

## สารบัญ

|   | หน้า |
|---|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย.....  | ก    |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....   | ข    |
| กิตติกรรมประกาศ.....  | ค    |
| สารบัญ.....   | ง    |
| สารบัญตาราง.....  | ช    |
| สารบัญภาพ.....  | ฉ    |
| <br>  |      |
| บทที่   |      |
| 1 บทนำ.....   | 1    |
| ที่มาและความสำคัญ.....  | 1    |
| วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....  | 2    |
| ขอบเขตของการวิจัย.....  | 2    |
| ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....  | 3    |
| นิยามศัพท์เฉพาะ.....  | 3    |
| 2 เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....  | 4    |
| โลหะหนัก.....   | 4    |
| การปนเปื้อนโลหะหนักสู่ดิน.....  | 9    |
| จุลินทรีย์ในดิน.....  | 11   |
| การบำบัดทางชีวภาพ.....  | 13   |
| การบำบัดสารมลพิษโดยใช้พืช (Phytoremediation).....   | 17   |
| สภาพปัจจุบันของพื้นที่กำจัดมูลฝอยของเทศบาลตำบลในเมือง<br>อำเภอพิชัย จังหวัดอุตรดิตถ์..... | 20   |
| พืชที่ใช้ในการศึกษา.....  | 22   |
| งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....  | 26   |
| 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....   | 31   |
| แผนการทดลอง.....  | 31   |
| วิธีการทดลอง.....   | 33   |
| พื้นที่ทำการวิจัย.....  | 33   |
| การเก็บตัวอย่างดิน.....   | 34   |

## สารบัญ (ต่อ)

| บทที่   | หน้า |
|---|------|
| การเก็บรักษาตัวอย่างดิน.....  | 34   |
| การวิเคราะห์ดิน.....  | 36   |
| อุณหภูมิจึงหวัดอุตรดิตถ์.....   | 36   |
| การวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของดิน.....  | 36   |
| การวิเคราะห์โลหะหนักในดิน ตามวิธี AOAC 999.11.....  | 36   |
| การวิเคราะห์โลหะหนักในพืช.....  | 38   |
| 4 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง.....   | 40   |
| คุณสมบัติของดินจากพื้นที่กำจัดขยะของเทศบาลตำบลในเมือง อำเภอพิชัย<br>จังหวัดอุตรดิตถ์..... | 40   |
| การเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติดินในระหว่างการบำบัดสารมลพิษโดยพืช.....                         | 41   |
| อุณหภูมิจึงหวัดอุตรดิตถ์.....   | 41   |
| ความเป็นกรด-ด่าง (pH).....  | 45   |
| ตะกั่ว (Pb).....  | 48   |
| ทองแดง (Cu).....  | 52   |
| แคดเมียม (Cd).....  | 56   |
| สังกะสี (Zn).....   | 60   |
| เหล็ก (Fe).....   | 64   |
| การสะสมโลหะหนักในพืช.....   | 69   |
| ปริมาณโลหะหนักที่สะสมในพืชก่อนปลูกในชุดการทดลอง.....                                      | 69   |
| ปริมาณโลหะหนักที่สะสมในพืชหลังทำการทดลอง 12 สัปดาห์.....                                  | 74   |
| ผลต่างของปริมาณโลหะหนักที่พืชดูดซึมก่อนและหลังทำการทดลอง.....                             | 84   |
| ปริมาณโลหะหนักในพืช (เปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซึมโลหะหนัก<br>ของพืชแต่ละชนิด).....     | 86   |
| 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....  | 89   |
| ข้อเสนอแนะ.....   | 90   |
| บรรณานุกรม.....   | 92   |

## สารบัญ (ต่อ)

|   | หน้า |
|---|------|
| ภาคผนวก   |      |
| ภาคผนวก ก กราฟมาตรฐานโลหะหนักที่วิเคราะห์กับเครื่อง<br>Atomic Absorption Spectrophotometer.....                         | 99   |
| ภาคผนวก ข การหาค่า Limit Of Detection (LOD) และ Limit Of Quantitation<br>(LOQ).....                                     | 105  |
| ภาคผนวก ค การหาเปอร์เซ็นต์ Recovery.....  | 108  |
| ภาคผนวก ง หลักการของ Atomic Absorption Spectrophotometry.....   | 111  |
| ภาคผนวก จ คู่มือการใช้งาน Shimadzu Atomic Absorption<br>Spectrophotometer (AAS) รุ่น AA-6200 ด้วย WizAArd Software..... | 120  |
| ภาคผนวก ฉ ภาพประกอบการศึกษาวิจัย.....   | 136  |
| ประวัติผู้วิจัย.....  | 148  |

## สารบัญตาราง

| ตาราง | หน้า   |    |
|-------|--|----|
| 2.1   | หน้าที่ทางชีวภาพและความเป็นพิษของโลหะหนัก.....   | 10 |
| 2.2   | ผลของโลหะหนักต่อมนุษย์และสภาพแวดล้อม.....  | 11 |
| 2.3   | เปรียบเทียบข้อดี-ข้อจำกัดของเทคโนโลยีการฟื้นฟูทางชีวภาพ.....   | 16 |
| 2.4   | ปริมาณขยะมูลฝอยของเทศบาลตำบลในเมือง อำเภอพิชัย จังหวัดอุตรดิตถ์<br>แยกตามประเภทที่นำมากำจัดในพื้นที่กำจัดมูลฝอย..... | 21 |
| 4.1   | คุณสมบัติของดินจากพื้นที่กำจัดขยะของเทศบาลตำบลในเมือง อำเภอพิชัย<br>จังหวัดอุตรดิตถ์.....                            | 40 |
| 4.2   | อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) ในแต่ละชุดการทดลอง.....  | 42 |
| 4.3   | แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติของอุณหภูมิ.....   | 42 |
| 4.4   | แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติของอุณหภูมิ.....   | 43 |
| 4.5   | ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในแต่ละชุดการทดลอง.....  | 45 |
| 4.6   | แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติของความเป็นกรด-ด่าง (pH).....  | 46 |
| 4.7   | ตะกั่ว (Pb) (มิลลิกรัม/กิโลกรัม) ในแต่ละชุดการทดลอง.....   | 49 |
| 4.8   | แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติเปอร์เซ็นต์การลดลงของตะกั่ว.....   | 50 |
| 4.9   | แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติเปอร์เซ็นต์การของตะกั่ว.....   | 50 |
| 4.10  | แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติเปอร์เซ็นต์การของทองแดง.....   | 53 |
| 4.11  | ทองแดง (Cu) (มิลลิกรัม/กิโลกรัม) ในแต่ละชุดการทดลอง.....   | 54 |
| 4.12  | แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติเปอร์เซ็นต์การของแคดเมียม.....   | 57 |
| 4.13  | แคดเมียม (Cd) (มิลลิกรัม/กิโลกรัม) ในแต่ละชุดการทดลอง.....   | 58 |
| 4.14  | แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติเปอร์เซ็นต์การของสังกะสี.....  | 61 |
| 4.15  | สังกะสี (Zn) (มิลลิกรัม/กิโลกรัม) ในแต่ละชุดการทดลอง.....  | 62 |
| 4.16  | แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติเปอร์เซ็นต์การของเหล็ก.....  | 65 |
| 4.17  | เหล็ก (Fe) (มิลลิกรัม/กิโลกรัม) ในแต่ละชุดการทดลอง.....  | 66 |
| 4.18  | ปริมาณตะกั่ว (Pb) ที่สะสมในพืชก่อนปลูก (มิลลิกรัม/กิโลกรัม).....   | 69 |
| 4.19  | ปริมาณทองแดง (Cu) ที่สะสมในพืชก่อนปลูก (มิลลิกรัม/กิโลกรัม).....   | 70 |
| 4.20  | ปริมาณแคดเมียม (Cd) ที่สะสมในพืชก่อนปลูก (มิลลิกรัม/กิโลกรัม).....   | 71 |
| 4.21  | ปริมาณสังกะสี (Zn) ที่สะสมในพืชก่อนปลูก (มิลลิกรัม/กิโลกรัม).....  | 72 |
| 4.22  | ปริมาณเหล็ก (Fe) ที่สะสมในพืชก่อนปลูก (มิลลิกรัม/กิโลกรัม).....  | 73 |

## สารบัญตาราง(ต่อ)

| ตาราง  | หน้า |
|--|------|
| 4.23 ปริมาณตะกั่ว (Pb) ที่สะสมในพืชหลังปลูก (มิลลิกรัม/กิโลกรัม).....              | 75   |
| 4.24 ปริมาณทองแดง (Cu) ที่สะสมในพืชหลังปลูก (มิลลิกรัม/กิโลกรัม).....              | 77   |
| 4.25 ปริมาณแคดเมียม (Cd) ที่สะสมในพืชหลังปลูก (มิลลิกรัม/กิโลกรัม).....            | 78   |
| 4.26 ปริมาณสังกะสี (Zn) ที่สะสมในพืชหลังปลูก (มิลลิกรัม/กิโลกรัม).....             | 80   |
| 4.27 ปริมาณเหล็ก (Fe) ที่สะสมในพืชหลังปลูก (มิลลิกรัม/กิโลกรัม).....               | 82   |
| 4.28 ประสิทธิภาพการดูดซึมโลหะหนักของพืชแต่ละชนิด (มิลลิกรัม/กิโลกรัม).....         | 85   |
| 4.29 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของประสิทธิภาพการดูดซึมโลหะหนักของพืชแต่ละชนิด          | 85   |
| 4.30 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซึมโลหะหนักของพืชแต่ละชนิด.....                | 87   |
| 4.31 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติของประสิทธิภาพการดูดซึมโลหะหนักของพืชแต่ละชนิด..... | 87   |

## สารบัญภาพ

| ภาพ  | หน้า |
|--|------|
| 2.1 สมดุลและการคงอยู่ของโลหะหนักในดิน.....                                   | 9    |
| 2.2 กระบวนการบำบัดทางชีวภาพ.....   | 15   |
| 2.3 การสะสมของอนินทรีย์ในพืช.....  | 18   |
| 2.4 Natural And Induced Phytoextraction.....                                 | 19   |
| 3.1 แผนการทดลอง.....   | 32   |
| 3.2 พื้นที่ทำการศึกษาวิจัย.....  | 33   |
| 3.3 แสดงตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่างดิน.....                                       | 35   |
| 4.1 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในชุดการทดลอง.....                                 | 44   |
| 4.2 ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในดิน.....   | 47   |
| 4.3 การลดลงของตะกั่วในดิน.....   | 51   |
| 4.4 การลดลงของทองแดงในดิน.....   | 55   |
| 4.5 การลดลงของแคดเมียมในดิน.....   | 59   |
| 4.6 การลดลงของสังกะสีในดิน.....  | 63   |
| 4.7 การลดลงของเหล็กในดิน.....  | 67   |
| 4.8 ปริมาณตะกั่ว (Pb) ที่สะสมในพืชก่อนปลูก.....                              | 69   |
| 4.9 ปริมาณทองแดง (Cu) ที่สะสมในพืชก่อนปลูก.....                              | 70   |
| 4.10 ปริมาณแคดเมียม (Cd) ที่สะสมในพืชก่อนปลูก.....                           | 71   |
| 4.11 ปริมาณสังกะสี (Zn) ที่สะสมในพืชก่อนปลูก.....                            | 72   |
| 4.12 ปริมาณเหล็ก (Fe) ที่สะสมในพืชก่อนปลูก.....                              | 73   |
| 4.13 ปริมาณตะกั่ว (Pb) ที่สะสมในพืชหลังปลูก.....                             | 75   |
| 4.14 ปริมาณทองแดง (Cu) ที่สะสมในพืชหลังปลูก.....                             | 77   |
| 4.15 ปริมาณแคดเมียม (Cd) ที่สะสมในพืชหลังปลูก.....                           | 79   |
| 4.16 ปริมาณสังกะสี (Zn) ที่สะสมในพืชหลังปลูก.....                            | 80   |
| 4.17 ปริมาณเหล็ก (Fe) ที่สะสมในพืชหลังปลูก.....                              | 82   |
| 4.18 ประสิทธิภาพการดูดซึมโลหะหนักของพืชแต่ละชนิด.....                        | 86   |
| 4.19 ประสิทธิภาพการดูดซึมโลหะหนักของพืชแต่ละชนิดเปรียบเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์.. | 88   |