 mg/kg เป็นจำนวน 1 และ 2 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากผลดังกล่าวพบว่าค่าน้ำหนักแห้งของทานตะวันทั้งต้นมีแนวโน้มมากที่สุดเมื่อเติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 mg/kg โดยแบ่งเติมเป็นจำนวน 3 ครั้งกล่าวคือมีค่าเท่ากับ 1.0450 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทาง

สถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank และชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.2 เป็นจำนวน 3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

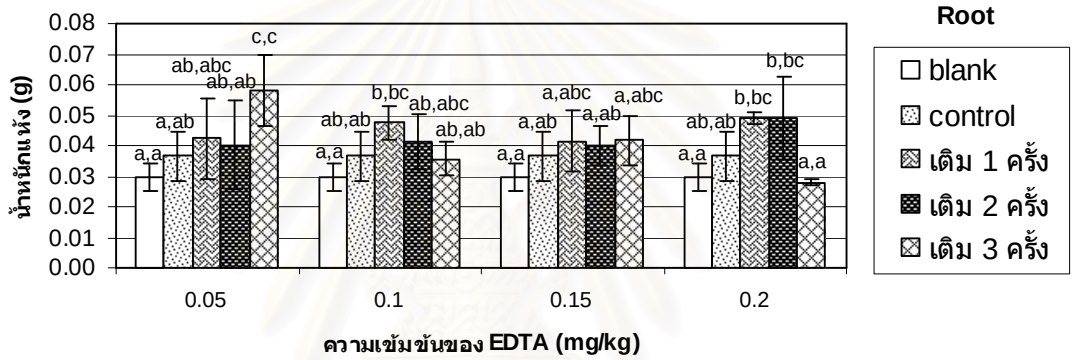
จากผลการศึกษาน้ำหนักแห้งของทานตะวันทั้ง ส่วนเหนือพื้นดิน ส่วนราก และทั้งต้น เมื่อเติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 0.1 0.15 และ 0.2 mg/kg พบว่าเมื่อเติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง ทำให้น้ำหนักแห้งของทานตะวันทั้งส่วนเหนือพื้นดิน ส่วนราก และทั้งต้น มีค่ามากที่สุดกล่าวคือมีค่าเท่ากับ 0.9870 0.0580 และ 1.0450 g ตามลำดับ สำหรับค่าน้ำหนักแห้งทั้งส่วนเหนือพื้นดินและทั้งต้น มีค่าน้อยที่สุดเมื่อเติม EDTA ความเข้มข้น 0.2 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง กล่าวคือมีค่า 0.5315 และ 0.5595 g ตามลำดับ สำหรับค่าน้ำหนักแห้งของทานตะวันในส่วนรากมีค่าน้อยที่สุดใน blank คือมีค่า 0.0298 g ซึ่งสอดคล้องกับงานของ Lombi และคณะ (2001) ซึ่งศึกษาการดูดซับ แคดเมียม ทองแดง นิกเกิล ตะกั่ว และสังกะสี ของ *Zea mays* L. เมื่อใช้ EDTA เป็นตัวคีเลตพบว่าค่ามวลชีวภาพของ *Zea mays* L. ใน control คือกลุ่มที่ไม่เติมโลหะหนักและไม่เติมคีเลต มีค่ามวลชีวภาพของ *Zea mays* L. น้อยกว่ากลุ่มที่เติม EDTA ซึ่งเหตุผลที่น้ำหนักแห้งในส่วนรากของชุดการทดลอง blank มีค่าน้อยที่สุดอาจจะมีสาเหตุมาจากความสามารถของคีเลตในการเพิ่มการละลายของธาตุอาหารต่างๆ ซึ่งจะส่งผลให้พืชนำไปใช้งานได้ง่ายขึ้น (ชวนพิศ แดงสวัสดิ์, 2544)นอกจากนี้อาจมีสาเหตุมาจากการเติมแคดเมียมในรูป $Cd(NO_3)_2.4H_2O$ ในชุดการทดลอง control และชุดการทดลองที่เติมคีเลตแต่ไม่เติมในชุดการทดลอง blank ซึ่งเป็นการเพิ่มไนโตรเจนให้กับชุดการทดลองดังกล่าวซึ่งอาจเป็นสาเหตุให้ชุดการทดลอง blank มีน้ำหนักแห้งน้อยกว่าชุดการทดลองอื่นๆ สำหรับชุดการทดลองที่เติมคีเลตความเข้มข้นสูงๆ จะมีแนวโน้มว่าน้ำหนักแห้งจะมีค่าน้อยกว่าการเติมคีเลตที่ความเข้มข้นต่ำๆ สาเหตุที่เป็นเช่นนี้อาจจะเนื่องมาจากเมื่อใช้คีเลตที่ความเข้มข้นสูงๆ ธาตุอาหารต่างๆจะละลายออกมาอยู่ในสารละลายได้มากจนเกินไปซึ่งจะส่งผลให้ธาตุอาหารถูกชะไปกับน้ำที่ใช้รดลงไปอยู่บริเวณก้นกระถางซึ่งรากพืชไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

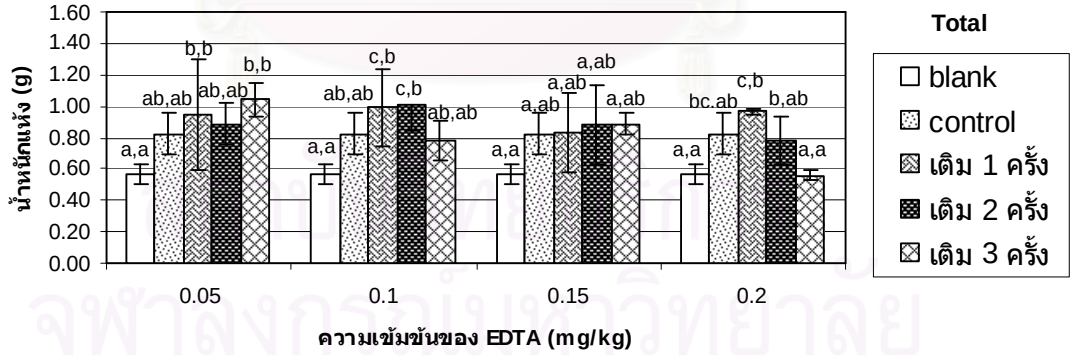
(ก)



(ข)



(ค)



รูปที่ 4.1 น้ำหนักแห้งของทานตะวันใน (ก) ส่วนเหนือพื้นดิน (ข) ส่วนราก และ (ค) ทั้งต้น ที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 0.1 0.15 และ 0.2 mg/kg

หมายเหตุ: 1) ตัวอักษรตัวหน้าที่แตกต่างกันบนกราฟแต่ละแท่ง หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างความเข้มข้นเดียวกันแต่จำนวนครั้งที่แบ่งต่างกัน ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

2) ตัวอักษรตัวหลังที่แตกต่างกันบนกราฟแต่ละแท่ง หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างความเข้มข้นต่างๆ แต่จำนวนครั้งเท่ากันตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

3) Bars แสดงค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) โดย n = 3

4.2.2 น้ำหนักแห้งของทานตะวันเมื่อเติม EDDS ความเข้มข้นต่างกัน

ผลการศึกษาน้ำหนักแห้งของทานตะวันในส่วนเหนือพื้นดินเมื่อเติม EDDS ความเข้มข้น 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 mg/kg ดังรูปที่ 4.2 (ก) พบว่าค่าน้ำหนักแห้งของทานตะวันในส่วนเหนือพื้นดินเมื่อทำการเติม EDDS ความเข้มข้น 0.5 mg/kg มีค่ามากที่สุดเมื่อทำการเติมเป็นจำนวน 1 ครั้ง โดยมีค่าเท่ากับ 1.1123 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank control และชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 2 และ 3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%และมีค่าน้อยที่สุดใน blank กล่าวคือมีค่าเท่ากับ 0.5328 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลอง control และชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 1 และ 2 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และเมื่อทำการเติม EDDS ความเข้มข้น 1.0 mg/kg พบว่าน้ำหนักแห้งของทานตะวันในส่วนเหนือพื้นดินมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 0.8427 g เมื่อเติมเป็นจำนวน 1 ครั้ง ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และมีค่าน้อยที่สุดใน blank คือมีค่าเท่ากับ 0.5328 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.0 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และเมื่อทำการเพิ่มความเข้มข้นของ EDDS เป็น 1.5 mg/kg ค่าน้ำหนักแห้งของทานตะวันในส่วนเหนือพื้นดินมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 0.9053 g เมื่อแบ่งเติมเป็นจำนวน 2 ครั้ง ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank และชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.5 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และค่าน้ำหนักแห้งของทานตะวันในส่วนเหนือพื้นดินมีค่าน้อยที่สุดใน blank คือมีค่าเท่ากับ 0.5328 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.5 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สำหรับ EDDS ความเข้มข้น 2.0 mg/kg พบว่าค่าน้ำหนักแห้งของทานตะวันในส่วนเหนือพื้นดิน มีค่ามากที่สุดเท่ากับ 0.8673 g เมื่อเติมเป็นจำนวน 3 ครั้ง ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และมีค่าน้อยที่สุดใน blank โดยมีค่าเท่ากับ 0.5328 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลอง control และชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 2.0 mg/kg เป็นจำนวน 1 2 และ 3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากผลดังกล่าวแสดงว่าค่าน้ำหนักแห้งของทานตะวันในส่วนเหนือพื้นดินมีแนวโน้มมากที่สุดเมื่อเติม EDDS ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้งกล่าวคือมีค่าเท่ากับ 1.1123 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากว่าชุดการทดลองที่เติม EDDS ทุกชุดที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ยกเว้น ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.5 เป็นจำนวน 2 ครั้ง

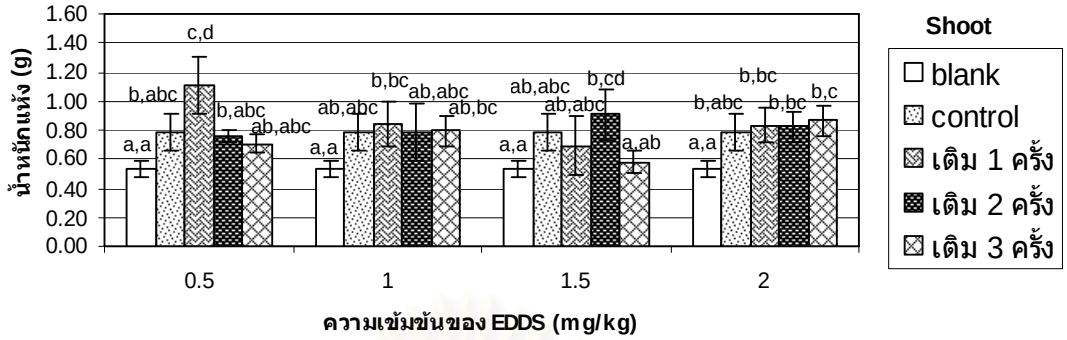
ผลการศึกษาน้ำหนักแห้งของทานตะวันในส่วนรากเมื่อเติม EDDS ความเข้มข้น 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 mg/kg ดังรูปที่ 4.2 (ข) พบว่าเมื่อเติม EDDS ความเข้มข้น 0.5 mg/kg น้ำหนักแห้งของทานตะวันในส่วนรากจะมีค่ามากที่สุดเมื่อทำการเติมเป็นจำนวน 1 ครั้ง คือมีค่าเท่ากับ 0.0543 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank control อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และพบว่าน้ำหนักแห้งของทานตะวันในส่วนรากมีค่าน้อยที่สุดใน blank คือมีค่าเท่ากับ 0.0298 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 1 และ 2 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และเมื่อทำการเปลี่ยนความเข้มข้นของ EDDS เป็น 1.0 mg/kg น้ำหนักแห้งของทานตะวันในส่วนรากมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 0.0450 g เมื่อทำการเติมเป็นจำนวน 3 ครั้ง ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างน้ำหนักแห้งในส่วนรากระหว่างชุดการทดลอง blank control และชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.0 mg/kg เป็นจำนวน 1 2 และ 3 ครั้ง และมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 0.0298 g ในชุดการทดลอง blank ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างน้ำหนักแห้งในส่วนรากระหว่างชุดการทดลอง blank control และชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.0 mg/kg เป็นจำนวน 1 2 และ 3 ครั้ง เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ EDDS เป็น 1.5 mg/kg พบว่าน้ำหนักแห้งของทานตะวันในส่วนรากจะมีค่ามากที่สุดเมื่อแบ่งเติมเป็นจำนวน 2 ครั้งคือเท่ากับ 0.0493 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สำหรับค่าน้ำหนักแห้งของทานตะวันในส่วนรากที่น้อยที่สุดมีค่าเท่ากับ 0.0298 g ในชุดการทดลอง blank ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.5 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อใช้ความเข้มข้นของ EDDS เป็น 2.0 mg/kg พบว่าค่าน้ำหนักแห้งของทานตะวันในส่วนรากมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 0.0470 g เมื่อทำการแบ่งเติมเป็นจำนวน 3 ครั้ง ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สำหรับค่าน้ำหนักแห้งของทานตะวันในส่วนรากน้อยที่สุดใน blank คือมีค่าเท่ากับ 0.0298 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 2.0 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าค่าน้ำหนักแห้งของทานตะวันในส่วนรากมีแนวโน้มจะมีค่ามากที่สุดเมื่อเติม EDDS ที่ความเข้มข้น 0.5 mg/kg โดยทำการเติมเป็นจำนวน 1 ครั้ง คือมีค่าเท่ากับ 0.0543 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank และชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.5 เป็นจำนวน 3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ผลการศึกษาน้ำหนักแห้งของทานตะวันทั้งต้นเมื่อเติม EDDS ความเข้มข้น 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 mg/kg ดังรูปที่ 4.2 (ค) พบว่าเมื่อเติม EDDS ความเข้มข้น 0.5 mg/kg น้ำหนักแห้งของทานตะวันทั้งต้นมีค่ามากที่สุดเมื่อเติมเป็นจำนวน 1 ครั้ง โดยมีค่าเท่ากับ 1.1666 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank control และชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 2 และ 3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 0.5626 g ในชุดการทดลอง blank ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลอง control และชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 1 และ 2 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ EDDS ที่เติมเป็น 1.0 mg/kg พบว่าค่าน้ำหนักแห้งของทานตะวันทั้งต้นมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 0.8870 g โดยทำการเติมเป็นจำนวน 1 ครั้ง ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 0.5626 g ในชุดการทดลอง blank ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.0 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สำหรับ EDDS ความเข้มข้น 1.5 mg/kg จะมีค่าน้ำหนักแห้งของทานตะวันทั้งต้นมากที่สุดเมื่อเติมเป็นจำนวน 2 ครั้ง โดยมีค่าเท่ากับ 0.9546 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank และชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.5 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และพบว่ามีค่าน้อยที่สุดในชุดการทดลอง blank คือมีค่าเท่ากับ 0.5626 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.5 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปลี่ยนความเข้มข้นของ EDDS เป็น 2.0 mg/kg พบว่าค่าน้ำหนักแห้งของทานตะวันทั้งต้น มีค่ามากที่สุดเมื่อแบ่งเติมเป็นจำนวน 3 ครั้ง คือมีค่าเท่ากับ 0.9143 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 0.5626 g ในชุดการทดลอง blank ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลอง control และชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 2.0 mg/kg เป็นจำนวน 1 2 และ 3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากผลดังกล่าวพบว่าค่าน้ำหนักแห้งของทานตะวันทั้งต้นมีแนวโน้มมากที่สุดเมื่อเติม EDDS ความเข้มข้น 0.5 mg/kg โดยเติมเป็นจำนวน 1 ครั้ง กล่าวคือมีค่าเท่ากับ 1.1666 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลองที่เติม EDDS ทุกชุดที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

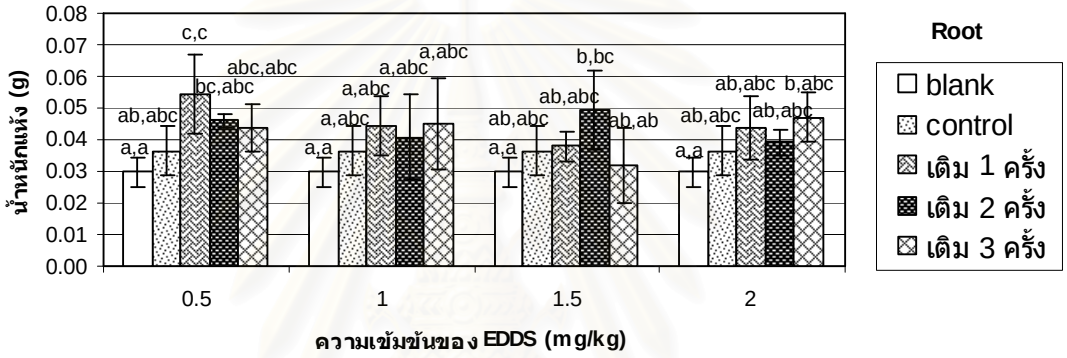
จากผลการศึกษาน้ำหนักแห้งของทานตะวันทั้งส่วนเหนือพื้นดิน ส่วนราก และทั้งต้นเมื่อเติม EDDS ความเข้มข้น 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 mg/kg พบว่าเมื่อเติม EDDS ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง ทำให้น้ำหนักแห้งของทานตะวันทั้งส่วนเหนือพื้นดิน ส่วนราก และทั้งต้น มีค่ามากที่สุด กล่าวคือมีค่าเท่ากับ 1.1123 0.0543 และ 1.1666 g ตามลำดับ สำหรับค่าน้ำหนักแห้งของทานตะวันทั้งส่วนเหนือพื้นดิน ส่วนราก และทั้งต้น มีค่าน้อยที่สุดพบในชุดการทดลอง blank คือมีค่าเท่ากับ 0.5328 0.0298 และ 0.5626 g ตามลำดับ ซึ่งสาเหตุที่อาจจะทำให้น้ำหนักแห้งของชุดการทดลอง blank มีค่าน้อยที่สุดซึ่งคล้ายกับการเติม EDTA จากผลแสดงว่าการเติมคีเลตที่ความเข้มข้นต่ำๆ มีแนวโน้วว่าจะมีน้ำหนักแห้งของทานตะวันมากกว่าการเติมคีเลตที่ความเข้มข้นสูงๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

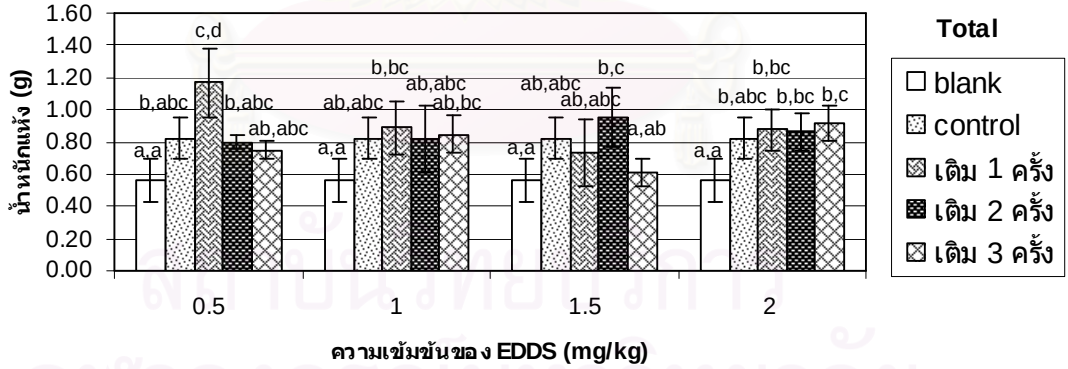
(ก)



(ข)



(ค)



รูปที่ 4.2 น้ำหนักแห้งของทานตะวันใน (ก) ส่วนเหนือพื้นดิน (ข) ส่วนราก และ (ค) ทั้งต้น ที่เติม EDDS ความเข้มข้น 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 mg/kg

หมายเหตุ: 1) ตัวอักษรตัวหน้าที่แตกต่างกันบนกราฟแต่ละแท่ง หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างความเข้มข้นเดียวกันแต่จำนวนครั้งที่แบ่งต่างกัน ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

2) ตัวอักษรตัวหลังที่แตกต่างกันบนกราฟแต่ละแท่ง หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างความเข้มข้นต่างๆ แต่จำนวนครั้งเท่ากันตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

3) Bars แสดงค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) โดย n = 3

4.2.3 น้ำหนักแห้งของทานตะวันเมื่อเติม citric acid ความเข้มข้นต่างกัน

ผลการศึกษาน้ำหนักแห้งของทานตะวันในส่วนเหนือพื้นดินเมื่อเติม citric acid ความเข้มข้น 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 mg/kg ดังรูปที่ 4.3 (ก) พบว่าค่าน้ำหนักแห้งของทานตะวันในส่วนเหนือพื้นดินเมื่อทำการเติม citric acid ความเข้มข้น 0.5 mg/kg มีค่ามากที่สุดเมื่อทำการแบ่งเติมเป็นจำนวน 3 ครั้ง โดยมีค่าเท่ากับ 1.1313 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank control และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 1 และ 2 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และมีค่าน้อยที่สุดในชุดการทดลอง blank กล่าวคือมีค่าเท่ากับ 0.5328 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลอง control และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 2 และ 3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และเมื่อทำการเติม citric acid ความเข้มข้น 1.0 mg/kg พบว่าน้ำหนักแห้งของทานตะวันในส่วนเหนือพื้นดินมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 0.9888 g เมื่อแบ่งเติมเป็นจำนวน 2 ครั้ง ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank control และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.0 mg/kg เป็นจำนวน 1 และ 3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และมีค่าน้อยที่สุดในชุดการทดลอง blank คือมีค่าเท่ากับ 0.5328 g ผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลอง control และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.0 mg/kg เป็นจำนวน 1 2 และ 3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และเมื่อทำการเพิ่มความเข้มข้นของ citric acid เป็น 1.5 mg/kg ค่าน้ำหนักแห้งของทานตะวันในส่วนเหนือพื้นดินมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 0.8934 g เมื่อแบ่งเติมเป็นจำนวน 2 ครั้ง ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และค่าน้ำหนักแห้งของทานตะวันในส่วนเหนือพื้นดินมีค่าน้อยที่สุดในชุดการทดลอง blank คือมีค่าเท่ากับ 0.5328 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.5 mg/kg เป็นจำนวน 1 และ 2 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สำหรับ citric acid ความเข้มข้น 2.0 mg/kg พบว่าค่าน้ำหนักแห้งของทานตะวันในส่วนเหนือพื้นดินมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 0.9067 g เมื่อเติมเป็นจำนวน 1 ครั้ง ผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และมีค่าน้อยที่สุดในชุดการทดลอง blank โดยมีค่าเท่ากับ 0.5328 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 2.0 mg/kg เป็นจำนวน 1 และ 2 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากผลดังกล่าวแสดงว่าค่าน้ำหนักแห้งของทานตะวันในส่วนเหนือพื้นดินเมื่อเติม citric acid ความเข้มข้น 0.5 mg/kg แบ่งเติมเป็นจำนวน 3 ครั้ง มีแนวโน้มมากที่สุดกล่าวคือมีค่าเท่ากับ 1.1313 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลองที่

เติม citric acid ทุกชุดที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ยกเว้น ชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.0 เป็นจำนวน 2 ครั้ง

ผลการศึกษาน้ำหนักแห้งของทานตะวันในส่วนรากเมื่อเติม citric acid ความเข้มข้น 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 mg/kg ดังรูปที่ 4.3 (ข) พบว่าเมื่อเติม citric acid ความเข้มข้น 0.5 mg/kg น้ำหนักแห้งของทานตะวันในส่วนรากจะมีค่ามากที่สุดเมื่อทำการแบ่งเติมเป็นจำนวน 3 ครั้ง คือมีค่าเท่ากับ 0.0582 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank control และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 1 และ 2 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%และพบว่าน้ำหนักแห้งของทานตะวันในส่วนรากมีค่าน้อยที่สุดในชุดการทดลอง blank คือมีค่าเท่ากับ 0.0298 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และเมื่อทำการเปลี่ยนความเข้มข้นของ citric acid เป็น 1.0 mg/kg น้ำหนักแห้งของทานตะวันในส่วนรากมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 0.0584 g เมื่อทำการเติมเป็นจำนวน 2 ครั้ง ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank control และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.0 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 0.0298 g ในชุดการทดลอง blank ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.0 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ citric acid เป็น 1.5 mg/kg พบว่าน้ำหนักแห้งของทานตะวันในส่วนรากจะมีค่ามากที่สุดเมื่อเติมเป็นจำนวน 1 ครั้ง คือเท่ากับ 0.0489 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สำหรับค่าน้ำหนักแห้งของทานตะวันในส่วนรากที่น้อยที่สุดมีค่าเท่ากับ 0.0298 g ในชุดการทดลอง blank ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.5 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อใช้ความเข้มข้นของ citric acid เป็น 2.0 mg/kg พบว่าค่าน้ำหนักแห้งของทานตะวันในส่วนรากมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 0.0495 g เมื่อทำการแบ่งเติมเป็นจำนวน 3 ครั้ง ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างน้ำหนักแห้งในส่วนรากระหว่างชุดการทดลอง blank control และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 2.0 mg/kg เป็นจำนวน 1 2 และ 3 ครั้ง สำหรับค่าน้ำหนักแห้งของทานตะวันในส่วนรากน้อยที่สุดในชุดการทดลอง blank คือมีค่าเท่ากับ 0.0298 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างน้ำหนักแห้งในส่วนรากระหว่างชุดการทดลอง blank control และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 2.0 mg/kg เป็นจำนวน 1 2 และ 3 ครั้ง จากผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าค่าน้ำหนักแห้งของทานตะวันในส่วนราก จะมีแนวโน้มมากที่สุดเมื่อเติม citric acid ที่ความเข้มข้น 1.0 mg/kg โดยทำการแบ่งเติมเป็นจำนวน 2 ครั้ง คือมีค่าเท่ากับ 0.0584 g ซึ่งผลการ

วิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank ชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.0 เป็นจำนวน 1 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.5 เป็นจำนวน 3 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 2.0 เป็นจำนวน 2 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

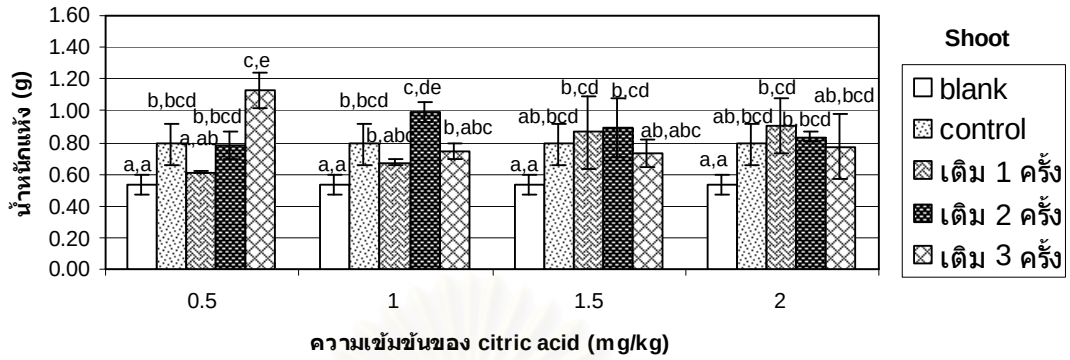
ผลการศึกษาน้ำหนักแห้งของทานตะวันทั้งต้นเมื่อเติม citric acid ความเข้มข้น 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 mg/kg ดังรูปที่ 4.3 (ค) พบว่าเมื่อเติม citric acid ความเข้มข้น 0.5 mg/kg น้ำหนักแห้งของทานตะวันทั้งต้นมีค่ามากที่สุดเมื่อแบ่งเติมเป็นจำนวน 3 ครั้ง โดยมีค่าเท่ากับ 1.1895 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank control และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 1 และ 2 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 0.5626 g ในชุดการทดลอง blank ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลอง control และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 2 และ 3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ citric acid ที่เติมเป็น 1.0 mg/kg พบว่าค่าน้ำหนักแห้งของทานตะวันทั้งต้นมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 1.0472 g โดยทำการแบ่งเติมเป็นจำนวน 2 ครั้ง ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank control และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.0 mg/kg เป็นจำนวน 1 และ 3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 0.5626 g ในชุดการทดลอง blank ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลอง control และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.0 mg/kg เป็นจำนวน 1 2 และ 3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สำหรับ citric acid ความเข้มข้น 1.5 mg/kg จะมีค่าน้ำหนักแห้งของทานตะวันทั้งต้นมากที่สุดเมื่อเติมเป็นจำนวน 2 ครั้ง โดยมีค่าเท่ากับ 0.9326 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และพบว่ามีค่าน้อยที่สุดในชุดการทดลอง blank คือมีค่าเท่ากับ 0.5626 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.5 mg/kg เป็นจำนวน 2 และ 3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปลี่ยนความเข้มข้นของ citric acid เป็น 2.0 mg/kg พบว่าค่าน้ำหนักแห้งของทานตะวันทั้งต้นมีค่ามากที่สุดเมื่อเติมเป็นจำนวน 1 ครั้ง คือมีค่าเท่ากับ 0.9535 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%และมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 0.5626 g ในชุดการทดลอง blank ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 2.0 mg/kg เป็นจำนวน 2 และ 3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากผลดังกล่าวพบว่าค่าน้ำหนักแห้งของทานตะวันทั้งต้นมีแนวโน้มมากที่สุดเมื่อเติม citric acid ความเข้มข้น 0.5 mg/kg โดยแบ่งเติมเป็นจำนวน 3 ครั้งกล่าวคือมีค่าเท่ากับ 1.1895 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติ

พบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลองที่เติม citric acid ทุกชุดที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ยกเว้น ชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.0 เป็นจำนวน 2 ครั้ง

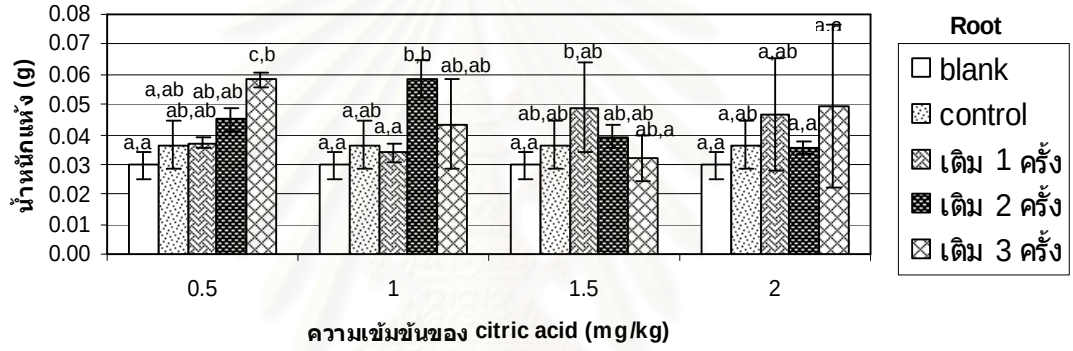
จากผลการศึกษาน้ำหนักแห้งของทานตะวันทั้งส่วนเหนือพื้นดิน ส่วนราก และทั้งต้นเมื่อเติม citric acid ความเข้มข้น 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 mg/kg พบว่าเมื่อเติม citric acid ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง มีค่าน้ำหนักแห้งของทานตะวันทั้งส่วนเหนือพื้นดินและทั้งต้นมากที่สุด กล่าวคือมีค่าเท่ากับ 1.1313 และ 1.1895 g ตามลำดับ สำหรับค่าน้ำหนักแห้งของทานตะวันในส่วนรากมีค่ามากที่สุดเมื่อเติม citric acid ความเข้มข้น 1.0 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง คือมีค่าเท่ากับ 0.0584 g สำหรับค่าน้ำหนักแห้งของทานตะวันทั้งส่วนเหนือพื้นดิน ส่วนราก และทั้งต้น มีค่าน้อยที่สุดในชุดการทดลอง blank คือมีค่าเท่ากับ 0.5328 0.0298 และ 0.5626 g ตามลำดับ ซึ่งสาเหตุที่อาจจะทำให้น้ำหนักแห้งของชุดการทดลอง blank มีค่าน้อยที่สุดได้กล่าวไว้แล้วข้างต้น จากผลแสดงว่าการเติมคีเลตที่ความเข้มข้นต่ำๆ มีแนวโน้วว่าจะมีน้ำหนักแห้งของทานตะวันมากกว่าการเติมคีเลตที่ความเข้มข้นสูงๆ สาเหตุน่าจะมาจากความเป็นพิษของตัวคีเลต ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Lombi และคณะ (2001)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

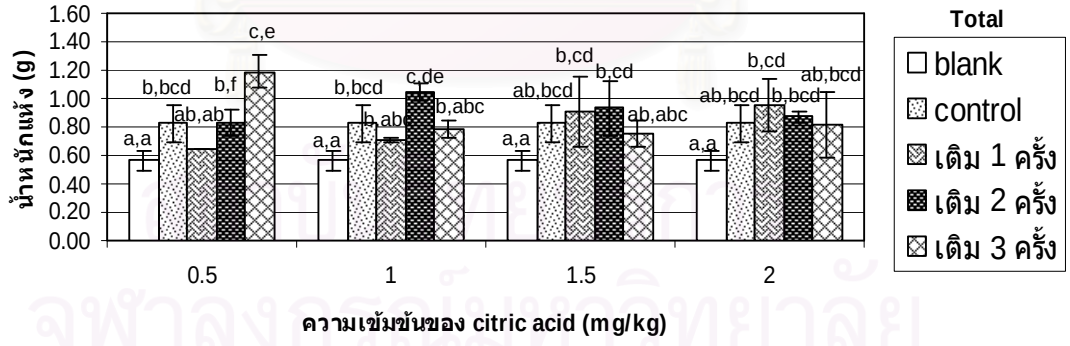
(ก)



(ข)



(ค)



รูปที่ 4.3 น้ำหนักแห้งของทานตะวันใน (ก) ส่วนเหนือพื้นดิน (ข) ส่วนราก และ (ค) ทั้งต้น ที่เติม citric acid ความเข้มข้น 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 mg/kg

หมายเหตุ: 1) ตัวอักษรตัวหน้าที่แตกต่างกันบนกราฟแต่ละแท่ง หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างความเข้มข้นเดียวกันแต่จำนวนครั้งที่แบ่งต่างกัน ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

2) ตัวอักษรตัวหลังที่แตกต่างกันบนกราฟแต่ละแท่ง หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างความเข้มข้นต่างๆ แต่จำนวนครั้งเท่ากันตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

3) Bars แสดงค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) โดย n = 3

4.2.4 น้ำหนักแห้งของทานตะวันเมื่อเติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 mg/kg EDDS และ citric acid ความเข้มข้น 0.5 mg/kg

ผลการศึกษาน้ำหนักแห้งของทานตะวันในส่วนเหนือพื้นดิน ดังรูปที่ 4.4 (ก) พบว่าเมื่อเติมตัวคีเลต 1 ครั้ง การเติม EDDS มีค่ามวลชีวภาพมากที่สุดเท่ากับ 1.1123 กรัม ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้งอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%ในขณะที่น้ำหนักแห้งน้อยที่สุดเมื่อเติม citric acid มีค่าเท่ากับ 0.6111 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้งอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และเมื่อทำการเติมตัวคีเลต 2 ครั้ง พบว่าการเติม EDTA มีค่าน้ำหนักแห้งมากที่สุดเท่ากับ 0.8440 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างน้ำหนักแห้งในส่วนเหนือพื้นดินระหว่างชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง แต่เมื่อเติม EDDS พบว่ามีค่าน้ำหนักแห้งน้อยที่สุดเท่ากับ 0.7540 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างน้ำหนักแห้งในส่วนเหนือพื้นดินระหว่างชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง และเมื่อทำการเติมตัวคีเลต 3 ครั้ง พบว่าการเติม citric acid จะมีค่าน้ำหนักแห้งมากที่สุดคือ 1.1313 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ในขณะที่การเติม EDDS มีค่าน้ำหนักแห้งน้อยที่สุดเท่ากับ 0.7057 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้งอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แสดงว่าน้ำหนักแห้งในส่วนเหนือพื้นดินมีแนวโน้มมากที่สุดเมื่อเติม citric acid เป็นจำนวน 3 ครั้ง คือมีค่าน้ำหนักแห้งเท่ากับ 1.1313 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 2 และ 3 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 1 และ 2 ครั้งอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

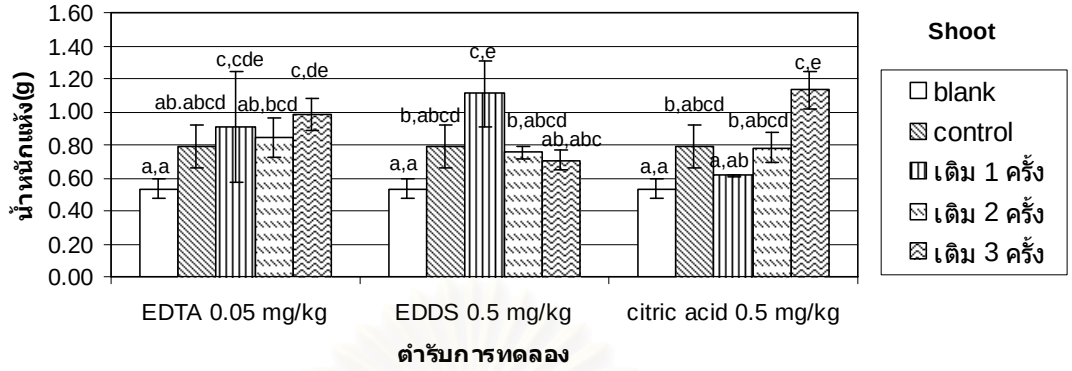
ผลการศึกษาน้ำหนักแห้งของทานตะวันในส่วนราก ดังรูปที่ 4.4 (ข) พบว่าเมื่อเติมตัวคีเลต 1 ครั้ง การเติม EDDS มีค่ามวลชีวภาพมากที่สุดเท่ากับ 0.0543 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้งอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ในขณะที่การเติม citric acid จะมีค่าน้ำหนักแห้งน้อยที่สุดเท่ากับ 0.0372 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และเมื่อทำการเติมตัวคีเลต 2 ครั้ง พบว่าการเติม EDDS ยังคงมีค่าน้ำหนักแห้งมากที่สุดคือ 0.0460 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างน้ำหนักแห้งในส่วนรากระหว่าง ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง แต่ค่าน้ำหนักแห้งน้อยที่สุดเมื่อเติม EDTA มีค่าเท่ากับ 0.0403 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างน้ำหนักแห้งในส่วนรากระหว่าง ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง และเมื่อทำการเติมตัวคีเลต 3 ครั้ง พบว่าการเติม citric acid จะมีค่าน้ำหนักแห้งมากที่สุดคือ 0.0582 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างน้ำหนักแห้งในส่วนรากระหว่าง ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง ในขณะที่การเติม EDDS มีค่าน้ำหนักแห้งน้อยที่สุดเท่ากับ 0.0437 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างน้ำหนักแห้งในส่วนรากระหว่าง ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง แสดงว่าน้ำหนักแห้งในส่วนรากมีแนวโน้มมากที่สุดเมื่อเติม citric acid เป็นจำนวน 3 ครั้งคือมีค่าน้ำหนักแห้งเท่ากับ 0.0582 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้งและชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้งอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ผลการศึกษาน้ำหนักแห้งของทานตะวันทั้งต้น ดังรูปที่ 4.4 (ค) พบว่าเมื่อเติมตัวคีเลต 1 ครั้งการเติม EDDS มีค่าน้ำหนักแห้งมากที่สุดเท่ากับ 1.1666 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ในขณะที่น้ำหนักแห้งน้อยที่สุดเมื่อเติม citric acid มีค่าเท่ากับ 0.6483 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เติมเป็นจำนวน 1 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เติมเป็นจำนวน 1 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และเมื่อทำการเติมตัวคีเลต 2 ครั้ง พบว่าการเติม EDTA มีค่าน้ำหนักแห้งมากที่สุดเท่ากับ 0.8843 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างน้ำหนักแห้งทั้งต้นระหว่าง ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง แต่เมื่อเติม EDDS พบว่ามีค่าน้ำหนักแห้งน้อยที่สุดเท่ากับ 0.8000 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างน้ำหนักแห้งทั้งต้นระหว่าง ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง และเมื่อทำการเติมตัวคีเลต 3 ครั้ง พบว่าการเติม citric acid จะมีค่าน้ำหนักแห้งมากที่สุดคือ 1.1895 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เติมเป็นจำนวน 3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%ในขณะที่การเติม EDDS มีค่าน้ำหนักแห้งน้อยที่สุดเท่ากับ 0.7494 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 mg/kg เติมเป็นจำนวน 3 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แสดงว่าน้ำหนักแห้งทั้งต้นมีแนวโน้มมากที่สุดเมื่อเติม citric acid เป็นจำนวน 3 ครั้ง คือมีค่าน้ำหนักแห้งเท่ากับ 1.1859 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 mg/kg เติมเป็นจำนวน 2 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เติมเป็นจำนวน 2 และ 3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

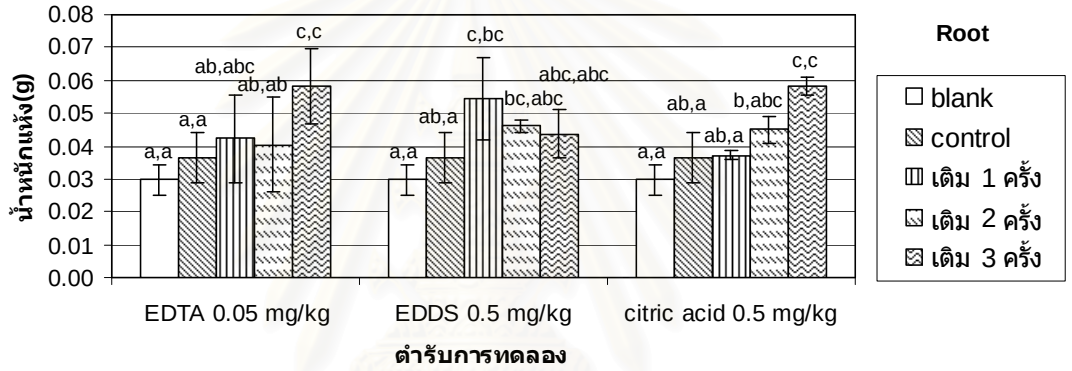
จากผลการศึกษาน้ำหนักแห้งของทานตะวันทั้งส่วนเหนือพื้นดิน ส่วนราก และทั้งต้น เมื่อเติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 และ EDDS citric acid 0.5 mg/kg พบว่าน้ำหนักแห้งทั้งส่วนเหนือพื้นดิน ส่วนราก และทั้งต้น จะมีแนวโน้มมากที่สุดเมื่อเติม citric acid เป็นจำนวน 3 ครั้ง ซึ่งสอดคล้องกับงานของ Nascimento และ คณะ(2005) ที่ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบผลของคีเลตธรรมชาติและคีเลตสังเคราะห์ต่อการดูดซับโลหะหนักโดยใช้พืช ซึ่งพืชที่ใช้คือ Indian mustard (*Brassica juncea* L.) พบว่าการเติม EDTA และ citric acid ที่ความเข้มข้นเท่ากัน การเติม citric acid จะมีมวลชีวภาพของ Indian mustard มากกว่าการเติม EDTA สาเหตุที่การเติม citric acid ทำให้น้ำหนักแห้งของทานตะวันมากกว่าการเติม EDTA น่าจะมีสาเหตุมาจากความเป็นพิษของตัวคีเลตเอง คือ citric acid มีความเป็นพิษน้อยกว่า EDTA เนื่องจาก citric acid สามารถถูกสร้างขึ้นมาได้จากเซลล์พืชอยู่แล้วดังนั้นพืชจึงทนต่อ citric acid ได้ในปริมาณสูงกว่า EDTA และเมื่อเติม citric acid พืชอาจจะนำไปใช้ใน Kreb's cycle

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

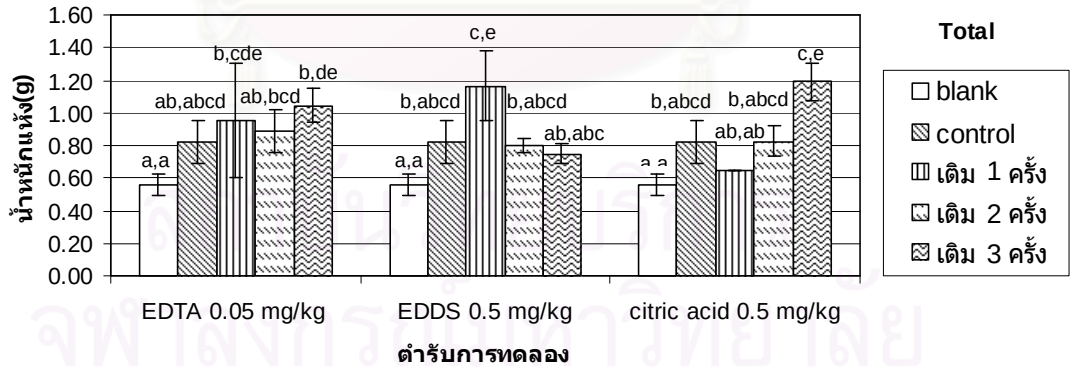
(ก)



(ข)



(ค)



รูปที่ 4.4 น้ำหนักแห้งของทานตะวันใน (ก) ส่วนเหนือพื้นดิน (ข) ส่วนราก และ (ค) ทั้งต้น ที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 mg/kg ส่วน EDDS และ citric acid ความเข้มข้น 0.5 mg/kg

หมายเหตุ: 1) ตัวอักษรตัวหน้าที่แตกต่างกันบนกราฟแต่ละแท่ง หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างคีเลตชนิดเดียวกันแต่วิธีการเติมต่างกัน ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

2) ตัวอักษรตัวหลังที่แตกต่างกันบนกราฟแต่ละแท่ง หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างคีเลตทั้ง 3 ชนิด แต่จำนวนครั้งเท่ากันตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

