# ความเป็นพิษของโลหะหนักบางชนิดจากกากตะกอนบำบัดน้ำเสียชุมชนต่อผักคะน้า (*Brassica oleracea* L.Var. *alboglabra* Bailey) และผักกาดหอม (*Lactuca sativa* L.) ในสภาพเรือนทดลอง

นายอรรณพ หอมจันทร์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ.2535

ISBN 974-582-009-1

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

018729
i17156609

# TOXICITY OF SOME HEAVY METALS FROM TREATED MUNICIPAL WASTE WATER SLUDGE ON CHINESE KALE (Brassica oleracea L.Var. alboglabra Bailey) AND LETTUCE (Lactuca sativa L.) IN GREENHOUSE

MR. UNNOP HOMCHAN

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science

Inter-Department of Environmental Science

Graduate School

Chulalongkorn University

1992

ISBN 974-582-009-1

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ความเป็นพิษของโลหะหนักบางชนิดจากกากตะกอนบำบัดน้ำเสียชุมชนต่อผักคะน้า (Brassica oleracea L.Var. alboglabra Bailey) และผักกาดหอม (Lactuca sativa L.) ในสภาพเรือนทดลอง


โดย นายอรรณพ หอมจันทร์

สหสาขาวิชา วิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ


---

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(ศาสตราจารย์ ดร.ถาวร วัชราภัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ไพรัช สายเชื้อ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ธรรมนูญ โรจนะบุรานนท์)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ เปรมจิตต์ แทนสถิตย์)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กัธร ธีรคุปต์)


ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

อรรณพ หอมจันทร์ : ความเป็นพิษของโลหะหนักบางชนิดจากกากตะกอนบำบัดน้ำเสียชุมชนต่อผักคะน้า (Brassica oleracea L. Var. alboglabra Bailey) และผักกาดหอม (Lactuca sativa L.) ในสภาพเรือนทดลอง (TOXICITY OF SOME HEAVY METALS FROM TREATED MUNICIPAL WASTE WATER SLUDGE ON CHINESE KALE (Brassica oleracea L. Var. alboglabra Bailey) AND LETTUCE (Lactuca sativa L.) IN GREENHOUSE) อ.ที่ปรึกษา : ผศ.ดร.อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ. 197 หน้า
ISBN 974-582-009-1

ศึกษาความเป็นพิษของโลหะหนัก ได้แก่ เหล็ก แมงกานีส สังกะสี ทองแดง นิกเกิล ตะกั่ว และแคดเมียมที่ถูกปลดปล่อยออกจากกากตะกอนบำบัดน้ำเสียชุมชน ณ อัตราเติม 20 เมตริกตัน/เฮกตาร์ (50 กรัม/กระถาง) ในรูปน้ำหนักแห้งของกากตะกอนต่อผักคะน้า (Brassica oleracea L. Var. alboglabra Bailey) และผักกาดหอม (Lactuca sativa L.) ดินทดลองนำมาจากพื้นที่เกษตรกรรม ตำบลบ้านฉาง อำเภอเมือง จังหวัดปทุมธานี ส่วนกากตะกอนนำมาจาก anaerobic digester ของโรงบำบัดน้ำเสียชุมชนห้วยขวาง วางแผนการทดลองแบบ 2 X 4 factorial incompletely randomize design ทำ 3 ซ้ำ โดยปลูกผักคะน้าและผักกาดหอมบนดิน ซึ่งเติมเกลืออนินทรีย์ของโลหะหนัก 4 ระดับ ให้เทียบเท่ากับปริมาณโลหะหนักจากกากตะกอน ตั้งแต่ปริมาณที่พืชอาจใช้ได้ทันที (ระดับที่ 1) จนถึงปริมาณทั้งหมดที่มีในกากตะกอน (ระดับที่ 4) แล้วติดตามปริมาณโลหะหนักที่สะสมในดินและในพืชตลอดจนผลผลิตพืชที่ได้

ผลการศึกษาพบว่าสังกะสีแสดงพฤติกรรมเพิ่มขึ้นตามปริมาณการเติมเกลืออนินทรีย์ของโลหะหนักทั้งในดินหลังปลูกผักคะน้าและผักกาดหอมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.01$) ตลอดจนปริมาณสังกะสีในส่วนบริโภคได้ของพืชทั้ง 2 ชนิด ก็มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณการเติมเกลืออนินทรีย์ของโลหะหนักเช่นกัน และยังพบว่าปริมาณสังกะสีในส่วนบริโภคได้ของผักกาดหอมที่ปลูกบนดินเติมเกลืออนินทรีย์ของโลหะหนักเทียบเท่ากับปริมาณโลหะหนักทั้งหมดในกากตะกอนมีค่าสูงกว่าระดับปกติที่พบในพืชโดยทั่วไป แต่ปริมาณที่พบนั้นยังไม่ถึงระดับที่เป็นพิษต่อพืช จึงเสนอว่าน่าจะเลือกสังกะสีเป็นดัชนี เพื่อบ่งชี้ถึงแนวโน้มของความเป็นพิษของโลหะหนักจากกากตะกอน สำหรับทองแดงและแคดเมียมในดินหลังปลูกพืชทั้ง 2 ชนิด รวมทั้งตะกั่วในดินหลังปลูกผักคะน้ามีแนวโน้มสูงขึ้นตามปริมาณการเติมเกลืออนินทรีย์ของโลหะหนัก แต่ไม่แสดงแนวโน้มที่ชัดเจนสำหรับปริมาณในพืช ส่วนเหล็ก แมงกานีส และนิกเกิลในดินหลังปลูกพืชทั้ง 2 ชนิด รวมทั้งตะกั่วในดินหลังปลูกผักกาดหอมไม่แสดงแนวโน้มที่ชัดเจนทั้งปริมาณในดินและในพืช

สำหรับการปลดปล่อยโลหะหนักจากกากตะกอนนั้นพบว่าเมื่อเวลาผ่านไปหนึ่งฤดูเพาะปลูก โลหะหนักแต่ละธาตุจะถูกปลดปล่อยออกจากกากตะกอนได้ช้าเร็วต่างกัน โดยทองแดงจะถูกปลดปล่อยจากกากตะกอนได้เร็วที่สุด รองลงมาได้แก่ สังกะสี และแคดเมียม ตามลำดับ นอกจากนี้ไม่พบอาการผิดปกติเนื่องจากความเป็นพิษของโลหะหนักในพืชทดลองทั้ง 2 ชนิด แต่กลับพบว่าการเติมเกลืออนินทรีย์ของโลหะหนักทำให้ได้ผลผลิตพืชสูงขึ้น โดยเห็นได้ชัดเจนจากผักกาดหอม ซึ่งให้ผลผลิตที่สูงกว่าการเติมปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 และเทียบเท่ากับผลผลิตที่ได้จากการเติมกากตะกอนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.01$) อีกทั้งยังทำให้พืชมีลักษณะสมบูรณ์อีกด้วย อาจกล่าวได้ว่าไม่มีความเสี่ยงต่อความเป็นพิษของโลหะหนัก เนื่องจากการเติมกากตะกอน ณ ระดับ 20 เมตริกตัน/เฮกตาร์ และช่วงเวลาการเติมกากตะกอนลงสู่พื้นที่การเกษตรที่เหมาะสมนั้นน่าจะมีระยะห่างกันอย่างน้อย 2 ฤดูเพาะปลูกของผักคะน้าและผักกาดหอม

ภาควิชา สหสาขา ลายมือชื่อนิสิต .....
สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....
ปีการศึกษา 2535 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม -

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

## C225974 : MAJOR INTER-DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL SCIENCE
KEY WORD: TOXICITY/HEAVY METALS/SEWAGE SLUDGE/KALE/LETTUCE
UNNOP HOMCHAN : TOXICITY OF SOME HEAVY METALS FROM TREATED MUNICIPAL WASTE WATER SLUDGE ON CHINESE KALE (Brassica oleracea L. Var. alboglabra Bailey) AND LETTUCE (Lactuca sativa L.) IN GREENHOUSE. THESIS ADVISOR : ASST. PROF. ORAWAN SIRIRATPIRIYA, D.Sc., 197 pp.
ISBN 974-582-009-1

Toxicity of heavy metals (iron, manganese, zinc, copper, nickel, lead and cadmium) from sewage sludge at application rate 20 tonnes DM sludge/ha. (50 gm./pot) on chinese kale (Brassica oleracea L. Var. alboglabra Bailey) and lettuce (Lactuca sativa L.) was studied. Agricultural soils from Tambon Banchang Amphore Mueng Changwat Pathumthani and sewage sludge from anaerobic digester of Havi Khavang treatment plant were example of case study. Pot experiment was conducted at a greenhouse. The experimental design was 2X4 factorial imcompletely randomize design with 3 replications. Kale and lettuce were planted on treated soils that had applied with certain amount of heavy metal inorganic salts 4 level equal to heavy metal contents in the sludge (available form = level 1, total form = level 4). Both heavy metal contents in soils and plants, and plant productivity were observed.

The results showed that zinc contents in the soils increased significantly ($P \leq 0.01$) by increasing the heavy metal content of inorganic salts. This behavior of zinc appeared in edible part of both kale and lettuce. However, this zinc contents in edible parts of lettuce planted in the soils applied the heavy metal inorganic salts equal to total content in the sludge was higher than the contents of various plants, but it was still lower than the toxic dose. Hence, zinc will be chosen as an indicator to indicated the risk tendency of heavy metals from the sludge. Copper and cadmium contents in the soils for both kale and lettuce and only lead contents in the soil for kale followed the same pattern as already dircribed for zinc. However, there was no obvious tendency in plants. In addition iron, manganese and nickel contents in both soils and plants including lead in the soils for lettuce showed no obvious tendency to follow the pattern.

Each heavy metal could be released from sludge differently after the first harvest in an order with the three fastest ones as follow : copper, zinc and cadmium respectively. When plant productivity was considered the adverse effect of heavy metals was not observed. Not only the productivity, especially lettuce, applied with the heavy metal inorganic salts was higher than the productivity applied with chemical fertilizer (formula 15-15-15) and equal to productivity applied with the sludge significantly ($P \leq 0.01$), but also yielded the more healthier plants. Risk of heavy metal toxicity applied at the rate of 20 tonnes DM sludge/ha. for kale and lettuce cultivation was unnoticable. However, the result suggested that with mentioned rate safe application time should lie at two harvests interval.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา สหสาขา ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2535 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม -

# กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัยเรื่อง "ประโยชน์สูงสุดเพื่อพื้นที่เกษตรกรรมในการนำเอาวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมการเกษตรและกากตะกอนน้ำเสียมาใช้อย่างเหมาะสมและปลอดภัยจากโลหะหนัก"

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ อาจารย์ผู้ประสิทธิ์ประสาทความรู้และอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาเสียสละเวลาให้คำปรึกษาและแนวคิดต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับงานวิทยานิพนธ์นี้ และการที่วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ก็เนื่องด้วยความเมตตาของ รองศาสตราจารย์ ไพรัช สายเชื้อ รองศาสตราจารย์ ดร.ธรรมนูญ โรจนะบุรานนท์ รองศาสตราจารย์ เปรมจิตต์ แทนสถิตย์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กำธร ธีรคุปต์ ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ร่วมเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ตลอดจนให้คำแนะนำแก้ไข เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ขึ้น ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านเป็นอย่างสูง ไว้ ณ ที่นี้

สำหรับท่านผู้ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ และหน่วยงานต่าง ๆ ที่ได้ให้ความเอื้อเฟื้อ และอำนวยความสะดวกในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ มีรายนามตามลำดับดังต่อไปนี้ คือ คุณสุชัย กุลอนุสถาพร เกษตรกรตำบลบ้านฉาง อำเภอเมือง จังหวัดปทุมธานี ได้อนุเคราะห์ให้ดินเพื่อนำมาใช้ทดลอง ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เอื้อเฟื้อให้ใช้เรือนทดลองสำหรับปลูกพืช สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้อนุญาตให้ใช้ห้องปฏิบัติการ อาจารย์ รุจี ยุวดี อาจารย์ประจำสถาบันบริการคอมพิวเตอร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้ให้คำปรึกษาและแนะนำในการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ และเพื่อนนิสิตวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อมทุกท่าน ที่มีน้ำใจให้ความเอื้อเฟื้อช่วยเหลือกันด้วยดีมาโดยตลอด

ในท้ายที่สุดนี้ ขอนอบน้อมบูชาคุณแห่งพระรัตนตรัย มารดาบิดา และครู-อาจารย์ ซึ่งได้คุ้มครองและเป็นสิ่งยึดมั่นเคารพบูชาตลอดมา

สารบัญ

หน้า


บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญตาราง..... ซ

สารบัญรูป..... ญ

บทที่

1. บทนำ..... 1

2. การตรวจเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 4

3. วัสดุ อุปกรณ์และการดำเนินงานวิจัย..... 54

4. ผลการทดลอง..... 62

5. วิจารณ์ผลการทดลอง..... 115

6. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ..... 137

รายการอ้างอิง..... 142

ภาคผนวก..... 156

ประวัติผู้เขียน..... 197



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง


| ตารางที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 2.1 | การจำแนกสารพิษตามขนาดที่ทำให้สัตว์ทดลองตาย 50% ($LD_{50}$) | 30 |
| 2.2 | การจำแนกสารพิษตามปริมาณที่น้อยที่สุดที่ทำให้คนตายทันที (MLD) | 31 |
| 2.3 | ปริมาณโลหะหนัก (ppm.) ที่ยอมรับให้มีได้ในดินเพื่อการเกษตร | 35 |
| 2.4 | ปริมาณโลหะหนัก (ppm.) สูงสุดที่ยอมรับให้มีได้ในกากตะกอนที่จะใช้เพื่อการเกษตร | 36 |
| 2.5 | ปริมาณโลหะหนัก (ppm.) ในพืช ณ ระดับปกติและระดับที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อพืช | 37 |
| 2.6 | ระดับปกติและระดับที่เป็นพิษของโลหะหนักในเลือด/ซีรัม | 38 |
| 2.7 | องค์ประกอบทางเคมีของ Anaerobic Digested Sludge จากโรงบำบัดน้ำเสียชุมชนห้วยขวาง | 50 |
| 3.1 | ปริมาณโลหะหนักในรูปเกลืออนินทรีย์ที่เติมลงในกระถางเทียบเท่ากับปริมาณโลหะหนักที่ถูกปลดปล่อยจากกากตะกอน 4 ระดับ | 58 |
| 4.1 | ปริมาณโลหะหนักในดินและกากตะกอนที่ใช้ทดลอง | 63 |
| 4.2 | ปริมาณโลหะหนักในดินหลังปลูกผักคะน้าถดูเก็บเกี่ยวที่หนึ่ง | 65 |
| 4.3 | ปริมาณโลหะหนักในดินหลังปลูกผักกาดหอมถดูเก็บเกี่ยวที่หนึ่ง | 68 |
| 4.4 | ปริมาณโลหะหนักในราก (root) ของผักคะน้าถดูเก็บเกี่ยวที่หนึ่ง | 74 |
| 4.5 | ปริมาณโลหะหนักในส่วนบริโภคได้ (edible part) ของผักคะน้าถดูเก็บเกี่ยวที่หนึ่ง | 75 |
| 4.6 | ปริมาณโลหะหนักในราก (root) ของผักกาดหอมถดูเก็บเกี่ยวที่หนึ่ง | 78 |
| 4.7 | ปริมาณโลหะหนักในส่วนบริโภคได้ (edible part) ของผักกาดหอมถดูเก็บเกี่ยวที่หนึ่ง | 79 |
| 4.8 | ผลผลิตทั้งหมดในรูปน้ำหนักแห้งของผักคะน้าถดูเก็บเกี่ยวที่หนึ่ง | 86 |
| 4.9 | ผลผลิตทั้งหมดในรูปน้ำหนักแห้งของผักคะน้าถดูเก็บเกี่ยวที่สอง | 87 |
| 4.10 | ผลผลิตทั้งหมดในรูปน้ำหนักแห้งของผักกาดหอมถดูเก็บเกี่ยวที่หนึ่ง | 89 |

ตารางที่ หน้า


| | | |
|---|---|---|
| 4.11 | ผลผลิตทั้งหมดในรูปน้ำหนักแห้งของผักกาดหอมฤดูเก็บเกี่ยวที่สอง | 90 |
| 4.12 | สมบัติทางเคมีของดินและกากตะกอนที่ใช้ทดลอง | 93 |
| 4.13 | ค่า pH ของดินระหว่างปลูกผักคะน้าฤดูเพาะปลูกที่หนึ่ง | 95 |
| 4.14 | ค่า pH ของดินระหว่างปลูกผักคะน้าฤดูเพาะปลูกที่สอง | 96 |
| 4.15 | ค่า pH ของดินระหว่างปลูกผักกาดหอมฤดูเพาะปลูกที่หนึ่ง | 97 |
| 4.16 | ค่า pH ของดินระหว่างปลูกผักกาดหอมฤดูเพาะปลูกที่สอง | 98 |
| 4.17 | ค่าแอมโมเนียมไนโตรเจนของดินระหว่างปลูกผักคะน้าฤดูเพาะปลูกที่หนึ่ง | 105 |
| 4.18 | ค่าแอมโมเนียมไนโตรเจนของดินระหว่างปลูกผักกาดหอมฤดูเพาะปลูกที่หนึ่ง | 106 |
| 4.19 | ค่าไนเตรตไนโตรเจนของดินระหว่างปลูกผักคะน้าฤดูเพาะปลูกที่หนึ่ง | 110 |
| 4.20 | ค่าไนเตรตไนโตรเจนของดินระหว่างปลูกผักกาดหอมฤดูเพาะปลูกที่หนึ่ง | 111 |
| 5.1 | เปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักในดินที่ใช้ทดลองกับปริมาณโลหะหนักที่ยอมรับให้มีได้ในดินเพื่อการเกษตรของประเทศต่าง ๆ | 116 |
| 5.2 | เปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักในกากตะกอนที่ใช้ทดลองกับปริมาณโลหะหนักสูงสุดที่ยอมรับให้มีได้ในกากตะกอนที่จะใช้เพื่อการเกษตรของประเทศต่าง ๆ | 118 |
| 5.3 | ปริมาณโลหะหนักในดินจากการคำนวณเมื่อเติมเกลืออนินทรีย์ของโลหะหนัก 4 ระดับ เทียบเท่ากับที่ถูกปลดปล่อยออกจากตะกอน | 119 |
| 5.4 | เปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักในดินจากการเติมเกลืออนินทรีย์ของโลหะหนัก 4 ระดับ หลังปลูกพืชกับปริมาณโลหะหนักจากการคำนวณก่อนปลูกพืช | 122 |
| 5.5 | เปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักในผักคะน้าและผักกาดหอมกับปริมาณโลหะหนักในพืช ณ ระดับปกติและระดับที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อพืช | 126 |
| 5.6 | จำแนกความอุดมสมบูรณ์ของดินและกากตะกอนใช้ทดลองตามเกณฑ์ของกองจำแนกดิน กรมพัฒนาที่ดิน | 132 |

สารบัญรูป


| รูปที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 2.1 | ผลของอัตราเติมปูน (1,500 - 6,000 กก. $CaCO_3$/เฮกตาร์) ต่อปริมาณการสะสมโลหะหนักสัมพัทธ์ในผักกาดหอม | 42 |
| 3.1 | ผังการจัดเรียงหน่วยทดลองโดยสุ่มแบบไม่สมบูรณ์ | 60 |
| 4.1 | ผลของการเติมเกลืออนินทรีย์ของโลหะหนัก (4 ระดับ) ต่อปริมาณโลหะหนักสัมพัทธ์ในดินหลังปลูกผักคะน้าและผักกาดหอมฤดูเก็บเกี่ยวที่หนึ่ง | 72 |
| 4.2 | เปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักเฉลี่ยในราก (root) และส่วนบริโภคได้ (edible part) ของผักคะน้าฤดูเก็บเกี่ยวที่หนึ่ง | 76 |
| 4.3 | เปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักเฉลี่ยในราก (root) และส่วนบริโภคได้ (edible part) ของผักกาดหอมฤดูเก็บเกี่ยวที่หนึ่ง | 81 |
| 4.4 | เปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักเฉลี่ยในราก (root) ของผักคะน้าและผักกาดหอมในฤดูเก็บเกี่ยวที่หนึ่ง | 82 |
| 4.5 | เปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักเฉลี่ยในส่วนบริโภคได้ (edible part) ของผักคะน้าและผักกาดหอมในฤดูเก็บเกี่ยวที่หนึ่ง | 83 |
| 4.6 | ผลของการเติมเกลืออนินทรีย์ของโลหะหนัก (4 ระดับ) ต่อปริมาณแมงกานีสและสังกะสี ในส่วนบริโภคได้ (edible part) ของผักคะน้าและผักกาดหอม | 84 |
| 4.7 | เปรียบเทียบผลผลิตทั้งหมดในรูปน้ำหนักแห้งของผักคะน้าและตำรับทดลองในฤดูเก็บเกี่ยวที่หนึ่งและที่สอง | 88 |
| 4.8 | เปรียบเทียบผลผลิตทั้งหมดในรูปน้ำหนักแห้งของผักกาดหอมแต่ละตำรับทดลองในฤดูเก็บเกี่ยวที่หนึ่งและที่สอง | 91 |
| 4.9 | การเปลี่ยนแปลงค่า pH เฉลี่ยของดินจากการเติมเกลืออนินทรีย์ของโลหะหนักระหว่างปลูกผักคะน้าฤดูเพาะปลูกที่หนึ่งและที่สอง | 100 |
| 4.10 | การเปลี่ยนแปลงค่า pH เฉลี่ยของดินจากการเติมเกลืออนินทรีย์ของโลหะหนักระหว่างปลูกผักกาดหอมฤดูเพาะปลูกที่หนึ่งและที่สอง | 101 |

รูปที่ หน้า


4.11 การเปลี่ยนแปลงค่า pH เฉลี่ยของดินตามเวลาระหว่างปลูกผักคะน้าฤดูเพาะปลูกที่หนึ่งและที่สอง 102

4.12 การเปลี่ยนแปลงค่า pH เฉลี่ยของดินตามเวลาระหว่างปลูกผักกาดหอมฤดูเพาะปลูกที่หนึ่งและที่สอง 103

4.13 การเปลี่ยนแปลงค่าแอมโมเนียมไนโตรเจนเฉลี่ยของดินจากการเติมเกลืออนินทรีย์ของโลหะหนักระหว่างปลูกผักคะน้าและผักกาดหอมฤดูเพาะปลูกที่หนึ่ง 107

4.14 การเปลี่ยนแปลงค่าแอมโมเนียมไนโตรเจนเฉลี่ยของดินตามเวลาระหว่างปลูกผักคะน้าและผักกาดหอมฤดูเพาะปลูกที่หนึ่ง 108

4.15 การเปลี่ยนแปลงค่าไนเตรตไนโตรเจนเฉลี่ยของดินจากการเติมเกลืออนินทรีย์ของโลหะหนักระหว่างปลูกผักคะน้าและผักกาดหอมฤดูเพาะปลูกที่หนึ่ง 113

4.16 การเปลี่ยนแปลงค่าไนเตรตไนโตรเจนเฉลี่ยของดินตามเวลาระหว่างปลูกผักคะน้าและผักกาดหอมฤดูเพาะปลูกที่หนึ่ง 114

5.1 เปรียบเทียบปริมาณสังกะสีในดินจากการคำนวณก่อนปลูกพืช ปริมาณสังกะสีในดินหลังปลูกพืชและในส่วนที่บริโภคได้ (edible part) ของพืชจากผลของการเติมเกลืออนินทรีย์ของโลหะหนัก (4 ระดับ) 128



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย