# ผลของแคดไอออนของแคดเมียม นิเกิล และสังกะสี ต่อปรากฏการณ์การขาดเหล็กในพืชบางชนิด

นายสันติ บุญฟ้าประทาน

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาพฤกษศาสตร์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2526

ISBN 974-562-373-3

011147

i17856759

# THE EFFECT OF $Cd^{2+}$, $Ni^{2+}$ AND $Zn^{2+}$ ON THE INCIDENCE OF IRON DEFICIENCY IN CERTAIN PLANTS

Mr. Sunti Boonfahprathan

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement

for the Degree of Master of Science

Department of Botany

Graduate School

Chulalongkorn University

1983

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ผลของแคดไอออนของแคดเมียม นิเกิล และสังกะสี ต่อปรากฏการณ์การขาดเหล็กในพืชบางชนิด

โดย นายสันติ บุญฟ้าประทาน

ภาควิชา พฤกษศาสตร์

อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. ไววิทย์ พุทธารี

---

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.สุประดิษฐ์ บุนนาค)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์พรรณี ชีโนรักษ์)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ไววิทย์ พุทธารี)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภัทรา ชินทรารักษ์)

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร.ปรีดา บุญ-หลง)

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ผลของแคตไอออนของแคดเมียม นิเกิล และสังกะสี ต่อปรากฏการณ์การขาดเหล็กในพืชบางชนิด

ชื่อนิสิต นายสันติ บุญฟ้าประทาน

อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. ไววิทย์ พุทธารี

ภาควิชา พฤกษศาสตร์

ปีการศึกษา 2525

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทคัดย่อ

ในการศึกษาสภาวะของธาตุเหล็กในรูปที่นำไปใช้ได้ (active iron, $Fe^{2+}$) รูปที่นำไปใช้ไม่ได้ (inactive iron, $Fe^{3+}$) และปริมาณธาตุเหล็กทั้งหมด (total iron content) โดยใช้สารเคมี 1-10 O-phenanthroline เป็นตัวสกัดต่อพืช 2 ชนิด ได้แก่ ผักกาดเขียวกวางตุ้ง (Brassica chinensis. Jusl. var. parachinensis Tsen & Lee) และข้าว (Oryza sativa Linn.) ที่ปลูกในสารละลาย ธาตุอาหารที่มี $Zn^{2+}$, $Cd^{2+}$ และ $Ni^{2+}$ ในรูปสารประกอบโลหะหนัก -EDTA ที่ระดับความเข้มข้นระหว่าง 0, 10 - 40 ppm. พบว่าธาตุโลหะหนักทั้งสามทำให้เกิดสภาวะขาดแคลนธาตุเหล็กในใบพืชทั้งสองชนิด โดยทำให้สัดส่วนของ $Fe^{2+}/Fe^{3+}$ มีค่าลดลงต่ำกว่าสภาวะปกติรวมทั้งปริมาณ total iron และปริมาณคลอโรฟิลล์ก็ลดลงแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ การลดลงนี้ชัดเจนยิ่งขึ้นเมื่อระยะเวลาการทดลองนานขึ้นจาก 9 วัน เป็น 15 วัน ยกเว้นในข้าวที่ระดับความเข้มข้นของแคดเมียม 30 และ 40 ppm. พบว่าอาการซีดเหลืองที่เกิดขึ้นตามการลดลงของปริมาณคลอโรฟิลล์นั้นไม่ได้เกิดจากการขาดแคลนธาตุเหล็กดังที่กล่าวมาข้างต้น แต่กลับทำให้ปริมาณธาตุเหล็กทั้งหมดเพิ่มมากกว่าสภาวะปกติ นอกจากนี้โลหะหนักทั้งสามยังทำให้น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของต้นและรากของพืชทั้งสองชนิดลดลงอย่างมีนัยสำคัญ และแสดงอาการผิดปกติต่าง ๆ ตั้งแต่ที่ระดับความเข้มข้นน้อย (10 - 20 ppm.) อาการผิดปกติดังกล่าว

ได้แก่ อาการซีดเหลืองของเนื้อเยื่อระหว่างเส้นใบจนถึงเกิดอาการตายของเนื้อเยื่อ (necrosis) โดยเฉพาะในผักกาดเขียวกวางตุ้งที่ระดับความเข้มข้นสูงของธาตุสังกะสี (40 ppm.) อาการที่ปรากฏนี้สัมพันธ์กับการลดลงของปริมาณคลอโรฟิลล์ สังกะสีและแคดเมียมทุกความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นยังทำให้รากหยุดเจริญและเน่า แต่ไม่พบผลการยับยั้งการเจริญของรากในข้าวสำหรับธาตุนิเกิล

| | |
|---|---|
| Thesis Title | The Effect of $Cd^{2+}$, $Ni^{2+}$ and $Zn^{2+}$ on the Incidence of Iron Deficiency in Certain Plants |
| Name | Mr. Sunti Boonfahprathan |
| Thesis Advisor | Associate Professor Waiwit Buddhari, Ph.D. |
| Department | Botany |
| Academic Year | 1982 |

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ABSTRACT

This investigation reports on the use of 1-10 O-phenanthroline as an extractant for determining leaf iron status in the forms of active ($Fe^{2+}$), inactive ($Fe^{3+}$) and total iron in two plant species, namely edible rape (Brassica chinensis Jusl. var. parachinensis Tsen & Lee) and rice (Oryza sativa Linn.) which were grown in nutrient solution containing the metal-EDTA chelate of $Zn^{2+}$, $Cd^{2+}$ or $Ni^{2+}$ at concentrations ranging from zero to 40 ppm. It was found that an excess supply of each-metallic ion decreased leaf $Fe^{2+}/Fe^{3+}$ ratio. The toxic effect resulted in a significant reduction of both leaf total iron and chlorophyll content. The effect on both plant species was more pronounced as the time of treatment was increased from 9 to 15 days with the exception of the rice plants treated with $Cd^{2+}$ at 30 and 40 ppm.-levels. In the latter case, although the plants were chlorotic as chlorophyll content decreased, their leaf total iron contents were definitely higher than those of the normal plants. The fresh and dry

weights of both shoots and roots of the two plant species were significantly decreased with increasing concentration of each of the heavy metals. This was correlated with the symptom of interveinal chlorosis, which was noticeable at the metallic concentration as low as 10 or 20 ppm, and in the case of edible rape treated with zinc at 40 ppm. or higher, chlorosis was always followed by necrosis. These visible symptoms were correlated with decreasing chlorophyll content. Furthermore, zinc and cadmium caused stunted root growth followed by root decay of both plants. These toxic effects on the root of rice plants were however not observed in the case of nickel.

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# กิตติกรรมประกาศ

ในการทำวิทยานิพนธ์เรื่องนี้ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ไววิทย์ พุทธารี อาจารย์ที่ปรึกษาและควบคุมการวิจัย รองศาสตราจารย์พรรณี ชีโนรักษ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภัทรา ชินทรารักษ์ อาจารย์ ดร. ปรีดา บุญ-หลง และอาจารย์ ดร.อรุณี จันทรสนิท ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ ช่วยแก้ไขปัญหาและข้อบกพร่อง ทำให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณอาจารย์วินิจ ชำวิวรรธน์ และอาจารย์นันภา ติวรังสรรค์ ภาควิชาชีวเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ช่วยแนะนำการใช้เครื่องมือวิเคราะห์ต่าง ๆ

ขอขอบคุณ คุณชะบา อำรำไพ คุณบุษกร อารยางกูร คุณพัชรี เอี่ยมผา คุณโกเมน พาแพง คุณนิมิต นพรัตน์ และคุณเอกวิทย์ ออกเวหา ที่มีส่วนช่วยเหลือในด้านการทดลองและการคำนวณทางสถิติ

และขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ทุนอุดหนุนการวิจัยในครั้งนี้ รวมทั้งฝ่ายธุรการ บรรณารักษ์ และนักการทุกคน ภาควิชาพฤกษศาสตร์ ที่ได้อำนวยความสะดวกในระหว่างการทดลองอย่างดียิ่ง

ท้ายที่สุด ในส่วนของวิทยานิพนธ์ที่ก่อให้เกิดคุณค่าหรือประโยชน์ต่อทางวิชาการขอมอบเป็นกุศลกรรมอุทิศแด่คุณพ่อเชียฮั้ว แซ่เตีย ผู้มีส่วนผลักดันและให้แรงใจทำให้วิทยานิพนธ์สำเร็จลงได้.

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ


| | | หน้า |
|---|---|---|
| บทคัดย่อภาษาไทย | | ง |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ | | จ |
| กิตติกรรมประกาศ | | ช |
| สารบัญตาราง | | ญ |
| สารบัญกราฟ | | ฏ |
| สารบัญภาพ | | ด |
| บทที่ | | |
| 1 | บทนำ | 1 |
| 2 | อุปกรณ์และวิธีดำเนินการ | 17 |
| 3 | ผลการทดลอง | 29 |
| 4 | การอภิปรายผลการทดลอง | 81 |
| 5 | ข้อสรุปและข้อเสนอแนะ | 101 |
| เอกสารอ้างอิง | | 104 |
| ภาคผนวก | | 130 |
| ประวัติ | | 136 |

สารบัญตาราง


| ตารางที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 1 | ลำดับความรุนแรงของธาตุโลหะหนักต่าง ๆ ต่อพืช | 13 |
| 2 | ผลของโลหะหนักต่อปริมาณคลอโรฟิลล์, total iron, active iron และ inactive iron ของผักกาดเขียวกวางตุ้ง อายุหลัง treatment 9 วัน | 30 |
| 3 | ผลของโลหะหนักต่อปริมาณคลอโรฟิลล์, total iron, active iron และ inactive iron ของผักกาดเขียวกวางตุ้ง อายุหลัง treatment 15 วัน | 31 |
| 4 | ผลของโลหะหนักต่อปริมาณคลอโรฟิลล์, total iron, active iron และ inactive iron ของข้าว อายุหลัง treatment 9 วัน | 32 |
| 5 | ผลของโลหะหนักต่อปริมาณคลอโรฟิลล์, total iron, active iron และ inactive iron ของข้าว อายุหลัง treatment 15 วัน | 33 |
| 6 | ผลของความเข้มข้นและระยะเวลาที่ได้รับธาตุเหล็กและธาตุโลหะหนักในสารละลายธาตุอาหารต่อสัดส่วน $Fe^{2+}$ : $Fe^{3+}$ ในใบผักกาดเขียวกวางตุ้งและข้าว | 56 |
| 7 | ผลของโลหะหนักต่อน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง ของต้นและรากและการเปลี่ยนแปลง pH ในสารอาหารของผักกาดเขียวกวางตุ้ง อายุหลัง treament 9 วัน | 58 |

ตารางที่ หน้า


8 ผลของโลหะหนักต่อน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง ของต้นและราก และการเปลี่ยนแปลง pH ในสารอาหารของผักกาดเขียวกวางตุ้ง อายุหลัง treatment 15 วัน ..... 59

9 ผลของโลหะหนักต่อน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง ของต้นและราก และการเปลี่ยนแปลง pH ในสารอาหารของข้าวอายุหลัง treatment 9 วัน ..... 60

10 ผลของโลหะหนักต่อน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง ของต้นและราก และการเปลี่ยนแปลง pH ในสารอาหารของข้าวอายุหลัง treatment 15 วัน ..... 61

11 ผลของโลหะหนักต่ออาการที่ปรากฏในผักกาดเขียวกวางตุ้ง ..... 75

12 ผลของโลหะหนักต่ออาการที่ปราฏในข้าว ..... 76

13 ช่วงเวลาการศึกษาอิทธิพลของโลหะหนักต่อผักกาดเขียวกวางตุ้งและข้าว 133

# สารบัญกราฟประกอบ


| กราฟที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 1 | Standard curve ของปริมาณเหล็ก (0.01 - 0.05 mgm) สำหรับ $Fe^{2+}$ ตามวิธีของ Katyal & Sharma (1980) ..... | 23 |
| 2 | Standard curve ของปริมาณเหล็ก (0.01 - 0.05 mgm) สำหรับ total iron ตามวิธีใน AOAC (1980) ..... | 25 |
| 3 | ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ active iron, total iron กับปริมาณคลอโรฟิลล์ของผักกาดเขียวกวางตุ้งที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารความเข้มข้นของเหล็กต่าง ๆ กันเป็นเวลา 9 วัน ..... | 34 |
| 4 | ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ active iron, total iron กับปริมาณคลอโรฟิลล์ของผักกาดเขียวกวางตุ้งที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารความเข้มข้นของเหล็กต่าง ๆ กันเป็นเวลา 15 วัน ..... | 35 |
| 5 | ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ active iron, total iron กับปริมาณคลอโรฟิลล์ของข้าวที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารความเข้มข้นของเหล็กต่าง ๆ กัน เป็นเวลา 9 วัน ..... | 36 |
| 6 | ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ active iron, total iron กับปริมาณคลอโรฟิลล์ของข้าวที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารความเข้มข้นของเหล็กต่าง ๆ กัน เป็นเวลา 15 วัน ..... | 37 |
| 7 | ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ active iron และ total iron ของผักกาดเขียวกวางตุ้งที่ปลูกในสารละลายของธาตุอาหารที่มีปริมาณของเหล็กต่างกันในระยะเวลาต่างกัน ..... | 38 |

กราฟที่ หน้า

8 ปริมาณ active iron และ total iron ของข้าวที่ปลูกในสารละลายของธาตุอาหารที่มีปริมาณของเหล็กต่าง ๆ กัน ในระยะเวลาต่างกัน ..... 39

9 ปริมาณ active iron และปริมาณคลอโรฟิลล์ของผักกาดเขียวกวางตุ้งที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นของเหล็กแตกต่างกันในระยะเวลาต่างกัน ..... 40

10 เปอร์เซนต์ active iron และเปอร์เซนต์ inactive iron ของผักกาดเขียวกวางตุ้งที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นของเหล็กแตกต่างกันในระยะเวลาต่างกัน ..... 41

11 ปริมาณ active iron และปริมาณคลอโรฟิลล์ของข้าวที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นของเหล็กแตกต่างกันในระยะเวลาต่างกัน ..... 42

12 เปอร์เซนต์ active iron และเปอร์เซนต์ inactive iron ของข้าวที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นของธาตุเหล็กต่างกันในระยะเวลาต่างกัน ..... 43

13 ปริมาณ active iron และปริมาณคลอโรฟิลล์ของผักกาดเขียว-กวางตุ้งที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นของสังกะสีแตกต่างกันในระยะเวลาต่างกัน ..... 46

14 เปอร์เซนต์ active iron และเปอร์เซนต์ inactive iron ของผักกาดเขียวกวางตุ้งที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นของสังกะสีแตกต่างกันในระยะเวลาต่างกัน ..... 47

กราฟที่ หน้า

15 ปริมาณ active iron และคลอโรฟิลล์ของข้าวที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นของสังกะสีแตกต่างกันในระยะเวลาต่างกัน 48

16 เปอร์เซ็นต์ active iron และเปอร์เซ็นต์ inactive iron ของข้าวที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นสังกะสีแตกต่างกันในระยะเวลาต่างกัน ..... 49

17 ปริมาณ active iron และปริมาณคลอโรฟิลล์ของผักกาดเขียว-กวางตุ้งที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นของแคดเมียมแตกต่างกันในระยะเวลาต่างกัน ..... 50

18 เปอร์เซ็นต์ active iron และเปอร์เซ็นต์ inactive iron ของผักกาดเขียวกวางตุ้งที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นของแคดเมียมแตกต่างกันในระยะเวลาต่างกัน ..... 51

19 ปริมาณ active iron และปริมาณคลอโรฟิลล์ของข้าวที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นของแคดเมียมแตกต่างกันในระยะเวลาต่างกัน ..... 52

20 เปอร์เซ็นต์ active iron และเปอร์เซ็นต์ inactive iron ของข้าวที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นของแคดเมียมต่างกันในระยะเวลาต่างกัน ..... 53

21 ปริมาณ active iron และปริมาณคลอโรฟิลล์ของผักกาดเขียว-กวางตุ้งที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นของนิเกิลแตกต่างกันในระยะเวลาต่างกัน ..... 54

กราฟที่ หน้า

22 ปริมาณ active iron และปริมาณคลอโรฟิลล์ของข้าวที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นของนิเกิลแตกต่างกันในระยะเวลาต่างกัน ..... 55

23 น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งของส่วนต้นของผักกาดเขียวกวางตุ้งที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นของสังกะสีต่างกันในระยะเวลาต่างกัน ..... 62

24 น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของส่วนรากของผักกาดเขียวกวางตุ้งที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นของสังกะสีต่างกันในระยะเวลาต่างกัน ..... 63

25 น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของส่วนต้นของข้าวที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นของสังกะสีต่างกันในระยะเวลาต่างกัน..... 64

26 น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของส่วนรากของข้าวที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นของสังกะสีต่างกันในระยะเวลาต่างกัน..... 65

27 น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของส่วนต้นของผักกาดเขียวกวางตุ้งที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นของแคดเมียมต่างกันในระยะเวลาต่างกัน ..... 66

28 น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของส่วนรากของผักกาดเขียวกวางตุ้งที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นของแคดเมียมต่างกันในระยะเวลาต่างกัน ..... 67

29 น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของส่วนต้นของข้าวที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นของแคดเมียมต่างกันในระยะเวลาต่างกัน ..... 68

กราฟที่ หน้า

30 น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของส่วนรากของข้าวที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นของแคดเมียมต่างกันในระยะเวลาต่างกัน ..... 69

31 น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของส่วนต้นของผักกาดเขียวกวางตุ้งที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นของนิเกิลต่างกันในระยะเวลาต่างกัน ..... 70

32 น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของส่วนรากของผักกาดเขียวกวางตุ้งที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นของนิเกิลต่างกันในระยะเวลาต่างกัน ..... 71

33 น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของส่วนต้นของข้าวที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นของนิเกิลต่างกันในระยะเวลาต่างกัน ..... 72

34 น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของส่วนรากของข้าวที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นของนิเกิลต่างกันในระยะเวลาต่างกัน ..... 73

สารบัญภาพประกอบ


| ภาพที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 1 | การเพาะเมล็ดพืชในกระบะทราย | 27 |
| 2 | ต้นอ่อนที่ย้ายลงปลูกในสารละลายธาตุอาหาร | 27 |
| 3 | สถานที่ใช้ทดลอง | 28 |
| 4 | ผักกาดเขียวกวางตุ้ง หลังจากได้รับธาตุเหล็กความเข้มข้นต่าง ๆ กัน เป็นเวลา 2 สัปดาห์ | 77 |
| 5 | ข้าว หลังจากได้รับธาตุเหล็กความเข้มข้นต่าง ๆ กัน เป็นเวลา 2 สัปดาห์ | 77 |
| 6 | ผักกาดเขียวกวางตุ้งหลังจากได้รับธาตุสังกะสีความเข้มข้นต่าง ๆ กัน เป็นเวลา 2 สัปดาห์ | 78 |
| 7 | ข้าวหลังจากได้รับธาตุสังกะสีความเข้มข้นต่าง ๆ กัน เป็นเวลา 2 สัปดาห์ | 78 |
| 8 | ผักกาดเขียวกวางตุ้ง หลังจากได้รับธาตุสังกะสี แคดเมียม และนิเกิล ความเข้มข้น 40 ppm. เป็นเวลา 2 สัปดาห์ | 79 |
| 9 | ข้าวหลังจากได้รับธาตุแคดเมียมความเข้มข้นต่าง ๆ กัน เป็นเวลา 2 สัปดาห์ | 80 |
| 10 | ข้าวหลังจากได้รับธาตุนิเกิลความเข้มข้นต่าง ๆ กัน เป็นเวลา 2 สัปดาห์ | 80 |
| 11 | กลไกของธาตุโลหะหนักต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตของพืช | 98 |