3) Bars แสดงค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) โดย n = 3

4.2.5 น้ำหนักแห้งของทานตะวันเมื่อเติม EDTA ความเข้มข้น 0.1 mg/kg EDDS และ citric acid ความเข้มข้น 1.0 mg/kg

ผลการศึกษาน้ำหนักแห้งของทานตะวันในส่วนเหนือพื้นดิน ดังรูปที่ 4.5 (ก) พบว่าเมื่อเติมตัวคีเลต 1 ครั้ง การเติม EDTA มีค่าน้ำหนักแห้งมากที่สุดเท่ากับ 0.9450 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.0 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ในขณะที่น้ำหนักแห้งน้อยที่สุดเมื่อเติม citric acid มีค่าเท่ากับ 0.6749 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.1 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 0.1 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้งอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และเมื่อทำการเติมตัวคีเลต 2 ครั้ง พบว่าการเติม citric acid มีค่าน้ำหนักแห้งมากที่สุดเท่ากับ 0.9888 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างน้ำหนักแห้งในส่วนเหนือพื้นดินระหว่างชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.1 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.0 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.0 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง แต่เมื่อเติม EDDS พบว่ามีค่าน้ำหนักแห้งน้อยที่สุดเท่ากับ 0.7807 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างน้ำหนักแห้งในส่วนเหนือพื้นดินระหว่างชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.1 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.0 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.0 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง และเมื่อทำการเติมตัวคีเลต 3 ครั้ง พบว่าการเติม EDDS จะมีค่าน้ำหนักแห้งมากที่สุดคือ 0.7993 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างน้ำหนักแห้งในส่วนเหนือพื้นดินระหว่างชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.1 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.0 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.0 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้งในขณะที่การเติม EDTA มีค่าน้ำหนักแห้งน้อยที่สุดเท่ากับ 0.7410 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างน้ำหนักแห้งในส่วนเหนือพื้นดินระหว่างชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.1 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.0 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.0 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง แสดงว่าน้ำหนักแห้งในส่วนเหนือพื้นดินมีแนวโน้มมากที่สุดเมื่อเติม citric acid เป็นจำนวน 2 ครั้ง คือมีค่าน้ำหนักแห้งเท่ากับ 0.9888 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

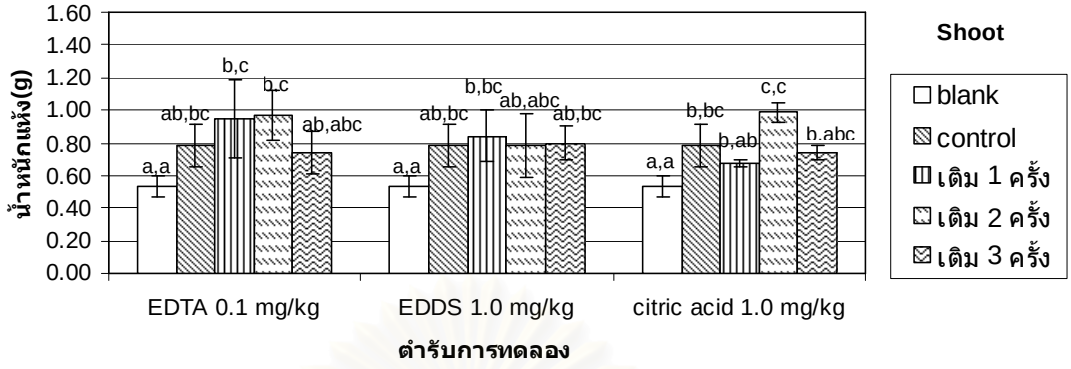
ผลการศึกษาน้ำหนักแห้งของทานตะวันในส่วนราก ดังรูปที่ 4.5 (ข) พบว่าเมื่อเติมตัวคีเลต 1 ครั้ง การเติม EDTA มีค่าน้ำหนักแห้งมากที่สุด คือมีค่าเท่ากับ 0.0475 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างน้ำหนักแห้งในส่วนรากระหว่างชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.1 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.0 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.0 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง แต่เมื่อเติม citric acid พบว่ามีค่าน้ำหนักแห้งน้อยที่สุดเท่ากับ 0.0339 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างน้ำหนักแห้งในส่วนรากระหว่างชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.1 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.0 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.0 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง และเมื่อทำการเติมตัวคีเลต 2 ครั้ง พบว่าการเติม citric acid มีค่าน้ำหนักแห้งมากที่สุด คือมีค่าเท่ากับ 0.0584 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างน้ำหนักแห้งในส่วนรากระหว่างชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.1 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.0 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.0 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง ในขณะที่น้ำหนักแห้งน้อยที่สุดเมื่อเติม EDDS มีค่าเท่ากับ 0.0407 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างน้ำหนักแห้งในส่วนรากระหว่างชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.1 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.0 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.0 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง เมื่อทำการเติมตัวคีเลต 3 ครั้งพบว่าค่าน้ำหนักแห้งมีค่ามากที่สุดเมื่อเติม EDDS เท่ากับ 0.0450 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างน้ำหนักแห้งในส่วนรากระหว่างชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.1 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.0 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.0 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้งและเมื่อเติม EDTA ค่าน้ำหนักแห้งมีค่าน้อยที่สุดคือเท่ากับ 0.0357 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างน้ำหนักแห้งในส่วนรากระหว่างชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.1 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.0 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.0 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง แสดงว่าน้ำหนักแห้งในส่วนรากมีแนวโน้มมากที่สุดเมื่อเติม citric acid เป็นจำนวน 2 ครั้ง คือมีค่าน้ำหนักแห้งเท่ากับ 0.0584 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank control ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.1 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ผลการศึกษาน้ำหนักแห้งของทานตะวันทั้งต้น ดังรูปที่ 4.5 (ค) พบว่า เมื่อเติมตัวคีเลต 1 ครั้งการเติม EDTA มีค่าน้ำหนักแห้งมากที่สุดเท่ากับ 0.9925 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.0 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ในขณะที่น้ำหนักแห้งน้อยที่สุดเมื่อเติม citric acid มีค่าเท่ากับ 0.7088 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.1 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.0 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และเมื่อทำการเติมตัวคีเลต 2 ครั้ง พบว่าการเติม citric acid มีค่าน้ำหนักแห้งมากที่สุดเท่ากับ 1.0472 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างน้ำหนักแห้งทั้งต้นระหว่างชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.1 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.0 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.0 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง แต่เมื่อเติม EDDS พบว่ามีค่าน้ำหนักแห้งน้อยที่สุดเท่ากับ 0.8214 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างน้ำหนักแห้งทั้งต้นระหว่างชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.1 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.0 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.0 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง และเมื่อทำการเติมตัวคีเลต 3 ครั้ง พบว่าการเติม EDDS จะมีค่าน้ำหนักแห้งมากที่สุดคือ 0.8443 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างน้ำหนักแห้งทั้งต้นระหว่างชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.1 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.0 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.0 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง ในขณะที่การเติม EDTA มีค่าน้ำหนักแห้งน้อยที่สุดเท่ากับ 0.7767 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างน้ำหนักแห้งทั้งต้นระหว่างชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.1 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.0 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.0 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง แสดงว่าน้ำหนักแห้งทั้งต้นมีแนวโน้มมากที่สุดเมื่อเติม citric acid เป็นจำนวน 2 ครั้งคือมีค่าน้ำหนักแห้งเท่ากับ 1.0472 กรัม ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

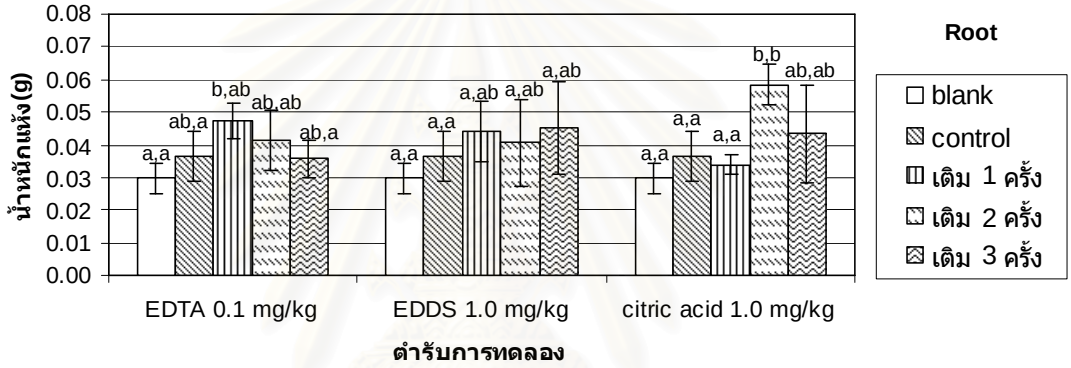
จากผลการศึกษาน้ำหนักแห้งของทานตะวันทั้ง ส่วนเหนือพื้นดิน ส่วนราก และทั้งต้น เมื่อความเข้มข้น EDTA เท่ากับ 0.1 และ EDDS citric acid 1.0 mg/kg พบว่าน้ำหนักแห้งทั้ง ส่วนเหนือพื้นดิน ส่วนราก และทั้งต้น จะมีแนวโน้มมากที่สุดเมื่อเติม citric acid เป็นจำนวน 2 ครั้ง ซึ่งสอดคล้องกับงานของ Nascimento และ คณะ (2005) ที่กล่าวไว้แล้วข้างต้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

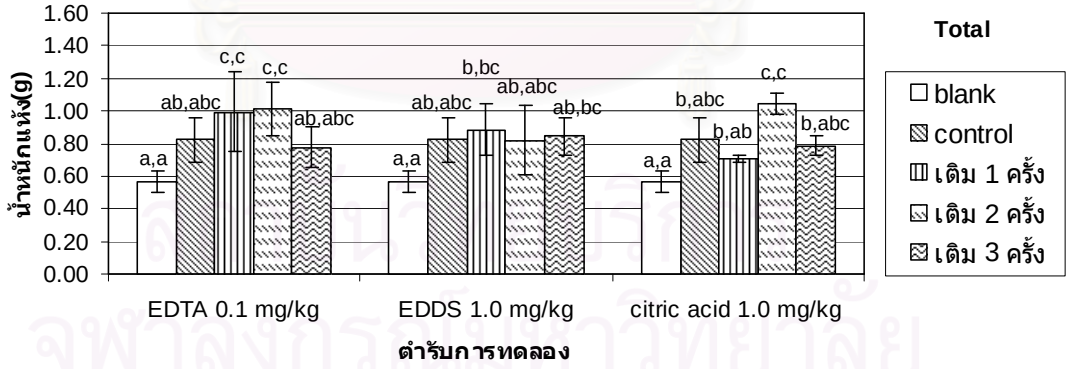
(ก)



(ข)



(ค)



รูปที่ 4.5 น้ำหนักแห้งของทานตะวันใน (ก) ส่วนเหนือพื้นดิน (ข) ส่วนราก และ (ค) ทั้งต้น ที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.1 mg/kg ส่วน EDDS และ citric acid ความเข้มข้น 1.0 mg/kg

หมายเหตุ: 1) ตัวอักษรตัวหน้าที่แตกต่างกันบนกราฟแต่ละแท่ง หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างคีเลตชนิดเดียวกันแต่วิธีการเติมต่างกัน ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

2) ตัวอักษรตัวหลังที่แตกต่างกันบนกราฟแต่ละแท่ง หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างคีเลตทั้ง 3 ชนิด แต่จำนวนครั้งเท่ากันตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

3) Bars แสดงค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) โดย n = 3

4.2.6 น้ำหนักแห้งของทานตะวันเมื่อเติม EDTA ความเข้มข้น 0.15 mg/kg EDDS และ citric acid ความเข้มข้น 1.5 mg/kg

ผลการศึกษาน้ำหนักแห้งของทานตะวันในส่วนเหนือพื้นดิน ดังรูปที่ 4.6 (ก) พบว่าเมื่อเติมตัวคีเลต 1 ครั้ง การเติม citric acid มีค่าน้ำหนักแห้งมากที่สุดเท่ากับ 0.8648 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างน้ำหนักแห้งในส่วนเหนือพื้นดินระหว่างชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.15 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.5 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.5 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง ในขณะที่น้ำหนักแห้งน้อยที่สุดเมื่อเติม EDDS มีค่าเท่ากับ 0.6933 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างน้ำหนักแห้งในส่วนเหนือพื้นดินระหว่างชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.15 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.5 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.5 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง และเมื่อทำการเติมตัวคีเลต 2 ครั้ง พบว่าการเติม EDDS มีค่าน้ำหนักแห้งมากที่สุดเท่ากับ 0.9053 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างน้ำหนักแห้งในส่วนเหนือพื้นดินระหว่างชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.15 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.5 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.5 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง แต่เมื่อเติม EDTA พบว่ามีค่าน้ำหนักแห้งน้อยที่สุดเท่ากับ 0.8400 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างน้ำหนักแห้งในส่วนเหนือพื้นดินระหว่างชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.15 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.5 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.5 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง และเมื่อทำการเติมตัวคีเลต 3 ครั้ง พบว่าการเติม EDTA จะมีค่าน้ำหนักแห้งมากที่สุดคือ 0.8453 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างน้ำหนักแห้งในส่วนเหนือพื้นดินระหว่างชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.15 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.5 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.5 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง ในขณะที่การเติม EDDS มีค่าน้ำหนักแห้งน้อยที่สุดเท่ากับ 0.5807 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างน้ำหนักแห้งในส่วนเหนือพื้นดินระหว่างชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.15 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.5 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.5 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง แสดงว่าน้ำหนักแห้งในส่วนเหนือพื้นดินมีแนวโน้มมากที่สุดเมื่อเติม

EDDS เป็นจำนวน 2 ครั้ง คือมีค่าน้ำหนักแห้งเท่ากับ 0.9053 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

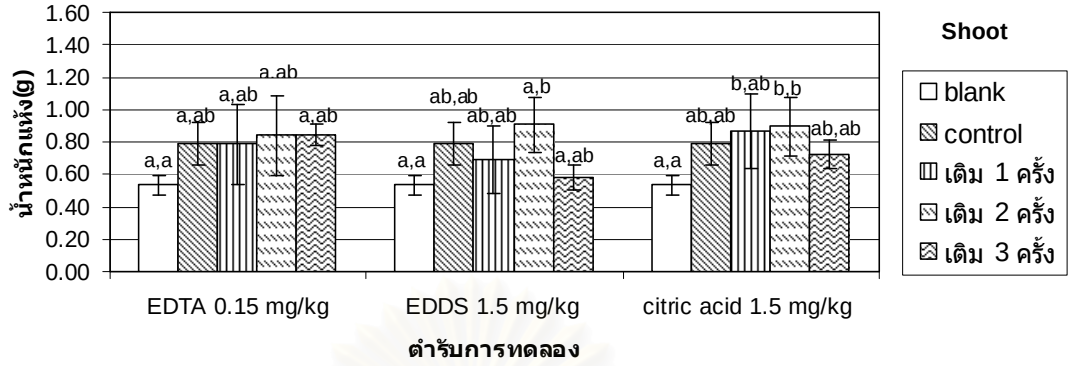
ผลการศึกษาน้ำหนักแห้งของทานตะวันในส่วนราก ดังรูปที่ 4.6 (ข) พบว่าเมื่อเติมตัวคีเลต 1 ครั้ง การเติม citric acid มีค่ามวลชีวภาพมากที่สุดเท่ากับ 0.0489 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างน้ำหนักแห้งในรากระหว่างชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.15 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.5 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.5 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง ในขณะที่การเติม EDDS จะมีค่าน้ำหนักแห้งน้อยที่สุดเท่ากับ 0.0380 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างน้ำหนักแห้งในรากระหว่างชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.15 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.5 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.5 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง และเมื่อทำการเติมตัวคีเลต 2 ครั้ง พบว่าการเติม EDDS มีค่าน้ำหนักแห้งมากที่สุดคือ 0.0493 ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างน้ำหนักแห้งในรากระหว่างชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.15 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.5 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.5 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง แต่ค่าน้ำหนักแห้งน้อยที่สุดเมื่อเติม citric acid มีค่าเท่ากับ 0.0392 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างน้ำหนักแห้งในรากระหว่างชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.15 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.5 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.5 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง และเมื่อทำการเติมตัวคีเลต 3 ครั้ง พบว่าการเติม EDTA จะมีค่าน้ำหนักแห้งมากที่สุดคือ 0.0417 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างน้ำหนักแห้งในรากระหว่างชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.15 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.5 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.5 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้งในขณะที่การเติม EDDS และ citric acid มีค่าน้ำหนักแห้งน้อยที่สุดเท่ากับ 0.0320 ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างน้ำหนักแห้งในรากระหว่างชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.15 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.5 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.5 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง แสดงว่าน้ำหนักแห้งในส่วนรากมีแนวโน้มมากที่สุดเมื่อเติม EDDS เป็นจำนวน 2 ครั้ง คือมีค่าน้ำหนักแห้งเท่ากับ 0.0493 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ผลการศึกษาน้ำหนักแห้งของทานตะวันทั้งต้น ดังรูปที่ 4.6 (ค) พบว่าเมื่อเติมตัวคีเลต 1 ครั้งการเติม citric acid มีค่าน้ำหนักแห้งมากที่สุดเท่ากับ 0.9137 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างน้ำหนักแห้งทั้งต้นระหว่างชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.15 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.5 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.5 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง ในขณะที่น้ำหนักแห้งน้อยที่สุดเมื่อเติม EDDS มีค่าเท่ากับ 0.7313 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างน้ำหนักแห้งทั้งต้นระหว่างชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.15 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.5 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.5 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง และเมื่อทำการเติมตัวคีเลต 2 ครั้ง พบว่าการเติม EDDS มีค่าน้ำหนักแห้งมากที่สุดเท่ากับ 0.9546 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างน้ำหนักแห้งทั้งต้นระหว่างชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.15 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.5 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.5 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง แต่เมื่อเติม EDTA พบว่ามีค่าน้ำหนักแห้งน้อยที่สุดเท่ากับ 0.8803 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างน้ำหนักแห้งทั้งต้นระหว่างชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.15 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.5 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.5 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง และเมื่อทำการเติมตัวคีเลต 3 ครั้ง พบว่าการเติม EDTA จะมีค่าน้ำหนักแห้งมากที่สุดคือ 0.8870 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างน้ำหนักแห้งทั้งต้นระหว่างชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.15 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.5 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.5 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง ในขณะที่การเติม EDDS มีค่าน้ำหนักแห้งน้อยที่สุดเท่ากับ 0.6127 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างน้ำหนักแห้งทั้งต้นระหว่างชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.15 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.5 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.5 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง แสดงว่าน้ำหนักแห้งทั้งต้นมีแนวโน้มมากที่สุดเมื่อเติม EDDS เป็นจำนวน 2 ครั้ง คือมีค่าน้ำหนักแห้งเท่ากับ 0.9546 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

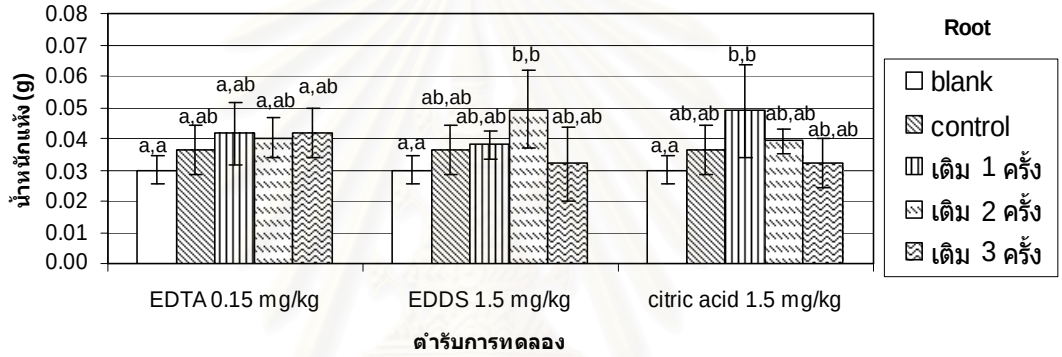
จากผลการศึกษาน้ำหนักแห้งของทานตะวันทั้งส่วนเหนือพื้นดิน ส่วนราก และทั้งต้น เมื่อความเข้มข้น EDTA เท่ากับ 0.15 และ EDDS citric acid 1.5 mg/kg พบว่าน้ำหนักแห้งทั้งส่วนเหนือพื้นดิน ส่วนราก และทั้งต้น จะมีแนวโน้มมากที่สุดเมื่อเติม EDDS เป็นจำนวน 2 ครั้ง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

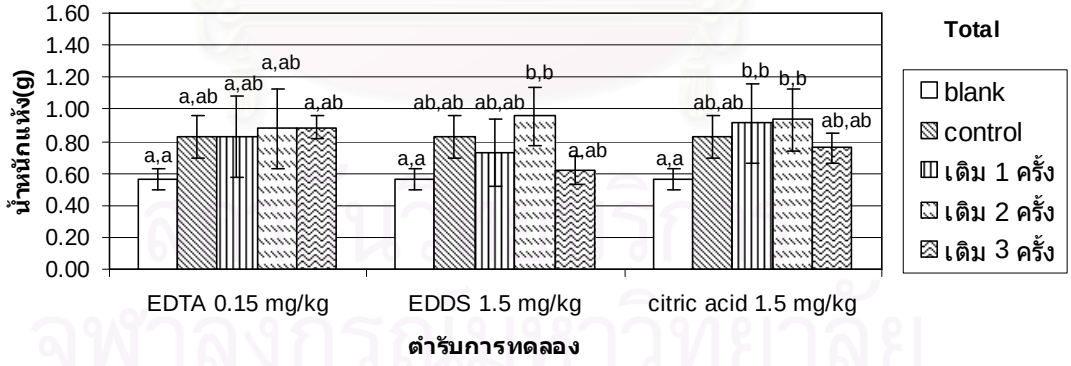
(ก)



(ข)



(ค)



รูปที่ 4.6 น้ำหนักแห้งของทานตะวันใน (ก) ส่วนเหนือพื้นดิน (ข) ส่วนราก และ (ค) ทั้งต้น ที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.15 mg/kg ส่วน EDDS และ citric acid ความเข้มข้น 1.5 mg/kg

หมายเหตุ: 1) ตัวอักษรตัวหน้าที่แตกต่างกันบนกราฟแต่ละแท่ง หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างคีเลตชนิดเดียวกันแต่วิธีการเติมต่างกัน ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

2) ตัวอักษรตัวหลังที่แตกต่างกันบนกราฟแต่ละแท่ง หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างคีเลตทั้ง 3 ชนิดแต่จำนวนครั้งเท่ากันตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

3) Bars แสดงค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) โดย n = 3

4.2.7 น้ำหนักแห้งของทานตะวันเมื่อเติม EDTA ความเข้มข้น 0.2 mg/kg EDDS และ citric acid ความเข้มข้น 2.0 mg/kg

ผลการศึกษาน้ำหนักแห้งของทานตะวันในส่วนเหนือพื้นดิน ดังรูปที่ 4.7 (ก) พบว่าเมื่อเติมตัวคีเลต 1 ครั้ง การเติม EDTA มีค่าน้ำหนักแห้งมากที่สุดเท่ากับ 0.9183 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างน้ำหนักแห้งในส่วนเหนือพื้นดินระหว่างชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.2 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 2.0 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 2.0 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้งในขณะที่น้ำหนักแห้งน้อยที่สุดเมื่อเติม EDDS มีค่าเท่ากับ 0.8333 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างน้ำหนักแห้งในส่วนเหนือพื้นดินระหว่างชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.2 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 2.0 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 2.0 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง และเมื่อทำการเติมตัวคีเลต 2 ครั้ง พบว่าการเติม citric acid มีค่าน้ำหนักแห้งมากที่สุดเท่ากับ 0.8344 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างน้ำหนักแห้งในส่วนเหนือพื้นดินระหว่างชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.2 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 2.0 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 2.0 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง แต่เมื่อเติม EDTA พบว่ามีค่าน้ำหนักแห้งน้อยที่สุดเท่ากับ 0.7297 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างน้ำหนักแห้งในส่วนเหนือพื้นดินระหว่างชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.2 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 2.0 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 2.0 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง และเมื่อทำการเติมตัวคีเลต 3 ครั้ง พบว่าการเติม EDDS จะมีค่าน้ำหนักแห้งมากที่สุดคือ 0.8673 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.2 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ในขณะที่การเติม EDTA มีค่าน้ำหนักแห้งน้อยที่สุดเท่ากับ 0.5315 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่า ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 2.0 mg/kg เติมเป็นจำนวน 3 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 2.0 mg/kg เติมเป็นจำนวน 3 อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แสดงว่าน้ำหนักแห้งในส่วนเหนือพื้นดินมีแนวโน้มมากที่สุดเมื่อเติม EDTA เป็นจำนวน 1 ครั้ง คือมีค่าน้ำหนักแห้งเท่ากับ 0.9138 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ผลการศึกษาน้ำหนักแห้งของทานตะวันในส่วนราก ดังรูปที่ 4.7 (ข) พบว่าเมื่อเติมตัวคีเลต 1 ครั้ง การเติม EDTA มีค่าน้ำหนักแห้งมากที่สุด คือมีค่าเท่ากับ 0.0490 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างน้ำหนักแห้งในส่วนรากระหว่างชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.2 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 2.0 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 2.0 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง แต่เมื่อเติม EDDS พบว่ามีค่าน้ำหนักแห้งน้อยที่สุดเท่ากับ 0.0437 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างน้ำหนักแห้งในส่วนรากระหว่างชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.2 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 2.0 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 2.0 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง และเมื่อทำการเติมตัวคีเลต 2 ครั้ง พบว่าการเติม EDTA มีค่าน้ำหนักแห้งมากที่สุด คือมีค่าเท่ากับ 0.0490 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างน้ำหนักแห้งในส่วนรากระหว่างชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.2 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 2.0 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 2.0 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง ในขณะที่น้ำหนักแห้งน้อยที่สุดเมื่อเติม citric acid มีค่าเท่ากับ 0.0355 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างน้ำหนักแห้งในส่วนรากระหว่างชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.2 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 2.0 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 2.0 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง เมื่อทำการเติมตัวคีเลต 3 ครั้ง พบว่าค่าน้ำหนักแห้งมีค่ามากที่สุดเมื่อเติม citric acid เท่ากับ 0.0495 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างน้ำหนักแห้งในส่วนรากระหว่างชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.2 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 2.0 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 2.0 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง และเมื่อเติม EDTA ค่าน้ำหนักแห้งมีค่าน้อยที่สุดคือเท่ากับ 0.0280 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างน้ำหนักแห้งในส่วนรากระหว่างชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.2 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 2.0 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 2.0 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง แสดงว่าน้ำหนักแห้งในส่วนรากมีแนวโน้มมากที่สุดเมื่อเติม citric acid เป็นจำนวน 3 ครั้ง คือมีค่ามวลชีวภาพเท่ากับ 0.0495 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างน้ำหนักแห้งในส่วนรากระหว่างชุดการทดลอง blank control ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.2 mg/kg ทุกชุด ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 2.0 mg/kg ทุกชุด และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 2.0 mg/kg ทุกชุด

ผลการศึกษาน้ำหนักแห้งของทานตะวันทั้งต้น ดังรูปที่ 4.7 (ค) พบว่าเมื่อเติมตัวคีเลต 1 ครั้ง การเติม EDTA มีค่าน้ำหนักแห้งมากที่สุดเท่ากับ 0.9673 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างน้ำหนักแห้งทั้งต้นระหว่างชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.2 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 2.0 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 2.0 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้งในขณะที่น้ำหนักแห้งน้อยที่สุดเมื่อเติม EDDS มีค่าเท่ากับ 0.8770 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างน้ำหนักแห้งทั้งต้นระหว่างชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.2 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 2.0 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 2.0 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง และเมื่อทำการเติมตัวคีเลต 2 ครั้ง พบว่าการเติม citric acid มีค่าน้ำหนักแห้งมากที่สุดเท่ากับ 0.8699 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างน้ำหนักแห้งทั้งต้นระหว่างชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.2 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 2.0 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 2.0 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง แต่เมื่อเติม EDTA พบว่ามีค่าน้ำหนักแห้งน้อยที่สุดเท่ากับ 0.7787 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างน้ำหนักแห้งทั้งต้นระหว่างชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.2 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 2.0 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 2.0 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง และเมื่อทำการเติมตัวคีเลต 3 ครั้ง พบว่าการเติม EDDS จะมีค่าน้ำหนักแห้งมากที่สุดคือ 0.9143 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.2 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ในขณะที่การเติม EDTA มีค่าน้ำหนักแห้งน้อยที่สุดเท่ากับ 0.5595 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 2.0 mg/kg เติมเป็นจำนวน 3 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 2.0 mg/kg เติมเป็นจำนวน 3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แสดงว่าน้ำหนักแห้งทั้งต้นมีแนวโน้มมากที่สุดเมื่อเติม EDTA เป็นจำนวน 1 ครั้ง คือมีค่าน้ำหนักแห้งเท่ากับ 0.9673 g ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank และชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 2.0 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

จากผลการศึกษาน้ำหนักแห้งของทานตะวันทั้งส่วนเหนือพื้นดิน ส่วนราก และทั้งต้น เมื่อความเข้มข้น EDTA เท่ากับ 0.2 และ EDDS citric acid 2.0 mg/kg พบว่าน้ำหนักแห้งส่วนเหนือพื้นดินและทั้งต้น จะมีแนวโน้มมากที่สุดเมื่อเติม EDTA เป็นจำนวน 1 ครั้ง สำหรับส่วนราก มีค่ามากที่สุดเมื่อเติม citric acid เป็นจำนวน 3 ครั้ง

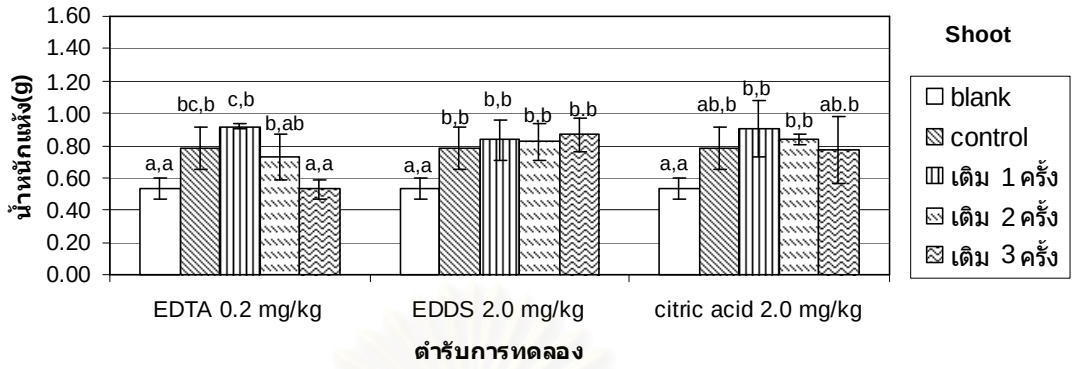
จากผลการศึกษาน้ำหนักแห้งของทานตะวันเมื่อความเข้มข้นคีเลตต่างๆกัน พบว่าส่วนเหนือพื้นดินและทั้งต้น พบว่ามีค่าน้ำหนักแห้งมีแนวโน้มมากที่สุดเมื่อเติม citric acid ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง มีค่าเท่ากับ 1.1313 และ 1.1895 g ตามลำดับ สำหรับส่วนราก น้ำหนักแห้งมีแนวโน้มมากที่สุดเมื่อเติม citric acid ความเข้มข้น 1.0 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้งคือมีค่าเท่ากับ 0.0584 g แสดงให้เห็นว่า citric acid มีผลกระทบต่อน้ำหนักแห้งของทานตะวันน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับ EDTA และ EDDS ที่ความเข้มข้นและจำนวนครั้งในการเติมต่างๆ สาเหตุเพราะ citric acid สามารถสร้างขึ้นได้ภายในเซลล์พืชจึงทำให้พืชสามารถทน citric acid ได้ในปริมาณที่สูงกว่า EDTA และ EDDS และพืชมีการใช้ citric acid ในกระบวนการ Kreb's cycle ดังนั้นเมื่อมีการเติม citric acid พืชจึงสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ซึ่งต่างจาก EDTA และ EDDS

ผลของการเติมแคดเมียมต่อของน้ำหนักแห้งของทานตะวันพบว่าน้ำหนักแห้งของทานตะวันจะเพิ่มขึ้นในชุดการทดลอง control เมื่อเทียบกับชุดการทดลอง blank น่าจะมีผลจากการเติมแคดเมียมซึ่งในงานวิจัยนี้เติมในรูป $Cd(NO_3)_2.4H_2O$ ซึ่งอาจจะมีผลไปเพิ่มปริมาณไนโตรเจนให้กับชุดการทดลองที่เติมแคดเมียม

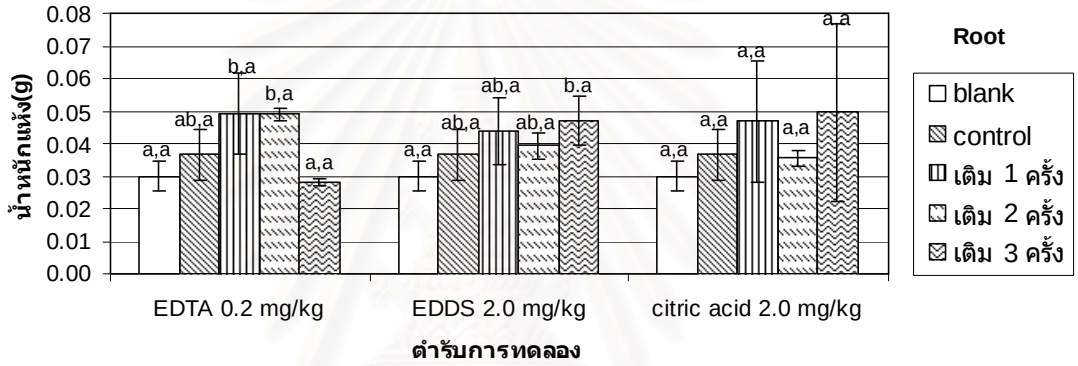
ผลของการเติมคีเลตต่อของน้ำหนักแห้งของทานตะวันพบว่าน้ำหนักแห้งของทานตะวันพบการเติมคีเลตความเข้มข้นต่ำๆ จะมีแนวโน้มว่าน้ำหนักแห้งจะมีค่าสูงกว่าการเติมคีเลตที่ความเข้มข้นสูงๆ อาจเป็นเพราะการใช้คีเลตที่ความเข้มข้นสูงๆ จะทำให้เกิดความเป็นพิษต่อพืช

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

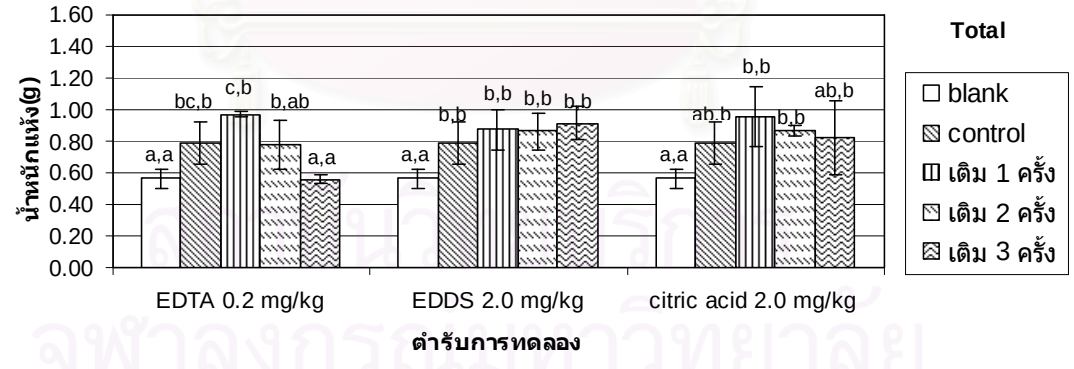
(ก)



(ข)



(ค)



รูปที่ 4.7 น้ำหนักแห้งของทานตะวันใน (ก) ส่วนเหนือพื้นดิน (ข) ส่วนราก และ (ค) ทั้งต้น ที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.2 mg/kg ส่วน EDDS และ citric acid ความเข้มข้น 2.0 mg/kg

หมายเหตุ: 1) ตัวอักษรตัวหน้าที่แตกต่างกันบนกราฟแต่ละแท่ง หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างคีเลตชนิดเดียวกันแต่วิธีการเติมต่างกัน ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

2) ตัวอักษรตัวหลังที่แตกต่างกันบนกราฟแต่ละแท่ง หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างคีเลตทั้ง 3 ชนิด แต่จำนวนครั้งเท่ากันตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

3) Bars แสดงค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) โดย n = 3

4.3 การสะสมแคดเมียมในทานตะวัน

การสะสมแคดเมียมในทานตะวันจะแบ่งเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนเหนือพื้นดิน ส่วนราก และทั้งต้น ซึ่งข้อมูลการสะสมแคดเมียมในทานตะวันได้แสดงไว้ดังรูปที่ 4.8- 4.14

4.3.1 การสะสมแคดเมียมในทานตะวันเมื่อเติม EDTA ความเข้มข้นต่างกัน

ผลการศึกษาความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันในส่วนเหนือพื้นดินเมื่อเติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 0.1 0.15 และ 0.2 mg/kg ดังรูปที่ 4.8 (ก) พบว่าค่าความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันในส่วนเหนือพื้นดินเมื่อทำการเติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 mg/kg มีค่ามากที่สุดในชุดการทดลอง control โดยมีค่าเท่ากับ 13 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากผลดังกล่าวสอดคล้องกับงานของ Turgut และคณะ (2004) ซึ่งได้ทำการศึกษาผลของ EDTA และ citric acid ต่อการสะสมแคดเมียม โครเมียม และนิกเกิล ของทานตะวัน 2 พันธุ์ คือ พันธุ์ dwarf sunspot และ teddy bear โดยพบว่าทานตะวันพันธุ์ dwarf sunspot มีการสะสมแคดเมียมในส่วนลำต้นในชุดการทดลอง control มากกว่าชุดการทดลองที่เติม citric acid และมีค่าน้อยที่สุดในชุดการทดลอง blank กล่าวคือมีค่าเท่ากับ 5 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลอง control อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และเมื่อทำการเติม EDTA ความเข้มข้น 0.1 mg/kg พบว่าความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันในส่วนเหนือพื้นดิน มีค่ามากที่สุดเท่ากับ 15 mg/kg เมื่อเติมเป็นจำนวน 1 ครั้ง ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และมีค่าน้อยที่สุดในชุดการทดลอง blank คือมีค่าเท่ากับ 5 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลอง control และชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.1 เป็นจำนวน 1 และ 3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และเมื่อทำการเพิ่มความเข้มข้นของ EDTA เป็น 0.15 mg/kg ค่าความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันในส่วนเหนือพื้นดินมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 17 mg/kg เมื่อเติมเป็นจำนวน 1 ครั้ง ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และค่าความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันในส่วนเหนือพื้นดินมีค่าน้อยที่สุดในชุดการทดลอง blank คือมีค่าเท่ากับ 5 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลอง control ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.15 เป็นจำนวน 1 2 และ 3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สำหรับ EDTA ความเข้มข้น 0.2 mg/kg พบว่าค่าความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันในส่วนเหนือ

พื้นดินมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 13 mg/kg เมื่อเติมเป็นจำนวน 3 ครั้ง ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank และชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.2 เป็นจำนวน 1 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และมีค่าน้อยที่สุดในชุดการทดลอง blank โดยมีค่าเท่ากับ 5 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลอง control ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.2 เป็นจำนวน 2 และ 3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากผลดังกล่าวแสดงว่าค่าความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันในส่วนเหนือพื้นดินเมื่อเติม EDTA ความเข้มข้น 0.15 mg/kg เมื่อเติมเป็นจำนวน 1 ครั้ง มีแนวโน้มมากที่สุด กล่าวคือมีค่าเท่ากับ 17 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 mg/kg เป็นจำนวน 1 2 และ 3 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.1 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 1.5 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 2.0 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ผลการศึกษาความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันในส่วนรากเมื่อเติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 0.1 0.15 และ 0.2 mg/kg ดังรูปที่ 4.8 (ข) พบว่าเมื่อเติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 mg/kg ความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันในส่วนรากจะมีค่ามากที่สุดเมื่อทำการเติมเป็นจำนวน 1 ครั้ง คือมีค่าเท่ากับ 168 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติไม่พบความแตกต่างของความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในส่วนรากระหว่าง ชุดการทดลอง blank control และชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 เป็นจำนวน 1 2 และ 3 ครั้ง และพบว่าความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันในส่วนรากมีค่าน้อยที่สุดในชุดการการทดลอง blank คือมีค่าเท่ากับ 93 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติไม่พบความแตกต่างของความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในส่วนรากระหว่าง ชุดการทดลอง blank control และชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 เป็นจำนวน 1 2 และ 3 ครั้ง และเมื่อทำการเปลี่ยนความเข้มข้นของ EDTA เป็น 0.1 mg/kg ความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันในส่วนรากมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 208 mg/kg เมื่อทำการเติมเป็นจำนวน 1 ครั้ง ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank และชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.1 เป็นจำนวน 2 และ 3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 93 mg/kg ในชุดการการทดลอง blank ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลอง control และชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.1 เป็นจำนวน 1 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ EDTA เป็น 0.15 mg/kg พบว่าความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันในส่วนรากจะมีค่ามากที่สุดเมื่อแบ่งเติมเป็นจำนวน 2 ครั้ง คือเท่ากับ 222 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank control ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.15 เป็นจำนวน 1 และ 3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สำหรับ

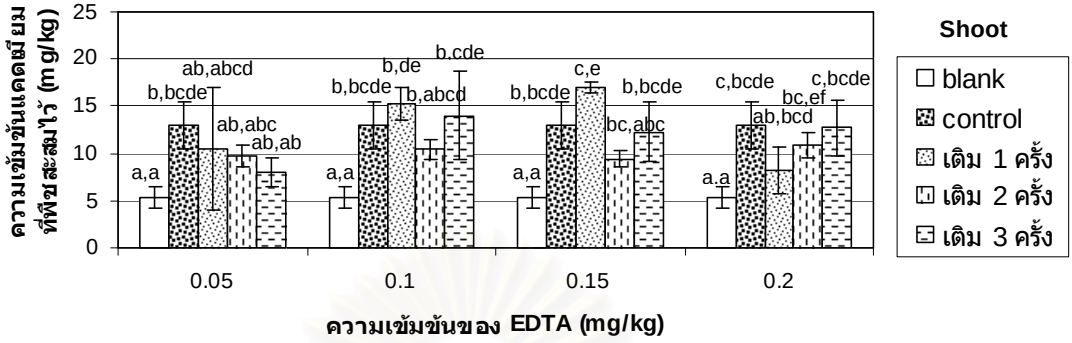
ค่าความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันในส่วนรากที่น้อยที่สุดมีค่าเท่ากับ 93 mg/kg ในชุดการการทดลอง blank ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.15 เป็นจำนวน 2 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อใช้ความเข้มข้นของ EDTA เป็น 0.2 mg/kg พบว่าค่าความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันในส่วนรากมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 166 mg/kg ในชุดการทดลอง control ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.2 เป็นจำนวน 1 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Turgut และคณะ (2004) ซึ่งพบว่าในส่วนรากของชุดการทดลอง control มีการสะสมแคดเมียมมากกว่าชุดการทดลองที่เติม citric acid ดังการทดลองที่กล่าวไว้แล้วข้างต้น สำหรับค่าความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันในส่วนรากน้อยที่สุดในชุดการการทดลอง blank คือมีค่าเท่ากับ 93 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลอง control ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.2 เป็นจำนวน 2 และ 3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าค่าความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันในส่วนรากจะมีค่ามากที่สุดเมื่อเติม EDTA ที่ความเข้มข้น 0.15 mg/kg โดยทำการแบ่งเติมเป็นจำนวน 2 ครั้ง คือมีค่าเท่ากับ 222 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 mg/kg แบ่งเติมเป็นจำนวน 3 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.1 mg/kg แบ่งเติมเป็นจำนวน 2 และ 3 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.15 mg/kg แบ่งเติมเป็นจำนวน 3 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.2 mg/kg แบ่งเติมเป็นจำนวน 1 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ผลการศึกษาความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันทั้งต้น เมื่อเติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 0.1 0.15 และ 0.2 mg/kg ดังรูปที่ 4.8 (ค) พบว่าเมื่อเติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 mg/kg ความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันทั้งต้นมีค่ามากที่สุดในชุดการทดลอง control โดยมีค่าเท่ากับ 20 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 เป็นจำนวน 1 และ 3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากผลดังกล่าวสอดคล้องกับงานของ Turgut และคณะ (2004) และมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 12 mg/kg ในชุดการการทดลอง blank ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลอง control ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 เป็นจำนวน 2 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ EDTA ที่เติมเป็น 0.1 mg/kg พบว่าค่าความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันทั้งต้นมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 24 mg/kg โดยทำการเติมเป็นจำนวน 1 ครั้ง ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.1 เป็นจำนวน 2 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 12 mg/kg ในชุดการการทดลอง blank ซึ่งผลการวิเคราะห์

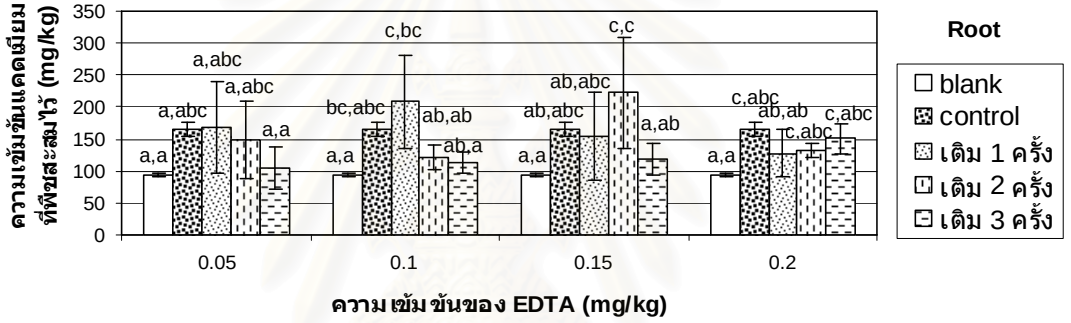
ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลอง control ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.1 เป็นจำนวน 1 และ 3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สำหรับ EDTA ความเข้มข้น 0.15 mg/kg จะมีค่าความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันทั้งต้นมากที่สุดเมื่อเติมเป็นจำนวน 1 ครั้ง โดยมีค่าเท่ากับ 25 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank control ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.15 เป็นจำนวน 2 และ 3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และพบว่ามีค่าน้อยที่สุดในชุดการการทดลอง blank คือมีค่าเท่ากับ 12 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลอง control ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.15 เป็นจำนวน 1 2 และ 3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปลี่ยนความเข้มข้นของ EDTA เป็น 0.2 mg/kg พบว่าค่าความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันทั้งต้นมีค่ามากที่สุดเมื่อแบ่งเติมเป็นจำนวน 3 ครั้ง คือมีค่าเท่ากับ 20 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.2 เป็นจำนวน 1 และ 2 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 12 mg/kg ในชุดการการทดลอง blank ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลอง control ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.2 เป็นจำนวน 3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากผลดังกล่าวพบว่าค่าความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันทั้งต้นมีค่ามากที่สุดเมื่อเติม EDTA ความเข้มข้น 0.15 mg/kg โดยเติมเป็นจำนวน 1 ครั้ง กล่าวคือมีค่าเท่ากับ 25 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank control ชุดการทดลองที่เติม EDTA ทุกชุดอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ยกเว้นชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.1 mg/kg เป็นจำนวน 1 และ 3 ครั้ง

จากผลการศึกษาความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวัน ส่วนเหนือพื้นดิน ส่วนราก และทั้งต้น เมื่อเติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 0.1 0.15 และ 0.2 mg/kg พบว่าเมื่อเติม EDTA ความเข้มข้น 0.15 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง ทำให้ความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันในส่วนเหนือพื้นดินและทั้งต้นมากที่สุด กล่าวคือมีค่าเท่ากับ 17 และ 25 mg/kg ตามลำดับ สำหรับการเติม EDTA ความเข้มข้น 0.15 mg/kg แบ่งเติมเป็นจำนวน 2 ครั้ง ทำให้ความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันในส่วนรากมากที่สุดคือมีค่า 222 mg/kg

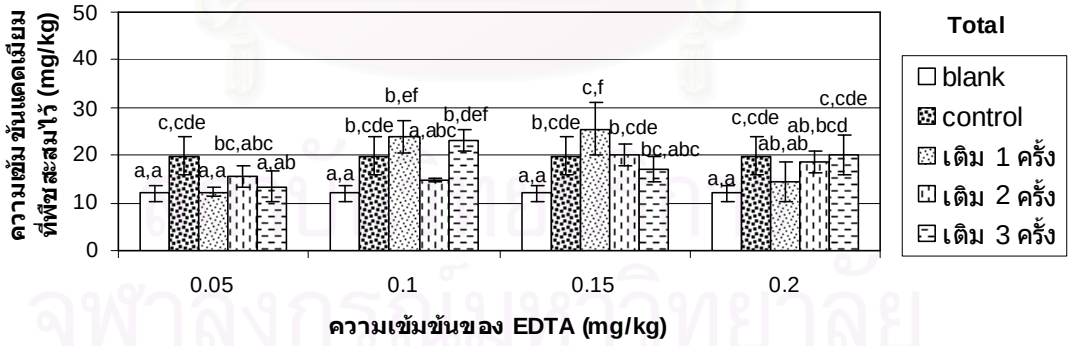
(ก)



(ข)



(ค)



รูปที่ 4.8 ความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันใน (ก) ส่วนเหนือพื้นดิน (ข) ส่วนราก และ (ค) ทั้งต้น ที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 0.1 0.15 และ 0.2 mg/kg

หมายเหตุ: 1) ตัวอักษรตัวหน้าที่แตกต่างกันบนกราฟแต่ละแท่ง หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างความเข้มข้นเดียวกันแต่จำนวนครั้งที่แบ่งต่างกัน ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

2) ตัวอักษรตัวหลังที่แตกต่างกันบนกราฟแต่ละแท่ง หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างความเข้มข้นต่างๆ แต่จำนวนครั้งเท่ากันตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

3) Bars แสดงค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) โดย n = 3

4.3.2 การสะสมแคดเมียมในทานตะวันเมื่อเติม EDDS ความเข้มข้นต่างกัน

ผลการศึกษาความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันในส่วนเหนือพื้นดิน เมื่อเติม EDDS ความเข้มข้น 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 mg/kg ดังรูปที่ 4.9 (ก) พบว่าค่าความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันในส่วนเหนือพื้นดิน เมื่อทำการเติม EDDS ความเข้มข้น 0.5 mg/kg มีค่ามากที่สุดเมื่อทำการแบ่งเติมเป็นจำนวน 2 ครั้ง โดยมีค่าเท่ากับ 15 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 0.5 เป็นจำนวน 1 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%และมีค่าน้อยที่สุดในชุดการทดลอง blank กล่าวคือมีค่าเท่ากับ 5 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลอง control ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.5 เป็นจำนวน 1 2 และ 3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และเมื่อทำการเติม EDDS ความเข้มข้น 1.0 mg/kg พบว่าความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันในส่วนเหนือพื้นดินมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 13 mg/kg ในชุดการทดลอง control ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และมีค่าน้อยที่สุดในชุดการทดลอง blank คือมีค่าเท่ากับ 5 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลอง control ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.0 เป็นจำนวน 1 2 และ 3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และเมื่อทำการเพิ่มความเข้มข้นของ EDDS เป็น 1.5 mg/kg ค่าความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันในส่วนเหนือพื้นดินมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 14 mg/kg เมื่อแบ่งเติมเป็นจำนวน 3 ครั้งซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และค่าความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันในส่วนเหนือพื้นดินมีค่าน้อยที่สุดในชุดการทดลอง blank คือมีค่าเท่ากับ 5 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลอง control ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.5 เป็นจำนวน 1 2 และ 3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สำหรับ EDDS ความเข้มข้น 2.0 mg/kg พบว่าค่าความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันในส่วนเหนือพื้นดินมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 13 mg/kg ในชุดการทดลอง control ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 2.0 เป็นจำนวน 3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และมีค่าน้อยที่สุดในชุดการทดลอง blank โดยมีค่าเท่ากับ 5 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลอง control ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.0 เป็นจำนวน 1 2 และ 3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากผลดังกล่าวแสดงว่าค่าความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันในส่วนเหนือพื้นดิน เมื่อเติม EDDS ความเข้มข้น 0.5 mg/kg มีค่ามากที่สุดเมื่อแบ่งเติมเป็นจำนวน 2 ครั้งกล่าวคือมีค่าเท่ากับ 15 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น

0.5 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.0 mg/kg เป็นจำนวน 1 2 และ 3 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.5 mg/kg เป็นจำนวน 1และ 2 ครั้งและชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 2.0 mg/kg เป็นจำนวน 2 และ 3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ผลการศึกษาความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันในส่วนราก เมื่อเติม EDDS ความเข้มข้น 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 mg/kg ดังรูปที่ 4.9 (ข) พบว่าเมื่อเติม EDDS ความเข้มข้น 0.5 mg/kg การแบ่งเติมเป็นจำนวน 2 ครั้งทำให้ความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันในส่วนรากมีค่ามากที่สุด คือมีค่าเท่ากับ 187 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 0.5 เป็นจำนวน 1 และ 3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และค่าความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันในส่วนรากมีค่าน้อยที่สุดในชุดการทดลอง blank คือมีค่าเท่ากับ 93 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลอง control ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 0.5 เป็นจำนวน 2 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ EDDS เป็น 1.0 mg/kg พบว่าในชุดการทดลอง control มีความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันในส่วนรากมากที่สุดกล่าวคือมีค่าเท่ากับ 166 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และในชุดการทดลอง blank ความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันในส่วนรากมีค่าน้อยที่สุด คือมีค่าเท่ากับ 93 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลอง control ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.0 เป็นจำนวน 1 2 และ 3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปลี่ยนความเข้มข้นของ EDDS เป็น 1.5 mg/kg พบว่าความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันในส่วนรากมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 190 mg/kg เมื่อแบ่งเติมเป็นจำนวน 3 ครั้ง ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.5 เป็นจำนวน 1 และ 2 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 93 mg/kg ในชุดการทดลอง blank ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลอง control ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.5 เป็นจำนวน 3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สำหรับการเติม EDDS ที่ความเข้มข้น 2.0 mg/kg พบว่ามีความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันในส่วนรากมากที่สุดในชุดการทดลอง control โดยมีค่าเท่ากับ 166 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 2.0 เป็นจำนวน 3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 93 mg/kg ในชุดการทดลอง blank ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลอง control ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 2.0 เป็นจำนวน 1 และ 2 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%จากผลดังกล่าวทำให้ทราบว่าการ

เติม EDDS ที่ความเข้มข้น 1.5 mg/kg โดยแบ่งเติมเป็นจำนวน 3 ครั้ง ทำให้มีค่าความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันในส่วนรากมากที่สุด คือมีค่าเท่ากับ 190 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 1 และ 3 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.0 mg/kg เป็นจำนวน 1 2 และ 3 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.5 mg/kg เป็นจำนวน 1 และ 2 ครั้งและชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 2.0 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

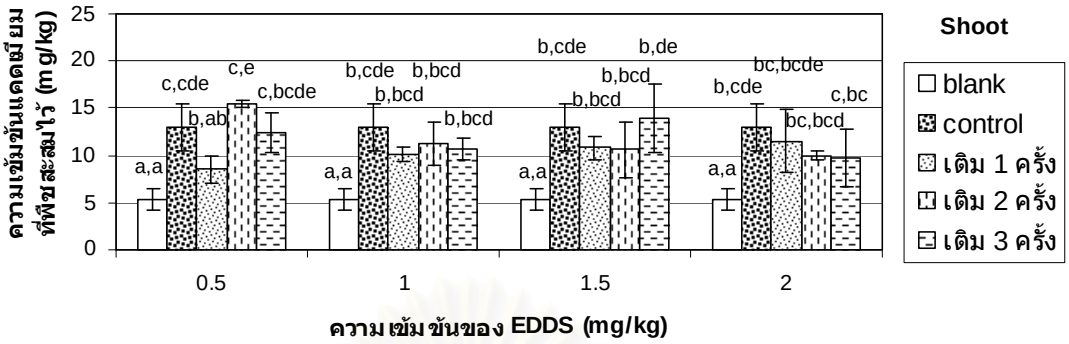
ผลการศึกษาความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันทั้งต้นเมื่อเติม EDDS ความเข้มข้น 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 mg/kg ดังรูปที่ 4.9 (ค) พบว่าเมื่อเติม EDDS ความเข้มข้น 0.5 mg/kg ความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันทั้งต้นมีค่ามากที่สุดเมื่อแบ่งเติมเป็นจำนวน 2 ครั้ง โดยมีค่าเท่ากับ 22 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 0.5 เป็นจำนวน 1 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 12 mg/kg ในชุดการทดลอง blank ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลอง control ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 0.5 เป็นจำนวน 2 และ 3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ EDDS ที่เติมเป็น 1.0 mg/kg พบว่าค่าความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันทั้งต้นมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 20 mg/kg ในชุดการทดลอง control ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.0 เป็นจำนวน 1 และ 2 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 12 mg/kg ในชุดการทดลอง blank ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลอง control ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.0 เป็นจำนวน 2 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สำหรับ EDDS ความเข้มข้น 1.5 mg/kg จะมีค่าความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันทั้งต้นมากที่สุดเมื่อแบ่งเติมเป็นจำนวน 3 ครั้ง โดยมีค่าเท่ากับ 23 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.5 เป็นจำนวน 1 และ 2 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และพบว่ามีค่าน้อยที่สุดในชุดการทดลอง blank คือมีค่าเท่ากับ 12 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลอง control ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.5 เป็นจำนวน 3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปลี่ยนความเข้มข้นของ EDDS เป็น 2.0 mg/kg พบว่าค่าความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันทั้งต้นมีค่ามากที่สุดในชุดการทดลอง control คือมีค่าเท่ากับ 20 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 2.0 เป็นจำนวน 2 และ 3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 12 mg/kg ในชุดการทดลอง blank ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุด

การทดลอง control ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 2.0 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากผลดังกล่าวพบว่าค่าความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันทั้งต้นมีค่ามากที่สุดเมื่อเติม EDDS ความเข้มข้น 1.5 mg/kg โดยแบ่งเติมเป็นจำนวน 3 ครั้ง กล่าวคือมีค่าเท่ากับ 23 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.0 mg/kg เป็นจำนวน 1 และ 2 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.5 mg/kg เป็นจำนวน 1 และ 2 ครั้งและชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 2.0 mg/kg เป็นจำนวน 2 และ 3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

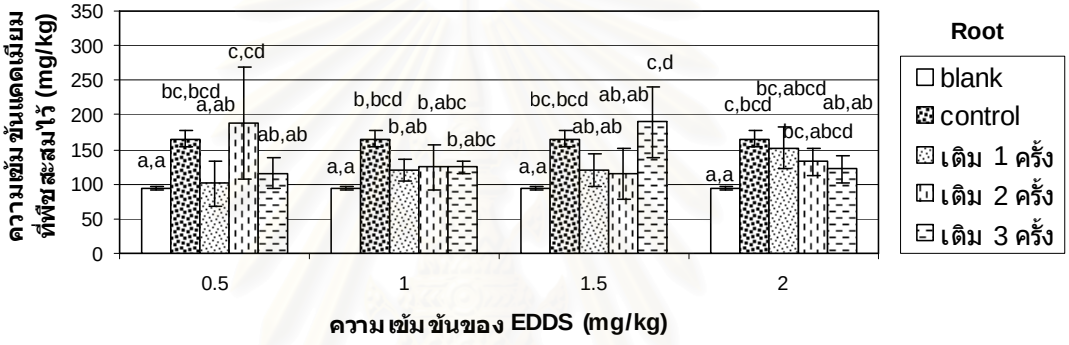
จากผลการศึกษาความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวัน ส่วนเหนือพื้นดิน ส่วนรากและทั้งต้น เมื่อเติม EDDS ความเข้มข้น 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 mg/kg พบว่า EDDS ความเข้มข้น 0.5 mg/kg แบ่งเติมเป็นจำนวน 2 ครั้ง ทำให้ความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันในส่วนเหนือพื้นดินมากที่สุดคือมีค่าเท่ากับ 15 mg/kg สำหรับ เมื่อเติม EDDS ความเข้มข้น 1.5 mg/kg แบ่งเติมเป็นจำนวน 3 ครั้ง ทำให้ความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันในส่วนรากมากที่สุดคือมีค่า 190 mg/kg และ การเติม EDDS ความเข้มข้น 1.5 mg/kg soil โดยแบ่งเติมเป็นจำนวน 3 ครั้ง ทำให้ความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันในทั้งต้นมากที่สุดกล่าวคือมีค่าเท่ากับ 23 mg/kg

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

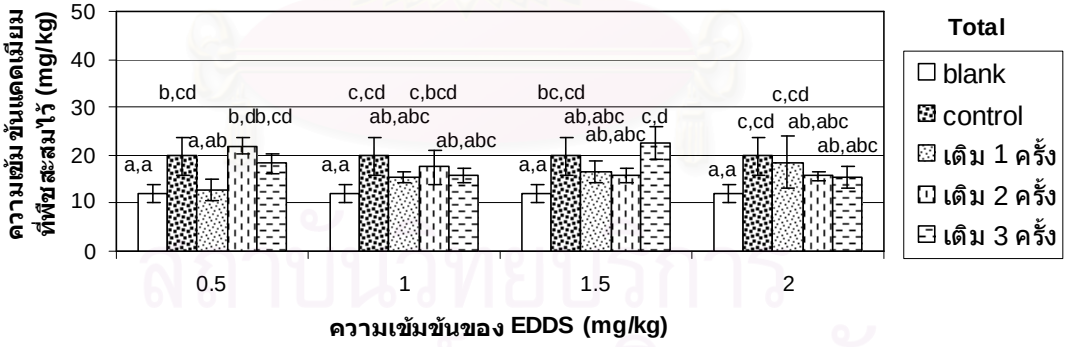
(ก)



(ข)



(ค)



รูปที่ 4.9 ความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันใน (ก) ส่วนเหนือพื้นดิน (ข) ส่วนราก และ (ค) ทั้งต้น ที่เติม EDDS ความเข้มข้น 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 mg/kg

หมายเหตุ: 1) ตัวอักษรตัวหน้าที่แตกต่างกันบนกราฟแต่ละแท่ง หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างความเข้มข้นเดียวกันแต่จำนวนครั้งที่แบ่งต่างกัน ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

2) ตัวอักษรตัวหลังที่แตกต่างกันบนกราฟแต่ละแท่ง หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างความเข้มข้นต่างๆ แต่จำนวนครั้งเท่ากันตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

3) Bars แสดงค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) โดย n = 3

4.3.3 การสะสมแคดเมียมในทานตะวันเมื่อเติม citric acid ความเข้มข้นต่างกัน

ผลการศึกษาความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันในส่วนเหนือพื้นดิน เมื่อเติม citric acid ความเข้มข้น 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 mg/kg ดังรูปที่ 4.10 (ก) พบว่าค่าความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันในส่วนเหนือพื้นดิน เมื่อทำการเติม citric acid ความเข้มข้น 0.5 mg/kg มีค่ามากที่สุดในชุดการทดลอง control โดยมีค่าเท่ากับ 13 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank ชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%จากผลดังกล่าวสอดคล้องกับงานของ Turgut และคณะ (2004) และมีค่าน้อยที่สุดในชุดการทดลอง blank กล่าวคือมีค่าเท่ากับ 5 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลอง control ชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 1 และ3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และเมื่อทำการเติม citric acid ความเข้มข้น 1.0 mg/kg พบว่าความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันในส่วนเหนือพื้นดินมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 13 mg/kg เมื่อแบ่งเติมเป็นจำนวน 3 ครั้ง และชุดการทดลอง control ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และมีค่าน้อยที่สุดในชุดการทดลอง blank คือมีค่าเท่ากับ 5 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลอง control ชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.0 mg/kg เป็นจำนวน 1 2 และ3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และเมื่อทำการเพิ่มความเข้มข้นของ citric acid เป็น 1.5 mg/kg ค่าความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันในส่วนเหนือพื้นดินมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 13 mg/kg ในชุดการทดลอง control ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank ชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.5 mg/kg เป็นจำนวน 1 และ 2 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากผลดังกล่าวสอดคล้องกับงานของ Turgut และคณะ (2004) และค่าความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันในส่วนเหนือพื้นดินมีค่าน้อยที่สุดในชุดการทดลอง blank คือมีค่าเท่ากับ 5 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลอง control ชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.5 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สำหรับ citric acid ความเข้มข้น 2.0 mg/kg พบว่าค่าความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันในส่วนเหนือพื้นดินมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 13 mg/kg ในชุดการทดลอง control ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank ชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 2.0 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากผลดังกล่าวสอดคล้องกับงานของ Turgut และคณะ (2004) และมีค่าน้อยที่สุดในชุดการทดลอง blank โดยมีค่าเท่ากับ 5 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลอง control ชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 2.0 mg/kg เป็นจำนวน

1 2 และ3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากผลดังกล่าวแสดงว่าค่าความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันในส่วนเหนือพื้นดินมีค่ามากที่สุดในชุดการทดลอง control และเมื่อเติม citric acid ความเข้มข้น 1.0 mg/kg เมื่อแบ่งเติมเป็นจำนวน 3 ครั้งกล่าวคือมีค่าเท่ากับ 13 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank ชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.5 mg/kg เป็นจำนวน 1 2 และ 3 ครั้งและชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 2.0 mg/kg เป็นจำนวน 1 และ 3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ผลการศึกษาความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันในส่วนรากเมื่อเติม citric acid ความเข้มข้น 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 mg/kg ดังรูปที่ 4.10 (ข) พบว่าเมื่อเติม citric acid ความเข้มข้น 0.5 mg/kg ความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันในส่วนรากจะมีค่ามากที่สุดในชุดการทดลอง control คือมีค่าเท่ากับ 166 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากผลดังกล่าวสอดคล้องกับงานของ Turgut และคณะ (2004) และพบว่าความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันในส่วนรากมีค่าน้อยที่สุดในชุดการทดลอง blank คือมีค่าเท่ากับ 93 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลอง control ชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 1 2 และ3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และเมื่อทำการเปลี่ยนความเข้มข้นของ citric acid เป็น 1.0 mg/kg ความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันในส่วนรากมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 165 mg/kg ในชุดการทดลอง control ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank ชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.0 mg/kg เป็นจำนวน 1 และ 2 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%จากผลดังกล่าวสอดคล้องกับงานของ Turgut และคณะ (2004) และมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 93 mg/kg ในชุดการทดลอง blank ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลอง control ชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.0 mg/kg เป็นจำนวน 1 2 และ 3 ครั้งอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ citric acid เป็น 1.5 mg/kg พบว่าความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันในส่วนรากจะมีค่ามากที่สุดเมื่อแบ่งเติมเป็นจำนวน 3 ครั้งคือเท่ากับ 202 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank control ชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.5 mg/kg เป็นจำนวน 1 และ 2 ครั้งอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สำหรับค่าความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันในส่วนรากที่น้อยที่สุดมีค่าเท่ากับ 93 mg/kg ในชุดการทดลอง blank ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลอง control ชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.5 mg/kg เป็นจำนวน 1 2 และ 3 ครั้งอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อใช้ความเข้มข้นของ citric acid เป็น 2.0 mg/kg พบว่าค่าความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันในส่วนรากมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 208 mg/kg เมื่อทำ

การแบ่งเติมเป็นจำนวน 3 ครั้ง ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank control ชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 2.0 mg/kg เป็นจำนวน 1 และ 2 ครั้งอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สำหรับค่าความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันในส่วนรากน้อยที่สุดในชุดการทดลอง blank คือมีค่าเท่ากับ 93 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลอง control ชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 2.0 mg/kg เป็นจำนวน 1 2 และ 3 ครั้งอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าค่าความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันในส่วนรากจะมีค่ามากที่สุดเมื่อเติม citric acid ที่ความเข้มข้น 2.0 mg/kg โดยทำการแบ่งเติมเป็นจำนวน 3 ครั้ง คือมีค่าเท่ากับ 208 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank ชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 2 และ 3 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.0 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.5 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 2.0 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ผลการศึกษาความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันทั้งต้นเมื่อเติม citric acid ความเข้มข้น 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 mg/kg ดังรูปที่ 4.10 (ค) พบว่าเมื่อเติม citric acid ความเข้มข้น 0.5 mg/kg ความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันทั้งต้นมีค่ามากที่สุด ในชุดการทดลอง control โดยมีค่าเท่ากับ 20 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank ชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 2 และ 3 ครั้งอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากผลดังกล่าวสอดคล้องกับงานของ Turgut และคณะ (2004) และมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 12 mg/kg เมื่อทำการแบ่งเติมเป็นจำนวน 2 ครั้ง และในชุดการทดลอง blank ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลอง control ชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 1 และ 3 ครั้งอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ citric acid ที่เติมเป็น 1.0 mg/kg พบว่าค่าความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันทั้งต้นมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 21 mg/kg โดยทำการแบ่งเติมเป็นจำนวน 3 ครั้ง ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank ชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.0 mg/kg เป็นจำนวน 1 และ 2 ครั้งอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 12 mg/kg ในชุดการทดลอง blank ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลอง control ชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.0 mg/kg เป็นจำนวน 1 2 และ 3 ครั้งอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สำหรับ citric acid ความเข้มข้น 1.5 mg/kg จะมีค่าความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันทั้งต้นมากที่สุดในชุดการทดลอง control โดยมีค่าเท่ากับ 20 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank ชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.5 mg/kg เป็น

จำนวน 1 2 และ 3 ครั้งอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากผลดังกล่าวสอดคล้องกับงานของ Turgut และคณะ (2004) และพบว่ามีค่าน้อยที่สุดในชุดการทดลอง blank คือมีค่าเท่ากับ 12 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลอง control ชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.5 mg/kg เป็นจำนวน 1 2 และ 3 ครั้งอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปลี่ยนความเข้มข้นของ citric acid เป็น 2.0 mg/kg พบว่าค่าความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันทั้งต้นมีค่ามากที่สุดเมื่อแบ่งเติมเป็นจำนวน 3 ครั้งและในชุดการทดลอง control คือมีค่าเท่ากับ 20 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank ชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 2.0 mg/kg เป็นจำนวน 1 และ 2 ครั้งอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากผลดังกล่าวสอดคล้องกับงานของ Turgut และคณะ (2004) และมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 12 mg/kg ในชุดการทดลอง blank ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลอง control ชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 2.0 mg/kg เป็นจำนวน 1 2 และ 3 ครั้งอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากผลดังกล่าวพบว่าค่าความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันทั้งต้นมีค่ามากที่สุดเมื่อเติม citric acid ความเข้มข้น 1.0 mg/kg โดยแบ่งเติมเป็นจำนวน 3 ครั้งกล่าว คือมีค่าเท่ากับ 21 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank ชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.5 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้งและชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 2.0 mg/kg เป็นจำนวน 1 และ 2 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

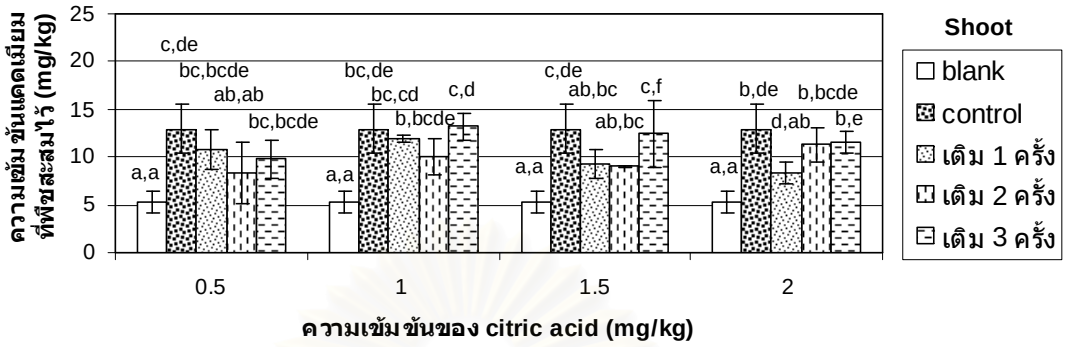
จากผลการศึกษาความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวัน ส่วนเหนือพื้นดิน ส่วนราก และทั้งต้น เมื่อเติม citric acid ความเข้มข้น 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 mg/kg พบว่าเมื่อเติม citric acid ความเข้มข้น 1.0 mg/kg แบ่งเติมเป็นจำนวน 3 ครั้งและในชุดการทดลอง control มีผลต่อความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันในส่วนเหนือพื้นดินมากที่สุดคือมีค่าเท่ากับ 13 mg/kg สำหรับ citric acid ความเข้มข้น 2.0 mg/kg แบ่งเติมเป็นจำนวน 3 ครั้ง ทำให้มีความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันในส่วนรากมากที่สุดคือมีค่า 208 mg/kg และ citric acid ความเข้มข้น 1.0 mg/kg แบ่งเติม 3 ครั้งพบว่ามีผลต่อความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันทั้งต้นมากที่สุดกล่าวคือมีค่าเท่ากับ 21 mg/kg

จากผลการศึกษาจะสังเกตุได้ว่าการเติม citric acid ที่ความเข้มข้นต่ำๆ จะพบว่าการสะสมแคดเมียมในชุดการทดลอง control มีแนวโน้มว่าจะมีค่าสูงที่สุด อาจจะเป็นผลมาจากทานตะวันที่ทำการทดลองมีระบบสั้น ดังนั้นเมื่อเติม citric acid จะทำให้แคดเมียมถูกน้ำที่ใช้รดชะลงมาอยู่บริเวณก้นกระถาง จึงทำให้พืชในชุดการทดลองที่เติม citric acid ไม่สามารถดูดซับแคดเมียมได้ สำหรับการเติม citric acid ที่ความเข้มข้นสูงๆ การสะสมแคดเมียมมีแนวโน้มจะมีค่ามากเมื่อเบ่งเติมเป็นจำนวน 3 ครั้ง อาจจะมีสาเหตุมาจากการเติม citric acid ที่ความเข้มข้นสูงๆ

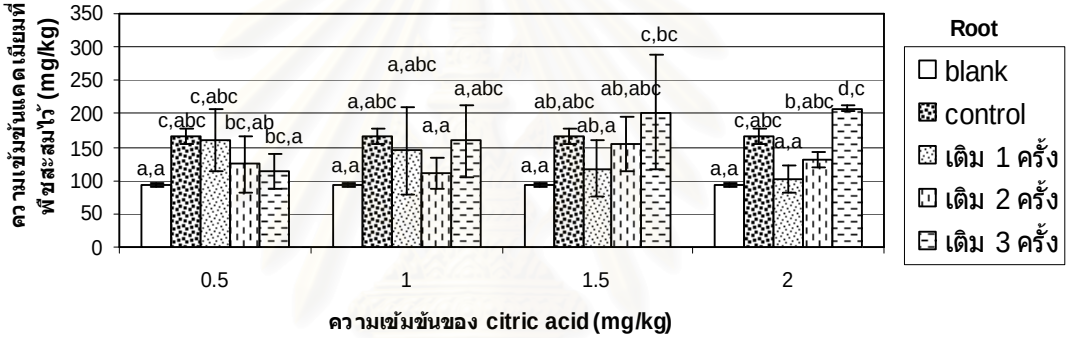
เมื่อเติม 1 ครั้ง จะทำให้ความเป็นกรดเพิ่มขึ้น ซึ่งในดินที่เป็นกรดความสามารถของพืชที่จะดูดแคทไอออน (cation) จะลดลง (ชวนพิศ แดงสวัสดิ์, 2544) ดังนั้นเมื่อแบ่งเติมเป็นจำนวน 3 ครั้ง ความเป็นกรดจะเพิ่มขึ้นไม่มากจึงทำให้มีแนวโน้มในการสะสมแคดเมียมมากที่สุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

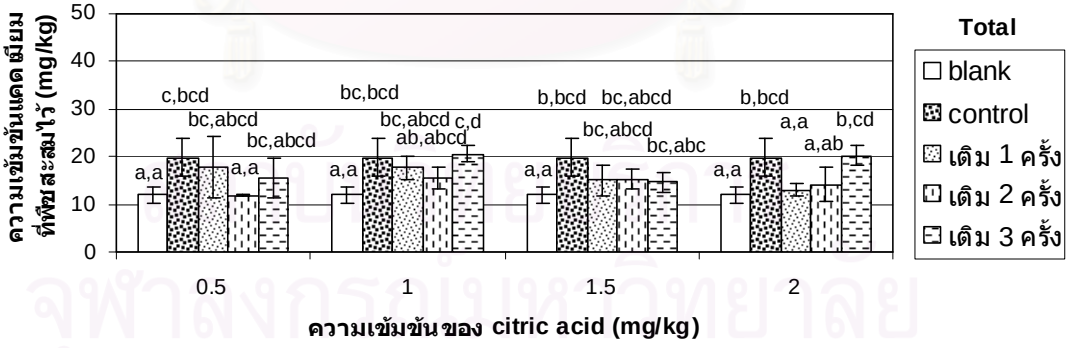
(ก)



(ข)



(ค)



รูปที่ 4.10 ความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันใน (ก) ส่วนเหนือพื้นดิน (ข) ส่วนราก และ (ค) ทั้งต้น ที่เติม citric acid ความเข้มข้น 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 mg/kg

หมายเหตุ: 1) ตัวอักษรตัวหน้าที่แตกต่างกันบนกราฟแต่ละแท่ง หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างความเข้มข้นเดียวกันแต่จำนวนครั้งที่แบ่งต่างกัน ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

2) ตัวอักษรตัวหลังที่แตกต่างกันบนกราฟแต่ละแท่ง หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างความเข้มข้นต่างๆ แต่จำนวนครั้งเท่ากันตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

3) Bars แสดงค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) โดย n = 3

4.3.4 การสะสมแคดเมียมในทานตะวันเมื่อเติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 mg/kg EDDS และ citric acid ความเข้มข้น 0.5 mg/kg

ผลการศึกษาความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันในส่วนเหนือพื้นดิน ดังรูปที่ 4.11 (ก) พบว่าเมื่อเติมตัวคีเลต 1 ครั้ง การเติม citric acid ทำให้มีความเข้มข้นของแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้มากที่สุดคือมีค่า 11 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สำหรับการเติม EDDS ความเข้มข้นแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้มีค่าน้อยที่สุดคือมีค่าเท่ากับ 9 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้งอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และเมื่อทำการเติมตัวคีเลต 2 ครั้ง พบว่าการเติม EDDS ทำให้มีความเข้มข้นของแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้มากที่สุดคือมีค่า 15 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้งอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และเมื่อเติม citric acid ทำให้มีความเข้มข้นของแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้น้อยที่สุดเท่ากับ 8 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และเมื่อทำการเติมตัวคีเลต 3 ครั้ง พบว่าการเติม EDDS ทำให้มีความเข้มข้นของแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้มากที่สุดคือมีค่า 12 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้งอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สำหรับความเข้มข้นแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้น้อยที่สุดเมื่อเติม EDTA มีค่าเท่ากับ 8 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แสดงว่าความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันในส่วนเหนือพื้นดินมีค่ามากที่สุดเมื่อเติม EDDS เป็นจำนวน 2 ครั้ง คือมีค่า 15 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 mg/kg เป็นจำนวน 2 และ 3 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 2 และ 3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ผลการศึกษาความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันในส่วนราก ดังรูปที่ 4.11(ข) พบว่าเมื่อเติมตัวคีเลต 1 ครั้ง การเติม EDTA ทำให้มีความเข้มข้นของแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้มากที่สุดคือมีค่า 168 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติไม่พบความแตกต่างของความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันส่วนรากระหว่าง ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง สำหรับความเข้มข้นแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้น้อยที่สุดเมื่อเติม EDDS มีค่าเท่ากับ 101 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติไม่พบความแตกต่างของความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันส่วนรากระหว่าง ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง และเมื่อทำการเติมตัวคีเลต 2 ครั้ง พบว่าการเติม EDDS ทำให้มีความเข้มข้นของแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้มากที่สุดคือมีค่า 187 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติไม่พบความแตกต่างของความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันส่วนรากระหว่าง ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง และเมื่อเติม citric acid ทำให้มีความเข้มข้นของแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้น้อยที่สุดเท่ากับ 125 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติไม่พบความแตกต่างของความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันส่วนรากระหว่าง ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง และเมื่อทำการเติมตัวคีเลต 3 ครั้ง พบว่าการเติม EDDS ทำให้มีความเข้มข้นของแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้มากที่สุดคือมีค่า 116 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติไม่พบความแตกต่างของความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันส่วนรากระหว่าง ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง สำหรับความเข้มข้นแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้น้อยที่สุดเมื่อเติม EDTA มีค่าเท่ากับ 104 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติไม่พบความแตกต่างของความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันส่วนรากระหว่าง ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง แสดงว่าความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันในส่วนรากมีค่ามากที่สุดเมื่อเติม EDDS เป็นจำนวน 2 ครั้ง คือมีค่า

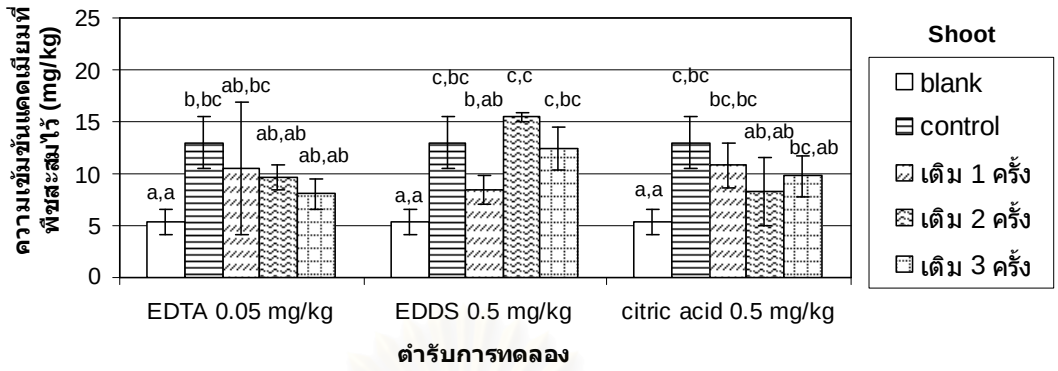
187 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ผลการศึกษาความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันทั้งต้น ดังรูป 4.11 (ค) พบว่าเมื่อเติมตัวคีเลต 1 ครั้ง การเติม citric acid ทำให้มีความเข้มข้นของแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้มากที่สุดคือมีค่า 18 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติไม่พบความแตกต่างของความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันทั้งต้นระหว่าง ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง สำหรับความเข้มข้นแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้น้อยที่สุดเมื่อเติม EDTA มีค่าเท่ากับ 12 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติไม่พบความแตกต่างของความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันทั้งต้นระหว่าง ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง และเมื่อทำการเติมตัวคีเลต 2 ครั้ง พบว่าการเติม EDDS ทำให้มีความเข้มข้นของแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้มากที่สุดคือมีค่า 22 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 0.5 mg/kg แบ่งเติม 2 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และเมื่อเติม citric acid ทำให้มีความเข้มข้นของแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้น้อยที่สุดเท่ากับ 12 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 0.5 mg/kg แบ่งเติม 2 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และเมื่อทำการเติมตัวคีเลต 3 ครั้ง พบว่าการเติม EDDS ทำให้มีความเข้มข้นของแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้มากที่สุดคือมีค่า 18 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 mg/kg แบ่งเติม 3 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 0.5 mg/kg แบ่งเติม 3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สำหรับความเข้มข้นแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้น้อยที่สุดเมื่อเติม EDTA มีค่าเท่ากับ 13 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 0.5 mg/kg แบ่งเติม 3 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 0.5 mg/kg แบ่งเติม 3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แสดงว่าความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันทั้งต้นมีค่ามากที่สุดเมื่อเติม EDDS เป็นจำนวน 2 ครั้ง คือมีค่า 22 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.5 mg/kg แบ่งเติม 1 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 0.5 mg/kg แบ่งเติม 2 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

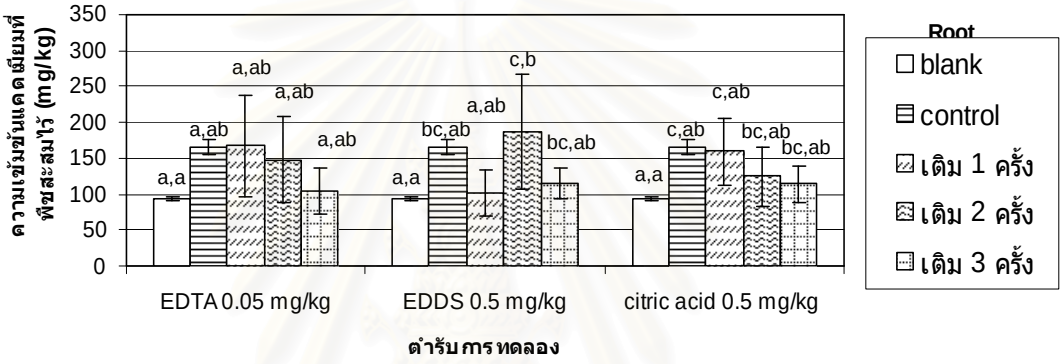
ผลการศึกษาความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันทั้งส่วนเหนือพื้นดิน ส่วนราก และทั้งต้น เมื่อเติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 และ EDDS citric acid 0.5 mg/kg พบว่า ความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันทั้งส่วนเหนือพื้นดิน ส่วนราก และทั้งต้น จะมีค่ามากที่สุดเมื่อเติม EDDS แสดงว่าที่ความเข้มข้นนี้ EDDS ช่วยเพิ่มความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันมากกว่า EDTA และ citric acid ซึ่งสอดคล้องกับงานของ Santos และคณะ (2006) ได้ศึกษาความสามารถของสารคีเลตในการบำบัดโดยใช้พืช โดยใช้ *Brachiaria decumbens* ซึ่งสารคีเลตที่ใช้ในการทดลองนี้คือ EDTA และ EDDS พบว่าเมื่อใช้ EDTA และ EDDS ความเข้มข้นเท่ากัน EDDS ช่วยเพิ่มการสะสมแคดเมียมใน *Brachiaria decumbens* มากกว่าการใช้ EDTA

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

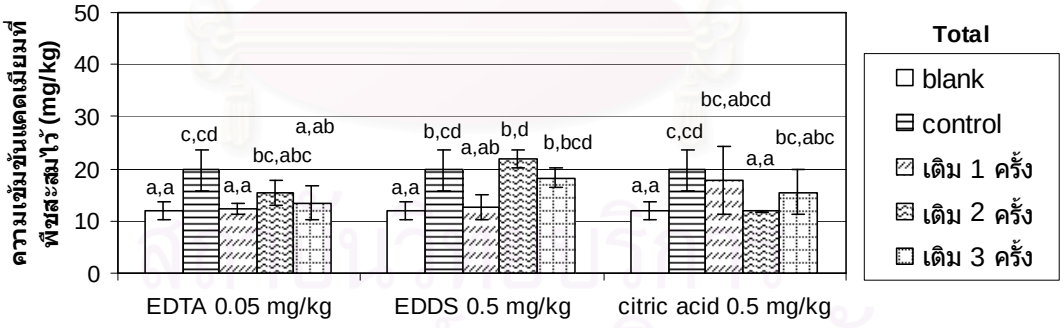
(ก)



(ข)



(ค)



รูปที่ 4.11 ความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันใน (ก) ส่วนเหนือพื้นดิน (ข) ส่วนราก และ (ค) ทั้งต้น ที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 mg/kg ส่วน EDDS และ citric acid ความเข้มข้น 0.5 mg/kg

หมายเหตุ: 1) ตัวอักษรตัวหน้าที่แตกต่างกันบนกราฟแต่ละแท่ง หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างคีเลตชนิดเดียวกันแต่วิธีการเติมต่างกัน ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

2) ตัวอักษรตัวหลังที่แตกต่างกันบนกราฟแต่ละแท่ง หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างคีเลตทั้ง 3 ชนิดแต่จำนวนครั้งเท่ากันตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

3) Bars แสดงค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) โดย n = 3

4.3.5 การสะสมแคดเมียมในทานตะวันเมื่อเติม EDTA ความเข้มข้น 0.1 mg/kg EDDS และ citric acid ความเข้มข้น 1.0 mg/kg

ผลการศึกษาความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันในส่วนเหนือพื้นดิน ดังรูป 4.12 (ก) พบว่าเมื่อเติมตัวคีเลต 1 ครั้ง การเติม EDTA ทำให้มีความเข้มข้นของแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้มากที่สุดคือมีค่า 15 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.0 mg/kg แบ่งเติม 1 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สำหรับการเติม EDDS ความเข้มข้นแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้มีค่าน้อยที่สุดคือมีค่าเท่ากับ 10 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.1 mg/kg แบ่งเติม 1 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และเมื่อทำการเติมตัวคีเลต 2 ครั้ง พบว่าการเติม EDDS ทำให้มีความเข้มข้นของแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้มากที่สุดคือมีค่า 11 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างความเข้มข้นแคดเมียมในทานตะวันในส่วนเหนือพื้นดินระหว่างชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.1 mg/kg แบ่งเติม 2 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.0 mg/kg แบ่งเติม 2 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.0 mg/kg แบ่งเติม 2 ครั้ง ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และเมื่อเติม citric acid ทำให้มีความเข้มข้นของแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้น้อยที่สุดเท่ากับ 10 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างความเข้มข้นแคดเมียมในทานตะวันในส่วนเหนือพื้นดินระหว่างชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.1 mg/kg แบ่งเติม 2 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.0 mg/kg แบ่งเติม 2 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.0 mg/kg แบ่งเติม 2 ครั้ง ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และเมื่อทำการเติมตัวคีเลต 3 ครั้ง พบว่าการเติม EDTA ทำให้มีความเข้มข้นของแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้มากที่สุดคือมีค่า 14 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างความเข้มข้นแคดเมียมในทานตะวันในส่วนเหนือพื้นดินระหว่างชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.1 mg/kg แบ่งเติม 3 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.0 mg/kg แบ่งเติม 3 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.0 mg/kg แบ่งเติม 3 ครั้ง ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สำหรับความเข้มข้นแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้น้อยที่สุดเมื่อเติม EDDS มีค่าเท่ากับ 11 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างความเข้มข้นแคดเมียมในทานตะวันในส่วนเหนือพื้นดินระหว่างชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.1 mg/kg แบ่งเติม 3 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.0 mg/kg แบ่งเติม 3 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.0 mg/kg แบ่งเติม 3 ครั้ง ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แสดงว่าความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันในส่วนเหนือพื้นดินมีค่ามากที่สุดเมื่อเติม EDTA เป็นจำนวน

1 ครั้ง คือมีค่า 15 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank และชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.1 mg/kg แบ่งเติม 1 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.0 mg/kg แบ่งเติม 1 2 และ 3 ครั้งและชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.0 mg/kg แบ่งเติม 2 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ผลการศึกษาความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันในส่วนราก ดังรูปที่ 4.12(ข) พบว่าเมื่อเติมตัวคีเลต 1 ครั้ง การเติม EDTA ทำให้มีความเข้มข้นของแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้มากที่สุดคือมีค่า 208 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.0 mg/kg แบ่งเติม 1 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.0 mg/kg แบ่งเติม 1 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สำหรับความเข้มข้นแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้น้อยที่สุดเมื่อเติม EDDS มีค่าเท่ากับ 119 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.1 mg/kg แบ่งเติม 1 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และเมื่อทำการเติมตัวคีเลต 2 ครั้ง พบว่าการเติม EDDS ทำให้มีความเข้มข้นของแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้มากที่สุดคือมีค่า 124 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างความเข้มข้นแคดเมียมในทานตะวันส่วนรากระหว่างชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.1 mg/kg แบ่งเติม 2 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.0 mg/kg แบ่งเติม 2 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.0 mg/kg แบ่งเติม 2 ครั้ง และเมื่อเติม citric acid ทำให้มีความเข้มข้นของแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้น้อยที่สุดเท่ากับ 111 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างความเข้มข้นแคดเมียมในทานตะวันส่วนรากระหว่างชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.1 mg/kg แบ่งเติม 2 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.0 mg/kg แบ่งเติม 2 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.0 mg/kg แบ่งเติม 2 ครั้ง และเมื่อทำการเติมตัวคีเลต 3 ครั้ง พบว่าการเติม citric acid ทำให้มีความเข้มข้นของแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้มากที่สุดคือมีค่า 159 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างความเข้มข้นแคดเมียมในทานตะวันส่วนรากระหว่างชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.1 mg/kg แบ่งเติม 3 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.0 mg/kg แบ่งเติม 3 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.0 mg/kg แบ่งเติม 3 ครั้ง สำหรับความเข้มข้นแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้น้อยที่สุดเมื่อเติม EDTA มีค่าเท่ากับ 113 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างความเข้มข้นแคดเมียมในทานตะวันส่วนรากระหว่างชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.1 mg/kg แบ่งเติม 3 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.0 mg/kg แบ่งเติม 3 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.0 mg/kg แบ่งเติม 3 ครั้ง แสดงว่าความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันในส่วนรากมีค่ามากที่สุดเมื่อเติม EDTA เป็นจำนวน 1 ครั้ง คือมีค่า

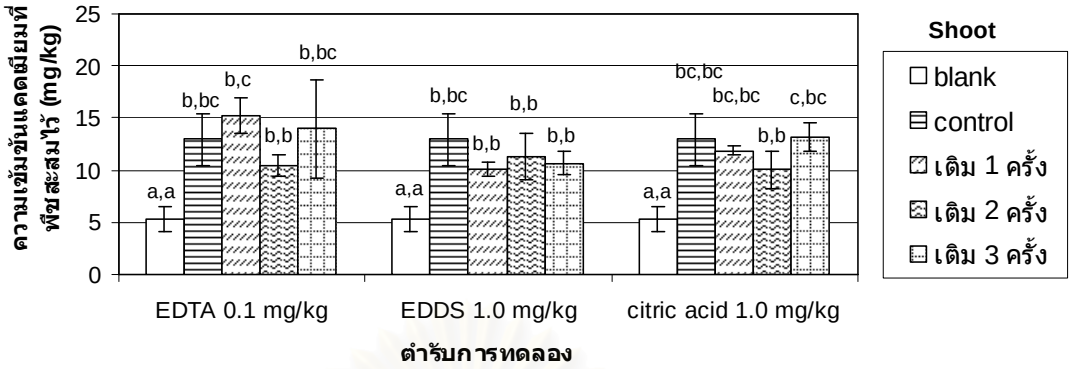
208 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.1 mg/kg แบ่งเติม 2 และ 3 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.0 mg/kg แบ่งเติม 1 2 และ 3 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.0 mg/kg แบ่งเติม 1 2 และ 3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ผลการศึกษาความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันทั้งต้น ดังรูป 4.12 (ค) พบว่าเมื่อเติมตัวคีเลต 1 ครั้ง การเติม EDTA ทำให้มีความเข้มข้นของแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้มากที่สุดคือมีค่า 24 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.0 mg/kg แบ่งเติม 1 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.0 mg/kg แบ่งเติม 1 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สำหรับความเข้มข้นแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้น้อยที่สุดเมื่อเติม EDDS มีค่าเท่ากับ 16 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีความแตกต่างอย่างมีค่าน้อยกว่าชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.1 mg/kg แบ่งเติม 1 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.0 mg/kg แบ่งเติม 1 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และเมื่อทำการเติมตัวคีเลต 2 ครั้ง พบว่าการเติม EDDS ทำให้มีความเข้มข้นของแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้มากที่สุดคือมีค่า 18 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.1 mg/kg แบ่งเติม 2 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.0 mg/kg แบ่งเติม 2 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และเมื่อเติม EDTA ทำให้มีความเข้มข้นของแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้น้อยที่สุดเท่ากับ 15 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.0 mg/kg แบ่งเติม 2 ครั้งอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และเมื่อทำการเติมตัวคีเลต 3 ครั้ง พบว่าการเติม EDTA ทำให้มีความเข้มข้นของแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้มากที่สุดคือมีค่า 23 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.0 mg/kg แบ่งเติม 3 ครั้งอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สำหรับความเข้มข้นแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้น้อยที่สุดเมื่อเติม EDDS มีค่าเท่ากับ 16 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.1 mg/kg แบ่งเติม 3 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.0 mg/kg แบ่งเติม 3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แสดงว่าความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันทั้งต้นมีค่ามากที่สุดเมื่อเติม EDTA เป็นจำนวน 1 ครั้ง คือมีค่า 24 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank และชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.1 mg/kg แบ่งเติม 2 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.0 mg/kg แบ่งเติม 1 2 และ 3 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.0 mg/kg แบ่งเติม 1 และ 2 ครั้งอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

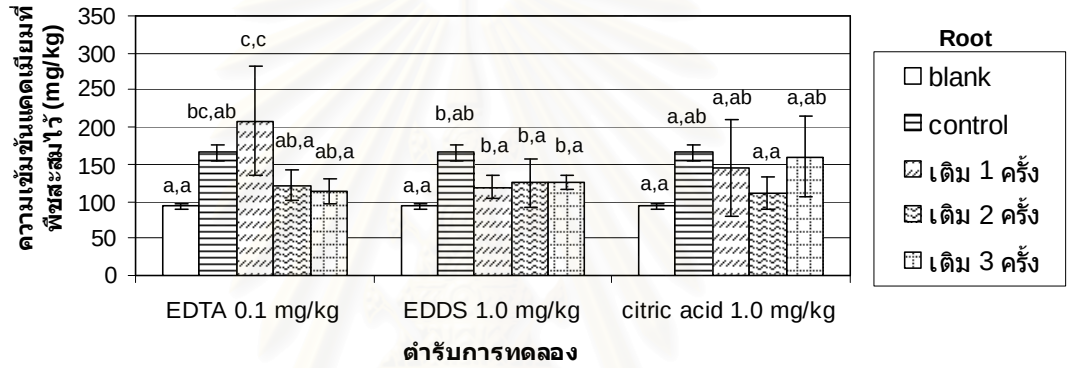
จากผลการศึกษาความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันทั้งส่วนเหนือพื้นดิน ส่วนราก และทั้งต้น เมื่อเติม EDTA ความเข้มข้น 0.1 และ EDDS citric acid 1.0 mg/kg พบว่า ความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันทั้งส่วนเหนือพื้นดิน ส่วนราก และทั้งต้น จะมีค่ามากที่สุดเมื่อเติม EDTA แสดงว่าที่ความเข้มข้น 0.1 mg/kg EDTA ช่วยเพิ่มความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันมากกว่า EDDS และ citric acid ซึ่งสอดคล้องกับงานของ Meers และคณะ (2005) ได้ทำการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบความสามารถของ EDTA และ EDDS ในการเพิ่มการดูดซับโลหะหนักโดยใช้พืช ในการทดลองครั้งนี้ Meers และคณะเลือกใช้ทานตะวัน ในการทดสอบ โดยทำการเติม EDTA และ EDDS ที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน พบว่าเมื่อเติม EDTA และ EDDS ที่ความเข้มข้นเท่ากันพบว่าการเติม EDTA เพิ่มการสะสมแคดเมียมในทานตะวันมากกว่าการเติม EDDS และยังสอดคล้องกับงานของ Lesage และคณะ (2005) ซึ่งศึกษาผลของ EDTA และ citric acid ต่อการดูดซับโลหะหนักของทานตะวันพบว่า EDTA ช่วยเพิ่มการดูดซับแคดเมียมของทานตะวันมากกว่า citric acid สาเหตุที่ทำให้การเติม EDTA จะมีการดูดซับแคดเมียมในทานตะวันมากกว่าการเติม EDDS และ citric acid อาจจะเป็นเพราะการย่อยสลายตัวได้ยากของ EDTA จึงสามารถทำให้แคดเมียมออกมาในสารละลายดินได้นานกว่าการเติม EDDS และ citric acid

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

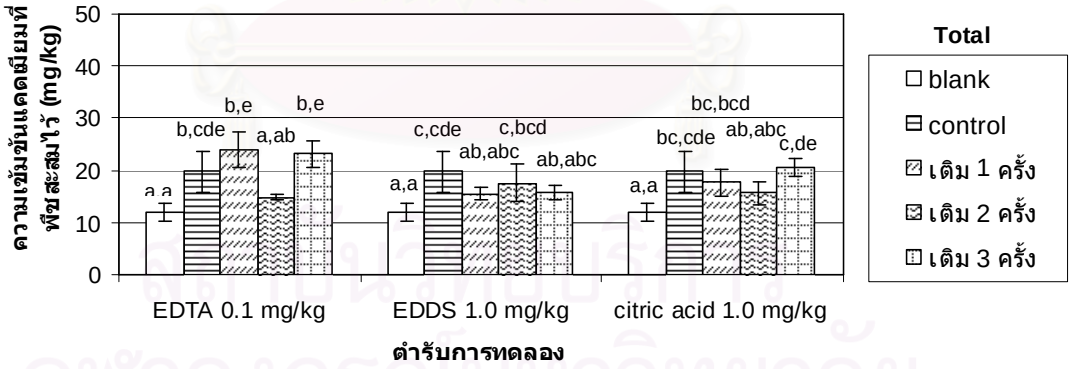
(ก)



(ข)



(ค)



รูปที่ 4.12 ความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันใน (ก) ส่วนเหนือพื้นดิน (ข) ส่วนราก และ (ค) ทั้งต้น ที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.1 mg/kg ส่วน EDDS และ citric acid ความเข้มข้น 1.0 mg/kg

หมายเหตุ: 1) ตัวอักษรตัวหน้าที่แตกต่างกันบนกราฟแต่ละแท่ง หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างคีเลตชนิดเดียวกันแต่วิธีการเติมต่างกัน ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

2) ตัวอักษรตัวหลังที่แตกต่างกันบนกราฟแต่ละแท่ง หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างคีเลตทั้ง 3 ชนิด แต่จำนวนครั้งเท่ากันตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

3) Bars แสดงค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) โดย n = 3

4.3.6 การสะสมแคดเมียมในทานตะวันเมื่อเติม EDTA ความเข้มข้น 0.15 mg/kg EDDS และ citric acid ความเข้มข้น 1.5 mg/kg

ผลการศึกษาความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันในส่วนเหนือพื้นดิน ดังรูปที่ 4.13 (ก) พบว่าเมื่อเติมตัวคีเลต 1 ครั้ง การเติม EDTA ทำให้มีความเข้มข้นของแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้มากที่สุดคือมีค่า 17 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.5 mg/kg แบ่งเติม 1 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.5 mg/kg แบ่งเติม 1 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สำหรับการเติม citric acid ความเข้มข้นแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้มีค่าน้อยที่สุดคือ มีค่าเท่ากับ 9 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.15 mg/kg แบ่งเติม 1 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.5 mg/kg แบ่งเติม 1 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และเมื่อทำการเติมตัวคีเลต 2 ครั้ง พบว่าการเติม EDDS ทำให้มีความเข้มข้นของแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้มากที่สุดคือมีค่า 11 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.15 mg/kg แบ่งเติม 2 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และเมื่อเติม citric acid ทำให้มีความเข้มข้นของแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้น้อยที่สุดเท่ากับ 9 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.5 mg/kg แบ่งเติม 2 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และเมื่อทำการเติมตัวคีเลต 3 ครั้ง พบว่าการเติม EDDS ทำให้มีความเข้มข้นของแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้มากที่สุดคือมีค่า 14 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.15 mg/kg แบ่งเติม 3 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.5 mg/kg แบ่งเติม 3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สำหรับความเข้มข้นแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้น้อยที่สุดเมื่อเติม EDTA มีค่าเท่ากับ 12 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.5 mg/kg แบ่งเติม 3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แสดงว่าความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันในเหนือพื้นดินมีค่ามากที่สุดเมื่อเติม EDTA เป็นจำนวน 1 ครั้ง คือมีค่า 17 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.15 mg/kg แบ่งเติม 2 และ 3 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.5 mg/kg แบ่งเติม 1 และ 2 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.5 mg/kg แบ่งเติม 1 2 และ 3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ผลการศึกษาความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันในส่วนราก ดังรูปที่ 4.13 (ข) พบว่าเมื่อเติมตัวคีเลต 1 ครั้ง การเติม EDTA ทำให้มีความเข้มข้นของแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้มากที่สุดคือมีค่า 155 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างความเข้มข้นแคดเมียมในทานตะวันในส่วนรากระหว่างชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.15 mg/kg แบ่งเติม 1 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.5 mg/kg แบ่งเติม 1 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.5 mg/kg แบ่งเติม 1 ครั้ง สำหรับความเข้มข้นแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้น้อยที่สุดเมื่อเติม citric acid มีค่าเท่ากับ 118 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างความเข้มข้นแคดเมียมในทานตะวันในส่วนรากระหว่างชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.15 mg/kg แบ่งเติม 1 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.5 mg/kg แบ่งเติม 1 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.5 mg/kg แบ่งเติม 1 ครั้ง และเมื่อทำการเติมตัวคีเลต 2 ครั้ง พบว่าการเติม EDTA ทำให้มีความเข้มข้นของแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้มากที่สุดคือมีค่า 222 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.5 mg/kg แบ่งเติม 2 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และเมื่อเติม EDDS ทำให้มีความเข้มข้นของแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้น้อยที่สุดเท่ากับ 115 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.15 mg/kg แบ่งเติม 2 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และเมื่อทำการเติมตัวคีเลต 3 ครั้ง พบว่าการเติม citric acid ทำให้มีความเข้มข้นของแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้มากที่สุดคือมีค่า 202 mg/kg ผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.15 mg/kg แบ่งเติม 3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สำหรับความเข้มข้นแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้น้อยที่สุดเมื่อเติม EDTA มีค่าเท่ากับ 118 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.5 mg/kg แบ่งเติม 3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แสดงว่าความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันในส่วนราก มีค่ามากที่สุดเมื่อเติม EDTA เป็นจำนวน 2 ครั้ง คือมีค่า 222 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.15 mg/kg แบ่งเติม 2 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.5 mg/kg แบ่งเติม 1 และ 2 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.5 mg/kg แบ่งเติม 1 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

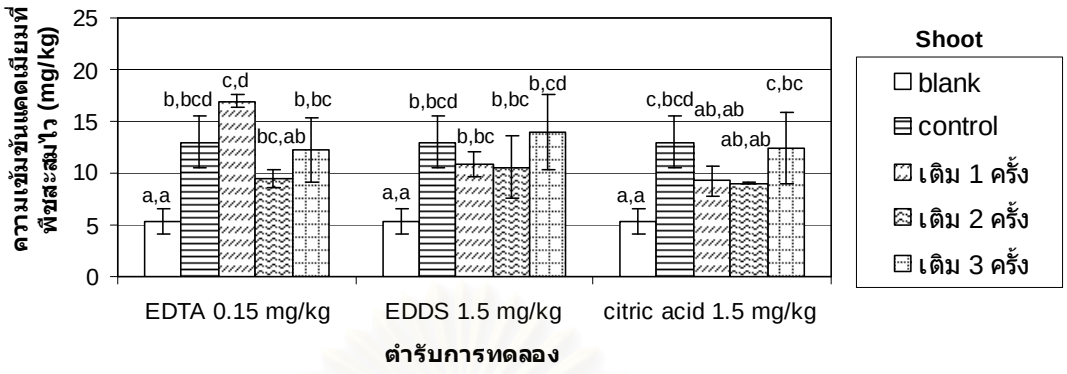
ผลการศึกษาความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันทั้งต้น ดังรูปที่ 4.13

(ค) พบว่าเมื่อเติมตัวคีเลต 1 ครั้ง การเติม EDTA ทำให้มีความเข้มข้นของแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้มากที่สุดคือมีค่า 25 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.5 mg/kg แบ่งเติม 1 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.5 mg/kg แบ่งเติม 1 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สำหรับความเข้มข้นแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้น้อยที่สุดเมื่อเติม citric acid มีค่าเท่ากับ 15 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.15 mg/kg แบ่งเติม 1 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และเมื่อทำการเติมตัวคีเลต 2 ครั้ง พบว่าการเติม EDTA ทำให้มีความเข้มข้นของแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้มากที่สุดคือมีค่า 20 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.5 mg/kg แบ่งเติม 2 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.5 mg/kg แบ่งเติม 2 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และเมื่อเติม citric acid ทำให้มีความเข้มข้นของแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้น้อยที่สุดเท่ากับ 15 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีความแตกต่างอย่างมีค่าน้อยกว่าชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.15 mg/kg แบ่งเติม 2 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และเมื่อทำการเติมตัวคีเลต 3 ครั้ง พบว่าการเติม EDDS ทำให้มีความเข้มข้นของแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้มากที่สุดคือมีค่า 23 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.15 mg/kg แบ่งเติม 3 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.5 mg/kg แบ่งเติม 3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สำหรับความเข้มข้นแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้น้อยที่สุดเมื่อเติม citric acid มีค่าเท่ากับ 15 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.5 mg/kg แบ่งเติม 3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แสดงว่าความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันทั้งต้นมีค่ามากที่สุดเมื่อเติม EDTA เป็นจำนวน 1 ครั้ง คือมีค่า 25 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 1.5 mg/kg เป็นจำนวน 2 และ 3 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.5 mg/kg เป็นจำนวน 1 และ 2 ครั้ง และ citric acid ความเข้มข้น 1.5 mg/kg เป็นจำนวน 1 2 และ 3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

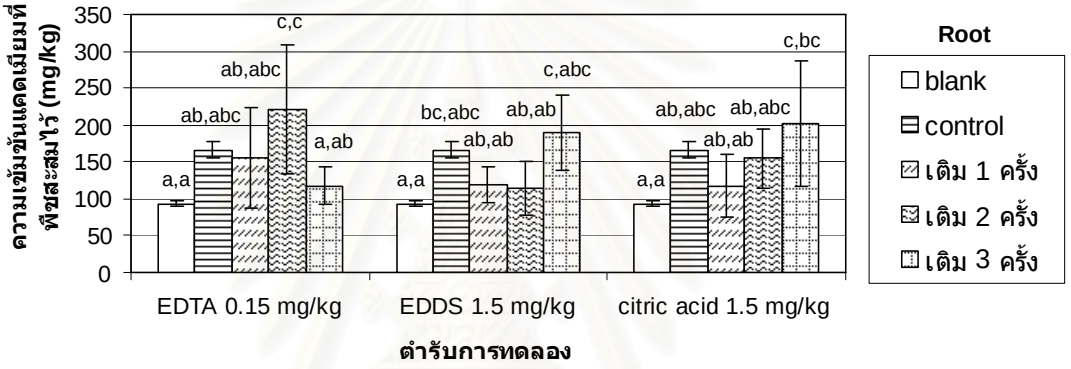
จากผลการศึกษาความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันทั้งส่วนเหนือพื้นดิน ส่วนราก และทั้งต้น เมื่อเติม EDTA ความเข้มข้น 0.15 และ EDDS citric acid 1.5 mg/kg พบว่า ความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันทั้งส่วนเหนือพื้นดิน ส่วนราก และทั้งต้น จะมีค่ามากที่สุดเมื่อเติม EDTA แสดงว่าที่ความเข้มข้น 0.15 mg/kg EDTA ช่วยเพิ่มความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันมากกว่า EDDS และ citric acid ซึ่งสอดคล้องกับงานของ Meers และคณะ (2005) และงานของ Lesage และคณะ (2005)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

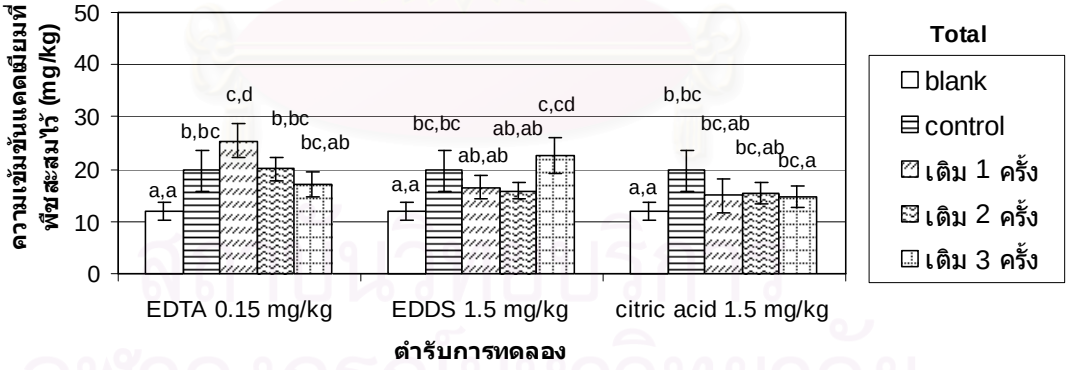
(ก)



(ข)



(ค)



รูปที่ 4.13 ความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันใน (ก) ส่วนเหนือพื้นดิน (ข) ส่วนราก และ (ค) ทั้งต้น ที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.15 mg/kg ส่วน EDDS และ citric acid ความเข้มข้น 1.5 mg/kg

หมายเหตุ: 1) ตัวอักษรตัวหน้าที่แตกต่างกันบนกราฟแต่ละแท่ง หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างคีเลตชนิดเดียวกันแต่วิธีการเติมต่างกัน ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

2) ตัวอักษรตัวหลังที่แตกต่างกันบนกราฟแต่ละแท่ง หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างคีเลตทั้ง 3 ชนิด แต่จำนวนครั้งเท่ากันตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

3) Bars แสดงค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) โดย n = 3

4.3.7 การสะสมแคดเมียมในทานตะวันเมื่อเติม EDTA ความเข้มข้น 0.2 mg/kg EDDS และ citric acid ความเข้มข้น 2.0 mg/kg

ผลการศึกษาความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันในส่วนเหนือพื้นดิน ดังรูปที่ 4.14 (ก) พบว่าเมื่อเติมตัวคีเลต 1 ครั้ง การเติม EDDS ทำให้มีความเข้มข้นของแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้มากที่สุดคือมีค่า 12 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.2 mg/kg แบ่งเติม 1 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 2.0 mg/kg แบ่งเติม 1 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สำหรับการเติม EDTA ความเข้มข้นแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้มีค่าน้อยที่สุดคือ มีค่าเท่ากับ 8 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 2.0 mg/kg แบ่งเติม 1 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และเมื่อทำการเติมตัวคีเลต 2 ครั้ง พบว่าการเติม citric acid ทำให้มีความเข้มข้นของแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้มากที่สุดคือมีค่า 11 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างความเข้มข้นแคดเมียมในทานตะวันในส่วนเหนือพื้นดินระหว่างชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.2 mg/kg แบ่งเติม 2 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 2.0 mg/kg แบ่งเติม 2 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 2.0 mg/kg แบ่งเติม 2 ครั้ง และเมื่อเติม EDDS ทำให้มีความเข้มข้นของแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้น้อยที่สุดเท่ากับ 10 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างความเข้มข้นแคดเมียมในทานตะวันในส่วนเหนือพื้นดินระหว่างชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.2 mg/kg แบ่งเติม 2 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 2.0 mg/kg แบ่งเติม 2 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 2.0 mg/kg แบ่งเติม 2 ครั้ง และเมื่อทำการเติมตัวคีเลต 3 ครั้ง พบว่าการเติม EDTA ทำให้มีความเข้มข้นของแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้มากที่สุดคือมีค่า 13 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างความเข้มข้นแคดเมียมในทานตะวันในส่วนเหนือพื้นดินระหว่างชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.2 mg/kg แบ่งเติม 3 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 2.0 mg/kg แบ่งเติม 3 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 2.0 mg/kg แบ่งเติม 3 ครั้งสำหรับความเข้มข้นแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้น้อยที่สุดเมื่อเติม EDDS มีค่าเท่ากับ 10 mg/kgซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างความเข้มข้นแคดเมียมในทานตะวันในส่วนเหนือพื้นดินระหว่างชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.2 mg/kg แบ่งเติม 3 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 2.0 mg/kg แบ่งเติม 3 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 2.0 mg/kg แบ่งเติม 3 ครั้ง แสดงว่าความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันในส่วนเหนือพื้นดินมีค่ามากที่สุดเมื่อเติม EDTA เป็นจำนวน 3 ครั้ง คือมีค่า 13 mg/kg

ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.2 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 2.0 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ผลการศึกษาความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันในส่วนราก ดังรูปที่ 4.14 (ข) พบว่าเมื่อเติมตัวคีเลต 1 ครั้ง การเติม EDDS ทำให้มีความเข้มข้นของแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้มากที่สุดคือมีค่า 152 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 2.0 mg/kg แบ่งเติม 1 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สำหรับความเข้มข้นแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้น้อยที่สุดเมื่อเติม citric acid มีค่าเท่ากับ 102 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 2.0 mg/kg แบ่งเติม 1 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และเมื่อทำการเติมตัวคีเลต 2 ครั้ง พบว่าการเติม EDTA ทำให้มีความเข้มข้นของแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้มากที่สุดคือมีค่า 133 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างความเข้มข้นแคดเมียมในทานตะวันในส่วนรากระหว่างชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.2 mg/kg แบ่งเติม 2 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 2.0 mg/kg แบ่งเติม 2 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 2.0 mg/kg แบ่งเติม 2 ครั้ง และเมื่อเติม citric acid ทำให้มีความเข้มข้นของแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้น้อยที่สุดเท่ากับ 132 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างความเข้มข้นแคดเมียมในทานตะวันในส่วนรากระหว่างชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.2 mg/kg แบ่งเติม 2 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 2.0 mg/kg แบ่งเติม 2 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 2.0 mg/kg แบ่งเติม 2 ครั้ง และเมื่อทำการเติมตัวคีเลต 3 ครั้ง พบว่าการเติม citric acid ทำให้มีความเข้มข้นของแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้มากที่สุดคือมีค่า 208 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 2.0 mg/kg แบ่งเติม 3 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 2.0 mg/kg แบ่งเติม 3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สำหรับความเข้มข้นแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้น้อยที่สุดเมื่อเติม EDDS มีค่าเท่ากับ 122 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 2.0 mg/kg แบ่งเติม 3 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 2.0 mg/kg แบ่งเติม 3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แสดงว่าความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันในส่วนรากมีค่ามากที่สุดเมื่อเติม citric acid เป็นจำนวน 3 ครั้ง คือมีค่า 208 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank control ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.2 mg/kg เป็นจำนวน 1 2 และ 3 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 2.0 mg/kg เป็นจำนวน 1 2

และ 3 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 2.0 mg/kg เป็นจำนวน 1 และ 2 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ผลการศึกษาความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันทั้งต้น ดังรูปที่ 4.14 (ค) พบว่าเมื่อเติมตัวคีเลต 1 ครั้ง การเติม EDDS ทำให้มีความเข้มข้นของแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้มากที่สุดคือมีค่า 19 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 2.0 mg/kg แบ่งเติม 1 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สำหรับความเข้มข้นแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้น้อยที่สุดเมื่อเติม citric acid มีค่าเท่ากับ 13 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 2.0 mg/kg แบ่งเติม 1 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และเมื่อทำการเติมตัวคีเลต 2 ครั้ง พบว่าการเติม EDTA ทำให้มีความเข้มข้นของแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้มากที่สุดคือมีค่า 18 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างความเข้มข้นแคดเมียมในทานตะวันทั้งต้นระหว่างชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 2.0 mg/kg แบ่งเติม 2 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 2.0 mg/kg แบ่งเติม 2 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 2.0 mg/kg แบ่งเติม 2 ครั้ง และเมื่อเติม citric acid ทำให้มีความเข้มข้นของแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้น้อยที่สุดเท่ากับ 14 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างความเข้มข้นแคดเมียมในทานตะวันทั้งต้นระหว่างชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 2.0 mg/kg แบ่งเติม 2 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 2.0 mg/kg แบ่งเติม 2 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 2.0 mg/kg แบ่งเติม 2 ครั้ง และเมื่อทำการเติมตัวคีเลต 3 ครั้ง พบว่าการเติม citric acid ทำให้มีความเข้มข้นของแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้มากที่สุดคือมีค่า 20 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างความเข้มข้นแคดเมียมในทานตะวันทั้งต้นระหว่างชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 2.0 mg/kg แบ่งเติม 3 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 2.0 mg/kg แบ่งเติม 3 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 2.0 mg/kg แบ่งเติม 2 ครั้ง สำหรับความเข้มข้นแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้น้อยที่สุดเมื่อเติม EDDS มีค่าเท่ากับ 15 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างความเข้มข้นแคดเมียมในทานตะวันทั้งต้นระหว่างชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 2.0 mg/kg แบ่งเติม 3 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 2.0 mg/kg แบ่งเติม 3 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 2.0 mg/kg แบ่งเติม 2 ครั้ง แสดงว่าความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันทั้งต้นมีค่ามากที่สุดเมื่อเติม citric acid เป็นจำนวน 3 ครั้ง คือมีค่า 20 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 2.0 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

จากผลการศึกษาความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันทั้งส่วนเหนือพื้นดิน ส่วนราก และทั้งต้น เมื่อเติม EDTA ความเข้มข้น 0.2 และ EDDS citric acid 2.0 mg/kg พบว่า ความเข้มข้นแคดเมียมส่วนเหนือพื้นดินและทั้งต้นจะมีค่ามากที่สุดเมื่อเติม EDTA แสดงว่าที่ความเข้มข้นนี้ EDTA ช่วยเพิ่มความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันส่วนเหนือพื้นดินและทั้งต้นมากกว่า EDDS และ citric acid สำหรับความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันส่วนรากมากที่สุดเมื่อเติม citric acid แสดงว่าที่ความเข้มข้นนี้ citric acid ช่วยเพิ่มความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันส่วนราก มากกว่า EDTA และ EDDS

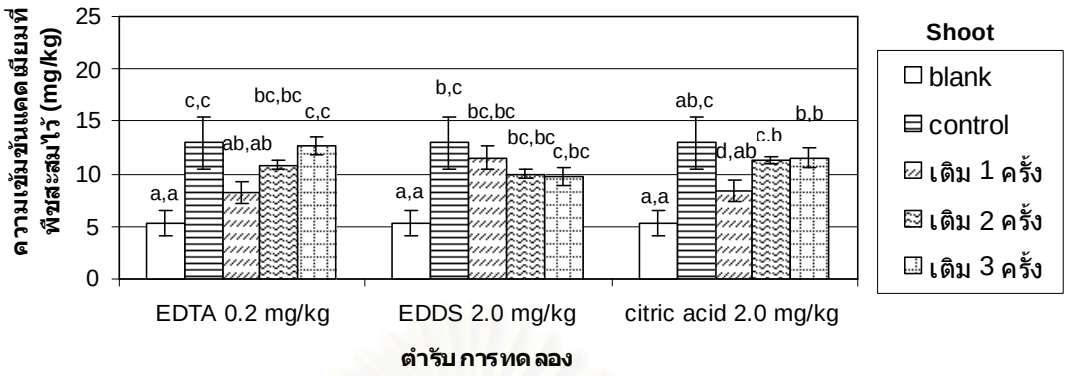
จากผลการศึกษาความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันเมื่อความเข้มข้นคีเลตและวิธีการเติมต่างๆกัน พบว่า ส่วนเหนือพื้นดิน และทั้งต้น มีค่าความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันมากที่สุดเมื่อเติม EDTA ความเข้มข้น 0.15 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง คือ มีค่าเท่ากับ 17 และ 34 mg/kg สำหรับส่วนรากมีค่าความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันมากที่สุดเมื่อเติม EDTA ความเข้มข้น 0.15 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง คือ มีค่าเท่ากับ 222 mg/kg จากผลดังกล่าวสอดคล้องกับการทดลองของ Meers และคณะ (2004) ซึ่งทำการศึกษาประสิทธิภาพของ EDTA และ EDDS ในการกำจัด แคดเมียม ทองแดง โครเมียม นิกเกิล ตะกั่ว และสังกะสี โดยใช้ทานตะวัน พบว่าเมื่อความเข้มข้นของ EDTA และ EDDS เท่ากัน EDTA ช่วยเพิ่มการสะสมแคดเมียมในทานตะวันมากกว่า EDDS นอกจากนี้ การทดลองของ Turgut และคณะ (2004) ซึ่งได้ทำการศึกษาผลของ EDTA และ citric acid ต่อการสะสม แคดเมียม โครเมียม และ นิกเกิล ของทานตะวัน 2 สายพันธุ์ คือ สายพันธุ์ dwarf sunspot และ teddy bear โดยพบว่า EDTA ช่วยเพิ่มการสะสมแคดเมียมในทานตะวันทั้ง 2 สายพันธุ์มากกว่า citric acid

จากผลการศึกษาความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันเมื่อความเข้มข้นคีเลตและวิธีการเติมต่างๆกัน พบว่าการสะสมแคดเมียมของทานตะวันส่วนใหญ่จะสะสมในส่วนรากมากกว่าในส่วนเหนือพื้นดินซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Turgut และคณะ (2004) โดยพบว่าทานตะวันสายพันธุ์ dwarf sunspot จะสะสมแคดเมียมในส่วนรากมากกว่าในลำต้นและใบ เช่นเดียวกับการทดลองของ Gardea-Torresdey และคณะ (2004) ศึกษาการสะสมแคดเมียม โครเมียม และทองแดงของ *Convolvulus arvensis* L. พบว่าแคดเมียมจะสะสมอยู่ในส่วนรากมากกว่าในลำต้นและใบ การที่แคดเมียมมีการสะสมอยู่ในส่วนรากมากกว่าส่วนเหนือพื้นดินอาจจะเนื่องมาจากแคดเมียมไม่สามารถเคลื่อนที่ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ (plasma membrane) เข้าไปได้ (Turgut และคณะ, 2004) สำหรับแคดเมียมบางส่วนที่สามารถเคลื่อนที่ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์เข้าไปได้โดยใช้เส้นทางเดียวกับ Zn^{2+} ผ่านทางช่อง Ca^{2+} (Ca^{2+} channel) เนื่องจากความคล้ายคลึงกันทางเคมีของ Cd^{2+}และ Zn^{2+} จึงเป็นไปได้ว่า Cd^{2+} จะเคลื่อนที่เข้าสู่รากพืชโดยใช้เส้นทางเดียวกับ Zn^{2+} เมื่อแคดเมียมเคลื่อนที่ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ไปแล้วแคดเมียมจะเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับ citric acid

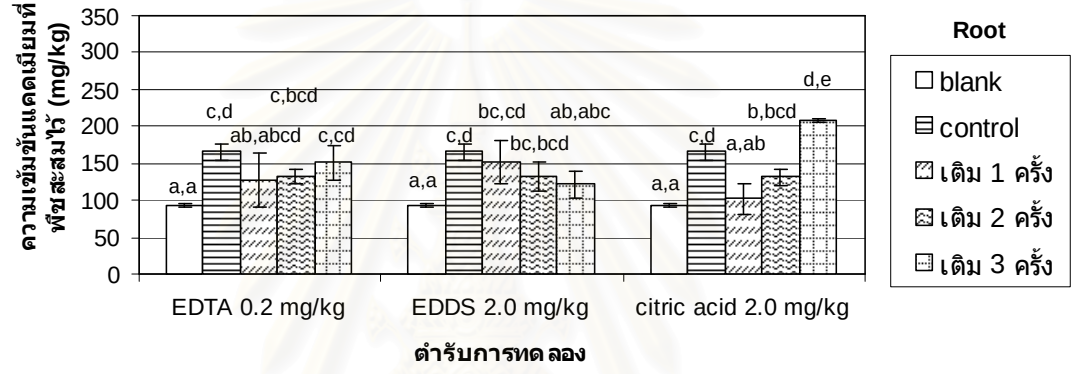
phytochelatins ฯลฯ ใน cytosol (ส่วนที่เป็นของเหลวใน cytoplasm) และการลำเลียงในท่อลำเลียงน้ำ (xylem) (Welch และ Norvell, 1999)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

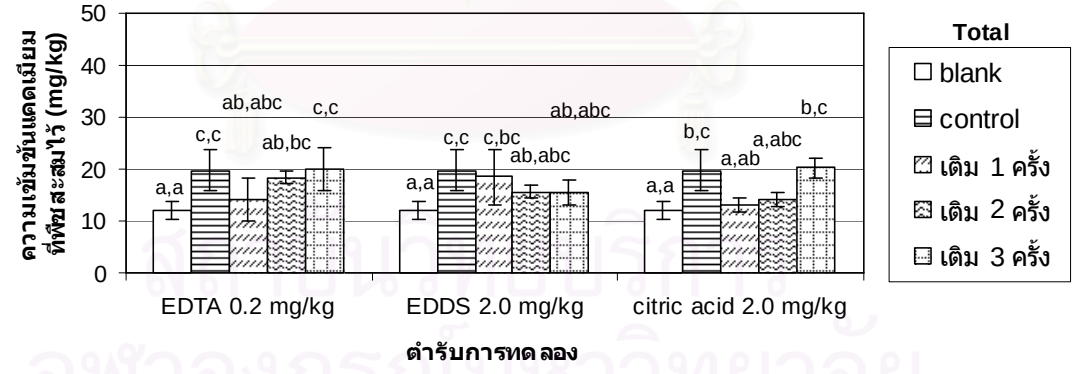
(ก)



(ข)



(ค)



รูปที่ 4.14 ความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันใน (ก) ส่วนเหนือพื้นดิน (ข) ส่วนราก และ (ค) ทั้งต้น ที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.2 mg/kg ส่วน EDDS และ citric acid ความเข้มข้น 2.0 mg/kg

หมายเหตุ: 1) ตัวอักษรตัวหน้าที่แตกต่างกันบนกราฟแต่ละแท่ง หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างคีเลตชนิดเดียวกันแต่วิธีการเติมต่างกัน ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

2) ตัวอักษรตัวหลังที่แตกต่างกันบนกราฟแต่ละแท่ง หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างคีเลตทั้ง 3 ชนิดแต่จำนวนครั้งเท่ากันตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

3) Bars แสดงค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) โดย n = 3

4.4 ปริมาณแคดเมียมในดิน

ปริมาณแคดเมียมในดินในงานวิจัยนี้จะแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ รูปที่ใช้ประโยชน์ได้ที่เหลืออยู่ในดิน (available) และ ทั้งหมดที่เหลืออยู่ในดิน (total) ซึ่งข้อมูลปริมาณแคดเมียมในดินได้แสดงไว้ดังรูปที่ 4.15-4.21 ตามลำดับ

4.4.1 ปริมาณของแคดเมียมในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ที่เหลืออยู่ในดิน (available) และในดินทั้งหมดที่เหลืออยู่ในดิน (total) หลังการเติม EDTA ความเข้มข้นต่างกัน

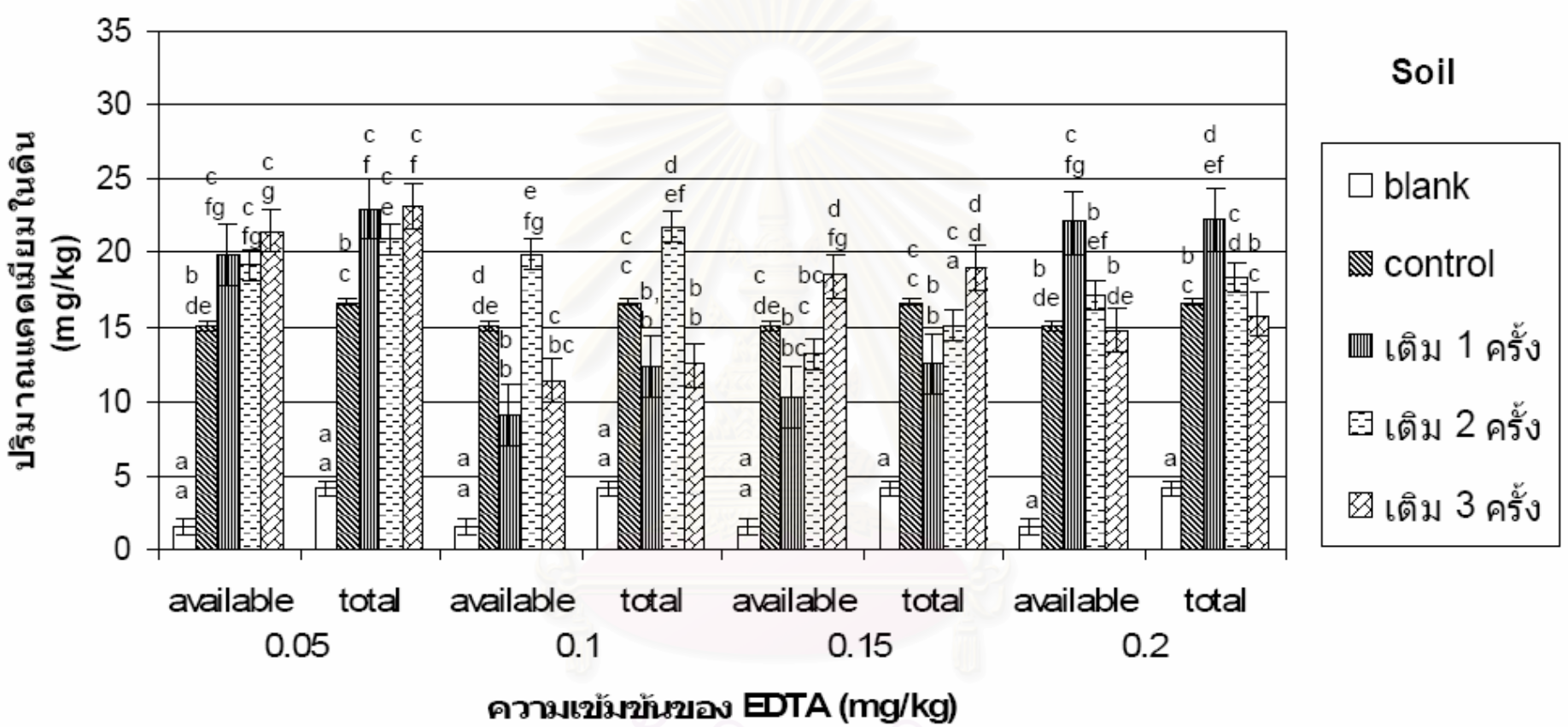
ผลการศึกษาปริมาณของแคดเมียมในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ที่เหลืออยู่ในดิน เมื่อเติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 0.1 0.15 และ 0.2 mg/kg ดังรูปที่ 4.15 พบว่าเมื่อเติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 mg/kg ปริมาณของแคดเมียมในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ที่เหลืออยู่ในดิน มีค่ามากที่สุดเมื่อแบ่งเติมเป็นจำนวน 3 ครั้ง โดยมีค่าเท่ากับ 22 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank control อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และมีค่าน้อยที่สุดในชุดการทดลอง blank คือมีค่าเท่ากับ 2 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลอง control และชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 mg/kg ทุกชุดอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเติม EDTA ความเข้มข้น 0.1 mg/kg พบว่าปริมาณของแคดเมียมในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ที่เหลืออยู่ในดิน มีค่ามากที่สุดเมื่อแบ่งเติมเป็นจำนวน 2 ครั้ง กล่าวคือมีค่าเท่ากับ 20 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank control และชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.1 mg/kg ทุกชุดที่อย่างมีนัยสำคัญระดับความเชื่อมั่น 95% และมีค่าน้อยที่สุดในชุดการทดลอง blank คือมีค่าเท่ากับ 2 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลอง control และชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.1 mg/kg ทุกชุดอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเติม EDTA ความเข้มข้น 0.15 mg/kg ปริมาณของแคดเมียมในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ที่เหลืออยู่ในดินมีค่ามากที่สุดเมื่อแบ่งเติมเป็นจำนวน 3 ครั้ง โดยมีค่าเท่ากับ 18 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank control และชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.15 mg/kg ทุกชุดอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และมีค่าน้อยที่สุดในชุดการทดลอง blank คือมีค่าเท่ากับ 2 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลอง control และชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.15 mg/kg ทุกชุดอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และเมื่อเติม EDTA ความเข้มข้น 0.2 mg/kg ปริมาณของแคดเมียมในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ที่เหลืออยู่ในดินมีค่ามากที่สุดเมื่อแบ่งเติมเป็นจำนวน 1

ครั้ง โดยมีค่าเท่ากับ 20 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank control และชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.2 mg/kg ทุกชุดอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และมีค่าน้อยที่สุดในชุดการทดลอง blank คือมีค่าเท่ากับ 2 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลอง control และชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.2 mg/kg ทุกชุดอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แสดงว่าปริมาณของแคดเมียมในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ที่เหลืออยู่ในดินมีค่ามากที่สุดเมื่อเติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 mg/kg แบ่งเติมเป็นจำนวน 3 ครั้ง โดยมีค่าเท่ากับ 22 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank control ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.1 mg/kg เป็นจำนวน 1 และ 3 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.15 mg/kg เป็นจำนวน 1 และ 2 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.2 mg/kg เป็นจำนวน2 และ 3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ผลการศึกษาปริมาณของแคดเมียมในดินทั้งหมด เมื่อเติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 0.1 0.15 และ 0.2 mg/kg ดังรูป 4.15 พบว่าเมื่อเติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 mg/kg ปริมาณของแคดเมียมในดินทั้งหมดที่เหลืออยู่ในดินมีค่ามากที่สุดเมื่อแบ่งเติมเป็นจำนวน 3 ครั้ง โดยมีค่าเท่ากับ 23 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank control อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และมีค่าน้อยที่สุดในชุดการทดลอง blank คือมีค่าเท่ากับ 4 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลอง control ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 mg/kg ทุกชุดอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเติม EDTA ความเข้มข้น 0.1 mg/kg พบว่าปริมาณของแคดเมียมในดินทั้งหมดที่เหลืออยู่ในดินมีค่ามากที่สุดเมื่อแบ่งเติมเป็นจำนวน 2 ครั้ง กล่าวคือมีค่าเท่ากับ 22 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank control ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.1 mg/kg ทุกชุดอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และมีค่าน้อยที่สุดในชุดการทดลอง blank คือมีค่าเท่ากับ 4 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลอง control ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.1 mg/kg ทุกชุดอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเติม EDTA ความเข้มข้น 0.15 mg/kg ปริมาณของแคดเมียมในดินทั้งหมดที่เหลืออยู่ในดินมีค่ามากที่สุดเมื่อแบ่งเติมเป็นจำนวน 3 ครั้ง โดยมีค่าเท่ากับ 19 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank control ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.15 mg/kg ทุกชุดอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และมีค่าน้อยที่สุดในชุดการทดลอง blank คือมีค่าเท่ากับ 4 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีความแตกต่างอย่างมีค่าน้อยกว่าชุดการทดลอง control ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.15 mg/kg ทุกชุดอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และเมื่อเติม EDTA ความเข้มข้น 0.2 mg/kg ปริมาณของแคดเมียมในดินทั้งหมดที่เหลืออยู่ในดินมีค่ามากที่สุดเมื่อแบ่ง

เติมเป็นจำนวน 1 ครั้ง โดยมีค่าเท่ากับ 22 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank control ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.2 mg/kg ทุกชุดอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และมีค่าน้อยที่สุดในชุดการทดลอง blank คือมีค่าเท่ากับ 4 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลอง control ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.2 mg/kg ทุกชุดอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แสดงว่าปริมาณของแคดเมียมในดินทั้งหมดที่เหลืออยู่ในดินมีค่ามากที่สุดเมื่อเติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 mg/kg แบ่งเติมเป็นจำนวน 3 ครั้ง โดยมีค่าเท่ากับ 23 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank control ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.1 mg/kg เป็นจำนวน 1 และ 3 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.15 mg/kg เป็นจำนวน 1 2 และ 3 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.2 mg/kg เป็นจำนวน 2 และ 3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.15 ปริมาณของแคดเมียมรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ และในดินทั้งหมด หลังการเติม EDTA ความเข้มข้นต่างกัน

หมายเหตุ: 1) ตัวอักษรตัวหน้าที่แตกต่างกันบนกราฟแต่ละแท่ง หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างความเข้มข้นเดียวกันแต่จำนวนครั้งที่แบ่งต่างกัน ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

2) ตัวอักษรตัวหลังที่แตกต่างกันบนกราฟแต่ละแท่ง หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างความเข้มข้นต่างๆ แต่จำนวนครั้งเท่ากันตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

3) Bars แสดงค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) โดย n = 3

4.4.2 ปริมาณของแคดเมียมในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ที่เหลืออยู่ในดิน (available) และในดินทั้งหมดที่เหลืออยู่ในดิน (total) หลังการเติม EDDS ความเข้มข้นต่างกัน

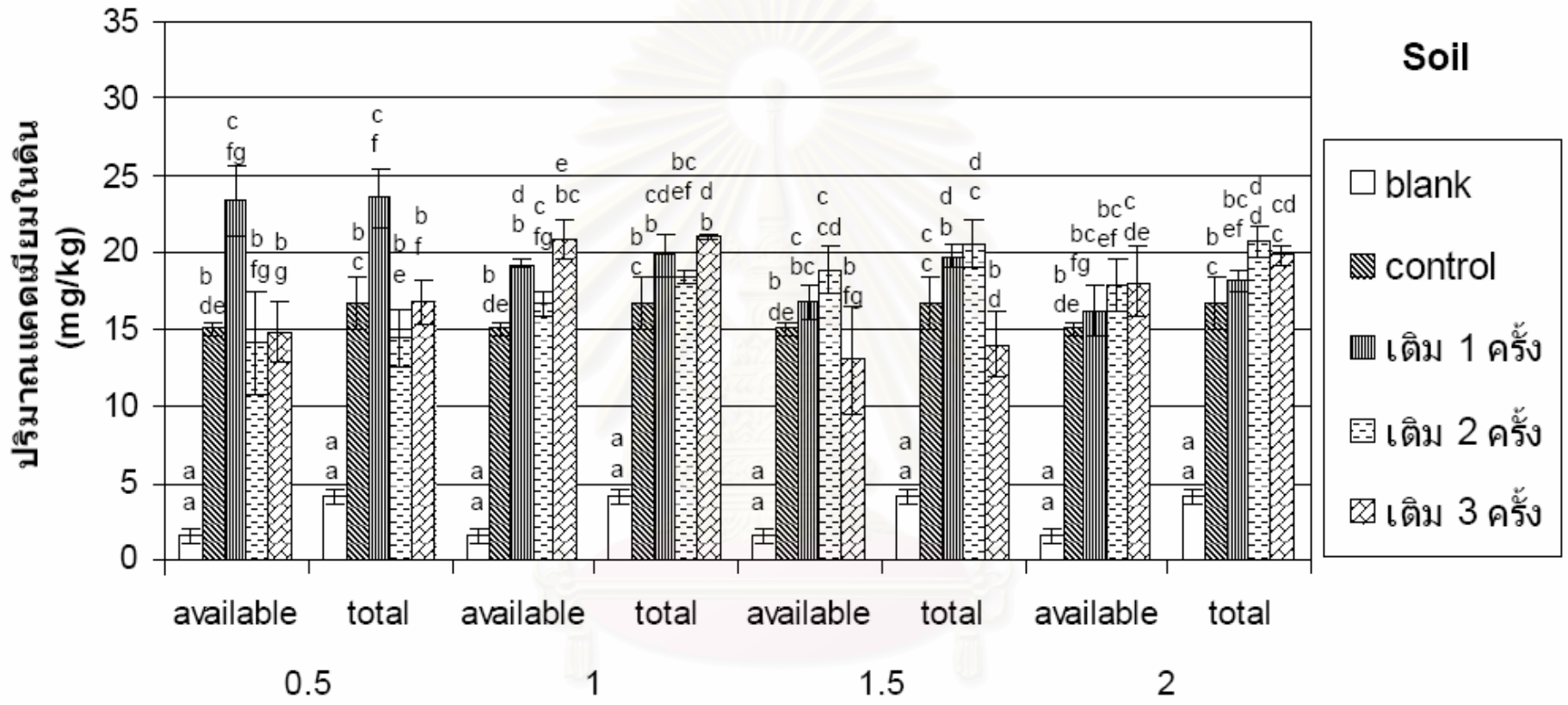
ผลการศึกษาปริมาณของแคดเมียมในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ที่เหลืออยู่ในดินเมื่อเติม EDDS ความเข้มข้น 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 mg/kg ดังรูป 4.16 พบว่าเมื่อเติม EDDS ความเข้มข้น 0.5 mg/kg ปริมาณของแคดเมียมในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ที่เหลืออยู่ในดินมีค่ามากที่สุดเมื่อแบ่งเติมเป็นจำนวน 1 ครั้ง โดยมีค่าเท่ากับ 23 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีความแตกต่างอย่างมีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank control และชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 0.5 mg/kg ทุกชุด อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และมีค่าน้อยที่สุดในชุดการทดลอง blank คือมีค่าเท่ากับ 2 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลอง control และชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 0.5 mg/kg ทุกชุด อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเติม EDDS ความเข้มข้น 1.0 mg/kg พบว่าปริมาณของแคดเมียมในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ที่เหลืออยู่ในดินมีค่ามากที่สุดเมื่อแบ่งเติมเป็นจำนวน 3 ครั้ง กล่าวคือมีค่าเท่ากับ 21 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank control และชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.0 mg/kg ทุกชุด อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และมีค่าน้อยที่สุดในชุดการทดลอง blank คือมีค่าเท่ากับ 2 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลอง control และชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.0 mg/kg ทุกชุดอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเติม EDDS ความเข้มข้น 1.5 mg/kg ปริมาณของแคดเมียมในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ที่เหลืออยู่ในดินมีค่ามากที่สุดเมื่อแบ่งเติมเป็นจำนวน 2 ครั้ง โดยมีค่าเท่ากับ 19 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank control และชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.5 mg/kg แบ่งเติม 3 ครั้งอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และมีค่าน้อยที่สุดในชุดการทดลอง blank คือมีค่าเท่ากับ 2 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลอง control และชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.5 mg/kg ทุกชุดอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และเมื่อเติม EDDS ความเข้มข้น 2.0 mg/kg ปริมาณของแคดเมียมในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ที่เหลืออยู่ในดินมีค่ามากที่สุดเมื่อแบ่งเติมเป็นจำนวน 3 ครั้ง โดยมีค่าเท่ากับ 18 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank control อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และมีค่าน้อยที่สุดในชุดการทดลอง blank คือมีค่าเท่ากับ 2 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลอง control และชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 2.0 mg/kg ทุกชุดอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แสดงว่าปริมาณของแคดเมียมในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ที่เหลืออยู่ในดินมีค่ามากที่สุดเมื่อเติม EDDS ความเข้มข้น 0.5 mg/kg แบ่งเติมเป็นจำนวน 1 ครั้ง โดยมีค่าเท่ากับ 23 mg/kg ซึ่ง

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank control และชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 0.5 mg/kg ทุกชุด ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.0 mg/kg เป็นจำนวน 1 และ 2 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.5 mg/kg เป็นจำนวน 1 2 และ 3 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 2.0 mg/kg เป็นจำนวน 1 2 และ 3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ผลการศึกษาปริมาณของแคดเมียมในดินทั้งหมดที่เหลืออยู่ในดินเมื่อเติม EDDS ความเข้มข้น 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 mg/kg ดังรูป 4.16 พบว่าเมื่อเติม EDDS ความเข้มข้น 0.5 mg/kg ปริมาณของแคดเมียมในดินทั้งหมดที่เหลืออยู่ในดินมีค่ามากที่สุดเมื่อแบ่งเติมเป็นจำนวน 1 ครั้ง โดยมีค่าเท่ากับ 24 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank control และชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 0.5 mg/kg ทุกชุดอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และมีค่าน้อยที่สุดในชุดการทดลอง blank คือมีค่าเท่ากับ 4 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลอง control และชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 0.5 mg/kg ทุกชุดอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเติม EDDS ความเข้มข้น 1.0 mg/kg พบว่าปริมาณของแคดเมียมในดินทั้งหมดที่เหลืออยู่ในดินมีค่ามากที่สุดเมื่อแบ่งเติมเป็นจำนวน 3 ครั้ง กล่าวคือมีค่าเท่ากับ 21 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank control และชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.0 mg/kg แบ่งเติมเป็นจำนวน 2 ครั้งอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และมีค่าน้อยที่สุดในชุดการทดลอง blank คือมีค่าเท่ากับ 4 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลอง control และชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.0 mg/kg ทุกชุดอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเติม EDDS ความเข้มข้น 1.5 mg/kg ปริมาณของแคดเมียมในดินทั้งหมดที่เหลืออยู่ในดินมีค่ามากที่สุดเมื่อแบ่งเติมเป็นจำนวน 2 ครั้ง โดยมีค่าเท่ากับ 20 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank control และชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.5 mg/kg แบ่งเติมเป็นจำนวน 3 ครั้งอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และมีค่าน้อยที่สุดในชุดการทดลอง blank คือมีค่าเท่ากับ 4 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลอง control และชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.5 mg/kg ทุกชุดอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และเมื่อเติม EDDS ความเข้มข้น 2.0 mg/kg ปริมาณของแคดเมียมในดินทั้งหมดที่เหลืออยู่ในดินมีค่ามากที่สุดเมื่อแบ่งเติมเป็นจำนวน 2 ครั้ง โดยมีค่าเท่ากับ 21 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีความแตกต่างอย่างมีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank control และชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 2.0 mg/kg แบ่งเติม 1 ครั้งอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และมีค่าน้อยที่สุดในชุดการทดลอง blank คือมีค่าเท่ากับ 4 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลอง control และชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 2.0 mg/kg ทุกชุด

อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แสดงว่าปริมาณของแคดเมียมในดินทั้งหมดที่เหลืออยู่ในดินมีค่ามากที่สุดเมื่อเติม EDDS ความเข้มข้น 0.5 mg/kg แบ่งเติมเป็นจำนวน 1 ครั้ง โดยมีค่าเท่ากับ 24 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าอย่างมีนัยสำคัญระหว่างปริมาณของแคดเมียมในดินทั้งหมดที่เหลืออยู่ในดินระหว่างชุดการทดลอง blank control และชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 0.5 mg/kg ทุกชุด ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.0 mg/kg ทุกชุด ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.5 mg/kg ทุกชุด และชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 2.0 mg/kg ทุกชุด อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.16 ปริมาณของแคดเมียมในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ และในดินทั้งหมด หลังการเติม EDDS ความเข้มข้นต่างกัน

หมายเหตุ: 1) ตัวอักษรตัวหน้าที่แตกต่างกันบนกราฟแต่ละแท่ง หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างความเข้มข้นเดียวกันแต่จำนวนครั้งที่แบ่งต่างกัน ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

2) ตัวอักษรตัวหลังที่แตกต่างกันบนกราฟแต่ละแท่ง หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างความเข้มข้นต่างๆ แต่จำนวนครั้งเท่ากันตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

3) Bars แสดงค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) โดย n = 3

4.4.3 ปริมาณของแคดเมียมในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ที่เหลืออยู่ในดิน (available) และในดินทั้งหมดที่เหลืออยู่ในดิน (total) หลังการเติม citric acid ความเข้มข้นต่างกัน

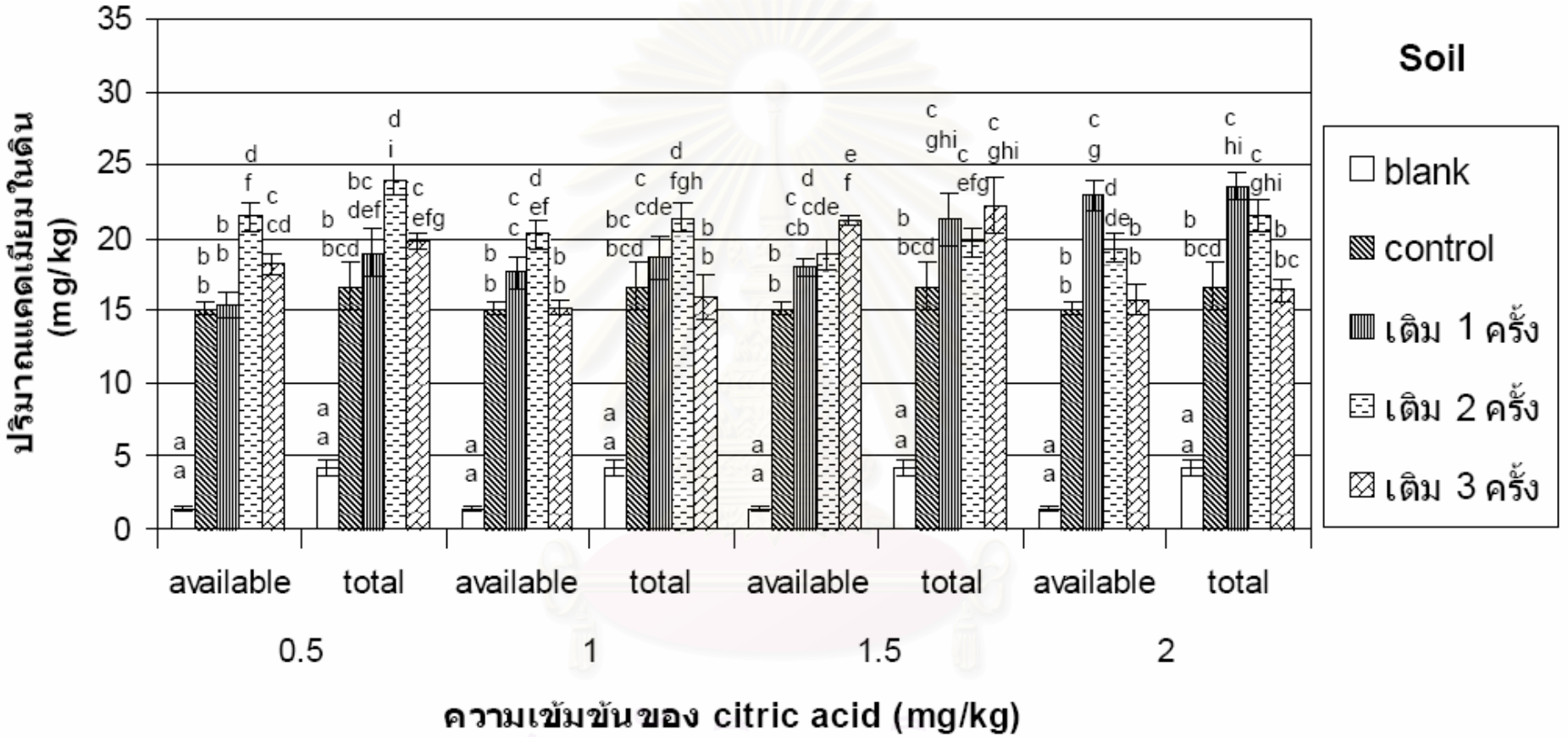
ผลการศึกษาปริมาณของแคดเมียมในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ ที่เหลืออยู่ในดิน เมื่อเติม citric acid ความเข้มข้น 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 mg/kg ดังรูป 4.17 พบว่าเมื่อเติม citric acid ความเข้มข้น 0.5 mg/kg ปริมาณของแคดเมียมในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ที่เหลืออยู่ในดินมีค่ามากที่สุดเมื่อแบ่งเติมเป็นจำนวน 2 ครั้ง โดยมีค่าเท่ากับ 21 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank control และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 0.5 mg/kg ทุกชุดอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และมีค่าน้อยที่สุดในชุดการทดลอง blank คือมีค่าเท่ากับ 2 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลอง control และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 0.5 mg/kg ทุกชุดอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเติม citric acid ความเข้มข้น 1.0 mg/kg พบว่าปริมาณของแคดเมียมในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ที่เหลืออยู่ในดินมีค่ามากที่สุดเมื่อแบ่งเติมเป็นจำนวน 2 ครั้ง กล่าวคือมีค่าเท่ากับ 20 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank control และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.0 mg/kg ทุกชุดอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และมีค่าน้อยที่สุดในชุดการทดลอง blank คือมีค่าเท่ากับ 2 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลอง control และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.0 mg/kg ทุกชุดอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเติม citric acid ความเข้มข้น 1.5 mg/kg ปริมาณของแคดเมียมในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ที่เหลืออยู่ในดินมีค่ามากที่สุดเมื่อแบ่งเติมเป็นจำนวน 3 ครั้ง โดยมีค่าเท่ากับ 21 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank control และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.5 mg/kg ทุกชุดอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และมีค่าน้อยที่สุดในชุดการทดลอง blank คือมีค่าเท่ากับ 2 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลอง control และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.5 mg/kg ทุกชุดอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และเมื่อเติม citric acid ความเข้มข้น 2.0 mg/kg ปริมาณของแคดเมียมในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ที่เหลืออยู่ในดินมีค่ามากที่สุดเมื่อแบ่งเติมเป็นจำนวน 1 ครั้ง โดยมีค่าเท่ากับ 23 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank control และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 2.0 mg/kg ทุกชุดอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และมีค่าน้อยที่สุดในชุดการทดลอง blank คือมีค่าเท่ากับ 2 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลอง control และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 2.0 mg/kg ทุกชุดอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แสดงว่าปริมาณของแคดเมียมในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ที่เหลืออยู่ในดินมีค่ามากที่สุดเมื่อเติม citric acid ความ

เข้มข้น 2.0 mg/kg แบ่งเติมเป็นจำนวน 1 ครั้ง โดยมีค่าเท่ากับ 23 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank control ชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 0.5 mg/kg ทุกชุด ชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.0 mg/kg ทุกชุด ชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.5 mg/kg ทุกชุด และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 2.0 mg/kg ทุกชุด อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ผลการศึกษาปริมาณของแคดเมียมในดินทั้งหมดที่เหลืออยู่ในดินเมื่อเติม citric acid ความเข้มข้น 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 mg/kg ดังรูป 4.17 พบว่าเมื่อเติม citric acid ความเข้มข้น 0.5 mg/kg ปริมาณของแคดเมียมในดินทั้งหมดที่เหลืออยู่ในดิน มีค่ามากที่สุดเมื่อแบ่งเติมเป็นจำนวน 2 ครั้ง โดยมีค่าเท่ากับ 24 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank control และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 0.5 mg/kg ทุกชุดอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และมีค่าน้อยที่สุดในชุดการทดลอง blank คือมีค่าเท่ากับ 4 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลอง control และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 0.5 mg/kg ทุกชุดอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเติม citric acid ความเข้มข้น 1.0 mg/kg พบว่าปริมาณของแคดเมียมในดินทั้งหมดที่เหลืออยู่ในดิน มีค่ามากที่สุดเมื่อแบ่งเติมเป็นจำนวน 2 ครั้ง กล่าวคือมีค่าเท่ากับ 21 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank control และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.0 mg/kg ทุกชุดอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และมีค่าน้อยที่สุดในชุดการทดลอง blank คือมีค่าเท่ากับ 4 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลอง control และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.0 mg/kg ทุกชุดอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเติม citric acid ความเข้มข้น 1.5 mg/kg ปริมาณของแคดเมียมในดินทั้งหมดที่เหลืออยู่ในดิน มีค่ามากที่สุดเมื่อแบ่งเติมเป็นจำนวน 3 ครั้ง โดยมีค่าเท่ากับ 22 mg/kgซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank control อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และมีค่าน้อยที่สุดในชุดการทดลอง blank คือมีค่าเท่ากับ 4 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลอง control และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.5 mg/kg ทุกชุดอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และเมื่อเติม citric acid ความเข้มข้น 2.0 mg/kg ปริมาณของแคดเมียมในดินทั้งหมดที่เหลืออยู่ในดินมีค่ามากที่สุดเมื่อแบ่งเติมเป็นจำนวน 1 ครั้ง โดยมีค่าเท่ากับ 23 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank control และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 2.0 mg/kg แบ่งเติม 3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และมีค่าน้อยที่สุดในชุดการทดลอง blank คือมีค่าเท่ากับ 4 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลอง control และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 2.0 mg/kg ทุกชุดอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แสดงว่าปริมาณของแคดเมียมในดินทั้งหมดที่

เหลืออยู่ในดินมีค่ามากที่สุดเมื่อเติม citric acid ความเข้มข้น 0.5 mg/kg แบ่งเติมเป็นจำนวน 2 ครั้ง โดยมีค่าเท่ากับ 24 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank control และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 1 และ 3 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.0 mg/kg ทุกชุด ชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.5 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 2.0 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.17 ปริมาณของแคดเมียมในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ และในดินทั้งหมด หลังการเติม citric acid ความเข้มข้นต่างกัน

หมายเหตุ: 1) ตัวอักษรตัวหน้าที่แตกต่างกันบนกราฟแต่ละแท่ง หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างความเข้มข้นเดียวกันแต่จำนวนครั้งที่แบ่งต่างกัน ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

2) ตัวอักษรตัวหลังที่แตกต่างกันบนกราฟแต่ละแท่ง หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างความเข้มข้นต่างๆ แต่จำนวนครั้งเท่ากันตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

3) Bars แสดงค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) โดย n = 3

4.4.4 ปริมาณของแคดเมียมในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ที่เหลืออยู่ในดิน (available) และในดินทั้งหมดที่เหลืออยู่ในดิน (total) หลังการเติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 EDDS และ citric acid ความเข้มข้น 0.5 mg/kg soil

ผลการศึกษาปริมาณแคดเมียมในดินในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ที่เหลืออยู่ในดินหลังการเติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 EDDS และ citric acid ความเข้มข้น 0.5 mg/kg ดังรูปที่ 4.18 เมื่อเติมตัวคีเลต 1 ครั้ง พบว่าปริมาณของแคดเมียมในดินในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ที่เหลืออยู่ในดินมีค่ามากที่สุดเมื่อเติม EDDS คือมีค่า 23 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank control ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ปริมาณของแคดเมียมในดินในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ที่เหลืออยู่ในดินมีค่าน้อยที่สุดในชุดการทดลอง blank คือเท่ากับ 2 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลอง control ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และเมื่อเติมตัวคีเลต 2 ครั้ง พบว่าปริมาณของแคดเมียมในดินในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ที่เหลืออยู่ในดินมีค่ามากที่สุดเมื่อเติม citric acid กล่าวคือมีค่าเท่ากับ 21 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank control ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และปริมาณของแคดเมียมในดินในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ที่เหลืออยู่ในดินมีค่าน้อยที่สุดในชุดการทดลอง blank คือมีค่าเท่ากับ 2 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลอง control ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สำหรับการเติมตัวคีเลต 3 ครั้ง พบว่าปริมาณของแคดเมียมในดินในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ที่เหลืออยู่ในดินมีค่ามากที่สุดเมื่อเติม EDTA คือมีค่า 22 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank control ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ปริมาณของแคดเมียมในดินในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ที่เหลืออยู่ในดินมีค่าน้อยที่สุดในชุดการทดลอง blank คือเท่ากับ 2 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลอง control ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.05

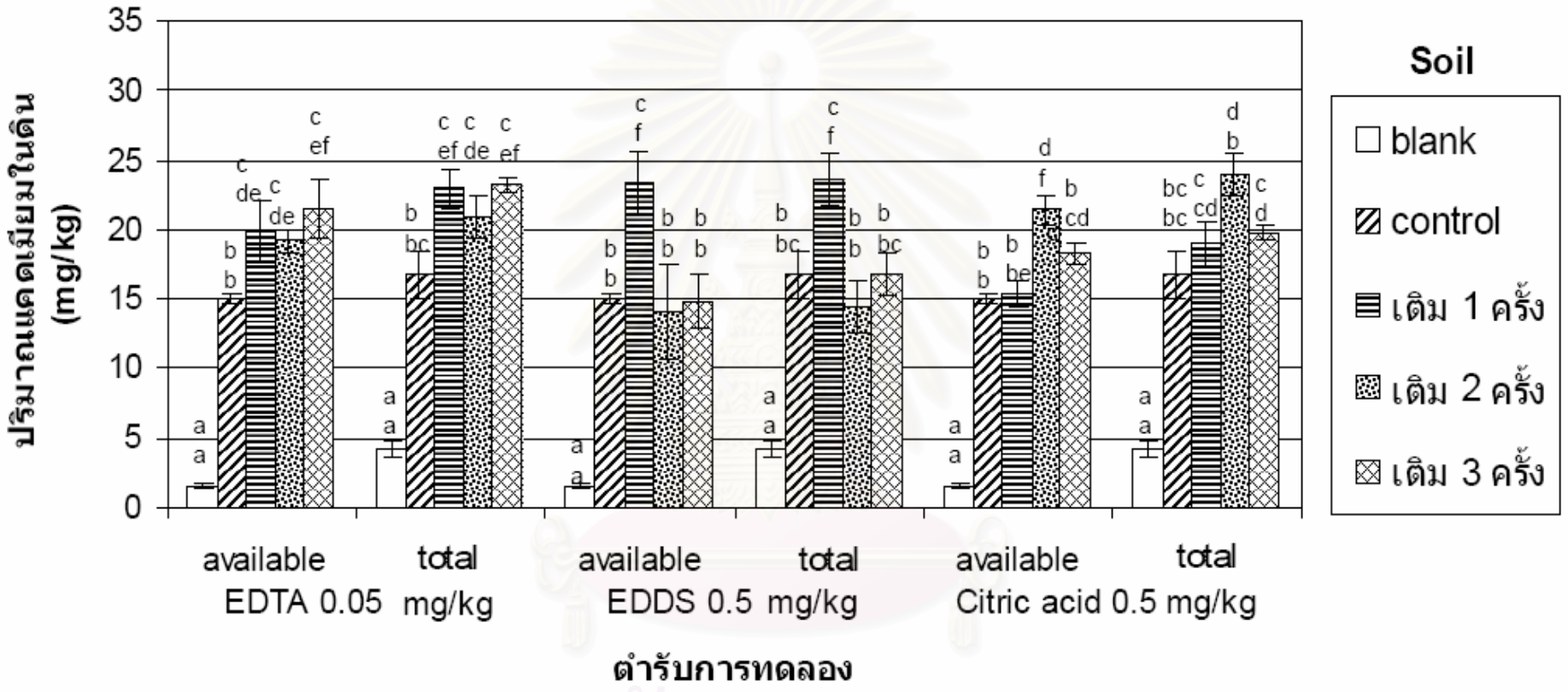
mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แสดงว่าปริมาณของแคดเมียมในดินในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ที่เหลืออยู่ในดินมีค่ามากที่สุดเมื่อเติม EDDS 1 ครั้ง คือมีค่า 23 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank control ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 mg/kg เป็นจำนวน 1 และ 2 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 0.5 mg/kg ทุกชุด และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 1 และ 3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ผลการศึกษาปริมาณของแคดเมียมในดินทั้งหมดที่เหลืออยู่ในดินหลังการเติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 EDDS และ citric acid ความเข้มข้น 0.5 mg/kg ดังรูปที่ 4.18 เมื่อเติมตัวคีเลต 1 ครั้ง พบว่าปริมาณของแคดเมียมในดินทั้งหมดที่เหลืออยู่ในดินมีค่ามากที่สุดเมื่อเติม EDDS มีค่าเท่ากับ 24 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank control และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และปริมาณของแคดเมียมในดินทั้งหมดที่เหลืออยู่ในดินมีค่าน้อยที่สุดในชุดการทดลอง blank คือมีค่า 4 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลอง control ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และเมื่อเติมตัวคีเลต 2 ครั้ง พบว่าปริมาณของแคดเมียมในดินทั้งหมดที่เหลืออยู่ในดินมีค่ามากที่สุดคือ 24 mg/kg เมื่อเติม citric acid ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank control ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และปริมาณของแคดเมียมในดินทั้งหมดที่เหลืออยู่ในดินมีค่าน้อยที่สุดในชุดการทดลอง blank มีค่าเท่ากับ 4 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลอง control ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สำหรับการเติมตัวคีเลต 3 ครั้ง พบว่าความเข้มข้นของแคดเมียมในดินทั้งหมดที่เหลืออยู่ในดินมีค่ามากที่สุดเมื่อเติม EDTA กล่าวคือมีค่า 23 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank control ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ในชุดการทดลอง blank ปริมาณของแคดเมียมในทั้งหมดที่เหลืออยู่ในดิน

มีค่าน้อยที่สุดคือเท่ากับ 4 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลอง control ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แสดงว่าปริมาณของแคดเมียมในดินทั้งหมดที่เหลืออยู่ในดินมีค่ามากที่สุดเมื่อเติม EDDS 1 ครั้ง และ citric acid 2 ครั้ง กล่าวคือมีค่าเท่ากับ 24 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank control ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 0.5 mg/kg ทุกชุด และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้งและ 3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

จากผลการศึกษาปริมาณของแคดเมียมในดินในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ที่เหลืออยู่ในดินและปริมาณของแคดเมียมในดินทั้งหมดที่เหลืออยู่ในดิน เมื่อเติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 EDDS และ citric acid ความเข้มข้น 0.5 mg/kg พบว่าการเติม EDDS 1 ครั้ง จะมีปริมาณของแคดเมียมในดินในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ที่เหลืออยู่ในดินมากกว่าการเติม EDTA และ citric acid สำหรับปริมาณของแคดเมียมในดินทั้งหมดที่เหลืออยู่ในดินการเติม EDDS และ citric acid จะมีปริมาณของแคดเมียมในดินทั้งหมดที่เหลืออยู่ในดินมากกว่าการเติม EDTA ซึ่งจากผลดังกล่าวจะสอดคล้องกับความเข้มข้นแคดเมียมที่พืชสะสมไว้ คือ ถ้าปริมาณแคดเมียมในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ที่เหลืออยู่ในดินมีค่ามาก ค่าความเข้มข้นแคดเมียมที่พืชสะสมไว้จะมีค่าน้อย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.18 ปริมาณของแคดเมียมรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ และในดินทั้งหมด หลังการเติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 mg/kg ส่วน EDDS และ citric acid ความเข้มข้น 0.5 mg/kg

หมายเหตุ: 1) ตัวอักษรตัวหน้าที่แตกต่างกัน บนกราฟแต่ละแท่ง หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างดีเลทชนิดเดียวกันแต่วิธีการเติมต่างกัน ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

2) ตัวอักษรตัวหลังที่แตกต่างกัน บนกราฟแต่ละแท่ง หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างดีเลทั้ง 3 ชนิด แต่จำนวนครั้งเท่ากันตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

3) Bars แสดงค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) โดย n = 3

4.4.5 ปริมาณของแคดเมียมในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ที่เหลืออยู่ในดิน (available) และในดินทั้งหมดที่เหลืออยู่ในดิน (total) หลังการเติม EDTA ความเข้มข้น 0.1 EDDS และ citric acid ความเข้มข้น 1.0 mg/kg soil

ผลการศึกษาปริมาณของแคดเมียมในดินในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ที่เหลืออยู่ในดินหลังการเติม EDTA ความเข้มข้น 0.1 EDDS และ citric acid ความเข้มข้น 1.0 mg/kg ดังรูปที่ 4.19 เมื่อเติมตัวคีเลต 1 ครั้ง พบว่าปริมาณของแคดเมียมในดินในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ที่เหลืออยู่ในดินมีค่ามากที่สุดเมื่อเติม EDDS คือมีค่า 19 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank control ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.1 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.0 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ปริมาณของแคดเมียมในดินในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ที่เหลืออยู่ในดินมีค่าน้อยที่สุดในชุดการทดลอง blank มีค่าเท่ากับ 2 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลอง control ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.1 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.0 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.0 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และเมื่อเติมตัวคีเลต 2 ครั้ง พบว่าปริมาณของแคดเมียมในดินในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ที่เหลืออยู่ในดินมีค่ามากที่สุดเมื่อเติม EDTA และ citric acid กล่าวคือมีค่าเท่ากับ 20 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank control ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.0 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และปริมาณของแคดเมียมในดินในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ที่เหลืออยู่ในดิน มีค่าน้อยที่สุดในชุดการทดลอง blank มีค่าเท่ากับ 2 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลอง control ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.1 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.0 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.0 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สำหรับการเติมตัวคีเลต 3 ครั้ง พบว่าปริมาณของแคดเมียมในดินในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ที่เหลืออยู่ในดินมีค่ามากที่สุดเมื่อเติม EDDS คือมีค่า 21 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank control ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.1 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.0 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ปริมาณของแคดเมียมในดินในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ที่เหลืออยู่ในดินมีค่าน้อยที่สุดในชุดการทดลอง blank มีค่าเท่ากับ 2 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลอง control ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.1 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS

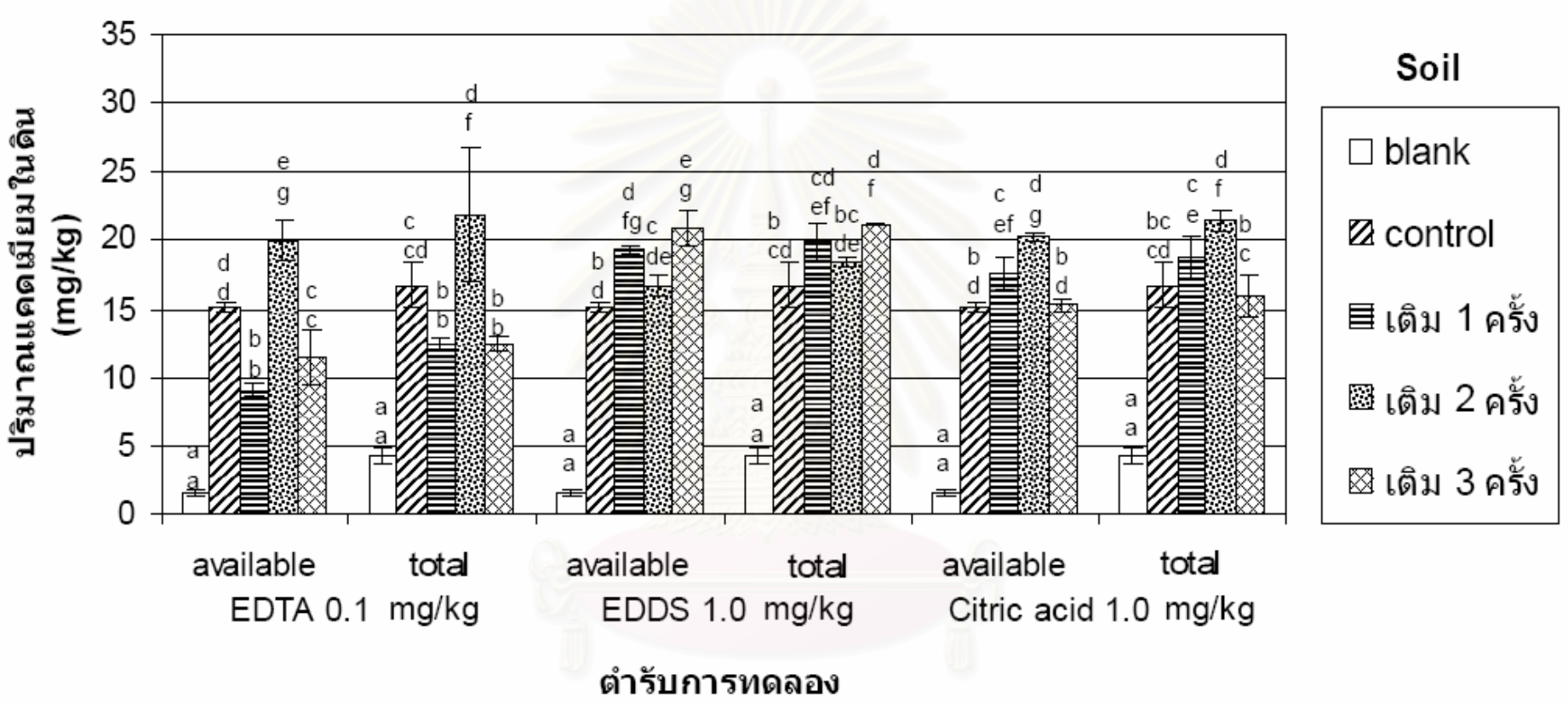
ความเข้มข้น 1.0 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.0 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แสดงว่าปริมาณของแคดเมียมในดินในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ที่เหลืออยู่ในดินมีค่ามากที่สุดเมื่อเติม EDDS แบ่งเติม 3 ครั้ง คือมีค่า 21 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank control ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.1 mg/kg เป็นจำนวน 1 และ 3 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.0 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.0 mg/kg เป็นจำนวน 1 และ 3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ผลการศึกษาปริมาณของแคดเมียมในดินทั้งหมดที่เหลืออยู่ในดินหลังการเติม EDTA ความเข้มข้น 0.1 EDDS และ citric acid ความเข้มข้น 1.0 mg/kg ดังรูปที่ 4.19 เมื่อเติมตัวคีเลต 1 ครั้ง พบว่าปริมาณของแคดเมียมในดินทั้งหมดที่เหลืออยู่ในดินมีค่ามากที่สุดเมื่อเติม EDDS มีค่าเท่ากับ 20 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank control และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.0 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และปริมาณของแคดเมียมในดินทั้งหมดที่เหลืออยู่ในดินมีค่าน้อยที่สุดในชุดการทดลอง blank มีค่าเท่ากับ 4 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลอง control ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.1 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.0 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.0 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และเมื่อเติมตัวคีเลต 2 ครั้ง พบว่าความปริมาณของแคดเมียมในดินทั้งหมดที่เหลืออยู่ในดินมีค่ามากที่สุดคือ 22 mg/kg เมื่อเติม EDTA ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีมีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank control และชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.0 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และปริมาณของแคดเมียมในดินทั้งหมดที่เหลืออยู่ในดินมีค่าน้อยที่สุดในชุดการทดลอง blank มีค่าเท่ากับ 4 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลอง control ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.1 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.0 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.0 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สำหรับการเติมตัวคีเลต 3 ครั้ง พบว่าปริมาณของแคดเมียมในดินทั้งหมดที่เหลืออยู่ในดินมีค่ามากที่สุดเมื่อเติม EDDS กล่าวคือมีค่า 21 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank control ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.1 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.0 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แต่ปริมาณของแคดเมียมในดินทั้งหมดที่เหลืออยู่ในดินมีค่าน้อยที่สุดคือเท่ากับ 4 mg/kg ในชุดการทดลอง blank ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลอง control ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.1

mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.0 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.0 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แสดงว่าปริมาณของแคดเมียมในดินทั้งหมดที่เหลืออยู่ในดินมีค่ามากที่สุดเมื่อเติม EDTA 2 ครั้ง คือมีค่าเท่ากับ 22 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank control และชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.1 mg/kg แบ่งเติมเป็นจำนวน 1 และ 3 ครั้ง EDDS ความเข้มข้น 1.0 mg/kg แบ่งเติมเป็นจำนวน 1 2 และ 3 ครั้ง และ citric acid ความเข้มข้น 1.0 mg/kg แบ่งเติมเป็นจำนวน 1 และ 3 ครั้งอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

จากผลการศึกษาความเข้มข้นของแคดเมียมในดินในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ที่เหลืออยู่ในดินเมื่อเติม EDTA ความเข้มข้น 0.1 mg/kg EDDS และ citric acid ความเข้มข้น 1.0 mg/kg พบว่าการเติม EDDS 3 ครั้งจะมีปริมาณของแคดเมียมในดินในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ที่เหลืออยู่ในดินมากกว่า EDTA และ citric acid สำหรับปริมาณของแคดเมียมในดินทั้งหมดที่เหลืออยู่ในดิน พบว่าการเติม EDTA 2 ครั้ง จะมีปริมาณของแคดเมียมในดินทั้งหมดที่เหลืออยู่ในดินมากกว่าการเติม EDDS และ citric acid จากผลดังกล่าวสอดคล้องกับความเข้มข้นแคดเมียมที่พืชสะสมไว้ คือถ้าปริมาณแคดเมียมในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ที่เหลืออยู่ในดินมาค่ามาก ค่าความเข้มข้นแคดเมียมที่พืชสะสมไว้จะมีค่าน้อย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.19 ปริมาณของแคดเมียมในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ และในดินทั้งหมด หลังการเติม EDTA ความเข้มข้น 0.1 mg/kg ส่วน EDDS และ citric acid ความเข้มข้น 1.0 mg/kg

หมายเหตุ: 1) ตัวอักษรตัวหน้าที่แตกต่างกัน บนกราฟแต่ละแท่ง หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างดีเลทชนิดเดียวกัน แต่วิธีการเติมต่างกัน ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

2) ตัวอักษรตัวหลังที่แตกต่างกัน บนกราฟแต่ละแท่ง หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างดีเลททั้ง 3 ชนิด แต่จำนวนครั้งเท่ากันตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

3) Bars แสดงค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) โดย n = 3

4.4.6 ปริมาณของแคดเมียมในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ที่เหลืออยู่ในดิน (available) และในดินทั้งหมดที่เหลืออยู่ในดิน (total) หลังการเติม EDTA ความเข้มข้น 0.15 EDDS และ citric acid ความเข้มข้น 1.5 mg/kg soil

ผลการศึกษาปริมาณของแคดเมียมในดินในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ที่เหลืออยู่ในดินหลังการเติม EDTA ความเข้มข้น 0.15 EDDS และ citric acid ความเข้มข้น 1.5 mg/kg ดังรูปที่ 4.20 เมื่อเติมตัวคีเลต 1 ครั้ง พบว่าปริมาณของแคดเมียมในดินในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ที่เหลืออยู่ในดินมีค่ามากที่สุดเมื่อเติม citric acid คือมีค่า 18 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank control ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.15 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.5 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แต่ปริมาณของแคดเมียมในดินในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ที่เหลืออยู่ในดินมีค่าน้อยที่สุดในชุดการทดลอง blank มีค่าเท่ากับ 2 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลอง control ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.15 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.5 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.5 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และเมื่อเติมตัวคีเลต 2 ครั้ง พบว่าปริมาณของแคดเมียมในดินในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ที่เหลืออยู่ในดินมีค่ามากที่สุดเมื่อเติม EDDS และ citric acid กล่าวคือมีค่าเท่ากับ 19 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank control ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.15 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และปริมาณของแคดเมียมในดินในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ที่เหลืออยู่ในดินมีค่าน้อยที่สุดในชุดการทดลอง blank มีค่าเท่ากับ 2 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลอง control ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.15 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.5 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.5 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สำหรับการเติมตัวคีเลต 3 ครั้ง พบว่าปริมาณของแคดเมียมในดินในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ที่เหลืออยู่ในดินมีค่ามากที่สุดเมื่อเติม citric acid คือมีค่า 21 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank control ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.5 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ปริมาณของแคดเมียมในดินในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ที่เหลืออยู่ในดินมีค่าน้อยที่สุดในชุดการทดลอง blank มีค่าเท่ากับ 2 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลอง control ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.15 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.5 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.5 mg/kg เป็น

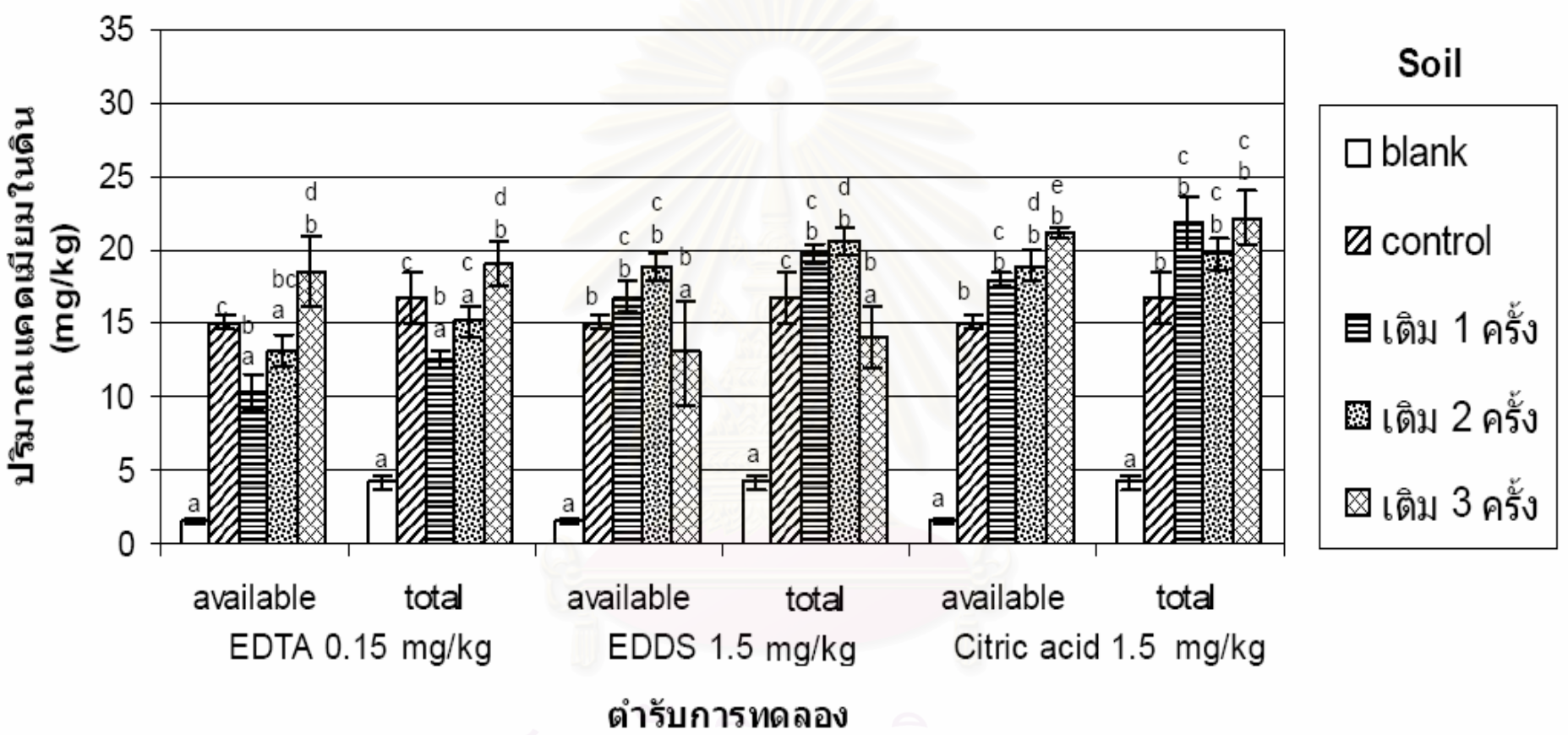
จำนวน 3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แสดงว่าปริมาณของแคดเมียมในดินในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ที่เหลืออยู่ในดินมีค่ามากที่สุดเมื่อเติม citric acid 3 ครั้ง คือมีค่า 21 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank control ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.15 mg/kg เป็นจำนวน 1 และ 2 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.5 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ผลการศึกษาปริมาณของแคดเมียมในดินทั้งหมดที่เหลืออยู่ในดิน หลังการเติม EDTA ความเข้มข้น 0.15 EDDS และ citric acid ความเข้มข้น 1.5 mg/kg ดังรูปที่ 4.20 เมื่อเติมตัวคีเลต 1 ครั้ง พบว่าปริมาณของแคดเมียมในดินทั้งหมดที่เหลืออยู่ในดินมีค่ามากที่สุดเมื่อเติม citric acid มีค่าเท่ากับ 21 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank control ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.15 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และปริมาณของแคดเมียมในดินทั้งหมดที่เหลืออยู่ในดินมีค่าน้อยที่สุดในชุดการทดลอง blank มีค่าเท่ากับ 4 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลอง control ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.15 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.5 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.5 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และเมื่อเติมตัวคีเลต 2 ครั้ง พบว่าปริมาณของแคดเมียมในดินทั้งหมดที่เหลืออยู่ในดินมีค่ามากที่สุดคือ 20 mg/kg เมื่อเติม EDDS และ citric acid ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank control ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.15 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และปริมาณของแคดเมียมในดินทั้งหมดที่เหลืออยู่ในดินมีค่าน้อยที่สุดเมื่อในชุดการทดลอง blank มีค่าเท่ากับ 4 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลอง control ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.15 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.5 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.5 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สำหรับการเติมตัวคีเลต 3 ครั้ง พบว่าความเข้มข้นของแคดเมียมในดินทั้งหมดที่เหลืออยู่ในดินมีค่ามากที่สุดเมื่อเติม citric acid กล่าวคือมีค่า 22 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank control ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.15 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.5 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ปริมาณของแคดเมียมในดินทั้งหมดที่เหลืออยู่ในดินมีค่าน้อยที่สุดในชุดการทดลอง blank มีค่าเท่ากับ 4 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลอง control ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.15 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.5 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.5 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง

อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แสดงว่าปริมาณของแคดเมียมในดินทั้งหมดที่เหลืออยู่ในดินมีค่ามากที่สุดเมื่อเติม citric acid 3 ครั้ง มีค่าเท่ากับ 22 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank control ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.15 mg/kg เป็นจำนวน 1 2 และ 3 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.5 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

จากผลการศึกษาปริมาณของแคดเมียมในดินในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ที่เหลืออยู่ในดินเมื่อเติม EDTA ความเข้มข้น 0.15 EDDS และ citric acid ความเข้มข้น 1.5 mg/kg พบว่าการเติม citric acid เป็นจำนวน 3 ครั้ง จะมีปริมาณของแคดเมียมในดินในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ที่เหลืออยู่ในดินและปริมาณของแคดเมียมในดินทั้งหมดที่เหลืออยู่ในดิน มากกว่าการเติม EDTA และ EDDS ซึ่งสอดคล้องกับความเข้มข้นแคดเมียมที่พืชสะสมไว้ โดยถ้าปริมาณแคดเมียมในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ที่เหลืออยู่ในดินมาค่ามาก ค่าความเข้มข้นแคดเมียมที่พืชสะสมไว้จะมีค่าน้อย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.20 ปริมาณของแคดเมียมในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ และในดินทั้งหมด หลังการเติม EDTA ความเข้มข้น 0.15 mg/kg ส่วน EDDS และ citric acid ความเข้มข้น 1.5 mg/kg

หมายเหตุ: 1) ตัวอักษรตัวหน้าที่แตกต่างกันบนกราฟแต่ละแท่ง หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างดีเลทชนิดเดียวกันแต่วิธีการเติมต่างกัน ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

2) ตัวอักษรตัวหลังที่แตกต่างกันบนกราฟแต่ละแท่ง หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างดีเลททั้ง 3 ชนิด แต่จำนวนครั้งเท่ากันตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

3) Bars แสดงค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) โดย n = 3

4.4.7 ปริมาณของแคดเมียมในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ที่เหลืออยู่ในดิน (available) และในดินทั้งหมดที่เหลืออยู่ในดิน (total) หลังการเติม EDTA ความเข้มข้น 0.2 EDDS และ citric acid ความเข้มข้น 2.0 mg/kg soil

ผลการศึกษาปริมาณของแคดเมียมในดินในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ที่เหลืออยู่ในดินหลังการเติม EDTA ความเข้มข้น 0.2 EDDS และ citric acid ความเข้มข้น 2.0 mg/kg ดังรูปที่ 4.21 เมื่อเติมตัวคีเลต 1 ครั้ง พบว่าปริมาณของแคดเมียมในดินในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ที่เหลืออยู่ในดินมีค่ามากที่สุดเมื่อเติม citric acid คือมีค่า 23 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank control ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.2 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 2.0 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ปริมาณของแคดเมียมในดินในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ที่เหลืออยู่ในดินมีค่าน้อยที่สุดในชุดการทดลอง blank มีค่าเท่ากับ 2 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลอง control ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.2 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 2.0 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 2.0 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และเมื่อเติมตัวคีเลต 2 ครั้ง พบว่าความเข้มข้นของแคดเมียมในดินในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ที่เหลืออยู่ในดินมีค่ามากที่สุดเมื่อเติม citric acid กล่าวคือมีค่าเท่ากับ 19 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank control ชุดการทดลอง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 2.0 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และปริมาณของแคดเมียมในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ที่เหลืออยู่ในดินมีค่าน้อยที่สุดในชุดการทดลอง blank มีค่าเท่ากับ 2 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลอง control ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.2 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 2.0 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 2.0 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สำหรับการเติมตัวคีเลต 3 ครั้ง พบว่าปริมาณของแคดเมียมในดินในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ที่เหลืออยู่ในดินมีค่ามากที่สุดเมื่อเติม EDDS คือมีค่า 18 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank control ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.2 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 2.0 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ปริมาณของแคดเมียมในดินในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ที่เหลืออยู่ในดินมีค่าน้อยที่สุดในชุดการทดลอง blank มีค่าเท่ากับ 2 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลอง control ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.2 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS

ความเข้มข้น 2.0 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 2.0 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แสดงว่าปริมาณของแคดเมียมในดินในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ที่เหลืออยู่ในดิน มีค่ามากที่สุดเมื่อเติม citric acid 1 ครั้ง คือมีค่า 23 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank control ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.2 mg/kg เป็นจำนวน 1 2 และ 3 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 2.0 mg/kg เป็นจำนวน 1 2 และ 3 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 2.0 mg/kg เป็นจำนวน 2 และ 3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

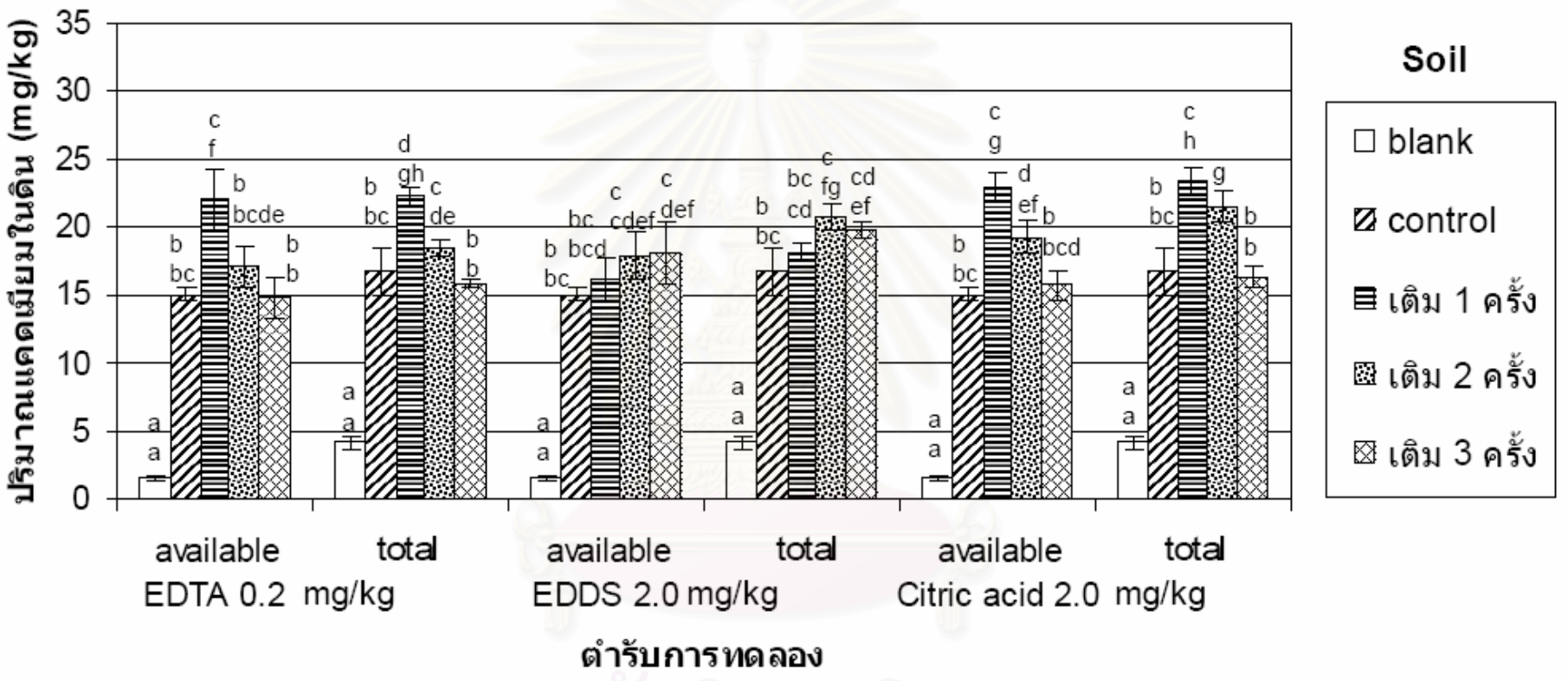
ผลการศึกษาปริมาณของแคดเมียมในดินทั้งหมดที่เหลืออยู่ในดินหลังการเติม EDTA ความเข้มข้น 0.2 EDDS และ citric acid ความเข้มข้น 2.0 mg/kg ดังรูปที่ 4.21 เมื่อเติมตัวคีเลต 1 ครั้ง พบว่าปริมาณของแคดเมียมในดินทั้งหมดที่เหลืออยู่ในดินมีค่ามากที่สุดเมื่อเติม citric acid มีค่าเท่ากับ 23 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank control ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 2.0 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และปริมาณของแคดเมียมในดินทั้งหมดที่เหลืออยู่ในดินมีค่าน้อยที่สุดในชุดการทดลอง blank มีค่าเท่ากับ 4 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลอง control ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.2 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 2.0 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 2.0 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และเมื่อเติมตัวคีเลต 2 ครั้ง พบว่าปริมาณของแคดเมียมในดินทั้งหมดที่เหลืออยู่ในดินมีค่ามากที่สุดคือ 22 mg/kg เมื่อเติม citric acid ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank control ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.2 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และปริมาณของแคดเมียมในดินทั้งหมดที่เหลืออยู่ในดินมีค่าน้อยที่สุดในชุดการทดลอง blank มีค่าเท่ากับ 4 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลอง control ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.2 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 2.0 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 2.0 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สำหรับการเติมตัวคีเลต 3 ครั้ง พบว่าปริมาณของแคดเมียมในดินทั้งหมดที่เหลืออยู่ในดินมีค่ามากที่สุดเมื่อเติม EDDS กล่าวคือมีค่า 20 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank control ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.2 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 2.0 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ปริมาณของแคดเมียมในดินทั้งหมดที่เหลืออยู่ในดินมีค่าน้อยที่สุดในชุดการทดลอง blank มีค่าเท่ากับ 4 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทาง

สถิติพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุดการทดลอง control ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.2 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 2.0 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 2.0 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แสดงว่าปริมาณของแคดเมียมในดินทั้งหมดที่เหลืออยู่ในดินมีค่ามากที่สุดเมื่อเติม citric acid 1 ครั้ง มีค่าเท่ากับ 23 mg/kg ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าค่ามากกว่าชุดการทดลอง blank control ชุดการทดลองที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.2 mg/kg เป็นจำนวน 2 และ 3 ครั้ง ชุดการทดลองที่เติม EDDS ความเข้มข้น 2.0 mg/kg เป็นจำนวน 1 2 และ 3 ครั้ง และชุดการทดลองที่เติม citric acid ความเข้มข้น 2.0 mg/kg เป็นจำนวน 2 และ 3 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

จากผลการศึกษาปริมาณของแคดเมียมในดินในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ ที่เหลืออยู่ในดินและปริมาณของแคดเมียมในดินทั้งหมดที่เหลืออยู่ในดิน เมื่อเติม EDTA ความเข้มข้น 0.2 EDDS และ citric acid ความเข้มข้น 2.0 mg/kg พบว่าการเติม citric acid 1 ครั้ง จะมีปริมาณของแคดเมียมในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ที่เหลืออยู่ในดินและปริมาณของแคดเมียมในดินทั้งหมดมากกว่าการเติม EDTA และ EDDS

จากผลการศึกษาปริมาณของแคดเมียมในดินในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ที่เหลืออยู่ในดินและปริมาณของแคดเมียมในดินทั้งหมดที่เหลืออยู่ในดินเมื่อเติมตัวคีเลตและจำนวนครั้งในการเติมตัวคีเลตต่างๆ พบว่าการเติม EDDS ความเข้มข้น 0.5 mg/kg จำนวน 1 ครั้ง และ citric acid ความเข้มข้น 2.0 mg/kg จำนวน 1 ครั้ง จะมีปริมาณของแคดเมียมในดินในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ที่เหลืออยู่ในดินมากที่สุด และการเติม EDDS ความเข้มข้น 0.5 mg/kg จำนวน 1 ครั้ง และ citric acid ความเข้มข้น 0.5 mg/kg จำนวน 2 ครั้ง จะมีปริมาณของแคดเมียมในดินทั้งหมดที่เหลืออยู่ในดินได้มากที่สุด

จากผลการศึกษาปริมาณแคดเมียมที่เหลืออยู่ในดินพบว่าการเติม EDTA ความเข้มข้น 0.15 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง มีปริมาณแคดเมียมทั้งหมดที่เหลืออยู่ในดินน้อยที่สุดซึ่งสอดคล้องกับความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันทั้งต้น โดยพบว่าความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันทั้งต้นมีค่ามากที่สุด ดังนั้นการเติม EDTA ความเข้มข้น 0.15 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง มีความเหมาะสมกับงานวิจัยครั้งนี้ที่สุด



รูปที่ 4.21 ปริมาณของแคดเมียมในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ และในดินทั้งหมด หลังการเติม EDTA ความเข้มข้น 0.2 mg/kg ส่วน EDDS และ citric acid ความเข้มข้น 2.0 mg/kg

หมายเหตุ: 1) ตัวอักษรตัวหน้าที่แตกต่างกันบนกราฟแต่ละแท่ง หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างดีเลทชนิดเดียวกันแต่วิธีการเติมต่างกัน ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

2) ตัวอักษรตัวหลังที่แตกต่างกันบนกราฟแต่ละแท่ง หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างดีเลททั้ง 3 ชนิด แต่จำนวนครั้งเท่ากันตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

3) Bars แสดงค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) โดย n = 3

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษาผลของคีเลตต่อการสะสมแคดเมียมของทานตะวัน โดยทำการเติมคีเลต 3 ชนิดคือ EDTA ที่ความเข้มข้น 0.05 0.1 0.15 และ 0.2 mg/kg ชนิดที่สองคือเติม S,S'-EDDS ที่ความเข้มข้น 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 mg/kg และชุดที่สามคือ เติม citric acid ที่ความเข้มข้น 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 mg/kg โดยการเติมคีเลตแต่ชนิดที่ความเข้มข้นต่างๆ จะทำการแบ่งเติมเป็น 1 2 และ 3 ครั้ง ซึ่งทานตะวันจะปลูกไว้ในดินที่มีการเติมแคดเมียมความเข้มข้น 20 mg/kg และในแต่ละกระถางจะใช้ดิน 4 kg

5.1.1 มวลชีวภาพของทานตะวันเมื่อเติม EDTA ที่ความเข้มข้นต่างกัน

ผลการศึกษามวลชีวภาพของทานตะวันทั้ง ส่วนเหนือพื้นดิน ส่วนราก และทั้งต้น เมื่อเติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 0.1 0.15 และ 0.2 mg/kg พบว่าเมื่อเติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง ทำให้มวลชีวภาพของทานตะวันทั้งส่วนเหนือพื้นดิน ส่วนราก และทั้งต้น มีค่ามากที่สุดกล่าวคือมีค่าเท่ากับ 0.9870 0.0580 และ 1.0450 g ตามลำดับ

5.1.2 น้ำหนักแห้งของทานตะวันเมื่อเติม EDDS ที่ความเข้มข้นต่างกัน

มวลชีวภาพของทานตะวันเมื่อเติม EDDS ความเข้มข้น 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 mg/kg พบว่าเมื่อเติม EDDS ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง ทำให้มวลชีวภาพของทานตะวันในส่วนเหนือพื้นดิน ส่วนราก และทั้งต้น มีค่ามากที่สุด กล่าวคือมีค่าเท่ากับ 1.1123 0.0543 และ 1.1666 g

5.1.3 น้ำหนักแห้งของทานตะวันเมื่อเติม citric acid ที่ความเข้มข้นต่างกัน

มวลชีวภาพของทานตะวันเมื่อเติม citric acid ความเข้มข้น 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 mg/kg พบว่าเมื่อเติม citric acid ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง มีค่ามวลชีวภาพของทานตะวันทั้งส่วนเหนือพื้นดิน และทั้งต้นมากที่สุด กล่าวคือมีค่าเท่ากับ 1.1313 และ 1.1895 g ตามลำดับ สำหรับค่ามวลชีวภาพของทานตะวันในส่วนรากมีค่ามากที่สุดเมื่อเติม citric acid ความเข้มข้น 1.0 mg/kg เป็นจำนวน 2 ครั้ง คือมีค่าเท่ากับ 0.0584 g

5.1.4 ความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันเมื่อเติม EDTA ความเข้มข้นต่างกัน

ความเข้มข้นแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้เมื่อเติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 0.1 0.15 และ 0.2 mg/kg พบว่าจะมีการสะสมแคดเมียมในส่วนรากมากกว่าส่วนเหนือพื้นดินในทุกความเข้มข้นและทุกการเติม

ความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวัน ส่วนเหนือพื้นดิน ส่วนราก และทั้งต้น เมื่อเติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 0.1 0.15 และ 0.2 mg/kg พบว่าเมื่อเติม EDTA ความเข้มข้น 0.15 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้ง ทำให้ความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันในส่วนเหนือพื้นดินและทั้งต้นมากที่สุด กล่าวคือมีค่าเท่ากับ 17 และ 25 mg/kg ตามลำดับ สำหรับการเติม EDTA ความเข้มข้น 0.15 mg/kg แบ่งเติมเป็นจำนวน 2 ครั้ง ทำให้ความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันในส่วนรากมากที่สุดคือมีค่า 222 mg/kg

5.1.5 ความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันเมื่อเติม EDDS ความเข้มข้นต่างกัน

ความเข้มข้นแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้เมื่อเติม EDDS ความเข้มข้น 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 mg/kg พบว่าจะมีการสะสมแคดเมียมในส่วนรากมากกว่าส่วนเหนือพื้นดินในทุกความเข้มข้นและทุกการเติม

ความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวัน ส่วนเหนือพื้นดิน ส่วนราก และทั้งต้น เมื่อเติม EDDS ความเข้มข้น 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 mg/kg พบว่า EDDS ความเข้มข้น 0.5 mg/kg แบ่งเติมเป็นจำนวน 2 ครั้ง ทำให้ความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันในส่วนเหนือพื้นดินมากที่สุดคือมีค่าเท่ากับ 15 mg/kg สำหรับ เมื่อเติม EDDS ความเข้มข้น 1.5 mg/kg แบ่งเติมเป็นจำนวน 3 ครั้ง ทำให้ความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันในส่วนรากมากที่สุดคือมีค่า 190 mg/kg และ การเติม EDDS ความเข้มข้น 1.5 mg/kg soil โดยแบ่งเติมเป็นจำนวน 3 ครั้ง ทำให้ความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันในทั้งต้นมากที่สุดกล่าวคือมีค่าเท่ากับ 23 mg/kg

5.1.6 ความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันเมื่อเติม citric acid ความเข้มข้นต่างกัน

ความเข้มข้นแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้เมื่อเติม citric acid ความเข้มข้น 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 mg/kg พบว่าจะมีการสะสมแคดเมียมในส่วนรากมากกว่าส่วนเหนือพื้นดินในทุกความเข้มข้นและทุกการเติม

ความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวัน ส่วนเหนือพื้นดิน ส่วนราก และทั้งต้น เมื่อเติม citric acid ความเข้มข้น 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 mg/kg พบว่าเมื่อเติม citric acid ความเข้มข้น 1.0 mg/kg แบ่งเติมเป็นจำนวน 3 ครั้ง และในชุดการทดลอง control มีผลต่อความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันในส่วนเหนือพื้นดินมากที่สุดคือมีค่าเท่ากับ 13 mg/kg สำหรับ citric acid ความเข้มข้น 2.0 mg/kg แบ่งเติมเป็นจำนวน 3 ครั้ง ทำให้มีความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันในส่วนรากมากที่สุดคือมีค่า 208 mg/kg และ citric acid ความเข้มข้น 1.0 mg/kg แบ่งเติม 3 ครั้ง พบว่ามีผลต่อความเข้มข้นแคดเมียมที่สะสมในทานตะวันทั้งต้นมากที่สุด กล่าวคือมีค่าเท่ากับ 21 mg/kg

5.1.7 ปริมาณแคดเมียมในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ที่เหลืออยู่ในดิน และในดินทั้งหมดที่เหลืออยู่หลังการเติม EDTA ความเข้มข้นต่างกัน

ปริมาณแคดเมียมในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ที่เหลืออยู่ในดินและในดินทั้งหมดที่เหลืออยู่หลังการเติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 0.1 0.15 และ 0.2 mg/kg พบว่าปริมาณแคดเมียมในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ที่เหลืออยู่ในดินและปริมาณแคดเมียมในดินทั้งหมดที่เหลืออยู่มีค่ามากที่สุดเมื่อเติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 mg/kg เป็นจำนวน 3 ครั้ง โดยมีค่าเท่ากับ 21 และ 23 mg/kg ตามลำดับ

5.1.8 ปริมาณแคดเมียมในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ที่เหลืออยู่ในดิน และในดินทั้งหมดที่เหลืออยู่หลังการเติม EDDS ความเข้มข้นต่างกัน

ปริมาณแคดเมียมในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ที่เหลืออยู่ในดินและในดินทั้งหมดที่เหลืออยู่หลังการเติม EDDS ความเข้มข้น 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 mg/kg พบว่าปริมาณแคดเมียมในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ที่เหลืออยู่ในดินและปริมาณแคดเมียมในดินทั้งหมดที่เหลืออยู่มีค่ามากที่สุดเมื่อเติม EDDS ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 1 โดยมีค่าเท่ากับ 23 และ 24 mg/kg ตามลำดับ

5.1.9 ปริมาณแคดเมียมในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ที่เหลืออยู่ในดินและในดินทั้งหมดที่เหลืออยู่หลังการเติม citric acid ความเข้มข้นต่างกัน

ปริมาณแคดเมียมในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ที่เหลืออยู่ในดินและในดินทั้งหมดที่เหลืออยู่หลังการเติม citric acid ความเข้มข้น 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 mg/kg พบว่าปริมาณแคดเมียมในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ที่เหลืออยู่ในดินมีค่ามากที่สุดเมื่อเติม citric acid ความเข้มข้น 2.0 mg/kg เป็นจำนวน 1 ครั้งโดยมีค่าเท่ากับ 23 mg/kg และปริมาณแคดเมียมในดินทั้งหมดที่เหลืออยู่มีค่ามากที่สุดเมื่อเติม citric acid ความเข้มข้น 0.5 mg/kg เป็นจำนวน 2 โดยมีค่าเท่ากับ 24 mg/kg

5.1.10 ชนิดตัวคีเลต ความเข้มข้น และวิธีการเติมตัวคีเลต

ในการทำ Phytoextraction พืชที่ใช้ในการทำควรจะมีการสะสมโลหะหนักไว้ในส่วนเหนือพื้นมากกว่าในรากเนื่องจากการเก็บเกี่ยวในส่วนเหนือพื้นดินจะง่ายกว่าในรากเพราะทำให้สามารถเก็บเกี่ยวออกไปได้หมดซึ่งจะช่วยให้สามารถนำเอาโลหะออกมาจากดินได้มากกว่า ดังนั้นจากงานวิจัยนี้พบว่าการเติม EDTA ที่ความเข้มข้น 0.15 mg/kg และทำการเติม 1 ครั้ง ทำให้ทานตะวันมีการสะสมแคดเมียมในส่วนเหนือพื้นดินและทั้งต้นมากที่สุดคือมีค่าเท่ากับ 17 และ 25 mg/kg เพราะฉะนั้นชนิดตัวคีเลต ความเข้มข้นและวิธีการเติมตัวคีเลตที่ดีที่สุดสำหรับงานวิจัยครั้งนี้คือ การเติม EDTA ที่ความเข้มข้น 0.15 mg/kg และทำการเติม 1 ครั้ง

5.2 ข้อเสนอแนะ

(1) ในการทดลองครั้งนี้ใช้ทานตะวันสายพันธุ์แปซิฟิค 55 ซึ่งพบว่ามีการสะสมแคดเมียมในส่วนรากมากกว่าส่วนเหนือพื้นดิน ถ้ามีการใช้ทานตะวันในการทำ phytoextraction ครั้งต่อไปอาจมีการเลือกใช้ทานตะวันสายพันธุ์อื่น ซึ่งอาจจะมีการดูดซับแคดเมียมได้ดีขึ้น

(2) สำหรับตัวคีเลตที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีทั้งที่ย่อยสลายได้ง่ายในธรรมชาติและย่อยสลายได้ยาก สำหรับตัวคีเลตที่ย่อยสลายได้ง่ายตามธรรมชาติควรจะมีการเพิ่มความเข้มข้นอีกซึ่งน่าจะให้ผลการดูดซับดีขึ้น หรืออาจจะมีการทดลองกับตัวคีเลตชนิดอื่นๆ

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

เกษมศรี ซับซ้อน. 2541. ปฐพีวิทยา. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: กองวิทยาลัยเกษตรกรรม กระทรวงศึกษาธิการ.

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2548. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. 2,000 เล่ม, พิมพ์ครั้งที่ 10. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ควบคุมมลพิษ, กรม. 2541. แคดเมียม. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: อินทิเกรเต็ด โปรโมชันเทคโนโลยี.

ควบคุมมลพิษ, กรม. 2549. มาตรฐานน้ำเพื่อการบริโภค [Online]. แหล่งที่มา: http://www.pcd.go.th/info_serv/reg_std_water01.html#s2 [15 พฤษภาคม 2549]

ชวนพิศ แดงสวัสดิ์. 2544. สรีรวิทยาของพืช. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์พัฒนาศึกษา.

ดาวรุ่ง สังข์ทอง. 2539. การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักบางชนิดและธาตุอาหารหลักในปุ๋ยหมักปุ๋ยคอกและดินผสม. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สหสาขาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

แปซิฟิคเมล็ดพันธุ์. 2549. แปซิฟิค 55 [Online]. แหล่งที่มา: http://www.pacthai.co.th/knowleage_base/ทานตะวัน55.pdf [20 เมษายน 2549]

วิชาการเกษตร, กรม. 2550. ทานตะวัน[Online]. แหล่งที่มา: http://www.doa.go.th/fieldcrops/res/fcri/011.pdf [20 พฤษภาคม 2549]

สุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา. 2545. ภาวะมลพิษของดินจากการใช้สารเคมี. กรุงเทพฯ: ภาคปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

หน่วยเฉพาะกิจตรวจสอบและประเมินการปนเปื้อนของสารแคดเมียมในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยแม่ตาว. 2547. รายงานผลการตรวจสอบและประเมินการปนเปื้อนของสารแคดเมียมในบริเวณลุ่มน้ำห้วยแม่ตาว อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก. กรุงเทพมหานคร: กรมควบคุมมลพิษ. (เอกสารไม่ตีพิมพ์)

อรรณพ หอมจันทร์. 2535. ความเป็นพิษของโลหะบางชนิดจากกากตะกอนบำบัดน้ำเสียชุมชนต่อผักคะน้าและผักกาดหอม. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สหสาขาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อนงนาฎ ศรีประโชติ. 2549. การกระจายตัวของแคดเมียมในดินที่มีการปนเปื้อน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ภาษอังกฤษ

Arbeitsschutz, B.J., and Chemikaliengesetz, A.A. 2003. Risk Assessment Edetic acid (EDTA) [Online]. Available from: http://ecb.jrc.it/documents/ExistingChemicals/RISK_ASSESSMENT/DRAFT/R061_0302_env_hh.pdf [2006, May 11]

Brooks, R.R., and Robinson, B.H. 1998. The Potential use of hyperaccumulators and other plant for phytomining, In R.R Brooks (ed.), Plants that Hyperaccumulate Heavy Metals their Role in Phytoremediation, Microbiology, Archeology, Mineral Exploration and Phytomining, pp. 331-333. UK: CABI Publishing.

BASF AG. 1973. Toxikologie. In Arbeitsschutz, B.J., and Chemikaliengesetz, A.A. 2003. Risk Assessment Edetic acid (EDTA) [Online]. Available from: http://ecb.jrc.it/documents/ExistingChemicals/RISK_ASSESSMENT/DRAFT/R061_0302_env_hh.pdf[2006, May 11]

BASF AG. 1994. Labor für Umweltanalytik. In Arbeitsschutz, B.J., and Chemikaliengesetz, A.A. 2003. Risk Assessment Edetic acid (EDTA) [Online]. Available from: http://ecb.jrc.it/documents/ExistingChemicals/RISK_ASSESSMENT/DRAFT/R061_0302_env_hh.pdf[2006, May 11]

Brookhaven National Laboratory. 2000. phytoextraction [Online]. Available from: http://www.bnl.gov/erd/Peconic/Factsheet/Phytoextract.pdf [2006, May 15]

Chen, H., and Cutright, T. 2001. EDTA and HEDTA effects on Cd, Cr, and Ni uptake by *Helianthus annuus*. Chemosphere. 45: 21-28.

Dixon, N. 2003. EDDS a readily biodegradable chelant that can directly replace EDTA and phosphonates [Online]. Available from: http://www.chemsoc.org/pdf/gcn/Octel_Award.pdf [2006, May 11]

Dufková, V. 1984. EDTA in algal culture media. In Arbeitsschutz, B.J., and Chemikaliengesetz, A.A. 2003. Risk Assessment Edetic acid (EDTA) [Online]. Available from: http://ecb.jrc.it/documents/ExistingChemicals/RISK_ASSESSMENT/DRAFT/R061_0302_env_hh.pdf[2006, May 11]

Ensley, B. D. 2000. Rationale for use of phytoremediation. In I. Raskin, and B. D. Ensley (eds.), Phytoremediation of toxic metals: Using plants to clean up the environment, pp. 3-10. USA: John Wiley & Sons.

Ginkel, V. 1999. Biodegradation of EDTA. In Arbeitsschutz, B.J., and Chemikaliengesetz, A.A. 2003. Risk Assessment Edetic acid (EDTA) [Online]. Available from: http://ecb.jrc.it/documents/ExistingChemicals/RISK_ASSESSMENT/DRAFT/R061_0302_env_hh.pdf [2006, May 11]

Gardea-Torresdey, J.L., Peralta-Videa, J.R., Montes, M., de la Rosa, G. and Corral-Diaz, B. 2004. Bioaccumulation of cadmium, chromium and copper by *Convolvulus arvensis* L.: impact on plant growth and uptake of nutritional elements. Bioresource Technology. 92: 229-235.

Glass, D. J. 2000. Economic potential of phytoremediation. In I. Raskin, and B. D. Ensley (eds.), Phytoremediation of toxic metals: Using plants to clean up the environment, pp. 15-29. USA: John Wiley & Sons, Inc.

Haberer, K., Ternes T. A. 1996. Bedeutung von wasserwerksgängigen Metaboliten für die Trinkwasserversorgung. In Arbeitsschutz, B.J., and Chemikaliengesetz, A.A. 2003. Risk Assessment Edetic acid (EDTA) [Online]. Available from: http://ecb.jrc.it/documents/ExistingChemicals/RISK_ASSESSMENT/DRAFT/R061_0302_env_hh.pdf [2006, May 11]

Hall, M.D., Levitt, D.G., and Banaszak, L. J. 2004. The Citric Acid Cycle [Online]. Available from: http://chemistry.gsu.edu/glactone/PDB/Proteins/Krebs/BACKUP/Krebs.html.DBH2 [2007, June 22]

Havlin, J. L., Beaton, J. D., Tisdale, S. L., and Nelson, W. L. 1999. Soil Fertility and Fertilizres An Introduction to Nutrient Management, 6th ed., Prentice Hall:New Jersey.

Kochian, L.V., 1991. Mechanisms of micronutrient uptake and translocation in plant. In I. Raskin, and B.D. Ensley (eds.), Phytoremediation of ToxicMetals Using Plants to Clean Up the Environment. pp. 53-70. USA: John Wiley & Sons.

Lesage, E., Meers, E., Vervaeke, P., Lamsal, S., Hopgood, M., Tack, F. M. G. and Verloo, M. G. 2005. Enhanced phytoextraction: II. Effect of EDTA and citric acid on heavy metal uptake by *Helianthus annuus*. from a calcareous soil. International journal of phytoremediation. 7: 143-152.

Liphadzi, M. S. and Kirkham, M.B. 2006. Availability and plant uptake of heavy metals in EDTA-assisted phytoremediation of soil and composted biosoils. South African Journal of Botany. 72: 391-397.

Lombi, E., Zhao. F. J., Dunham. S. J., and McGrath. S. P. 2001. Phytoremediation of heavy metal-contaminated soil: Natural hyperaccumulation versus chemically enhanced phytoextraction. Journal of Environmental Quality. 30: 1919-1926.

Marchiol, L., Fellet, G., Perosa, D., and Zerbi, G. 2007. Removal of trace metals by Sorghum bicolor and Helianthus annuus in a site polluted by industrial waster: A field experience. Plant Physiology and Biochemistry. 45: 379-387.

Maryadele, J., Smith, A., Heckelman, P. E., Obenchain, J. R., Gallipeau, J. A. R., Arecca, M. A. D., and Budavari, S. 2001. The Merck Index An Encyclopedia of chemicals, drugs, and biologicals. New Jersey: Merck & co.

Meer, E., Ruttens, A., Hopgppg, M. J., Samson, D., and Tack, F.M.G. 2005. Comparison of EDTA and EDDS as potential soil amendments for enhanced phytoextraction of heavy metals. Chemosphere. 58: 1011-1022.

Nascimento, C.W.A., Amarasiriwardena, D., and Xing, B. 2006. Comparison of natural organic acids and synthetic chelates at enhancing phytoextraction of metals from a multi-metal contaminated soil. Environmental Pollution. 140: 114-123.

Oviedo, C., and Rodríguez, J. 2003. EDTA: the chelating agent under environmental scrutiny. Química Nova. 6: 901-905.

P&G Environmental Science. 2005. S,S-(ethylenediamine N,N'-disuccinic acid)[Online]. Available from: http://www.scienceinthebox.com/en_UK/pdf/SS-EDDS.pdf [2006, May 11]

Reeves, R. D., and Baker, A. J. M. 2000. Metal-accumulating plants. In I. Raskin, and B. D. Ensley (eds.), Phytoremediation of toxic metals: Using plants to clean up the environment, pp. 193-229. USA: John Wiley & Sons.

Santos, F. S., Hernández-Allica, J., Becerril, J. M., Amaral-Sobrinho, N., Mazur, N., and Garbisu, C. 2006. Chelate-induced phytoextraction of metal polluted soil with *Brachiaria decumbents* . Chemosphere. 65: 43-50.

Schowanek,D., Mcavoy, D., Versteegb, D., and Hanstveitc, A. 1996. Effects of nutrient trace metal speciation on algal growth inthe presence of the chelator [S,S]-EDDS. Aquatic Toxicology. 36: 253-375.

Schowanek,D., T. C. J. Feijtel, C. M. Perkins F.A. Hartman, T. W. Federle, R. J. Larson. 1997. Biodegradation of [S,S] [R,R] and mixed stereoisomers of ethylene diamine disuccinic acid (EDDS), a transition metal chelator. Chemosphere. 34: 2375-2391

Tan, K.H. 2005. Soil Sampling, Preparation, and Analysis. 2nd ed. New York: Taylor&Francis Group.

Tandy, S., Ammann, A., Schulin, R., and Nowack, B. 2006. Biodegradation and speciation of residual SS-ethylenediaminedisuccinic acid (EDDS) in soil solution left after soil washing. Environmental Pollution. 142: 191-199.

Tandy, S., Schulin, R., and Nowack, B. 2006. The influence of EDDs on the uptake of heavy metals in Hydroponically grown sunflowers. Chemosphere. 62: 1454-1463.

Turgut, C., Pepe, M.K., and Cutright, T.J. 2004. The effect of EDTA and citric acid on phytoremediation of Cd, Cr and Ni from soil using *Helianthus annuus*. Environmental Pollution. 131: 147-154.

United States Environmental Protection Agency. 2000. Introduction to phytoremediation [Online]. Available from: http://clu-in.org/download/remed/introphyto.pdf [2006, April 20]

United States Environmental Protection Agency. 2001. A citizen's guide to soil washing [Online]. Available from: http://clu-in.org/download/citizens/soilwashing.pdf [2007, June 4]

United States Environmental Protection Agency. 2005. [S,S]-Ethylene diamine disuccinic acid; Notice of Filing a Pesticide Petition to Establish a Tolerance for a Certain Pesticide Chemical in or on Food [Online]. Available from: http://www.epa.gov/EPA-PEST/2005/January/Day-19/p824.htm [2007, April 9]

United States National Library of Medicine. 2007. Citric acid [Online]. Available from: http://chem.sis.nlm.nih.gov/chemidplus/jsp/common/Toxicity.jsp [2007, June 21]

Welch, R. M., and Norvell, W. A. 1999. Mechanisms of cadmium uptake, translocation and deposition in plants. In M. J. McLaughlin and B. R. Singh (eds.), Cadmium in soils and plants, pp. 125-145. Netherlands: Kluwer Academic Publishers.

Yanai, J., Zhao, F.J., McGrath, S.P., and Kosaki, T. 2006. Effect of soil characteristics on Cd uptake by the hyperaccumulator *Thlaspi caerulescens*. Environmental Pollution. 139: 167-175.

Yang, X., Feng, Y., He, Z., and Stoffella, P.J. 2005. Molecular mechanisms of heavy metal hyperaccumulation and phytoremediation. Journal of Trace Elements in Medicine and Biology. 18: 339-353.

Zhou, W., and Qiu, B. 2005. Effect of cadmium hyperaccumulation on physiological characteristics of *Sedum alfredii* Hance (Crassulaceae). Plant Science. 169: 737-745.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปภาพที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย

รูปที่ ก-1 เรือนทดลองที่ใช้ในการวิจัย

รูปที่ ก-2 การวางกระถางภายในเรือนทดลอง

รูปที่ ก-3 ต้นทานตะวันในวันที่ทำการเก็บเกี่ยว

รูปที่ ก-4 รากของทานตะวันในวันที่ทำการเก็บเกี่ยว

ภาคผนวก ข

ตารางแสดงผลการทดลอง

ผลการทดลองในงานวิจัยนี้แสดงดังตารางต่อไปนี้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-1 น้ำหนักแห้งของทานตะวันในส่วนเหนือพื้นดิน (shoot) ส่วนราก (root) ทั้งต้น (total) ที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 mg/kg

คีเลต	ความเข้มข้น (mg/kg)	การเติม (ครั้ง)	น้ำหนักแห้งของ shoot (g)	น้ำหนักแห้งของ root (g)	น้ำหนักแห้งของ total (g)
EDTA	0.05	1 ครั้ง	$0.9077^{c} \pm 0.3390$	$0.0423^{ab} \pm 0.0132$	$0.9500^{b} \pm 0.3521$
EDTA	0.05	2 ครั้ง	$0.8440^{ab} \pm 0.1191$	$0.0403^{ab} \pm 0.0144$	$0.8843^{ab} \pm 0.1301$
EDTA	0.05	3 ครั้ง	$0.9870^{a} \pm 0.0978$	$0.0580^{c} \pm 0.0114$	$1.0450^{b} \pm 0.1077$
blank	-	-	$0.5328^{a} \pm 0.0621$	$0.0298^{a} \pm 0.0046$	$0.5626^{a} \pm 0.0647$
control	-	-	$0.7878^{ab} \pm 0.1306$	$0.0365^{a} \pm 0.0078$	$0.8243^{ab} \pm 0.1341$

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-2 น้ำหนักแห้งของทานตะวันในส่วนเหนือพื้นดิน (shoot) ส่วนราก (root) ทั้งต้น (total) ที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.1 mg/kg

คีเลต	ความเข้มข้น (mg/kg)	การเติม (ครั้ง)	น้ำหนักแห้งของ shoot (g)	น้ำหนักแห้งของ root (g)	น้ำหนักแห้งของ total (g)
EDTA	0.1	1 ครั้ง	$0.9450^{b} \pm 0.2380$	$0.0475^{b} \pm 0.0055$	$0.9925^{c} \pm 0.2435$
EDTA	0.1	2 ครั้ง	$0.9706^{b} \pm 0.1557$	$0.0413^{ab} \pm 0.0093$	$1.0119^{c} \pm 0.1650$
EDTA	0.1	3 ครั้ง	$0.7410^{ab} \pm 0.1290$	$0.0357^{ab} \pm 0.0055$	$0.7767^{ab} \pm 0.1245$
blank	-	-	$0.5328^{a} \pm 0.0621$	$0.0298^{a} \pm 0.0046$	$0.5626^{a} \pm 0.0647$
control	-	-	$0.7878^{ab} \pm 0.1306$	$0.0365^{ab} \pm 0.0078$	$0.8243^{ab} \pm 0.1341$

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-3 น้ำหนักแห้งของทานตะวันในส่วนเหนือพื้นดิน (shoot) ส่วนราก (root) ทั้งต้น (total) ที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.15 mg/kg

คีเลต	ความเข้มข้น (mg/kg)	การเติม (ครั้ง)	น้ำหนักแห้งของ shoot (g)	น้ำหนักแห้งของ root (g)	น้ำหนักแห้งของ total (g)
EDTA	0.15	1 ครั้ง	$0.7870^{a} \pm 0.2450$	$0.0416^{a} \pm 0.0101$	$0.8286^{a} \pm 0.2528$
EDTA	0.15	2 ครั้ง	$0.8400^{a} \pm 0.2469$	$0.0403^{a} \pm 0.0064$	$0.8803^{a} \pm 0.2501$
EDTA	0.15	3 ครั้ง	$0.8453^{a} \pm 0.0660$	$0.0417^{a} \pm 0.0080$	$0.8870^{a} \pm 0.0737$
blank	-	-	$0.5328^{a} \pm 0.0621$	$0.0298^{a} \pm 0.0046$	$0.5626^{a} \pm 0.0647$
control	-	-	$0.7878^{a} \pm 0.1306$	$0.0365^{a} \pm 0.0078$	$0.8243^{a} \pm 0.1341$

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-4 น้ำหนักแห้งของทานตะวันในส่วนเหนือพื้นดิน (shoot) ส่วนราก (root) ทั้งต้น (total) ที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.2 mg/kg

คีเลต	ความเข้มข้น (mg/kg)	การเติม (ครั้ง)	น้ำหนักแห้งของ shoot (g)	น้ำหนักแห้งของ root (g)	น้ำหนักแห้งของ total (g)
EDTA	0.2	1 ครั้ง	$0.9183^{c} \pm 0.0152$	$0.0490^{b} \pm 0.0017$	$0.9673^{c} \pm 0.0166$
EDTA	0.2	2 ครั้ง	$0.7297^{b} \pm 0.1408$	$0.0490^{b} \pm 0.0135$	$0.7787^{b} \pm 0.1533$
EDTA	0.2	3 ครั้ง	$0.5315^{a} \pm 0.0325$	$0.0280^{a} \pm 0.0010$	$0.5595^{a} \pm 0.0315$
blank	-	-	$0.5328^{a} \pm 0.0621$	$0.0298^{a} \pm 0.0046$	$0.5626^{a} \pm 0.0647$
control	-	-	$0.7878^{bc} \pm 0.1306$	$0.0365^{ab} \pm 0.0078$	$0.8243^{bc} \pm 0.1341$

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-5 น้ำหนักแห้งของทานตะวันในส่วนเหนือพื้นดิน (shoot) ส่วนราก (root) ทั้งต้น (total) ที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 0.1 0.15 และ 0.2 mg/kg

คีเลต	ความเข้มข้น (mg/kg)	การเติม (ครั้ง)	น้ำหนักแห้งของ shoot (g)	น้ำหนักแห้งของ root (g)	น้ำหนักแห้งของ total (g)
EDTA	0.05	1 ครั้ง	$0.9077^{b} \pm 0.3390$	$0.0423^{abc} \pm 0.0132$	$0.9500^{b} \pm 0.3521$
EDTA	0.05	2 ครั้ง	$0.8440^{ab} \pm 0.1191$	$0.0403^{ab} \pm 0.0144$	$0.8843^{ab} \pm 0.1301$
EDTA	0.05	3 ครั้ง	$0.9870^{b} \pm 0.0978$	$0.0580^{c} \pm 0.0114$	$1.0450^{b} \pm 0.1077$
EDTA	0.1	1 ครั้ง	$0.9450^{b} \pm 0.2380$	$0.0475^{bc} \pm 0.0055$	$0.9925^{b} \pm 0.2435$
EDTA	0.1	2 ครั้ง	$0.9706^{b} \pm 0.1557$	$0.0413^{abc} \pm 0.0093$	$1.0119^{b} \pm 0.1650$
EDTA	0.1	3 ครั้ง	$0.7410^{ab} \pm 0.1290$	$0.0357^{ab} \pm 0.0055$	$0.7767^{ab} \pm 0.1245$
EDTA	0.15	1 ครั้ง	$0.7870^{ab} \pm 0.2450$	$0.0416^{abc} \pm 0.0101$	$0.8286^{ab} \pm 0.2528$
EDTA	0.15	2 ครั้ง	$0.8400^{ab} \pm 0.2469$	$0.0403^{ab} \pm 0.0064$	$0.8803^{ab} \pm 0.2501$
EDTA	0.15	3 ครั้ง	$0.8453^{ab} \pm 0.0660$	$0.0417^{abc} \pm 0.0080$	$0.8870^{ab} \pm 0.0737$
EDTA	0.2	1 ครั้ง	$0.9183^{b} \pm 0.0152$	$0.0490^{bc} \pm 0.0017$	$0.9673^{b} \pm 0.0166$
EDTA	0.2	2 ครั้ง	$0.7297^{ab} \pm 0.1408$	$0.0490^{bc} \pm 0.0135$	$0.7787^{ab} \pm 0.1533$
EDTA	0.2	3 ครั้ง	$0.5315^{a} \pm 0.0325$	$0.0280^{a} \pm 0.0010$	$0.5595^{a} \pm 0.0315$
blank	-	-	0.5328 ± 0.0621	0.0298 ± 0.0046	0.5626 ± 0.0647
control	-	-	0.7878 ± 0.1306	0.0365 ± 0.0078	0.8243 ± 0.1341

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

ตารางที่ ข-6 น้ำหนักแห้งของทานตะวันในส่วนเหนือพื้นดิน (shoot) ส่วนราก (root) ทั้งต้น (total) ที่เติม EDDS ความเข้มข้น 0.5 mg/kg

คีเลต	ความเข้มข้น (mg/kg)	การเติม (ครั้ง)	น้ำหนักแห้งของ shoot (g)	น้ำหนักแห้งของ root (g)	น้ำหนักแห้งของ total (g)
EDDS	0.5	1 ครั้ง	$1.1123^{c} \pm 0.1988$	$0.0543^{c} \pm 0.0125$	$1.1666^{c} \pm 0.2107$
EDDS	0.5	2 ครั้ง	$0.7540^{b} \pm 0.0390$	$0.0460^{bc} \pm 0.0020$	$0.8000^{b} \pm 0.0410$
EDDS	0.5	3 ครั้ง	$0.7057^{ab} \pm 0.0613$	$0.0437^{abc} \pm 0.0074$	$0.7494^{ab} \pm 0.0588$
blank	-	-	$0.5328^{a} \pm 0.0621$	$0.0298^{a} \pm 0.0046$	$0.5626^{a} \pm 0.0647$
control	-	-	$0.7878^{ab} \pm 0.1306$	$0.0365^{b} \pm 0.0078$	$0.8243^{b} \pm 0.1341$

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-7 น้ำหนักแห้งของทานตะวันในส่วนเหนือพื้นดิน (shoot) ส่วนราก (root) ทั้งต้น (total) ที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.0 mg/kg

คีเลต	ความเข้มข้น (mg/kg)	การเติม (ครั้ง)	น้ำหนักแห้งของ shoot (g)	น้ำหนักแห้งของ root (g)	น้ำหนักแห้งของ total (g)
EDDS	1	1 ครั้ง	$0.8427^{b} \pm 0.1534$	$0.0443^{a} \pm 0.0093$	$0.8870^{b} \pm 0.1614$
EDDS	1	2 ครั้ง	$0.7807^{ab} \pm 0.1963$	$0.0407^{a} \pm 0.0134$	$0.8214^{ab} \pm 0.2093$
EDDS	1	3 ครั้ง	$0.7993^{ab} \pm 0.1059$	$0.0450^{a} \pm 0.0141$	$0.8443^{ab} \pm 0.1175$
blank	-	-	$0.5328^{a} \pm 0.0621$	$0.0298^{a} \pm 0.0046$	$0.5626^{a} \pm 0.0647$
control	-	-	$0.7878^{a} \pm 0.1306$	$0.0365^{ab} \pm 0.0078$	$0.8243^{ab} \pm 0.1341$

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-8 น้ำหนักแห้งของทานตะวันในส่วนเหนือพื้นดิน (shoot) ส่วนราก (root) ทั้งต้น (total) ที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.5 mg/kg

คีเลต	ความเข้มข้น (mg/kg)	การเติม (ครั้ง)	น้ำหนักแห้งของ shoot (g)	น้ำหนักแห้งของ root (g)	น้ำหนักแห้งของ total (g)
EDDS	1.5	1 ครั้ง	$0.6933^{ab} \pm 0.2074$	$0.0380^{ab} \pm 0.0046$	$0.7313^{ab} \pm 0.2120$
EDDS	1.5	2 ครั้ง	$0.9053^{b} \pm 0.1711$	$0.0493^{b} \pm 0.0125$	$0.9546^{b} \pm 0.1836$
EDDS	1.5	3 ครั้ง	$0.5807^{a} \pm 0.0771$	$0.0320^{ab} \pm 0.0118$	$0.6127^{a} \pm 0.0881$
blank	-	-	$0.5328^{a} \pm 0.0621$	$0.0298^{a} \pm 0.0046$	$0.5626^{a} \pm 0.0647$
control	-	-	$0.7878^{ab} \pm 0.1306$	$0.0365^{ab} \pm 0.0078$	$0.8243^{ab} \pm 0.1341$

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-9 น้ำหนักแห้งของทานตะวันในส่วนเหนือพื้นดิน (shoot) ส่วนราก (root) ทั้งต้น (total) ที่เติม EDDS ความเข้มข้น 2.0 mg/kg

คีเลต	ความเข้มข้น (mg/kg)	การเติม (ครั้ง)	น้ำหนักแห้งของ shoot (g)	น้ำหนักแห้งของ root (g)	น้ำหนักแห้งของ total (g)
EDDS	2	1 ครั้ง	$0.8333^{b} \pm 0.1232$	$0.0437^{ab} \pm 0.0101$	$0.8770^{a} \pm 0.1273$
EDDS	2	2 ครั้ง	$0.8223^{b} \pm 0.1104$	$0.0393^{ab} \pm 0.0040$	$0.8616^{b} \pm 0.1143$
EDDS	2	3 ครั้ง	$0.8673^{b} \pm 0.1036$	$0.0470^{b} \pm 0.0078$	$0.9143^{b} \pm 0.1073$
blank	-	-	$0.5328^{a} \pm 0.0621$	$0.0298^{a} \pm 0.0046$	$0.5626^{b} \pm 0.0647$
control	-	-	$0.7878^{b} \pm 0.1306$	$0.0365^{ab} \pm 0.0078$	$0.8243^{b} \pm 0.1341$

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-10 น้ำหนักแห้งของทานตะวันในส่วนเหนือพื้นดิน (shoot) ส่วนราก (root) ทั้งต้น (total) ที่เติม EDDS ความเข้มข้น 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 mg/kg

คีเลต	ความเข้มข้น (mg/kg)	การเติม (ครั้ง)	น้ำหนักแห้งของ shoot (g)	น้ำหนักแห้งของ root (g)	น้ำหนักแห้งของ total (g)
EDDS	0.5	1 ครั้ง	$1.1123^{d} \pm 0.1988$	$0.0543^{c} \pm 0.0125$	$1.1666^{d} \pm 0.2107$
EDDS	0.5	2 ครั้ง	$0.7540^{abc} \pm 0.0390$	$0.0460^{abc} \pm 0.0020$	$0.8000^{abc} \pm 0.0410$
EDDS	0.5	3 ครั้ง	$0.7057^{abc} \pm 0.0613$	$0.0437^{abc} \pm 0.0074$	$0.7494^{abc} \pm 0.0588$
EDDS	1	1 ครั้ง	$0.8427^{bc} \pm 0.1534$	$0.0443^{abc} \pm 0.0093$	$0.8870^{bc} \pm 0.1614$
EDDS	1	2 ครั้ง	$0.7807^{abc} \pm 0.1963$	$0.0407^{abc} \pm 0.0134$	$0.8214^{abc} \pm 0.2093$
EDDS	1	3 ครั้ง	$0.7993^{bc} \pm 0.1059$	$0.0450^{abc} \pm 0.0141$	$0.8443^{bc} \pm 0.1175$
EDDS	1.5	1 ครั้ง	$0.6933^{abc} \pm 0.2074$	$0.0380^{abc} \pm 0.0046$	$0.7313^{abc} \pm 0.2120$
EDDS	1.5	2 ครั้ง	$0.9053^{cd} \pm 0.1711$	$0.0493^{bc} \pm 0.0125$	$0.9546^{c} \pm 0.1836$
EDDS	1.5	3 ครั้ง	$0.5807^{ab} \pm 0.0771$	$0.0320^{ab} \pm 0.0118$	$0.6127^{ab} \pm 0.0881$
EDDS	2	1 ครั้ง	$0.8333^{bc} \pm 0.1232$	$0.0437^{abc} \pm 0.0101$	$0.8770^{bc} \pm 0.1273$
EDDS	2	2 ครั้ง	$0.8223^{bc} \pm 0.1104$	$0.0393^{abc} \pm 0.0040$	$0.8616^{bc} \pm 0.1143$
EDDS	2	3 ครั้ง	$0.8673^{c} \pm 0.1036$	$0.0470^{abc} \pm 0.0078$	$0.9143^{c} \pm 0.1073$
blank	-	-	0.5328 ± 0.0621	0.0298 ± 0.0046	0.5626 ± 0.0647
control	-	-	0.7878 ± 0.1306	0.0365 ± 0.0078	0.8243 ± 0.1341

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

ตารางที่ ข-11 น้ำหนักแห้งของทานตะวันในส่วนเหนือพื้นดิน (shoot) ส่วนราก (root) ทั้งต้น (total) ที่เติม citric acid ความเข้มข้น 0.5 mg/kg

คีเลต	ความเข้มข้น (mg/kg)	การเติม (ครั้ง)	น้ำหนักแห้งของ shoot (g)	น้ำหนักแห้งของ root (g)	น้ำหนักแห้งของ total (g)
citric acid	0.5	1 ครั้ง	$0.6111^{a} \pm 0.0050$	$0.0372^{ab} \pm 0.0015$	$0.6483^{ab} \pm 0.0035$
citric acid	0.5	2 ครั้ง	$0.7810^{b} \pm 0.0897$	$0.0449^{ab} \pm 0.0040$	$0.8259^{b} \pm 0.0936$
citric acid	0.5	3 ครั้ง	$1.1313^{c} \pm 0.1144$	$0.0582^{c} \pm 0.0025$	$1.1895^{c} \pm 0.1168$
blank	-	-	$0.5328^{a} \pm 0.0621$	$0.0298^{a} \pm 0.0046$	$0.5626^{a} \pm 0.0647$
control	-	-	$0.7878^{b} \pm 0.1306$	$0.0365^{a} \pm 0.0078$	$0.8243^{b} \pm 0.1341$

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-12 น้ำหนักแห้งของทานตะวันในส่วนเหนือพื้นดิน (shoot) ส่วนราก (root) ทั้งต้น (total) ที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.0 mg/kg

คีเลต	ความเข้มข้น (mg/kg)	การเติม (ครั้ง)	น้ำหนักแห้งของ shoot (g)	น้ำหนักแห้งของ root (g)	น้ำหนักแห้งของ total (g)
citric acid	1	1 ครั้ง	$0.6749^{b} \pm 0.0224$	$0.0339^{a} \pm 0.003$	$0.7088^{b} \pm 0.0194$
citric acid	1	2 ครั้ง	$0.9888^{c} \pm 0.0609$	$0.0584^{b} \pm 0.0062$	$1.0472^{c} \pm 0.0656$
citric acid	1	3 ครั้ง	$0.7436^{b} \pm 0.0442$	$0.0434^{ab} \pm 0.0151$	$0.7870^{b} \pm 0.0590$
blank	-	-	$0.5328^{a} \pm 0.0621$	$0.0298^{a} \pm 0.0046$	$0.5626^{a} \pm 0.0647$
control	-	-	$0.7878^{b} \pm 0.1306$	$0.0365^{a} \pm 0.0078$	$0.8243^{b} \pm 0.1341$

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-13 น้ำหนักแห้งของทานตะวันในส่วนเหนือพื้นดิน (shoot) ส่วนราก (root) ทั้งต้น (total) ที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.5 mg/kg

คีเลต	ความเข้มข้น (mg/kg)	การเติม (ครั้ง)	น้ำหนักแห้งของ shoot (g)	น้ำหนักแห้งของ root (g)	น้ำหนักแห้งของ total (g)
citric acid	1.5	1 ครั้ง	$0.8648^{b} \pm 0.2321$	$0.0489^{b} \pm 0.0148$	$0.9137^{b} \pm 0.2469$
citric acid	1.5	2 ครั้ง	$0.8934^{b} \pm 0.1858$	$0.0392^{ab} \pm 0.0040$	$0.9326^{b} \pm 0.1897$
citric acid	1.5	3 ครั้ง	$0.7270^{ab} \pm 0.0860$	$0.0320^{ab} \pm 0.0080$	$0.7590^{ab} \pm 0.0940$
blank	-	-	$0.5328^{a} \pm 0.0621$	$0.0298^{a} \pm 0.0046$	$0.5626^{a} \pm 0.0647$
control	-	-	$0.7878^{ab} \pm 0.1306$	$0.0365^{ab} \pm 0.0078$	$0.8243^{ab} \pm 0.1341$

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-14 น้ำหนักแห้งของทานตะวันในส่วนเหนือพื้นดิน (shoot) ส่วนราก (root) ทั้งต้น (total) ที่เติม citric acid ความเข้มข้น 2.0 mg/kg

คีเลต	ความเข้มข้น (mg/kg)	การเติม (ครั้ง)	น้ำหนักแห้งของ shoot (g)	น้ำหนักแห้งของ root (g)	น้ำหนักแห้งของ total (g)
citric acid	2	1 ครั้ง	$0.9067^{b} \pm 0.1748$	$0.0468^{a} \pm 0.0187$	$0.9535^{b} \pm 0.1919$
citric acid	2	2 ครั้ง	$0.8344^{b} \pm 0.0313$	$0.0355^{a} \pm 0.0023$	$0.8699^{b} \pm 0.0334$
citric acid	2	3 ครั้ง	$0.7716^{ab} \pm 0.2042$	$0.0495^{a} \pm 0.0272$	$0.8211^{ab} \pm 0.2292$
blank	-	-	$0.5328^{a} \pm 0.0621$	$0.0298^{a} \pm 0.0046$	$0.5626^{a} \pm 0.0647$
control	-	-	$0.7878^{ab} \pm 0.1306$	$0.0365^{a} \pm 0.0078$	$0.8243^{ab} \pm 0.1341$

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-15 น้ำหนักแห้งของทานตะวันในส่วนเหนือพื้นดิน (shoot) ส่วนราก (root) ทั้งต้น (total) ที่เติม citric acid ความเข้มข้น 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 mg/kg

คีเลต	ความเข้มข้น (mg/kg)	การเติม (ครั้ง)	น้ำหนักแห้งของ shoot (g)	น้ำหนักแห้งของ root (g)	น้ำหนักแห้งของ total (g)
citric acid	0.5	1 ครั้ง	$0.6111^{ab} \pm 0.0050$	$0.0372^{ab} \pm 0.0015$	$0.6483^{ab} \pm 0.0035$
citric acid	0.5	2 ครั้ง	$0.7810^{bcd} \pm 0.0897$	$0.0449^{ab} \pm 0.0040$	$0.8259^{f} \pm 0.0936$
citric acid	0.5	3 ครั้ง	$1.1313^{e} \pm 0.1144$	$0.0582^{b} \pm 0.0025$	$1.1895^{e} \pm 0.1168$
citric acid	1	1 ครั้ง	$0.6749^{abc} \pm 0.0224$	$0.0339^{a} \pm 0.003$	$0.7088^{abc} \pm 0.0194$
citric acid	1	2 ครั้ง	$0.9888^{de} \pm 0.0609$	$0.0584^{b} \pm 0.0062$	$1.0472^{de} \pm 0.0656$
citric acid	1	3 ครั้ง	$0.7436^{abc} \pm 0.0442$	$0.0434^{ab} \pm 0.0151$	$0.7870^{abc} \pm 0.0590$
citric acid	1.5	1 ครั้ง	$0.8648^{cd} \pm 0.2321$	$0.0489^{ab} \pm 0.0148$	$0.9137^{cd} \pm 0.2469$
citric acid	1.5	2 ครั้ง	$0.8934^{cd} \pm 0.1858$	$0.0392^{ab} \pm 0.0040$	$0.9326^{cd} \pm 0.1897$
citric acid	1.5	3 ครั้ง	$0.7270^{abc} \pm 0.0860$	$0.0320^{a} \pm 0.0080$	$0.7590^{abc} \pm 0.0940$
citric acid	2	1 ครั้ง	$0.9067^{cd} \pm 0.1748$	$0.0468^{ab} \pm 0.0187$	$0.9535^{cd} \pm 0.1919$
citric acid	2	2 ครั้ง	$0.8344^{bcd} \pm 0.0313$	$0.0355^{a} \pm 0.0023$	$0.8699^{bcd} \pm 0.0334$
citric acid	2	3 ครั้ง	$0.7716^{bcd} \pm 0.2042$	$0.0495^{ab} \pm 0.0272$	$0.8211^{bcd} \pm 0.2292$
blank	-	-	0.5328 ± 0.0621	0.0298 ± 0.0046	0.5626 ± 0.0647
control	-	-	0.7878 ± 0.1306	0.0365 ± 0.0078	0.8243 ± 0.1341

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

ตารางที่ ข-16 น้ำหนักแห้งของทานตะวันเมื่อเติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 mg/kg EDDS และ citric acid ความเข้มข้น 0.5 mg/kg

คีเลต	ความเข้มข้น (mg/kg)	การเติม (ครั้ง)	น้ำหนักแห้งของ shoot (g)	น้ำหนักแห้งของ root (g)	น้ำหนักแห้งของ total (g)
EDTA	0.05	1 ครั้ง	$0.9077^{b} \pm 0.3390$	$0.0423^{abc} \pm 0.0132$	$0.9500^{b} \pm 0.3521$
EDTA	0.05	2 ครั้ง	$0.8440^{ab} \pm 0.1191$	$0.0403^{ab} \pm 0.0144$	$0.8843^{ab} \pm 0.1301$
EDTA	0.05	3 ครั้ง	$0.9870^{b} \pm 0.0978$	$0.0580^{c} \pm 0.0114$	$1.0450^{b} \pm 0.1077$
EDDS	0.5	1 ครั้ง	$1.1123^{d} \pm 0.1988$	$0.0543^{c} \pm 0.0125$	$1.1666^{d} \pm 0.2107$
EDDS	0.5	2 ครั้ง	$0.7540^{abc} \pm 0.0390$	$0.0460^{abc} \pm 0.0020$	$0.8000^{abc} \pm 0.0410$
EDDS	0.5	3 ครั้ง	$0.7057^{abc} \pm 0.0613$	$0.0437^{abc} \pm 0.0074$	$0.7494^{abc} \pm 0.0588$
citric acid	0.5	1 ครั้ง	$0.6111^{ab} \pm 0.0050$	$0.0372^{ab} \pm 0.0015$	$0.6483^{ab} \pm 0.0035$
citric acid	0.5	2 ครั้ง	$0.7810^{bcd} \pm 0.0897$	$0.0449^{ab} \pm 0.0040$	$0.8259^{f} \pm 0.0936$
citric acid	0.5	3 ครั้ง	$1.1313^{e} \pm 0.1144$	$0.0582^{b} \pm 0.0025$	$1.1895^{e} \pm 0.1168$
blank	-	-	0.5328 ± 0.0621	0.0298 ± 0.0046	0.5626 ± 0.0647
control	-	-	0.7878 ± 0.1306	0.0365 ± 0.0078	0.8243 ± 0.1341

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-17 น้ำหนักแห้งของทานตะวันเมื่อเติม EDTA ความเข้มข้น 0.1 mg/kg EDDS และ citric acid ความเข้มข้น 1.0 mg/kg

คีเลต	ความเข้มข้น (mg/kg)	การเติม (ครั้ง)	น้ำหนักแห้งของ shoot (g)	น้ำหนักแห้งของ root (g)	น้ำหนักแห้งของ total (g)
EDTA	0.1	1 ครั้ง	$0.9450^{b} \pm 0.2380$	$0.0475^{bc} \pm 0.0055$	$0.9925^{b} \pm 0.2435$
EDTA	0.1	2 ครั้ง	$0.9706^{b} \pm 0.1557$	$0.0413^{abc} \pm 0.0093$	$1.0119^{b} \pm 0.1650$
EDTA	0.1	3 ครั้ง	$0.7410^{ab} \pm 0.1290$	$0.0357^{ab} \pm 0.0055$	$0.7767^{ab} \pm 0.1245$
EDDS	1	1 ครั้ง	$0.8427^{bc} \pm 0.1534$	$0.0443^{abc} \pm 0.0093$	$0.8870^{bc} \pm 0.1614$
EDDS	1	2 ครั้ง	$0.7807^{abc} \pm 0.1963$	$0.0407^{abc} \pm 0.0134$	$0.8214^{abc} \pm 0.2093$
EDDS	1	3 ครั้ง	$0.7993^{bc} \pm 0.1059$	$0.0450^{abc} \pm 0.0141$	$0.8443^{bc} \pm 0.1175$
citric acid	1	1 ครั้ง	$0.6749^{abc} \pm 0.0224$	$0.0339^{a} \pm 0.003$	$0.7088^{abc} \pm 0.0194$
citric acid	1	2 ครั้ง	$0.9888^{de} \pm 0.0609$	$0.0584^{b} \pm 0.0062$	$1.0472^{de} \pm 0.0656$
citric acid	1	3 ครั้ง	$0.7436^{abc} \pm 0.0442$	$0.0434^{ab} \pm 0.0151$	$0.7870^{abc} \pm 0.0590$
blank	-	-	0.5328 ± 0.0621	0.0298 ± 0.0046	0.5626 ± 0.0647
control	-	-	0.7878 ± 0.1306	0.0365 ± 0.0078	0.8243 ± 0.1341

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-18 น้ำหนักแห้งของทานตะวันเมื่อเติม EDTA ความเข้มข้น 0.15 mg/kg EDDS และ citric acid ความเข้มข้น 1.5 mg/kg

คีเลต	ความเข้มข้น (mg/kg)	การเติม (ครั้ง)	น้ำหนักแห้งของ shoot (g)	น้ำหนักแห้งของ root (g)	น้ำหนักแห้งของ total (g)
EDTA	0.15	1 ครั้ง	$0.7870^{ab} \pm 0.2450$	$0.0416^{abc} \pm 0.0101$	$0.8286^{ab} \pm 0.2528$
EDTA	0.15	2 ครั้ง	$0.8400^{ab} \pm 0.2469$	$0.0403^{ab} \pm 0.0064$	$0.8803^{ab} \pm 0.2501$
EDTA	0.15	3 ครั้ง	$0.8453^{ab} \pm 0.0660$	$0.0417^{abc} \pm 0.0080$	$0.8870^{ab} \pm 0.0737$
EDDS	1.5	1 ครั้ง	$0.6933^{abc} \pm 0.2074$	$0.0380^{abc} \pm 0.0046$	$0.7313^{abc} \pm 0.2120$
EDDS	1.5	2 ครั้ง	$0.9053^{cd} \pm 0.1711$	$0.0493^{bc} \pm 0.0125$	$0.9546^{c} \pm 0.1836$
EDDS	1.5	3 ครั้ง	$0.5807^{ab} \pm 0.0771$	$0.0320^{ab} \pm 0.0118$	$0.6127^{ab} \pm 0.0881$
citric acid	1.5	1 ครั้ง	$0.8648^{cd} \pm 0.2321$	$0.0489^{ab} \pm 0.0148$	$0.9137^{cd} \pm 0.2469$
citric acid	1.5	2 ครั้ง	$0.8934^{cd} \pm 0.1858$	$0.0392^{ab} \pm 0.0040$	$0.9326^{cd} \pm 0.1897$
citric acid	1.5	3 ครั้ง	$0.7270^{abc} \pm 0.0860$	$0.0320^{a} \pm 0.0080$	$0.7590^{abc} \pm 0.0940$
blank	-	-	0.5328 ± 0.0621	0.0298 ± 0.0046	0.5626 ± 0.0647
control	-	-	0.7878 ± 0.1306	0.0365 ± 0.0078	0.8243 ± 0.1341

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-19 น้ำหนักแห้งของทานตะวันเมื่อเติม EDTA ความเข้มข้น 0.2 mg/kg EDDS และ citric acid ความเข้มข้น 2.0 mg/kg

คีเลต	ความเข้มข้น (mg/kg)	การเติม (ครั้ง)	น้ำหนักแห้งของ shoot (g)	น้ำหนักแห้งของ root (g)	น้ำหนักแห้งของ total (g)
EDTA	0.2	1 ครั้ง	$0.9183^{b} \pm 0.0152$	$0.0490^{bc} \pm 0.0017$	$0.9673^{b} \pm 0.0166$
EDTA	0.2	2 ครั้ง	$0.7297^{ab} \pm 0.1408$	$0.0490^{bc} \pm 0.0135$	$0.7787^{ab} \pm 0.1533$
EDTA	0.2	3 ครั้ง	$0.5315^{a} \pm 0.0325$	$0.0280^{a} \pm 0.0010$	$0.5595^{a} \pm 0.0315$
EDDS	2	1 ครั้ง	$0.8333^{bc} \pm 0.1232$	$0.0437^{abc} \pm 0.0101$	$0.8770^{bc} \pm 0.1273$
EDDS	2	2 ครั้ง	$0.8223^{bc} \pm 0.1104$	$0.0393^{abc} \pm 0.0040$	$0.8616^{bc} \pm 0.1143$
EDDS	2	3 ครั้ง	$0.8673^{c} \pm 0.1036$	$0.0470^{abc} \pm 0.0078$	$0.9143^{c} \pm 0.1073$
citric acid	2	1 ครั้ง	$0.9067^{cd} \pm 0.1748$	$0.0468^{ab} \pm 0.0187$	$0.9535^{cd} \pm 0.1919$
citric acid	2	2 ครั้ง	$0.8344^{bcd} \pm 0.0313$	$0.0355^{a} \pm 0.0023$	$0.8699^{bcd} \pm 0.0334$
citric acid	2	3 ครั้ง	$0.7716^{bcd} \pm 0.2042$	$0.0495^{ab} \pm 0.0272$	$0.8211^{bcd} \pm 0.2292$
blank	-	-	0.5328 ± 0.0621	0.0298 ± 0.0046	0.5626 ± 0.0647
control	-	-	0.7878 ± 0.1306	0.0365 ± 0.0078	0.8243 ± 0.1341

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-20 ความเข้มข้นแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้ในส่วนเหนือพื้นดิน (shoot) ส่วนราก (root) ทั้งต้น (total) ที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 mg/kg

คีเลต	ความเข้มข้น (mg/kg)	การเติม (ครั้ง)	ความเข้มข้นแคดเมียมใน shoot (mg/kg)	ความเข้มข้นแคดเมียมใน root (mg/kg)	ความเข้มข้นแคดเมียมใน total (mg/kg)
EDTA	0.05	1 ครั้ง	$10.4920^{ab} \pm 6.4251$	$167.5573^{a} \pm 71.3616$	$12.2812^{a} \pm 1.0796$
EDTA	0.05	2 ครั้ง	$9.7310^{ab} \pm 1.2167$	$147.8542^{a} \pm 60.2840$	$15.5278^{bc} \pm 2.4234$
EDTA	0.05	3 ครั้ง	$8.0263^{ab} \pm 1.5216$	$103.7157^{a} \pm 32.8764$	$13.4008^{a} \pm 3.2899$
blank	-	-	$5.3400^{a} \pm 1.1917$	$93.2555^{a} \pm 2.9545$	$12.0058^{a} \pm 1.7427$
control	-	-	$12.9718^{b} \pm 2.4735$	$165.6961^{a} \pm 11.0994$	$19.8171^{c} \pm 3.8976$

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-21 ความเข้มข้นแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้ในส่วนเหนือพื้นดิน (shoot) ส่วนราก (root) ทั้งต้น (total) ที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.1 mg/kg

คีเลต	ความเข้มข้น (mg/kg)	การเติม (ครั้ง)	ความเข้มข้นแคดเมียมใน shoot (mg/kg)	ความเข้มข้นแคดเมียมใน root (mg/kg)	ความเข้มข้นแคดเมียมใน total (mg/kg)
EDTA	0.1	1 ครั้ง	$15.2487^{b} \pm 1.6681$	$208.4656^{c} \pm 73.7779$	$23.8941^{b} \pm 3.4777$
EDTA	0.1	2 ครั้ง	$10.4110^{b} \pm 1.0421$	$121.3750^{ab} \pm 20.4203$	$14.8789^{a} \pm 0.3629$
EDTA	0.1	3 ครั้ง	$14.0047^{b} \pm 4.7358$	$113.4830^{ab} \pm 16.5571$	$23.1295^{b} \pm 2.4108$
blank	-	-	$5.3400^{a} \pm 1.1917$	$93.2555^{a} \pm 2.9545$	$12.0058^{a} \pm 1.7427$
control	-	-	$12.9718^{b} \pm 2.4735$	$165.6961^{bc} \pm 11.0994$	$19.8171^{b} \pm 3.8976$

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-22 ความเข้มข้นแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้ในส่วนเหนือพื้นดิน (shoot) ส่วนราก (root) ทั้งต้น (total) ที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.15 mg/kg

คีเลต	ความเข้มข้น (mg/kg)	การเติม (ครั้ง)	ความเข้มข้นแคดเมียมใน shoot (mg/kg)	ความเข้มข้นแคดเมียมใน root (mg/kg)	ความเข้มข้นแคดเมียมใน total (mg/kg)
EDTA	0.15	1 ครั้ง	$16.9807^{c} \pm 0.6359$	$155.4632^{ab} \pm 69.0049$	$25.4585^{c} \pm 3.3421$
EDTA	0.15	2 ครั้ง	$9.4306^{bc} \pm 0.8726$	$221.9873^{c} \pm 87.1036$	$20.0949^{b} \pm 2.1919$
EDTA	0.15	3 ครั้ง	$12.2581^{b} \pm 3.1163$	$117.6432^{a} \pm 25.2865$	$17.1155^{bc} \pm 2.5446$
blank	-	-	$5.3400^{a} \pm 1.1917$	$93.2555^{a} \pm 2.9545$	$12.0058^{a} \pm 1.7427$
control	-	-	$12.9718^{b} \pm 2.4735$	$165.6961^{ab} \pm 11.0994$	$19.8171^{c} \pm 3.8976$

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-23 ความเข้มข้นแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้ในส่วนเหนือพื้นดิน (shoot) ส่วนราก (root) ทั้งต้น (total) ที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.2 mg/kg

คีเลต	ความเข้มข้น (mg/kg)	การเติม (ครั้ง)	ความเข้มข้นแคดเมียมใน shoot (mg/kg)	ความเข้มข้นแคดเมียมใน root (mg/kg)	ความเข้มข้นแคดเมียมใน total (mg/kg)
EDTA	0.2	1 ครั้ง	$8.1941^{ab} \pm 2.4668$	$127.9616^{ab} \pm 37.2320$	$14.2444^{ab} \pm 4.1587$
EDTA	0.2	2 ครั้ง	$10.8402^{bc} \pm 1.2955$	$132.7035^{c} \pm 10.2634$	$18.4345^{ab} \pm 2.3064$
EDTA	0.2	3 ครั้ง	$12.7330^{c} \pm 2.9058$	$150.6414^{c} \pm 22.7639$	$20.1019^{c} \pm 4.0784$
blank	-	-	$5.3400^{a} \pm 1.1917$	$93.2555^{a} \pm 2.9545$	$12.0058^{a} \pm 1.7427$
control	-	-	$12.9718^{c} \pm 2.4735$	$165.6961^{c} \pm 11.0994$	$19.8171^{c} \pm 3.8976$

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-24 ความเข้มข้นแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้ในส่วนเหนือพื้นดิน (shoot) ส่วนราก (root) ทั้งต้น (total) ที่เติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 0.1 0.15 และ 0.2 mg/kg

คีเลต	ความเข้มข้น (mg/kg)	การเติม (ครั้ง)	ความเข้มข้นแคดเมียมใน shoot (mg/kg)	ความเข้มข้นแคดเมียมใน root (mg/kg)	ความเข้มข้นแคดเมียมใน total (mg/kg)
EDTA	0.05	1 ครั้ง	$10.4920^{abcd} \pm 6.4251$	$167.5573^{abc} \pm 71.3616$	$12.2812^{a} \pm 1.0796$
EDTA	0.05	2 ครั้ง	$9.7310^{abc} \pm 1.2167$	$147.8542^{abc} \pm 60.2840$	$15.5278^{abc} \pm 2.4234$
EDTA	0.05	3 ครั้ง	$8.0263^{ab} \pm 1.5216$	$103.7157^{a} \pm 32.8764$	$13.4008^{ab} \pm 3.2899$
EDTA	0.1	1 ครั้ง	$15.2487^{de} \pm 1.6681$	$208.4656^{bc} \pm 73.7779$	$23.8941^{ef} \pm 3.4777$
EDTA	0.1	2 ครั้ง	$10.4110^{abcd} \pm 1.0421$	$121.3750^{ab} \pm 20.4203$	$14.8789^{abc} \pm 0.3629$
EDTA	0.1	3 ครั้ง	$14.0047^{cde} \pm 4.7358$	$113.4830^{a} \pm 16.5571$	$23.1295^{def} \pm 2.4108$
EDTA	0.15	1 ครั้ง	$16.9807^{e} \pm 0.6359$	$155.4632^{abc} \pm 69.0049$	$25.4585^{f} \pm 3.3421$
EDTA	0.15	2 ครั้ง	$9.4306^{abc} \pm 0.8726$	$221.9873^{c} \pm 87.1036$	$20.0949^{cde} \pm 2.1919$
EDTA	0.15	3 ครั้ง	$12.2581^{bcde} \pm 3.1163$	$117.6432^{ab} \pm 25.2865$	$17.1155^{abc} \pm 2.5446$
EDTA	0.2	1 ครั้ง	$8.1941^{bcd} \pm 2.4668$	$127.9616^{ab} \pm 37.2320$	$14.2444^{ab} \pm 4.1587$
EDTA	0.2	2 ครั้ง	$10.8402^{ef} \pm 1.2955$	$132.7035^{abc} \pm 10.2634$	$18.4345^{bcd} \pm 2.3064$
EDTA	0.2	3 ครั้ง	$12.7330^{bcde} \pm 2.9058$	$150.6414^{abc} \pm 22.7639$	$20.1019^{cde} \pm 4.0784$
blank	-	-	5.3400 ± 1.1917	93.2555 ± 2.9545	12.0058 ± 1.7427
control	-	-	12.9718 ± 2.4735	165.6961 ± 11.0994	19.8171 ± 3.8976

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

ตารางที่ ข-25 ความเข้มข้นแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้ในส่วนเหนือพื้นดิน (shoot) ส่วนราก (root) ทั้งต้น (total) ที่เติม EDDS ความเข้มข้น 0.5 mg/kg

คีเลต	ความเข้มข้น (mg/kg)	การเติม (ครั้ง)	ความเข้มข้นแคดเมียมใน shoot (mg/kg)	ความเข้มข้นแคดเมียมใน Root (mg/kg)	ความเข้มข้นแคดเมียมใน total (mg/kg)
EDDS	0.5	1 ครั้ง	$8.5051^{b} \pm 1.3701$	$101.0119^{a} \pm 32.7038$	$12.7301^{a} \pm 2.3678$
EDDS	0.5	2 ครั้ง	$15.4533^{c} \pm 0.3839$	$187.0535^{c} \pm 80.8036$	$21.9241^{b} \pm 1.6506$
EDDS	0.5	3 ครั้ง	$12.3941^{c} \pm 2.0510$	$116.0487^{bc} \pm 21.3241$	$18.2943^{b} \pm 2.0257$
blank	-	-	$5.3400^{a} \pm 1.1917$	$93.2555^{a} \pm 2.9545$	$12.0058^{a} \pm 1.7427$
control	-	-	$12.9718^{c} \pm 2.4735$	$165.6961^{bc} \pm 11.0994$	$19.8171^{b} \pm 3.8976$

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-26 ความเข้มข้นแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้ในส่วนเหนือพื้นดิน (shoot) ส่วนราก (root) ทั้งต้น (total) ที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.0 mg/kg

คีเลต	ความเข้มข้น (mg/kg)	การเติม (ครั้ง)	ความเข้มข้นแคดเมียมใน shoot (mg/kg)	ความเข้มข้นแคดเมียมใน root (mg/kg)	ความเข้มข้นแคดเมียมใน total (mg/kg)
EDDS	1	1 ครั้ง	$10.1384^{b} \pm 0.7193$	$119.0743^{b} \pm 15.5289$	$15.5382^{ab} \pm 1.1752$
EDDS	1	2 ครั้ง	$11.3234^{b} \pm 2.2778$	$124.3548^{b} \pm 32.1853$	$17.6089^{c} \pm 3.5788$
EDDS	1	3 ครั้ง	$10.6333^{b} \pm 1.1165$	$125.1042^{b} \pm 9.2709$	$15.8567^{ab} \pm 1.4170$
blank	-	-	$5.3400^{a} \pm 1.1917$	$93.2555^{a} \pm 2.9545$	$12.0058^{a} \pm 1.7427$
control	-	-	$12.9718^{b} \pm 2.4735$	$165.6961^{b} \pm 11.0994$	$19.8171^{b} \pm 3.8976$

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-27 ความเข้มข้นแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้ในส่วนเหนือพื้นดิน (shoot) ส่วนราก (root) ทั้งต้น (total) ที่เติม EDDS ความเข้มข้น 1.5 mg/kg

คีเลต	ความเข้มข้น (mg/kg)	การเติม (ครั้ง)	ความเข้มข้นแคดเมียมใน shoot (mg/kg)	ความเข้มข้นแคดเมียมใน root (mg/kg)	ความเข้มข้นแคดเมียมใน total (mg/kg)
EDDS	1.5	1 ครั้ง	$10.8129^{b} \pm 1.1757$	$119.2199^{ab} \pm 23.5920$	$16.5555^{ab} \pm 2.1444$
EDDS	1.5	2 ครั้ง	$10.5931^{b} \pm 2.9518$	$114.8252^{ab} \pm 36.3587$	$15.8539^{ab} \pm 1.4966$
EDDS	1.5	3 ครั้ง	$14.0092^{b} \pm 3.6261$	$189.5948^{c} \pm 51.0257$	$22.5560^{c} \pm 3.4755$
blank	-	-	$5.3400^{a} \pm 1.1917$	$93.2555^{a} \pm 2.9545$	$12.0058^{a} \pm 1.7427$
control	-	-	$12.9718^{b} \pm 2.4735$	$165.6961^{bc} \pm 11.0994$	$19.8171^{bc} \pm 3.8976$

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-28 ความเข้มข้นแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้ในส่วนเหนือพื้นดิน (shoot) ส่วนราก (root) ทั้งต้น (total) ที่เติม EDDS ความเข้มข้น 2.0 mg/kg

คีเลต	ความเข้มข้น (mg/kg)	การเติม (ครั้ง)	ความเข้มข้นแคดเมียมใน shoot (mg/kg)	ความเข้มข้นแคดเมียมใน root (mg/kg)	ความเข้มข้นแคดเมียมใน total (mg/kg)
EDDS	2	1 ครั้ง	$11.5105^{bc} \pm 3.3224$	$151.9281^{bc} \pm 30.2439$	$18.5215^{c} \pm 5.3706$
EDDS	2	2 ครั้ง	$9.9860^{bc} \pm 0.4260$	$132.5360^{bc} \pm 19.4448$	$15.6168^{ab} \pm 0.9673$
EDDS	2	3 ครั้ง	$9.7771^{c} \pm 3.0705$	$121.6077^{ab} \pm 18.7328$	$15.4638^{ab} \pm 2.2960$
blank	-	-	$5.3400^{a} \pm 1.1917$	$93.2555^{a} \pm 2.9545$	$12.0058^{a} \pm 1.7427$
control	-	-	$12.9718^{b} \pm 2.4735$	$165.6961^{c} \pm 11.0994$	$19.8171^{c} \pm 3.8976$

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-29 ความเข้มข้นแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้ในส่วนเหนือพื้นดิน (shoot) ส่วนราก (root) ทั้งต้น (total) ที่เติม EDDS ความเข้มข้น 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 mg/kg

คีเลต	ความเข้มข้น (mg/kg)	การเติม (ครั้ง)	ความเข้มข้นแคดเมียมใน shoot (mg/kg)	ความเข้มข้นแคดเมียมใน root (mg/kg)	ความเข้มข้นแคดเมียมใน total (mg/kg)
EDDS	0.5	1 ครั้ง	$8.5051^{ab} \pm 1.3701$	$101.0119^{ab} \pm 32.7038$	$12.7301^{ab} \pm 2.3678$
EDDS	0.5	2 ครั้ง	$15.4533^{e} \pm 0.3839$	$187.0535^{cd} \pm 80.8036$	$21.9241^{d} \pm 1.6506$
EDDS	0.5	3 ครั้ง	$12.3941^{bcde} \pm 2.0510$	$116.0487^{ab} \pm 21.3241$	$18.2943^{cd} \pm 2.0257$
EDDS	1	1 ครั้ง	$10.1384^{bcd} \pm 0.7193$	$119.0743^{ab} \pm 15.5289$	$15.5382^{abc} \pm 1.1752$
EDDS	1	2 ครั้ง	$11.3234^{bcd} \pm 2.2778$	$124.3548^{abc} \pm 32.1853$	$17.6089^{bcd} \pm 3.5788$
EDDS	1	3 ครั้ง	$10.6333^{bcd} \pm 1.1165$	$125.1042^{abc} \pm 9.2709$	$15.8567^{abc} \pm 1.4170$
EDDS	1.5	1 ครั้ง	$10.8129^{bcd} \pm 1.1757$	$119.2199^{ab} \pm 23.5920$	$16.5555^{abc} \pm 2.1444$
EDDS	1.5	2 ครั้ง	$10.5931^{bcd} \pm 2.9518$	$114.8252^{ab} \pm 36.3587$	$15.8539^{abc} \pm 1.4966$
EDDS	1.5	3 ครั้ง	$14.0092^{de} \pm 3.6261$	$189.5948^{d} \pm 51.0257$	$22.5560^{d} \pm 3.4755$
EDDS	2	1 ครั้ง	$11.5105^{bcde} \pm 3.3224$	$151.9281^{abcd} \pm 30.2439$	$18.5215^{cd} \pm 5.3706$
EDDS	2	2 ครั้ง	$9.9860^{bcd} \pm 0.4260$	$132.5360^{abcd} \pm 19.4448$	$15.6168^{abc} \pm 0.9673$
EDDS	2	3 ครั้ง	$9.7771^{bc} \pm 3.0705$	$121.6077^{ab} \pm 18.7328$	$15.4638^{abc} \pm 2.2960$
blank	-	-	5.3400 ± 1.1917	93.2555 ± 2.9545	12.0058 ± 1.7427
control	-	-	12.9718 ± 2.4735	165.6961 ± 11.0994	19.8171 ± 3.8976

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

ตารางที่ ข-30 ความเข้มข้นแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้ในส่วนเหนือพื้นดิน (shoot) ส่วนราก (root) ทั้งต้น (total) ที่เติม citric acid ความเข้มข้น 0.5 mg/kg

คีเลต	ความเข้มข้น (mg/kg)	การเติม (ครั้ง)	ความเข้มข้นแคดเมียมใน shoot (mg/kg)	ความเข้มข้นแคดเมียมใน root (mg/kg)	ความเข้มข้นแคดเมียมใน total (mg/kg)
citric acid	0.5	1 ครั้ง	$10.8184^{bc} \pm 2.1333$	$160.0591^{abc} \pm 46.9626$	$17.7439^{abc} \pm 6.4157$
citric acid	0.5	2 ครั้ง	$8.3575^{ab} \pm 3.2791$	$124.6824^{ab} \pm 41.8534$	$11.8876^{a} \pm 0.1422$
citric acid	0.5	3 ครั้ง	$9.7600^{bc} \pm 1.9312$	$113.7098^{a} \pm 25.8753$	$15.5159^{bc} \pm 4.2394$
blank	-	-	$5.3400^{a} \pm 1.1917$	$93.2555^{a} \pm 2.9545$	$12.0058^{a} \pm 1.7427$
control	-	-	$12.9718^{c} \pm 2.4735$	$165.6961^{c} \pm 11.0994$	$19.8171^{c} \pm 3.8976$

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-31 ความเข้มข้นแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้ในส่วนเหนือพื้นดิน (shoot) ส่วนราก (root) ทั้งต้น (total) ที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.0 mg/kg

คีเลต	ความเข้มข้น (mg/kg)	การเติม (ครั้ง)	ความเข้มข้นแคดเมียมใน shoot (mg/kg)	ความเข้มข้นแคดเมียมใน root (mg/kg)	ความเข้มข้นแคดเมียมใน total (mg/kg)
citric acid	1	1 ครั้ง	$11.8899^{bc} \pm 0.3956$	$144.6807^{a} \pm 65.2102$	$17.6663^{bc} \pm 2.5082$
citric acid	1	2 ครั้ง	$10.0301^{b} \pm 1.8520$	$111.0326^{a} \pm 22.7466$	$15.6380^{ab} \pm 2.2438$
citric acid	1	3 ครั้ง	$13.1900^{c} \pm 1.4170$	$159.3865^{a} \pm 54.2494$	$20.6253^{c} \pm 1.7599$
blank	-	-	$5.3400^{a} \pm 1.1917$	$93.2555^{a} \pm 2.9545$	$12.0058^{a} \pm 1.7427$
control	-	-	$12.9718^{bc} \pm 2.4735$	$165.6961^{a} \pm 11.0994$	$19.8171^{bc} \pm 3.8976$

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-32 ความเข้มข้นแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้ในส่วนเหนือพื้นดิน (shoot) ส่วนราก (root) ทั้งต้น (total) ที่เติม citric acid ความเข้มข้น 1.5 mg/kg

คีเลต	ความเข้มข้น (mg/kg)	การเติม (ครั้ง)	ความเข้มข้นแคดเมียมใน shoot (mg/kg)	ความเข้มข้นแคดเมียมใน root (mg/kg)	ความเข้มข้นแคดเมียมใน total (mg/kg)
citric acid	1.5	1 ครั้ง	$9.2741^{ab} \pm 1.4723$	$117.8273^{ab} \pm 41.8471$	$14.9906^{bc} \pm 3.2148$
citric acid	1.5	2 ครั้ง	$9.0338^{ab} \pm 0.1093$	$154.3718^{ab} \pm 40.2671$	$15.3164^{bc} \pm 2.0994$
citric acid	1.5	3 ครั้ง	$12.4172^{c} \pm 3.5204$	$201.8750^{c} \pm 85.6250$	$14.6634^{bc} \pm 1.9838$
blank	-	-	$5.3400^{a} \pm 1.1917$	$93.2555^{a} \pm 2.9545$	$12.0058^{a} \pm 1.7427$
control	-	-	$12.9718^{c} \pm 2.4735$	$165.6961^{ab} \pm 11.0994$	$19.8171^{b} \pm 3.8976$

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-33 ความเข้มข้นแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้ในส่วนเหนือพื้นดิน (shoot) ส่วนราก (root) ทั้งต้น (total) ที่เติม citric acid ความเข้มข้น 2.0 mg/kg

คีเลต	ความเข้มข้น (mg/kg)	การเติม (ครั้ง)	ความเข้มข้นแคดเมียมใน Shoot (mg/kg)	ความเข้มข้นแคดเมียมใน root (mg/kg)	ความเข้มข้นแคดเมียมใน total (mg/kg)
citric acid	2	1 ครั้ง	$8.3777^{a} \pm 1.1376$	$101.8492^{a} \pm 20.3883$	$13.0060^{a} \pm 1.4147$
citric acid	2	2 ครั้ง	$11.2863^{b} \pm 1.7375$	$131.6038^{a} \pm 11.4883$	$14.1439^{a} \pm 3.6170$
citric acid	2	3 ครั้ง	$11.5563^{d} \pm 1.2106$	$208.1671^{a} \pm 3.4317$	$20.2139^{b} \pm 1.9507$
blank	-	-	$5.3400^{a} \pm 1.1917$	$93.2555^{a} \pm 2.9545$	$12.0058^{a} \pm 1.7427$
control	-	-	$12.9718^{c} \pm 2.4735$	$165.6961^{a} \pm 11.0994$	$19.8171^{b} \pm 3.8976$

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-34 ความเข้มข้นแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้ในส่วนเหนือพื้นดิน (shoot) ส่วนราก (root) ทั้งต้น (total) ที่เติม citric acid ความเข้มข้น 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 mg/kg

คีเลต	ความเข้มข้น (mg/kg)	การเติม (ครั้ง)	ความเข้มข้นแคดเมียมใน shoot (mg/kg)	ความเข้มข้นแคดเมียมใน root (mg/kg)	ความเข้มข้นแคดเมียมใน total (mg/kg)
citric acid	0.5	1 ครั้ง	$10.8184^{bcde} \pm 2.1333$	$160.0591^{abc} \pm 46.9626$	$17.7439^{abcd} \pm 6.4157$
citric acid	0.5	2 ครั้ง	$8.3575^{ab} \pm 3.2791$	$124.6824a^{b} \pm 41.8534$	$11.8876^{abcd} \pm 0.1422$
citric acid	0.5	3 ครั้ง	$9.7600^{bcde} \pm 1.9312$	$113.7098^{a} \pm 25.8753$	$15.5159^{abcd} \pm 4.2394$
citric acid	1	1 ครั้ง	$11.8899^{c} \pm 0.3956$	$144.6807^{abc} \pm 65.2102$	$17.6663^{abcd} \pm 2.5082$
citric acid	1	2 ครั้ง	$10.0301^{bcde} \pm 1.8520$	$111.0326^{a} \pm 22.7466$	$15.6380^{abcd} \pm 2.2438$
citric acid	1	3 ครั้ง	$13.1900^{d} \pm 1.4170$	$159.3865^{abc} \pm 54.2494$	$20.6253^{d} \pm 1.7599$
citric acid	1.5	1 ครั้ง	$9.2741^{bcd} \pm 1.4723$	$117.8273^{a} \pm 41.8471$	$14.9906^{abcd} \pm 3.2148$
citric acid	1.5	2 ครั้ง	$9.0338^{bc} \pm 0.1093$	$154.3718^{abc} \pm 40.2671$	$15.3164^{abcd} \pm 2.0994$
citric acid	1.5	3 ครั้ง	$12.4172^{f} \pm 3.5204$	$201.8750^{bc} \pm 85.6250$	$14.6634^{abc} \pm 1.9838$
citric acid	2	1 ครั้ง	$8.3777^{ab} \pm 1.1376$	$101.8492^{a} \pm 20.3883$	$13.0060^{a} \pm 1.4147$
citric acid	2	2 ครั้ง	$11.2863^{bcde} \pm 1.7375$	$131.6038^{abc} \pm 11.4883$	$14.1439^{ab} \pm 3.6170$
citric acid	2	3 ครั้ง	$11.5563^{e} \pm 1.2106$	$208.1671^{c} \pm 3.4317$	$20.2139^{cd} \pm 1.9507$
blank	-	-	5.3400 ± 1.1917	93.2555 ± 2.9545	12.0058 ± 1.7427
control	-	-	12.9718 ± 2.4735	165.6961 ± 11.0994	19.8171 ± 3.8976

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

ตารางที่ ข-35 ความเข้มข้นแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้เมื่อเติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 mg/kg EDDS และ citric acid ความเข้มข้น 0.5 mg/kg

คีเลต	ความเข้มข้น (mg/kg)	การเติม (ครั้ง)	ความเข้มข้นแคดเมียมใน shoot (mg/kg)	ความเข้มข้นแคดเมียมใน root (mg/kg)	ความเข้มข้นแคดเมียมใน total (mg/kg)
EDTA	0.05	1 ครั้ง	$10.4920^{abcd} \pm 6.4251$	$167.5573^{abc} \pm 71.3616$	$12.2812^{a} \pm 1.0796$
EDTA	0.05	2 ครั้ง	$9.7310^{abc} \pm 1.2167$	$147.8542^{abc} \pm 60.2840$	$15.5278^{abc} \pm 2.4234$
EDTA	0.05	3 ครั้ง	$8.0263^{ab} \pm 1.5216$	$103.7157^{a} \pm 32.8764$	$13.4008^{ab} \pm 3.2899$
EDDS	0.5	1 ครั้ง	$8.5051^{ab} \pm 1.3701$	$101.0119^{ab} \pm 32.7038$	$12.7301^{ab} \pm 2.3678$
EDDS	0.5	2 ครั้ง	$15.4533^{e} \pm 0.3839$	$187.0535^{cd} \pm 80.8036$	$21.9241^{d} \pm 1.6506$
EDDS	0.5	3 ครั้ง	$12.3941^{bcde} \pm 2.0510$	$116.0487^{ab} \pm 21.3241$	$18.2943^{cd} \pm 2.0257$
citric acid	0.5	1 ครั้ง	$10.8184^{bcde} \pm 2.1333$	$160.0591^{abc} \pm 46.9626$	$17.7439^{abcd} \pm 6.4157$
citric acid	0.5	2 ครั้ง	$8.3575^{ab} \pm 3.2791$	$124.6824a^{b} \pm 41.8534$	$11.8876^{abcd} \pm 0.1422$
citric acid	0.5	3 ครั้ง	$9.7600^{bcde} \pm 1.9312$	$113.7098^{a} \pm 25.8753$	$15.5159^{abcd} \pm 4.2394$
blank	-	-	5.3400 ± 1.1917	93.2555 ± 2.9545	12.0058 ± 1.7427
control	-	-	12.9718 ± 2.4735	165.6961 ± 11.0994	19.8171 ± 3.8976

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-36 ความเข้มข้นแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้เมื่อเติม EDTA ความเข้มข้น 0.1 mg/kg EDDS และ citric acid ความเข้มข้น 1.0 mg/kg

คีเลต	ความเข้มข้น (mg/kg)	การเติม (ครั้ง)	ความเข้มข้นแคดเมียมใน shoot (mg/kg)	ความเข้มข้นแคดเมียมใน root (mg/kg)	ความเข้มข้นแคดเมียมใน total (mg/kg)
EDTA	0.1	1 ครั้ง	$15.2487^{de} \pm 1.6681$	$208.4656^{bc} \pm 73.7779$	$23.8941^{ef} \pm 3.4777$
EDTA	0.1	2 ครั้ง	$10.4110^{abcd} \pm 1.0421$	$121.3750^{ab} \pm 20.4203$	$14.8789^{abc} \pm 0.3629$
EDTA	0.1	3 ครั้ง	$14.0047^{cde} \pm 4.7358$	$113.4830^{a} \pm 16.5571$	$23.1295^{def} \pm 2.4108$
EDDS	1	1 ครั้ง	$10.1384^{bcd} \pm 0.7193$	$119.0743^{ab} \pm 15.5289$	$15.5382^{abc} \pm 1.1752$
EDDS	1	2 ครั้ง	$11.3234^{bcd} \pm 2.2778$	$124.3548^{abc} \pm 32.1853$	$17.6089^{bcd} \pm 3.5788$
EDDS	1	3 ครั้ง	$10.6333^{bcd} \pm 1.1165$	$125.1042^{abc} \pm 9.2709$	$15.8567^{abc} \pm 1.4170$
citric acid	1	1 ครั้ง	$11.8899^{c} \pm 0.3956$	$144.6807^{abc} \pm 65.2102$	$17.6663^{abcd} \pm 2.5082$
citric acid	1	2 ครั้ง	$10.0301^{bcde} \pm 1.8520$	$111.0326^{a} \pm 22.7466$	$15.6380^{abcd} \pm 2.2438$
citric acid	1	3 ครั้ง	$13.1900^{d} \pm 1.4170$	$159.3865^{abc} \pm 54.2494$	$20.6253^{d} \pm 1.7599$
blank	-	-	5.3400 ± 1.1917	93.2555 ± 2.9545	12.0058 ± 1.7427
control	-	-	12.9718 ± 2.4735	165.6961 ± 11.0994	19.8171 ± 3.8976

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-37 ความเข้มข้นแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้เมื่อเติม EDTA ความเข้มข้น 0.15 mg/kg EDDS และ citric acid ความเข้มข้น 1.5 mg/kg

คีเลต	ความเข้มข้น (mg/kg)	การเติม (ครั้ง)	ความเข้มข้นแคดเมียมใน shoot (mg/kg)	ความเข้มข้นแคดเมียมใน root (mg/kg)	ความเข้มข้นแคดเมียมใน total (mg/kg)
EDTA	0.15	1 ครั้ง	$16.9807^{e} \pm 0.6359$	$155.4632^{abc} \pm 69.0049$	$25.4585^{f} \pm 3.3421$
EDTA	0.15	2 ครั้ง	$9.4306^{abc} \pm 0.8726$	$221.9873^{c} \pm 87.1036$	$20.0949^{cde} \pm 2.1919$
EDTA	0.15	3 ครั้ง	$12.2581^{bcde} \pm 3.1163$	$117.6432^{ab} \pm 25.2865$	$17.1155^{abc} \pm 2.5446$
EDDS	1.5	1 ครั้ง	$10.8129^{bcd} \pm 1.1757$	$119.2199^{ab} \pm 23.5920$	$16.5555^{abc} \pm 2.1444$
EDDS	1.5	2 ครั้ง	$10.5931^{bcd} \pm 2.9518$	$114.8252^{ab} \pm 36.3587$	$15.8539^{abc} \pm 1.4966$
EDDS	1.5	3 ครั้ง	$14.0092^{de} \pm 3.6261$	$189.5948^{d} \pm 51.0257$	$22.5560^{d} \pm 3.4755$
citric acid	1.5	1 ครั้ง	$9.2741^{bcd} \pm 1.4723$	$117.8273^{a} \pm 41.8471$	$14.9906^{abcd} \pm 3.2148$
citric acid	1.5	2 ครั้ง	$9.0338^{bc} \pm 0.1093$	$154.3718^{abc} \pm 40.2671$	$15.3164^{abcd} \pm 2.0994$
citric acid	1.5	3 ครั้ง	$12.4172^{f} \pm 3.5204$	$201.8750^{bc} \pm 85.6250$	$14.6634^{abc} \pm 1.9838$
blank	-	-	5.3400 ± 1.1917	93.2555 ± 2.9545	12.0058 ± 1.7427
control	-	-	12.9718 ± 2.4735	165.6961 ± 11.0994	19.8171 ± 3.8976

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-38 ความเข้มข้นแคดเมียมที่ทานตะวันสะสมไว้เมื่อเติม EDTA ความเข้มข้น 0.2 mg/kg EDDS และ citric acid ความเข้มข้น 2.0 mg/kg

คีเลต	ความเข้มข้น (mg/kg)	การเติม (ครั้ง)	ความเข้มข้นแคดเมียมใน shoot (mg/kg)	ความเข้มข้นแคดเมียมใน root (mg/kg)	ความเข้มข้นแคดเมียมใน total (mg/kg)
EDTA	0.2	1 ครั้ง	$8.1941^{bcd} \pm 2.4668$	$127.9616^{ab} \pm 37.2320$	$14.2444^{ab} \pm 4.1587$
EDTA	0.2	2 ครั้ง	$10.8402^{ef} \pm 1.2955$	$132.7035^{abc} \pm 10.2634$	$18.4345^{bcd} \pm 2.3064$
EDTA	0.2	3 ครั้ง	$12.7330^{bcde} \pm 2.9058$	$150.6414^{abc} \pm 22.7639$	$20.1019^{cde} \pm 4.0784$
EDDS	2	1 ครั้ง	$11.5105^{bcde} \pm 3.3224$	$151.9281^{abcd} \pm 30.2439$	$18.5215^{cd} \pm 5.3706$
EDDS	2	2 ครั้ง	$9.9860^{bcd} \pm 0.4260$	$132.5360^{abcd} \pm 19.4448$	$15.6168^{abc} \pm 0.9673$
EDDS	2	3 ครั้ง	$9.7771^{bc} \pm 3.0705$	$121.6077^{ab} \pm 18.7328$	$15.4638^{abc} \pm 2.2960$
citric acid	2	1 ครั้ง	$8.3777^{ab} \pm 1.1376$	$101.8492^{a} \pm 20.3883$	$13.0060^{a} \pm 1.4147$
citric acid	2	2 ครั้ง	$11.2863^{bcde} \pm 1.7375$	$131.6038^{abc} \pm 11.4883$	$14.1439^{ab} \pm 3.6170$
citric acid	2	3 ครั้ง	$11.5563^{e} \pm 1.2106$	$208.1671^{c} \pm 3.4317$	$20.2139^{cd} \pm 1.9507$
blank	-	-	5.3400 ± 1.1917	93.2555 ± 2.9545	12.0058 ± 1.7427
control	-	-	12.9718 ± 2.4735	165.6961 ± 11.0994	19.8171 ± 3.8976

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

ตารางที่ ข-39 ปริมาณแคดเมียมในดินในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ (available) และในดินทั้งหมด (total) หลังการเติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 mg/kg

คีเลต	ความเข้มข้น (mg/kg)	การเติม (ครั้ง)	ปริมาณแคดเมียมในดินในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ (available) (mg/kg)	ปริมาณแคดเมียมในดินทั้งหมด (total) (mg/kg)
EDTA	0.05	1 ครั้ง	$19.9247^{c} \pm 2.1656$	$22.9732^{c} \pm 1.3952$
EDTA	0.05	2 ครั้ง	$19.1682^{c} \pm 0.8420$	$20.9974^{c} \pm 1.5340$
EDTA	0.05	3 ครั้ง	$21.5063^{c} \pm 2.0647$	$23.1550^{c} \pm 0.6004$
blank	-	-	$1.4800^{a} \pm 0.1693$	$4.1442^{a} \pm 0.5530$
control	-	-	$15.0837^{b} \pm 0.4081$	$16.7094^{b} \pm 1.6759$

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-40 ปริมาณแคดเมียมในดินในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ (available) และในดินทั้งหมด (total) หลังการเติม EDTA ความเข้มข้น 0.1 mg/kg

คีเลต	ความเข้มข้น (mg/kg)	การเติม (ครั้ง)	ปริมาณแคดเมียมในดินในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ (available) (mg/kg)	ปริมาณแคดเมียมในดินทั้งหมด (total) (mg/kg)
EDTA	0.1	1 ครั้ง	$9.0632^{b} \pm 0.4424$	$12.4128^{b} \pm 0.3217$
EDTA	0.1	2 ครั้ง	$19.9712^{e} \pm 1.4094$	$21.8334^{d} \pm 4.8960$
EDTA	0.1	3 ครั้ง	$11.4054^{c} \pm 1.9928$	$12.4666^{b} \pm 0.5863$
blank	-	-	$1.4800^{a} \pm 0.1693$	$4.1442^{a} \pm 0.5530$
control	-	-	$15.0837^{d} \pm 0.4081$	$16.7094^{c} \pm 1.6759$

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-41 ปริมาณแคดเมียมในดินในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ (available) และในดินทั้งหมด (total) หลังการเติม EDTA ความเข้มข้น 0.15 mg/kg

คีเลต	ความเข้มข้น (mg/kg)	การเติม (ครั้ง)	ปริมาณแคดเมียมในดินในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ (available) (mg/kg)	ปริมาณแคดเมียมในดินทั้งหมด (total) (mg/kg)
EDTA	0.15	1 ครั้ง	$10.3474^{b} \pm 1.2539$	$2.4891^{b} \pm 0.5187$
EDTA	0.15	2 ครั้ง	$13.1538^{bc} \pm 3.0815$	$15.1326^{c} \pm 0.5234$
EDTA	0.15	3 ครั้ง	$18.4956^{d} \pm 2.3928$	$19.0409^{d} \pm 1.5679$
blank	-	-	$1.4800^{a} \pm 0.1693$	$4.1442^{a} \pm 0.5530$
control	-	-	$15.0837^{c} \pm 0.4081$	$16.7094^{c} \pm 1.6759$

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-42 ปริมาณแคดเมียมในดินในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ (available) และในดินทั้งหมด (total) หลังการเติม EDTA ความเข้มข้น 0.2 mg/kg

คีเลต	ความเข้มข้น (mg/kg)	การเติม (ครั้ง)	ปริมาณแคดเมียมในดินในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ (available) (mg/kg)	ปริมาณแคดเมียมในดินทั้งหมด (total) (mg/kg)
EDTA	0.2	1 ครั้ง	$20.0540^{c} \pm 2.2677$	$22.2399^{d} \pm 0.6372$
EDTA	0.2	2 ครั้ง	$17.1312^{b} \pm 1.5593$	$18.4012^{c} \pm 0.5844$
EDTA	0.2	3 ครั้ง	$14.7809^{b} \pm 1.5976$	$15.8407^{b} \pm 0.3501$
blank	-	-	$1.4800^{a} \pm 0.1693$	$4.1442^{a} \pm 0.5530$
control	-	-	$15.0837^{b} \pm 0.4081$	$16.7094^{b} \pm 1.6759$

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-43 ปริมาณแคดเมียมในดินในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ (available) และในดินทั้งหมด (total) หลังการเติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 0.1 0.15 และ 0.2 mg/kg

คีเลต	ความเข้มข้น (mg/kg)	การเติม (ครั้ง)	ปริมาณแคดเมียมในดินในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ (available) (mg/kg)	ปริมาณแคดเมียมในดินทั้งหมด (total) (mg/kg)
EDTA	0.05	1 ครั้ง	$19.9247^{fg} \pm 2.1656$	$22.9732^{f} \pm 1.3952$
EDTA	0.05	2 ครั้ง	$19.1682^{fg} \pm 0.8420$	$20.9974^{e} \pm 1.5340$
EDTA	0.05	3 ครั้ง	$21.5063^{g} \pm 2.0647$	$23.1550^{f} \pm 0.6004$
EDTA	0.1	1 ครั้ง	$9.0632^{b} \pm 0.4424$	$12.4128^{b} \pm 0.3217$
EDTA	0.1	2 ครั้ง	$19.9712^{fg} \pm 1.4094$	$21.8334^{ef} \pm 4.8960$
EDTA	0.1	3 ครั้ง	$11.4054^{bc} \pm 1.9928$	$12.4666^{b} \pm 0.5863$
EDTA	0.15	1 ครั้ง	$10.3474^{bc} \pm 1.2539$	$2.4891^{b} \pm 0.5187$
EDTA	0.15	2 ครั้ง	$13.1538^{c} \pm 3.0815$	$15.1326^{c} \pm 0.5234$
EDTA	0.15	3 ครั้ง	$18.4956^{fg} \pm 2.3928$	$19.0409^{d} \pm 1.5679$
EDTA	0.2	1 ครั้ง	$20.0540^{fg} \pm 2.2677$	$22.2399^{ef} \pm 0.6372$
EDTA	0.2	2 ครั้ง	$17.1312^{ef} \pm 1.5593$	$18.4012^{d} \pm 0.5844$
EDTA	0.2	3 ครั้ง	$14.7809^{de} \pm 1.5976$	$15.8407^{c} \pm 0.3501$
blank	-	-	1.4800 ± 0.1693	4.1442 ± 0.5530
control	-	-	15.0837 ± 0.4081	16.7094 ± 1.6759

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

ตารางที่ ข-44 ปริมาณแคดเมียมในดินในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ (available) และในดินทั้งหมด (total) หลังการเติม EDDS ความเข้มข้น 0.5 mg/kg

คีเลต	ความเข้มข้น (mg/kg)	การเติม (ครั้ง)	ปริมาณแคดเมียมในดินในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ (available) (mg/kg)	ปริมาณแคดเมียมในดินทั้งหมด (total) (mg/kg)
EDDS	0.5	1 ครั้ง	$23.4104^{c} \pm 2.3098$	$23.8620^{c} \pm 1.9093$
EDDS	0.5	2 ครั้ง	$14.0532^{b} \pm 3.4336$	$14.4241^{b} \pm 1.8838$
EDDS	0.5	3 ครั้ง	$14.8413^{b} \pm 1.8944$	$16.7379^{b} \pm 1.5170$
blank	-	-	$1.4800^{a} \pm 0.1693$	$4.1442^{a} \pm 0.5530$
control	-	-	$15.0837^{b} \pm 0.4081$	$16.7094^{b} \pm 1.6759$

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-45 ปริมาณแคดเมียมในดินในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ (available) และในดินทั้งหมด (total) หลังการเติม EDDS ความเข้มข้น 1.0 mg/kg

คีเลต	ความเข้มข้น (mg/kg)	การเติม (ครั้ง)	ปริมาณแคดเมียมในดินในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ (available) (mg/kg)	ปริมาณแคดเมียมในดินทั้งหมด (total) (mg/kg)
EDDS	1	1 ครั้ง	$19.2232^{d} \pm 0.2688$	$19.8272^{cd} \pm 1.4791$
EDDS	1	2 ครั้ง	$16.6514^{c} \pm 0.8031$	$18.3954^{bc} \pm 0.4182$
EDDS	1	3 ครั้ง	$20.8336^{e} \pm 1.3204$	$21.0914^{d} \pm 0.1409$
blank	-	-	$1.4800^{a} \pm 0.1693$	$4.1442^{a} \pm 0.5530$
control	-	-	$15.0837^{b} \pm 0.4081$	$16.7094^{b} \pm 1.6759$

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-46 ปริมาณแคดเมียมในดินในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ (available) และในดินทั้งหมด (total) หลังการเติม EDDS ความเข้มข้น 1.5 mg/kg

คีเลต	ความเข้มข้น (mg/kg)	การเติม (ครั้ง)	ปริมาณแคดเมียมในดินในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ (available) (mg/kg)	ปริมาณแคดเมียมในดินทั้งหมด (total) (mg/kg)
EDDS	1.5	1 ครั้ง	$16.7923^{c} \pm 1.1114$	$19.7366^{d} \pm 0.7380$
EDDS	1.5	2 ครั้ง	$18.8677^{c} \pm 1.5955$	$20.5482^{d} \pm 1.5522$
EDDS	1.5	3 ครั้ง	$13.0005^{b} \pm 3.4985$	$13.9922^{b} \pm 2.0668$
blank	-	-	$1.4800^{a} \pm 0.1693$	$4.1442^{a} \pm 0.5530$
control	-	-	$15.0837^{b} \pm 0.4081$	$16.7094^{c} \pm 1.6759$

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-47 ปริมาณแคดเมียมในดินในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ (available) และในดินทั้งหมด (total) หลังการเติม EDDS ความเข้มข้น 2.0 mg/kg

คีเลต	ความเข้มข้น (mg/kg)	การเติม (ครั้ง)	ปริมาณแคดเมียมในดินในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ (available) (mg/kg)	ปริมาณแคดเมียมในดินทั้งหมด (total) (mg/kg)
EDDS	2	1 ครั้ง	$16.1535^{bc} \pm 1.6263$	$18.1558^{bc} \pm 0.7251$
EDDS	2	2 ครั้ง	$17.8554^{bc} \pm 1.7643$	$20.7310^{b} \pm 0.9479$
EDDS	2	3 ครั้ง	$18.0264^{c} \pm 2.2829$	$19.7938^{cd} \pm 0.5593$
blank	-	-	$1.4800^{a} \pm 0.1693$	$4.1442^{a} \pm 0.5530$
control	-	-	$15.0837^{b} \pm 0.4081$	$16.7094^{b} \pm 1.6759$

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-48 ปริมาณแคดเมียมในดินในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ (available) และในดินทั้งหมด (total) หลังการเติม EDDS ความเข้มข้น 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 mg/kg

คีเลต	ความเข้มข้น (mg/kg)	การเติม (ครั้ง)	ปริมาณแคดเมียมในดินในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ (available) (mg/kg)	ปริมาณแคดเมียมในดินทั้งหมด (total) (mg/kg)
EDDS	0.5	1 ครั้ง	$23.4104^{g} \pm 2.3098$	$23.8620^{g} \pm 1.9093$
EDDS	0.5	2 ครั้ง	$14.0532^{bc} \pm 3.4336$	$14.424^{b} \pm 1.8838$
EDDS	0.5	3 ครั้ง	$14.8413^{bcd} \pm 1.8944$	$16.7379^{c} \pm 1.5170$
EDDS	1	1 ครั้ง	$19.2232^{ef} \pm 0.2688$	$19.8272^{def} \pm 1.4791$
EDDS	1	2 ครั้ง	$16.6514^{cde} \pm 0.8031$	$18.3954^{cde} \pm 0.4182$
EDDS	1	3 ครั้ง	$20.8336^{fg} \pm 1.3204$	$21.0914^{f} \pm 0.1409$
EDDS	1.5	1 ครั้ง	$16.7923^{ef} \pm 1.1114$	$19.7366^{def} \pm 0.7380$
EDDS	1.5	2 ครั้ง	$18.8677^{ef} \pm 1.5955$	$20.5482^{def} \pm 1.5522$
EDDS	1.5	3 ครั้ง	$13.0005^{b} \pm 3.4985$	$13.9922^{b} \pm 2.0668$
EDDS	2	1 ครั้ง	$16.1535^{bcde} \pm 1.6263$	$18.1558^{cd} \pm 0.7251$
EDDS	2	2 ครั้ง	$17.8554^{def} \pm 1.7643$	$20.7310^{ef} \pm 0.9479$
EDDS	2	3 ครั้ง	$18.0264^{def} \pm 2.2829$	$19.7938^{def} \pm 0.5593$
blank	-	-	1.4800 ± 0.1693	4.1442 ± 0.5530
control	-	-	15.0837 ± 0.4081	16.7094 ± 1.6759

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

ตารางที่ ข-49 ปริมาณแคดเมียมในดินในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ (available) และในดินทั้งหมด (total) หลังการเติม citric acid ความเข้มข้น 0.5 mg/kg

คีเลต	ความเข้มข้น (mg/kg)	การเติม (ครั้ง)	ปริมาณแคดเมียมในดินในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ (available) (mg/kg)	ปริมาณแคดเมียมในดินทั้งหมด (total) (mg/kg)
citric acid	0.5	1 ครั้ง	$15.4139^{b} \pm 0.9423$	$18.9785^{bc} \pm 1.6044$
citric acid	0.5	2 ครั้ง	$21.4698^{d} \pm 1.0307$	$23.9669^{d} \pm 1.5967$
citric acid	0.5	3 ครั้ง	$18.2357^{c} \pm 0.7013$	$19.7714^{c} \pm 0.5849$
blank	-	-	$1.4800^{a} \pm 0.1693$	$4.1442^{a} \pm 0.5530$
control	-	-	$15.0837^{b} \pm 0.4081$	$16.7094^{b} \pm 1.6759$

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-50 ปริมาณแคดเมียมในดินในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ (available) และในดินทั้งหมด (total) หลังการเติม citric acid ความเข้มข้น 1.0 mg/kg

คีเลต	ความเข้มข้น (mg/kg)	การเติม (ครั้ง)	ปริมาณแคดเมียมในดินในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ (available) (mg/kg)	ปริมาณแคดเมียมในดินทั้งหมด (total) (mg/kg)
citric acid	1	1 ครั้ง	$17.6156^{c} \pm 1.1707$	$18.6977^{c} \pm 1.5067$
citric acid	1	2 ครั้ง	$20.2325^{d} \pm 0.2894$	$21.4041^{d} \pm 0.8439$
citric acid	1	3 ครั้ง	$15.2203^{b} \pm 0.5553$	$15.9550^{b} \pm 1.5300$
blank	-	-	$1.4800^{a} \pm 0.1693$	$4.1442^{a} \pm 0.5530$
control	-	-	$15.0837^{b} \pm 0.4081$	$16.7094^{b} \pm 1.6759$

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-51 ปริมาณแคดเมียมในดินในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ (available) และในดินทั้งหมด (total) หลังการเติม citric acid ความเข้มข้น 1.5 mg/kg

คีเลต	ความเข้มข้น (mg/kg)	การเติม (ครั้ง)	ปริมาณแคดเมียมในดินในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ (available) (mg/kg)	ปริมาณแคดเมียมในดินทั้งหมด (total) (mg/kg)
citric acid	1.5	1 ครั้ง	$17.9512^{c} \pm 0.5393$	$21.8412^{c} \pm 1.8312$
citric acid	1.5	2 ครั้ง	$18.9105^{d} \pm 11.3820$	$19.7277^{c} \pm 1.2903$
citric acid	1.5	3 ครั้ง	$21.1651^{e} \pm 0.3547$	$22.2021^{c} \pm 1.8978$
blank	-	-	$1.4800^{a} \pm 0.1693$	$4.1442^{a} \pm 0.5530$
control	-	-	$15.0837^{b} \pm 0.4081$	$16.7094^{b} \pm 1.6759$

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-52 ปริมาณแคดเมียมในดินในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ (available) และในดินทั้งหมด (total) หลังการเติม citric acid ความเข้มข้น 2.0 mg/kg

คีเลต	ความเข้มข้น (mg/kg)	การเติม (ครั้ง)	ปริมาณแคดเมียมในดินในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ (available) (mg/kg)	ปริมาณแคดเมียมในดินทั้งหมด (total) (mg/kg)
citric acid	2	1 ครั้ง	$22.9401^{c} \pm 1.0777$	$23.4716^{c} \pm 0.9468$
citric acid	2	2 ครั้ง	$19.3115^{d} \pm 1.3202$	$21.5163^{c} \pm 1.1826$
citric acid	2	3 ครั้ง	$15.7228^{b} \pm 1.0380$	$16.3905^{b} \pm 0.7571$
blank	-	-	$1.4800^{a} \pm 0.1693$	$4.1442^{a} \pm 0.5530$
control	-	-	$15.0837^{b} \pm 0.4081$	$16.7094^{b} \pm 1.6759$

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-53 ปริมาณแคดเมียมในดินในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ (available) และในดินทั้งหมด (total) หลังการเติม citric acid ความเข้มข้น 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 mg/kg

คีเลต	ความเข้มข้น (mg/kg)	การเติม (ครั้ง)	ปริมาณแคดเมียมในดินในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ (available) (mg/kg)	ปริมาณแคดเมียมในดินทั้งหมด (total) (mg/kg)
citric acid	0.5	1 ครั้ง	$15.4139^{b} \pm 0.9423$	$18.9785^{def} \pm 1.6044$
citric acid	0.5	2 ครั้ง	$21.4698^{f} \pm 1.0307$	$23.9669^{i} \pm 1.5967$
citric acid	0.5	3 ครั้ง	$18.2357^{cd} \pm 0.7013$	$19.7714^{efg} \pm 0.5849$
citric acid	1	1 ครั้ง	$17.6156^{c} \pm 1.1707$	$18.6977^{cde} \pm 1.5067$
citric acid	1	2 ครั้ง	$20.2325^{ef} \pm 0.2894$	$21.4041^{fgh} \pm 0.8439$
citric acid	1	3 ครั้ง	$15.2203^{b} \pm 0.5553$	$15.9550^{b} \pm 1.5300$
citric acid	1.5	1 ครั้ง	$17.9512^{cd} \pm 0.5393$	$21.8412^{ghi} \pm 1.8312$
citric acid	1.5	2 ครั้ง	$18.9105^{cde} \pm 11.3820$	$19.7277^{efg} \pm 1.2903$
citric acid	1.5	3 ครั้ง	$21.1651^{f} \pm 0.3547$	$22.2021^{ghi} \pm 1.8978$
citric acid	2	1 ครั้ง	$22.9401^{g} \pm 1.0777$	$23.4716^{hi} \pm 0.9468$
citric acid	2	2 ครั้ง	$19.3115^{de} \pm 1.3202$	$21.5163^{ghi} \pm 1.1826$
citric acid	2	3 ครั้ง	$15.7228^{b} \pm 1.0380$	$16.3905^{bc} \pm 0.7571$
blank	-	-	1.4800 ± 0.1693	4.1442 ± 0.5530
control	-	-	15.0837 ± 0.4081	16.7094 ± 1.6759

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

ตารางที่ ข-54 ปริมาณแคดเมียมในดินในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ (available) และในดินทั้งหมด (total) เมื่อเติม EDTA ความเข้มข้น 0.05 mg/kg EDDS และ citric acid ความเข้มข้น 0.5 mg/kg

คีเลต	ความเข้มข้น (mg/kg)	การเติม (ครั้ง)	ปริมาณแคดเมียมในดินในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ (available) (mg/kg)	ปริมาณแคดเมียมในดินทั้งหมด (total) (mg/kg)
EDTA	0.05	1 ครั้ง	$19.9247^{fg} \pm 2.1656$	$22.9732^{f} \pm 1.3952$
EDTA	0.05	2 ครั้ง	$19.1682^{fg} \pm 0.8420$	$20.9974^{e} \pm 1.5340$
EDTA	0.05	3 ครั้ง	$21.5063^{g} \pm 2.0647$	$23.1550^{f} \pm 0.6004$
EDDS	0.5	1 ครั้ง	$23.4104^{g} \pm 2.3098$	$23.8620^{g} \pm 1.9093$
EDDS	0.5	2 ครั้ง	$14.0532^{bc} \pm 3.4336$	$14.424^{b} \pm 1.8838$
EDDS	0.5	3 ครั้ง	$14.8413^{bcd} \pm 1.8944$	$16.7379^{c} \pm 1.5170$
citric acid	0.5	1 ครั้ง	$15.4139^{b} \pm 0.9423$	$18.9785^{def} \pm 1.6044$
citric acid	0.5	2 ครั้ง	$21.4698^{f} \pm 1.0307$	$23.9669^{i} \pm 1.5967$
citric acid	0.5	3 ครั้ง	$18.2357^{cd} \pm 0.7013$	$19.7714^{efg} \pm 0.5849$
blank	-	-	1.4800 ± 0.1693	4.1442 ± 0.5530
control	-	-	15.0837 ± 0.4081	16.7094 ± 1.6759

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

ตารางที่ ข-55 ปริมาณแคดเมียมในดินในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ (available) และในดินทั้งหมด (total) เมื่อเติม EDTA ความเข้มข้น 0.1 mg/kg EDDS และ citric acid ความเข้มข้น 1.0 mg/kg

คีเลต	ความเข้มข้น (mg/kg)	การเติม (ครั้ง)	ปริมาณแคดเมียมในดินในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ (available) (mg/kg)	ปริมาณแคดเมียมในดินทั้งหมด (total) (mg/kg)
EDTA	0.1	1 ครั้ง	$9.0632^{b} \pm 0.4424$	$12.4128^{b} \pm 0.3217$
EDTA	0.1	2 ครั้ง	$19.9712^{fg} \pm 1.4094$	$21.8334^{ef} \pm 4.8960$
EDTA	0.1	3 ครั้ง	$11.4054^{bc} \pm 1.9928$	$12.4666^{b} \pm 0.5863$
EDDS	1	1 ครั้ง	$19.2232^{ef} \pm 0.2688$	$19.8272^{def} \pm 1.4791$
EDDS	1	2 ครั้ง	$16.6514^{cde} \pm 0.8031$	$18.3954^{cde} \pm 0.4182$
EDDS	1	3 ครั้ง	$20.8336^{fg} \pm 1.3204$	$21.0914^{f} \pm 0.1409$
citric acid	1	1 ครั้ง	$17.6156^{c} \pm 1.1707$	$18.6977^{cde} \pm 1.5067$
citric acid	1	2 ครั้ง	$20.2325^{ef} \pm 0.2894$	$21.4041^{fgh} \pm 0.8439$
citric acid	1	3 ครั้ง	$15.2203^{b} \pm 0.5553$	$15.9550^{b} \pm 1.5300$
blank	-	-	1.4800 ± 0.1693	4.1442 ± 0.5530
control	-	-	15.0837 ± 0.4081	16.7094 ± 1.6759

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

ตารางที่ ข-56 ปริมาณแคดเมียมในดินในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ (available) และในดินทั้งหมด (total) เมื่อเติม EDTA ความเข้มข้น 0.15 mg/kg EDDS และ citric acid ความเข้มข้น 1.5 mg/kg

คีเลต	ความเข้มข้น (mg/kg)	การเติม (ครั้ง)	ปริมาณแคดเมียมในดินในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ (available) (mg/kg)	ปริมาณแคดเมียมในดินทั้งหมด (total) (mg/kg)
EDTA	0.15	1 ครั้ง	$10.3474^{bc} \pm 1.2539$	$2.4891^{b} \pm 0.5187$
EDTA	0.15	2 ครั้ง	$13.1538^{c} \pm 3.0815$	$15.1326^{c} \pm 0.5234$
EDTA	0.15	3 ครั้ง	$18.4956^{fg} \pm 2.3928$	$19.0409^{d} \pm 1.5679$
EDDS	1.5	1 ครั้ง	$16.7923^{ef} \pm 1.1114$	$19.7366^{def} \pm 0.7380$
EDDS	1.5	2 ครั้ง	$18.8677^{ef} \pm 1.5955$	$20.5482^{def} \pm 1.5522$
EDDS	1.5	3 ครั้ง	$13.0005^{b} \pm 3.4985$	$13.9922^{b} \pm 2.0668$
citric acid	1.5	1 ครั้ง	$17.9512^{cd} \pm 0.5393$	$21.8412^{ghi} \pm 1.8312$
citric acid	1.5	2 ครั้ง	$18.9105^{cde} \pm 11.3820$	$19.7277^{efg} \pm 1.2903$
citric acid	1.5	3 ครั้ง	$21.1651^{f} \pm 0.3547$	$22.2021^{ghi} \pm 1.8978$
blank	-	-	1.4800 ± 0.1693	4.1442 ± 0.5530
control	-	-	15.0837 ± 0.4081	16.7094 ± 1.6759

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

ตารางที่ ข-57 ปริมาณแคดเมียมในดินในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ (available) และในดินทั้งหมด (total) เมื่อเติม EDTA ความเข้มข้น 0.2 mg/kg EDDS และ citric acid ความเข้มข้น 2.0 mg/kg

คีเลต	ความเข้มข้น (mg/kg)	การเติม (ครั้ง)	ปริมาณแคดเมียมในดินในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ (available) (mg/kg)	ปริมาณแคดเมียมในดินทั้งหมด (total) (mg/kg)
EDTA	0.2	1 ครั้ง	$20.0540^{fg} \pm 2.2677$	$22.2399^{ef} \pm 0.6372$
EDTA	0.2	2 ครั้ง	$17.1312^{ef} \pm 1.5593$	$18.4012^{d} \pm 0.5844$
EDTA	0.2	3 ครั้ง	$14.7809^{de} \pm 1.5976$	$15.8407^{c} \pm 0.3501$
EDDS	2	1 ครั้ง	$16.1535^{bcde} \pm 1.6263$	$18.1558^{cd} \pm 0.7251$
EDDS	2	2 ครั้ง	$17.8554^{def} \pm 1.7643$	$20.7310^{ef} \pm 0.9479$
EDDS	2	3 ครั้ง	$18.0264^{def} \pm 2.2829$	$19.7938^{def} \pm 0.5593$
citric acid	2	1 ครั้ง	$22.9401^{g} \pm 1.0777$	$23.4716^{hi} \pm 0.9468$
citric acid	2	2 ครั้ง	$19.3115^{de} \pm 1.3202$	$21.5163^{ghi} \pm 1.1826$
citric acid	2	3 ครั้ง	$15.7228^{b} \pm 1.0380$	$16.3905^{bc} \pm 0.7571$
blank	-	-	1.4800 ± 0.1693	4.1442 ± 0.5530
control	-	-	15.0837 ± 0.4081	16.7094 ± 1.6759

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวชิดชนก อัศวโภคี เกิดเมื่อวันที่ 10 เมษายน พ.ศ. 2526 ที่จังหวัดชัยนาท สำเร็จการศึกษาวิทยาศาสตรบัณฑิต จากภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร เมื่อปี พ.ศ. 2547 และเข้าศึกษาต่อที่สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปี พ.ศ. 2548

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวชิดชนก อัศวโภคี เกิดเมื่อวันที่ 10 เมษายน พ.ศ. 2526 ที่จังหวัดชัยนาท สำเร็จการศึกษาวิทยาศาสตรบัณฑิต จากภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร เมื่อปี พ.ศ. 2547 และเข้าศึกษาต่อที่สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปี พ.ศ. 2548

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย