# ทางเลือกการจัดการดินและการควบคุมการระบายน้ำในการปลูกข้าวเพื่อจำกัดปริมาณแคดเมียมที่ต้นข้าวดูดซึมจากการปลูกในดินที่ปนเปื้อน

สำนักงานวิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นาย นิชฌาน หล่อไชยานันท์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา)
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2548

ISBN 974-14-2119-2

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# SOIL AND IRIGATION MANAGEMENT OPTIONS TO LIMIT UPTAKE OF CADMIUM TO RICE PLANT GROWN IN CADMIUM CONTAMINATED PADDY SOILS

Mr. Nitchan Lorchaiyanan

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Environmental Management
(Inter-Department)
Graduate School
Chulalongkorn University
Academic Year 2005

ISBN 974-14-2119-2

Copyright of Chulalongkorn University

| | |
|---|---|
| Thesis Title | Soil and irrigation management options to limit uptake of cadmium to rice plant grown in cadmium contaminated paddy soil |
| By | Mr. Nitchan Lorchaiyanan |
| Field of Study | Environmental Management |
| Thesis Advisor | Chantra Tongcumpou, Ph.D. |
| Thesis Co-advisor | Robert W. Simmons, Ph.D. |

---

Accepted by the Graduate School, Chulalongkorn University in Partial Fulfillment of the Requirements for the Master's Degree

..... Dean of the Graduate School
(Assistant Professor M.R. Kalaya Tingsabadh, Ph.D.)

THESIS COMMITTEE

..... Chairman
(Manaskorn Rachakornkij, Ph.D.)

..... Thesis Advisor
(Chantra Tongcumpou, Ph.D.)

..... Thesis Co-Advisor
(Robert W. Simmons, Ph.D.)

..... Member
(Assistant Professor Chakkaphan Sutthirat, Ph.D.)

..... Member
(Pichit Pongsakul, Ph.D.)

นิชฌาน หล่อไชยานันท์: ทางเลือกการจัดการดินและการควบคุมการระบายน้ำในการปลูกข้าวเพื่อจำกัดปริมาณแคดเมียมที่ต้นข้าวดูดซึมจากการปลูกในดินที่ปนเปื้อน

(SOIL AND IRIGATION MANAGEMENT OPTIONS TO LIMIT UPTAKE OF CADMIUM TO RICE PLANT GROWN IN CADMIUM CONTAMINATED PADDY SOILS)

อ. ที่ปรึกษา: ดร. จันทรา ทองคำเภา, อ. ที่ปรึกษาร่วม: ดร. โรเบิร์ต วิลเลี่ยมส์ ซิมม่อนส์ 123 หน้า

ISBN 974-14-2119-2

การศึกษาระหว่างปี พ.ศ. 2546 ถึง ปี พ.ศ. 2548 โดย สถาบันการจัดการน้ำนานาชาติ กรมพัฒนาที่ดิน และจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พบว่ามีการปนเปื้อนของปริมาณแคดเมียมในดินและเมล็ดข้าวในระดับที่ค่อนข้างสูง ณ ตำบลพระธาตุผาแดง อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก ทางภาคเหนือของประเทศไทย ซึ่งต่อมาได้กลายเป็นประเด็นทางสุขภาพและปัญหาสิ่งแวดล้อม ในปัจจุบันจึงได้มีพื้นที่นาบางส่วน ถูกระงับการเพาะปลูกเพื่อป้องการการแพร่ของแคดเมียมเข้าสู่ห่วงโซ่อาหาร ดังนั้นการศึกษานี้จึงมีจุดมุ่งหมายที่จะหาวิธีการเพาะปลูกที่สามารถลดปริมาณแคดเมียมที่จะถูกดูดซึมเข้าสู่ต้นข้าว โดยวิธีการเพาะปลูกแบบต่างๆ ในการศึกษาครั้งนี้ได้กำหนดการเพาะปลูกเป็น 4 แบบ โดยเป็นการเพาะปลูกในกระถางทดลองซึ่งใช้ดินปนเปื้อนแคดเมียมจริงจากบริเวณที่ทำการศึกษา ได้แก่ 1) วิธีปกติซึ่งเหมือนกับการเพาะปลูกในพื้นที่ 2) ใส่ฟางข้าวผสมกับดินก่อนปลูก 3) ใส่แคลเซียมออกไซด์ผสมกับดินก่อนปลูก และ 4) ใส่ทั้งฟางข้าวและแคลเซียมออกไซด์ผสมกับดินก่อนทำการเพาะปลูก ซึ่งในแต่ละวิธีนั้น ได้แบ่งเป็น 2 กระบวนการ คือ ระบายน้ำออกในช่วงเวลาประมาณ 75 วันหลังจากการย้ายต้นกล้า (เป็นช่วงเวลาปกติที่ข้าวตั้งท้อง) และหลังจากนั้นจะปล่อยให้น้ำขังเหนือผิวดินในช่วงเวลาที่ข้าวตั้งท้องจนกระทั่งก่อนการเก็บเกี่ยวจึงระบายน้ำอีกครั้ง ( ประมาณ 125 วันหลังจากการย้ายต้นกล้า) ดังนั้นการทดลองนี้จึงมีการเพาะปลูกทั้งหมด 8 แบบ และแต่ละแบบมี 3 กระถางเพาะปลูก และในช่วงเวลาที่มีการระบายน้ำออก กระถางทดลองทุกกระถางรวมทั้งกระถางที่ไม่มีการระบายน้ำออก ได้มีการวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าในดิน และค่าพีเอชในน้ำในดิน นอกจากนี้ตัวอย่างน้ำในดิน ตัวอย่างดิน และตัวอย่างต้นข้าวได้ถูกเก็บมาเพื่อวิเคราะห์ค่าโลหะหนักต่างๆ ได้แก่ แคดเมียม เหล็ก แมงกานีส และ สังกะสี

ผลการทดลองแสดงให้เป็นว่า ค่าแคดเมียมในน้ำในดินนั้น มีความสัมพันธ์กับปริมาณแคดเมียมที่ต้นข้าวดูดซึม การเพาะปลูกแบบปล่อยให้น้ำขังในช่วงเวลาที่ข้าวตั้งท้องนั้น สามารถลดปริมาณแคดเมียมที่ต้นข้าวดูดซึมเมื่อเทียบกับวิธีที่ระบายน้ำออก ทั้งนี้เนื่องจากสภาวะรีดิวซ์ที่เกิดขึ้นสามารถลดปริมาณแคดเมียมในรูปที่ต้นข้าวสามารถดูดซึมได้ อย่างไรก็ตาม ทั้งวิธีที่ผสมฟางข้าว และแคลเซียมออกไซด์ ไม่ได้ลดปริมาณแคดเมียมที่ต้นข้าวดูดซึมตามที่คาดไว้ ซึ่งเชื่อว่าเป็นผลมาจากโลหะตัวอื่นได้แย่งการดูดซึมโดยต้นข้าวกับแคดเมียม ซึ่งส่งผลให้ต้นข้าวได้รับแคดเมียมในปริมาณที่มากขึ้น หรือน้อยลง ดังนั้น การศึกษานี้จึงสรุปได้เพียงว่า วิธีที่ปล่อยให้น้ำขัง ดีกว่าวิธีที่ระบายน้ำออก ในช่วงเวลาที่ข้าวตั้งท้อง เมื่อเทียบในกรณีปริมาณแคดเมียมที่ต้นข้าวได้รับ

สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา).....ลายมือชื่อนิสิต.....

ปีการศึกษา 2548.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

##4789475020: MAJOR ENVIRONMENTAL MANAGEMENT
KEYWORD: CONTAMINATION / RICE GRAIN / REMEDIATION / MANAGEMENT

NITCHAN LORCHAIYANAN: SOIL AND IRIGATION MANAGEMENT OPTIONS TO LIMIT UPTAKE OF CADMIUM TO RICE PLANT GROWN IN CADMIUM CONTAMINATED PADDY SOILS. THESIS ADVISOR: CHANTRA TONGCUMPOU, Ph.D., THESIS COADVISOR: ROBERT W. SIMMONS, Ph.D., 123 pp. ISBN 974-14-2119-2

From the researches conducted during 2003-2005 by the International Water Management Institute, the Land Development Department and Chulalongkorn University have unequivocally identified high levels of cadmium (Cd) in soils and rice grains in Phatat Pha Daeng sub-district, Mae Sot district, Tak Province, northern Thailand. This issue has raised the environmental and health concerns since then. Consequently, paddy fields in some areas have been prohibited for rice planting in order to avoid the problem of Cd uptake to plants and then transfer to the food chain. Therefore, this study aimed to investigate the farming practices that could reduce Cd uptake to rice plants. Four different treatments were set up for experimental pots containing contaminated soil from Mae Sot; namely, 1) normal practice by farmers, 2) rice straw adding to the studied soil, 3) liming agent (CaO) adding to the studied soil, and 4) rice straw and liming agent adding to the studied soil. Each of these four treatments were divided into two different procedures; drainage and flooding twice during the whole period of planting. So, there were 8 treatments all together and in each treatment, 3 replications were carried out. For drainage practice, two periods were designed to drain water from the experimental pots; 75 days after transplanting and before harvesting (125 days after transplanting). For these two periods, soil redox potential and pH in soil solution for all pots were measured. In addition, soil solution, soil sample, and rice plant were collected from both periods to determine Cd, Zn, Mn and Fe concentrations.

The result shows that in most cases, Cd in soil solution directly related to Cd uptake to rice plants. The flooding practice in all cases reduced Cd uptake as compared to drainage practice because the reducing condition that occurred in the flooding practice minimized Cd transformation into its solution form. However, the treatments by adding rice straw and lime or both of them did not reduce Cd uptake as expected. It is believed that because of correlation among other metals and competition that may promote or inhibit Cd to be available form. So, from this study, it can be concluded only that flooding practice is better than drainage practice in term of reducing Cd uptake to rice plant.

Field of study Environmental Management (Inter-Department) Student's signature.....
Academic year 2005..... Advisor's signature.....
Co-advisor's signature.....

# ACKNOWLEDGEMENTS

I would like to express my deep sincere gratitude to my supervisors, Dr. Chantra Tongcumpou (National Research Center of Environmental and Hazardous Waste Management) and Dr. Robert Williams Simmons (International Water Management Institute) for their patience and willingness through the study. I am sincerely indebted to Mr. Jean-Luc Maeght (Land Development Department) for his suggestions, information, and all of equipments used in the study.

Special thanks are extended to Ms. Sararin (Land Development Department) for her assistance in greenhouse and laboratory works. Acknowledgements are extended to Asst. Prof. Chakkaphan Sutthirat (Department of geology, Faculty of science, Chulalongkorn University) for his suggestions and all committee members, Dr. Manaskorn Rachakornkij and Dr. Pichit Pongsakul, for this thesis as well as Ms. Ramnaree Netvichien for AAS, ICP-OES, and Microwave assisted digestion techniques.

Research financial support, which was provided by The Post-Graduate International Program for Environmental and Hazardous Waste Management, Chulalongkorn University, is gratefully acknowledged.

# TABLE OF CONTENTS

**Page**

Abstract (in Thai)..... iv
Abstract (in English)..... v
Acknowledgements..... vi
Table of Contents..... vii
List of Tables..... x
List of Figures..... xi

**CHAPTER**

**I INTRODUCTION**..... 1
1.1 History of the problem..... 1
1.2 Objectives of the Study..... 4
1.3 Scope of the Study..... 4
1.4 Expected Results..... 4

**II BACKGROUND AND LITERATURE REVIEWS**..... 5
2.1 Overview..... 5
2.2 Theoretical Background..... 8
2.2.1 Source of Heavy Metals..... 8
2.2.2 Redox Potential..... 9
2.2.3 pH..... 9
2.2.4 Organic Matter..... 10
2.2.5 Human Health Effects of Cadmium..... 10
2.2.6 Rice Plant growing Process..... 10
2.3 Related Previous Study..... 18

**Page**


**III METHODOLOGY** ..... 22

3.1 Rice Pots Setup and Preparation ..... 23

3.1.1 Soil Preparation for Pots Experiment ..... 23

3.1.2 Rice Pots Preparation ..... 23

3.2 Sample Collection ..... 26

3.2.1 Soil Solution Collection ..... 26

3.2.2 Soil Samples Collection ..... 29

3.2.3 Plants Samples Collection ..... 29

3.3 Samples Preparation ..... 29

3.3.1 Soil Solution Samples Preparation ..... 29

3.3.2 Soil Samples Preparation ..... 30

3.3.3 Plant Samples Preparation ..... 30

3.4 Samples Analysis ..... 31

3.5 Redox and pH Measuring ..... 31

3.5.1 Redox Potential Measurement in Soil ..... 31

3.5.2 Measurement of pH ..... 33

**IV RESULTS AND DISCUSSIONS** ..... 36

4.1 Effect of flooding and drainage on redox potential and pH of soil solution ..... 36

4.2 Effect of other metals in soil solution ..... 50

4.3 Effect of rice straw adding in the studied soil ..... 55

4.4 Effect of liming agent (calcium oxide) adding in the studied soil ..... 60

4.5 Effect of rice straw and liming agent adding in the studied soil ..... 67

4.6 Correlation of cadmium in soil and cadmium accumulation in rice plants ..... 75

Page

**V CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS**.....77
5.1 Conclusions.....77
5.2 Recommendations.....78

**REFERENCES**.....79

**APPENDICES**.....84
Appendix I Metal Concentrations of Soil Solution Samples.....85
Appendix II Soil Redox Potential.....100
Appendix III Soil Solution pH.....107
Appendix IV Soil Redox Potential, Average and SD Value.....113
Appendix V Soil Solution pH, Average and SD Value.....114
Appendix VI Cadmium Concentrations in Soil Solutions, Average and SD Value.....115
Appendix VII Iron Concentrations in Soil Solutions, Average and SD Value.....116
Appendix VIII Manganese Concentrations in Soil Solutions, Average and SD Value.....117
Appendix IX Zinc Concentrations in Soil Solutions, Average and SD Value.....118
Appendix X Soils Metals Concentrations.....119
Appendix XI Rice Plants Metals Concentrations.....121
Appendix XII Detection limit of analyzing instruments.....122

BIOGRAPHY.....123

# LIST OF TABLES

**Table** **Page**

3.1 Experimental Pot Treatments.....22

4.1 Cadmium concentrations in wet soil from calcium chloride extraction and in rice plant at the two periods of samples collection..... 75

5.1 Accumulation of cadmium in rice plant after the harvesting.....77

# LIST OF FIGURES

**Figure** **Page**

1.1 Distribution cadmium concentrations in paddy soil at Mae Tao river basin, Phatat sub-district, Mae Sot district, Tak province, northern Thailand..... 3
1.2 Distribution of cadmium concentrations in rice grain grown in paddy field at Mae Tao river basin, Phatat sub-district, Mae Sot district, Tak province, northern Thailand.....3
2.1 Frequency distribution of total soil Cd in Phatat Pha Daeng and Mae-Tao Mai sub-districts, Mae Sot, Tak Province, Thailand..... 7
2.2 Frequency distribution of pH of 0 to 10 mg/kg soils in Phatat Pha-Daeng and Mae Tao Mai sub-districts, Mae Sot, Tak Province, Thailand..... 7
2.3 Rice plant growing process.....13
2.4 Rice plant growing stages..... 17
3.1 Rice pots in the greenhouse at the Department of Agriculture, Kasetsart University.....25
3.2 Soil solution collections within the greenhouse, vacuum tube (1) connected to rhizon sampler (2) using needle (3).....27
3.3 The rhizon sampler..... 27
3.4 Vacuum tube..... 28
3.5 The rhizon sampler connected to vacuum tube by needle..... 28
3.6 Redox meter, used for redox potential measuring..... 32
3.7 Soil solution pH measuring within the greenhouse, pH meter (1) connected to pH probe (2) measured pH of soil solution in the vacuum tube (3)..... 34
3.8 Diagram of the step of experimental procedure of the study.....35
4.1 Redox potential of drainage treatments at the first sampling period, continuous collection from July 11, 2005 to July 22, 2005.....39

**Figure** **Page**

4.2 Redox potential of flooding treatments at the first sampling period, continuous collection from July 11, 2005 to July 22, 2005 ..... 39
4.3 Rice plants cadmium concentration in each treatment and each plant parts at the first sampling period (grain fill stage) and the second sampling period (harvest period), (a) in normal scale, (b) in logarithmic scale ..... 40
4.4 Rice plants cadmium concentration comparison between drainage technique and flooding technique ..... 41
4.5 The comparison of redox potential and pH in soil solution between drainage technique and flooding technique ..... 43
4.6 Comparison of cadmium concentrations in soil solution between drainage technique and flooding technique ..... 48
4.7 Iron and manganese concentrations in soil solution of drainage technique and flooding technique ..... 52
4.8 Zinc concentrations in soil solution of drainage technique and flooding technique at different stage of platation ..... 54
4.9 The plots of soluble cadmium in soil solution and cadmium concentration in rice plants with the comparison between normal practice (T1 and T2) and rice straw addition technique (T3 and T4) ..... 57
4.10 The pH of soil solution comparison between rice straw adding technique (T3 and T4) and normal practice (T1 and T2) at the first and the second sampling periods ..... 59
4.11 The plots of soluble cadmium in soil solution and cadmium concentration in rice plants in comparison between normal practice (T1 and T2) and liming agent addition technique (T5 and T6) ..... 63
4.12 The pH of soil solution comparison between rice straw addition technique (T5 and T6) and normal practice (T1 and T2) at the first and the second sampling period ..... 64

**Figure** **Page**

4.13 The iron and manganese concentrations in soil solution comparison between liming agent addition technique (T5 and T6) and normal practice (T1 and T2) at first and second sampling period..... 65

4.14 The relation between soluble cadmium in soil solution and cadmium concentration in rice plants with the comparison between normal practice (T1 and T2) and both rice straw and liming agent addition technique (T7 and T8).....69

4.15 The comparison of soil solution pH between normal practice (T1 and T2), rice straw addition technique (T3 and T4), liming agent addition technique (T5 and T6), and both rice straw and liming addition technique (T7 and T8).....71

4.16 The comparison of cadmium concentrations in soil solution between normal practice (T1 and T2), rice straw addition technique (T3 and T4), liming agent addition technique (T5 and T6), and both rice straw and liming addition technique (T7 and T8)..... 72

4.17 The comparison cadmium concentrations in rice plants between normal practice (T1 and T2), rice straw addition technique (T3 and T4), liming agent addition technique (T5 and T6), and both rice straw and liming addition technique (T7 and T8).....73

4.18 The correlation of cadmium concentration in soil by calcium chloride extraction and rice plants of all treatments; (a) first period and (b) second period.....76