# อิทธิพลของไกลโฟเสทในดินต่อการดูดดึงแคดเมียมและตะกั่วในผักกาดเขียวปลี

ณัฐพัชร์ ยางงาม

วิทยานิพนธ์เสนอบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยนเรศวร เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
พฤษภาคม 2560
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยนเรศวร

วิทยานิพนธ์ เรื่อง "อิทธิพลของไกลโฟเสทในดินต่อการดูดดึงแคดเมียมและตะกั่วในผักกาดเขียวปลี"
ของ นางสาวณัฐพัชร์ ยางงาม
ได้รับการพิจารณาให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

**คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์**

.....ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นุกูล ถวิลถึง)

.....ประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วภากร ศิริวงศ์)

.....กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิภายใน
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิภา หอมหวล)

.....กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิภายใน
(ดร.ชาญยุทธ กฤตสุนันท์กุล)

**อนุมัติ**

.....
(ดร.ภาณุ พุทธวงศ์)
รองคณบดีฝ่ายบริหารและวางแผน ปฏิบัติราชการแทน
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

9 มี.ค. 2560

# ประกาศคุณูปการ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงในความกรุณาของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วภากร ศิริวงศ์ ประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้อุตสาห์สละเวลาอันมีค่ามาเป็นที่ปรึกษา พร้อมทั้งให้คำแนะนำตลอดระยะเวลาในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการวิทยานิพนธ์อันประกอบไปด้วย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นุกูล ถวิลถึง ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิภา หอมหวล กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ และ ดร.ชาญยุทธ กฤตสุนันท์กุล กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำตลอดจนแก้ไขบกพร่องของวิทยานิพนธ์ด้วยความเอาใจใส่ จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างสมบูรณ์และทรงคุณค่า

ขอขอบพระคุณนางสาวนฤมล สิงห์กวาง และนางหนึ่งฤทัย เทียนทอง นักวิทยาศาสตร์ห้องปฏิบัติการภาคทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ที่ได้ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือในการปฏิบัติงานวิจัยตลอดจนให้คำปรึกษาด้านการทดลองจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี และขอขอบพระคุณศูนย์ทดสอบวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อำนวยความสะดวกให้ใช้เครื่องปั่นเหวี่ยงเพื่อใช้ในการทดลองในงานวิจัยในครั้งนี้

เหนือสิ่งอื่นใดขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ของผู้วิจัยที่ให้กำลังใจและให้การสนับสนุนในทุกๆ ด้านอย่างดีที่สุดเสมอมา

คุณค่าและคุณประโยชน์อันพึงจะมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบและอุทิศแด่ผู้มีพระคุณทุกๆ ท่าน ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า งานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการปรับปรุงคุณภาพดินในประเทศและผู้ที่สนใจบ้างไม่มากก็น้อย

ณัฐพัชร์ ยางงาม

| | |
|---|---|
| **ชื่อเรื่อง** | อิทธิพลของไกลโฟเสทในดินต่อการดูดดึงแคดเมียมและตะกั่วในผักกาดเขียวปลี |
| **ผู้วิจัย** | ณัฐพัชร์ ยางงาม |
| **ประธานที่ปรึกษา** | ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วภากร ศิริวงศ์ |
| **ประเภทสารนิพนธ์** | วิทยานิพนธ์ วท.ม. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยนเรศวร, 2559 |
| **คำสำคัญ** | โลหะหนัก ไกลโฟเสท การดูดดึง แคดเมียม ตะกั่ว รูปที่เข้าสู่ระบบชีวภาพได้ง่าย |

## บทคัดย่อ

ทำการศึกษาอิทธิพลของไกลโฟเสทต่อการดูดดึงแคดเมียมและตะกั่วในผักกาดเขียวปลีที่ปลูกในกระถางภายใต้สภาพเรือนทดลองโดยดินที่ใช้เป็นดินร่วนปนทรายที่ไม่เติมโลหะหนักและเติมโลหะหนัก 2 ธาตุ คือ แคดเมียมที่ความเข้มข้น 56 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และตะกั่วที่ความเข้มข้น 104 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ทำการทดลองปลูกผักกาดเขียวปลีในกระถางหลังจากย้ายกล้าต้นผักกาดเขียวปลีที่มีอายุ 20 วันลงในกระถางแล้วทำการเติมไกลโฟเสทในรูปสารละลายความเข้มข้น 98 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ลงในดิน และเติมน้ำกรองในกระถางที่ไม่เติมไกลโฟเสทใช้วิธีการหยดให้ทั่วพื้นผิวหน้าดิน และเก็บตัวอย่างดินและพืชที่ระยะเวลา 1, 14 และ 40 วัน ทำการวิเคราะห์รูปของแคดเมียมและตะกั่วในดิน และปริมาณแคดเมียมและตะกั่วในส่วนรากและลำต้นของผักกาด-เขียวปลี ผลการทดลองพบว่าการเติมไกลโฟเสทมีผลทำให้แคดเมียมและตะกั่วในรูปที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable form) มีปริมาณเพิ่มขึ้น และตะกั่วในรูปที่ตรึงกับคาร์บอเนต (carbonate form) มีปริมาณเพิ่มขึ้น ทำให้ส่งผลต่อการดูดดึงโลหะหนักของผักกาดเขียวปลี ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณการสะสมแคดเมียมและตะกั่วในส่วนรากของผักกาดเขียวปลีเมื่อเติมไกลโฟเสทในดินที่ไม่เติมโลหะหนัก เติมโลหะแคดเมียมและตะกั่ว ในการทดลองยังได้ศึกษาผลของไกลโฟเสทต่อธาตุอาหารในดิน โดยการเติมไกลโฟเสทมีผลต่อค่าความเป็นกรด-ด่างในดินลดลงที่ระยะ 14 และ 40 วันในดินที่ไม่เติมโลหะหนัก ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินเพิ่มขึ้นที่ระยะ 14 วันในดินที่ไม่เติมโลหะหนัก และดินที่เติมตะกั่ว และปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินเพิ่มขึ้นที่ระยะ 14 และ 40 วัน ในดินที่ไม่เติมโลหะหนัก ดินที่เติมแคดเมียมและตะกั่ว จากการทดลองจะเห็นว่าการเติมไกลโฟเสทมีผลต่อการเพิ่ม bioavailability ของธาตุโลหะหนักในดินและพืช

| | |
|---|---|
| Title | EFFECT OF GLYPHOSATE IN SOIL ON BRASSICA JUNCEA (L.) UPTAKE OF CADMIUM AND LEAD |
| Author | Natthaphat Yang-ngam |
| Advisor | Assistant Professor Wapakorn Siriwong, Ph. D. |
| Academic Paper | Thesis M.A. in Environmental Science, Naresuan University, 2016 |
| Keyword | Heavy Metals, Glyphosate, Uptake, Cadmium, Lead, Bioavailability |


## ABSTRACT

Effect of glyphosate in soil on some heavy metals uptake by Brassica juncea (L.), grown in soil under greenhouse pot experiment condition, were studied in sandy loam soil, with no spiked metal and 56 mg/kg cadmium and 104 mg/kg. Brassica juncea (L.) was planted in pots after transferring 20 days old and then added glyphosate in a solution of 98 mg/kg to soil and added water in pots non glyphosate is used to droplet the soil surface. Soil and plant samples were collected on 1, 14 and 40 day for Analysis of cadmium and lead fraction and cadmium and lead content in the roots and stems of Brassica juncea (L.). The results showed that the addition of glyphosate resulted in increasing of cadmium and lead in the exchangeable form (F2), carbonate form (F3) and metal uptake of Brassica juncea (L.). This is consistent with the accumulation of cadmium and lead in the roots of Brassica juncea (L.) added on glyphosate in soil no spiked metal, spiked cadmium and spiked lead. The addition of glyphosate and soil pH decreased at 14 and 40 day in soil no spiked metal. Total phosphorus in soil increased at 14 day in soil no spiked metal and spiked lead and available Phosphorus in soil increased at 14 and 40 day in soil no spiked metal, spiked cadmium and spiked lead. The experiment result exhibit glyphosate effect on increasing of bioavailability of metals in soil and their movement to plants.

# สารบัญ


| บทที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 1 | **บทนำ** | 1 |
| | ความเป็นมาของปัญหา | 1 |
| | จุดมุ่งหมายของการศึกษา | 2 |
| | ขอบเขตของงานวิจัย | 2 |
| | นิยามศัพท์เฉพาะ | 3 |
| | สมมติฐานของการวิจัย | 3 |
| | ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ | 3 |
| 2 | **เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง** | 4 |
| | ไกลโฟเสท (Glyphosate) | 4 |
| | ธาตุโลหะหนัก | 5 |
| | ปฏิสัมพันธ์ระหว่างธาตุโลหะหนักกับไกลโฟเสทในดิน | 10 |
| | รูปของธาตุในดิน (Fractions) | 12 |
| | การดูดดึงธาตุโลหะหนักของพืช | 13 |
| | พืชที่ทำการศึกษา | 15 |
| 3 | **วิธีดำเนินงานวิจัย** | 17 |
| | การเตรียมตัวอย่างดินที่ใช้ทำการทดลอง | 17 |
| | การทดลองอิทธิพลของไกลโฟเสทต่อการดูดดึงแคดเมียมและตะกั่วสู่พืช | 18 |
| | แผนการทดลอง | 18 |
| | การเตรียมตัวอย่างดินเพื่อการทดลอง | 19 |
| | การปลูกพืช | 20 |

# สารบัญ (ต่อ)


| บทที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| | การเติมไกลโฟเสท | 21 |
| | การเก็บตัวอย่าง | 21 |
| | การวิเคราะห์ | 22 |
| | การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ | 25 |
| 4 | ผลการวิจัย | 26 |
| | สมบัติของดินที่ใช้ทำการทดลอง | 26 |
| | การศึกษาอิทธิพลของไกลโฟเสทต่อการดูดดึงแคดเมียมและตะกั่วสู่พืช | 27 |
| | ความเป็นกรด-ด่างในดิน | 27 |
| | ความชื้นในดิน | 28 |
| | ปริมาณแอมโมเนียม | 29 |
| | ปริมาณไนเตรท | 30 |
| | ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด | 32 |
| | ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ | 34 |
| | ปริมาณแคดเมียมและตะกั่วในดิน | 36 |
| | รูปของแคดเมียมในดิน (Cadmium Fractions in soil) | 38 |
| | ผลของการเติมโลหะแคดเมียมและไกลโฟเสทต่อรูปของโลหะหนักในดิน | 42 |
| | รูปของตะกั่วในดิน (Lead Fractions in soil) | 44 |
| | ผลของการเติมโลหะตะกั่วและไกลโฟเสทต่อรูปของโลหะหนักในดิน | 48 |
| | การเจริญเติบโตของผักกาดเขียวปลี | 50 |
| | ผลของการเติมแคดเมียมและตะกั่วในดินต่อปริมาณแคดเมียมและตะกั่วในผักกาดเขียวปลี | 55 |

# สารบัญ (ต่อ)


| บทที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| | ผลของการเติมไกลโฟเสทในดินต่อปริมาณแคดเมียมและตะกั่วในต้น-ผักกาดเขียวปลี | 57 |
| | ปริมาณการดูดดึงแคดเมียมและตะกั่วของผักกาดเขียวปลี | 58 |
| 5 | บทสรุป | 60 |
| | สรุปผลการวิจัย | 60 |
| | อภิปรายผลการวิจัย | 62 |
| | ข้อเสนอแนะ | 65 |
| | บรรณานุกรม | 66 |
| | ภาคผนวก | 71 |
| | ประวัติผู้วิจัย | 90 |

# สารบัญตาราง


| ตาราง | | หน้า |
|---|---|---|
| 1 | สรุปปริมาณการสะสมแคดเมียมและตะกั่วในพืชชนิดต่างๆ..... | 8 |
| 2 | วิธีการวิเคราะห์สมบัติดิน..... | 23 |
| 3 | สมบัติต่างๆ ของดินที่ใช้ทำการทดลอง..... | 26 |
| 4 | ค่าความเป็นกรด-ด่างในดินตามระยะเวลาการเจริญเติบโตของผักกาดเขียวปลี... | 28 |
| 5 | ปริมาณแอมโมเนียมในดินตามระยะเวลาการเจริญเติบโตของผักกาดเขียวปลี..... | 29 |
| 6 | ปริมาณไนเตรทในดินตามระยะเวลาการเจริญเติบโตขอผักกาดเขียวปลี..... | 31 |
| 7 | ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินตามระยะเวลาการเจริญเติบโตของผักกาด-เขียวปลี..... | 33 |
| 8 | ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินตามระยะเวลาการเจริญเติบโตของผักกาดเขียวปลี..... | 35 |
| 9 | ปริมาณแคดเมียมในดิน..... | 37 |
| 10 | ปริมาณตะกั่วในดิน..... | 38 |
| 11 | รูปของแคดเมียมในดินตามระยะเวลา..... | 39 |
| 12 | รูปของตะกั่วในดินตามระยะเวลา..... | 45 |
| 13 | การดูดดึงธาตุแคดเมียมในผักกาดเขียวปลีตามระยะเวลาการเจริญเติบโต..... | 52 |
| 14 | การดูดดึงธาตุตะกั่วในผักกาดเขียวปลีตามระยะเวลาการเจริญเติบโต..... | 54 |

# สารบัญภาพ


| ภาพ | | หน้า |
|---|---|---|
| 1 | โครงสร้างไกลโฟเสท..... | 4 |
| 2 | การดูดซับแคดเมียมขึ้นอยู่กับค่าพีเอชในดินที่ไม่มีและมีไกลโฟเสท..... | 10 |
| 3 | การดูดซับทองแดงในดิน (a) LM (OM 1.41 %, CEC 12.36 cmol $kg^{-1}$, sand 17.0 %, clay 25.0 %, Fe 35.68 %) (b) ST (OM 5.34 %, CEC 20.07 cmol $kg^{-1}$, sand 61.0 %, clay 10.0 %, Fe 6.69 %) และ (c) S48 (OM 1.86 %, CEC 9.82 cmol $kg^{-1}$, sand 34.0 %, clay 18.0 %, Fe 6.42 %) ที่ไม่มีไกลโฟเสท (●) และมีไกลโฟเสท 0.5 (○), 1.0 (▼), 1.5 (▽) และ 2 (■) มิลลิโมลาร์..... | 11 |
| 4 | ลักษณะพื้นที่เก็บตัวอย่างดิน..... | 17 |
| 5 | การเก็บตัวอย่างดิน..... | 18 |
| 6 | การวางแผนแบบการทดลองในเรือนทดลอง..... | 19 |
| 7 | การเตรียมดิน..... | 20 |
| 8 | การเพาะปลูกกล้าผักกาดเขียวปลีในกระบะเพาะ..... | 20 |
| 9 | ต้นกล้าผักกาดเขียวปลีงอกอายุ 20 วัน..... | 21 |
| 10 | ต้นผักกาดเขียวปลีอายุ 40 วัน..... | 22 |
| 11 | ค่าความชื้นในดินตามระยะเวลาการเจริญเติบโตของผักกาดเขียวปลี..... | 28 |
| 12 | การเปรียบเทียบปริมาณแอมโมเนียมในดินที่ไม่เติมไกลโฟเสทเทียบกับดินที่เติมไกลโฟเสทร่วมกับโลหะหนักตามระยะเวลา 1,14 และ 40 วัน..... | 30 |
| 13 | การเปรียบเทียบปริมาณไนเตรทในดินที่ไม่เติมไกลโฟเสทเทียบกับดินที่เติมไกลโฟเสทร่วมกับโลหะหนักตามระยะเวลา 1,14 และ 40 วัน..... | 31 |
| 14 | การเปรียบเทียบปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินที่ไม่เติมไกลโฟเสทเทียบกับดินที่เติมไกลโฟเสทร่วมกับโลหะหนักตามระยะเวลา 1,14 และ 40 วัน..... | 33 |

# สารบัญภาพ (ต่อ)


| ภาพ | | หน้า |
|---|---|---|
| 15 | การเปรียบเทียบปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินที่ไม่เติมไกลโฟเสทเทียบกับดินที่เติมไกลโฟเสทร่วมกับโลหะหนักตามระยะเวลา 1, 14 และ 40 วัน..... | 35 |
| 16 | สัดส่วนแต่ละรูปของแคดเมียมในดินที่ไม่เติมโลหะหนัก(M0) กับดินที่เติมโลหะแคดเมียม(M1) ในดินที่ไม่เติมไกลโฟเสท(G0) และดินที่เติมไกลโฟเสท(G1) ตามระยะเวลา 1,14 และ 40 วัน..... | 41 |
| 17 | ผลของการเติมโลหะแคดเมียมและไกลโฟเสทต่อรูปของโลหะหนักในดิน รูป F1 (a), F2 (b), F3 (c), F4 (d), F5 (e) และ F6 (f) ตามระยะเวลา 1, 14 และ 40 วัน..... | 42 |
| 18 | สัดส่วนแต่ละรูปของตะกั่วในดินที่ไม่เติมโลหะหนัก(M0) กับดินที่เติมโลหะตะกั่ว (M1) ในดินที่ไม่เติมไกลโฟเสท(G0) และดินที่เติมไกลโฟเสท(G1) ตามระยะเวลา 1,14 และ 40 วัน..... | 47 |
| 19 | ผลของการเติมโลหะตะกั่วและไกลโฟเสทต่อรูปของโลหะหนักในดิน รูป F1 (a), F2 (b), F3 (c), F4 (d), F5 (e) และ F6 (f) ตามระยะเวลา 1, 14 และ 40 วัน..... | 49 |
| 20 | การเจริญเติบโตของต้น และรากผักกาดเขียวปลีในดินที่ไม่เติมไกลโฟเสท(G0) และเติมไกลโฟเสท(G1) ตามระยะเวลา 1,14 และ 40 วัน..... | 53 |
| 21 | การเจริญเติบโตของต้น และรากผักกาดเขียวปลีในดินที่ไม่เติมไกลโฟเสท (G0) และเติมไกลโฟเสท(G1) ตามระยะเวลา 1,14 และ 40 วัน..... | 55 |
| 22 | ผลของการไม่เติมและเติมโลหะแคดเมียมในดินต่อส่วนต้น และรากของผักกาดเขียวปลี..... | 56 |
| 23 | ผลของการไม่เติมและเติมโลหะตะกั่วในดินต่อส่วนต้น และรากของผักกาดเขียวปลี..... | 56 |

# สารบัญภาพ (ต่อ)


| ภาพ | | หน้า |
|---|---|---|
| 24 | ผลของการไม่เติมและเติมไกลโฟเสทในดินต่อส่วนต้น และรากของผักกาด-เขียวปลี..... | 57 |
| 25 | ผลของการไม่เติมและเติมไกลโฟเสทในดินต่อส่วนต้น และรากของผักกาด-เขียวปลี..... | 58 |
| 26 | ปริมาณการดูดดึงโลหะแคดเมียมของผักกาดเขียวปลีในดินที่ไม่เติมโลหะหนัก (M0) และดินที่เติมโลหะแคดเมียม ตามระยะเวลา 1,14 และ 40 วัน..... | 59 |
| 27 | ปริมาณการดูดดึงโลหะตะกั่วของผักกาดเขียวปลีในดินที่ไม่เติมโลหะหนัก(M0) และดินที่เติมโลหะตะกั่ว ตามระยะเวลา 1,14 และ 40 วัน..... | 59 |

# บทที่ 1

# บทนำ

**ความเป็นมาของปัญหา**

ปัจจุบันการใช้สารกำจัดวัชพืชทางการเกษตรมีปริมาณการใช้เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากสารกำจัดวัชพืชมีความสำคัญในการควบคุมวัชพืชต่างๆ ที่ไม่พึงประสงค์ การใช้มีความสะดวก ประหยัดเวลาและช่วยเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร โดยไกลโฟเสทเป็นสารกำจัดวัชพืชประเภทหนึ่งที่นิยมใช้มากที่สุด โดยในปี พ.ศ. 2554 ประเทศไทยมีการนำเข้าไกลโฟเสทสูงสุดเป็นอันดับ 1 มีปริมาณการนำเข้าถึง 47,179 ตัน มีมูลค่าการนำเข้าสูงถึง 2,820 ล้านบาท (กรมวิชาการเกษตร, 2554) ไกลโฟเสท (Glyphosate (N-[phosphonomethyl]glycine)) เป็นสารกำจัดวัชพืชที่จัดอยู่ในกลุ่มฟอสเฟตอินทรีย์ (organophosphonate) โดยมีการเชื่อมพันธะของ covalent carbon กับ phosphorous (C–P) (Kools, et al., 2005) มี 3 หมู่ฟังชันก์ คือ amine, carboxylate และ phosphonate ซึ่งไกลโฟเสทเป็นสารกำจัดวัชพืชแบบหลังงอกประเภทดูดซึม ไม่เลือกทำลาย นำมาใช้ในการควบคุมวัชพืชได้หลายชนิด มีการใช้กันอย่างแพร่หลายในพืชผลทางการเกษตร พืชผักและสวนผลไม้ (Wang Yu-jun, et al., 2004) ซึ่งการใช้ไกลโฟเสทเป็นสารกำจัดวัชพืชทางการเกษตรในปริมาณมากเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดสารพิษตกค้าง สะสม และปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อม เช่น ทางดิน แหล่งน้ำ พืช และส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศ

การปนเปื้อนของธาตุโลหะหนักในพื้นที่การเกษตร สามารถเกิดขึ้นได้จากการปนเปื้อนจากโรงงานอุตสาหกรรมที่มีการปล่อยน้ำทิ้งลงสู่แหล่งน้ำที่ใช้ประโยชน์ทางการเกษตร จากแหล่งบ่อขยะมูลฝอยที่มีธาตุโลหะหนักปนเปื้อนมาพร้อมกับน้ำชะขยะและมีการแพร่กระจายสู่พื้นที่การเกษตร และจากสาเหตุการใช้ปุ๋ยเคมีและสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชในกิจกรรมการเกษตร จึงเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดปัญหาการสะสมธาตุโลหะหนักในดินและพืชในพื้นที่การเกษตร ซึ่งธาตุโลหะหนักที่ปนเปื้อนอยู่ในดิน ยังส่งผลเสียต่อสินค้าทางการเกษตรส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืช

มีรายงานผลการวิจัยพบว่าการปนเปื้อนธาตุทองแดงในถั่วลันเตามีผลต่ออัตราการสังเคราะห์แสงทำให้ลดลงจนมีค่าต่ำสุด 37.93 % ที่ความเข้มข้นของ $CuCl_2$ สูงที่สุด 700 มิลลิกรัม/กิโลกรัม มีผลต่อการเจริญเติบโตของต้นพืชถั่วลันเตาที่ลดลง (Sabrine, et al., 2009) น้ำทิ้งจากโรงงานฟอกหนังที่มีโครเมียมปนเปื้อนที่ความเข้มข้น 4 มิลลิกรัม/ลิตร ที่ 120 ชั่วโมง มีผล

ต่อการเจริญเติบโตของรากต้นหอมที่ลดลงและทำให้การงอกของเมล็ด การพัฒนาของต้นกล้า และการสังเคราะห์แสงลดลง ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดในใบลดลงสูงสุดที่ 86.29 % โดยน้ำทิ้งจากโรงงานฟอกหนังและโครเมียม ทำให้เกิดความผิดปกติของโครโมโซมในเซลล์ของพืช จึงช่วยลดการเจริญเติบโตของพืช (Kiran, 2012)

การปนเปื้อนธาตุโลหะหนักร่วมกับไกลโฟเสทในดินจะเกิดปฏิสัมพันธ์ระหว่างธาตุโลหะหนักกับไกลโฟเสท การมีไกลโฟเสทในดินทำให้ปริมาณการดูดซับธาตุโลหะหนักในอนุภาคดินเปลี่ยนแปลงขึ้นกับค่าความเป็นกรด-ด่าง โดยในดินที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำสังกะสีจะถูกดูดซับเพิ่มขึ้น ทองแดงถูกดูดซับลดลง และเมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างดินสูงขึ้นสังกะสีและแคดเมียมจะถูกดูดซับลดลง (Morillo, et al., 2002; Wang Yu-jun, et al., 2004 and Yu-Jun Wang, et al., 2008) จากข้อมูลดังกล่าวการเคลื่อนย้ายของธาตุโลหะหนักมีผลจากไกลโฟเสท การเปลี่ยนแปลงการเคลื่อนย้ายของธาตุโลหะหนักอาจส่งผลไปสู่การดูดดึงของพืชทางการเกษตรและระบบนิเวศได้ ดังนั้น วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้จึงต้องการศึกษาอิทธิพลของไกลโฟเสทต่อการเคลื่อนย้ายของธาตุโลหะหนักที่ปนเปื้อนอยู่ในดินที่ส่งผลต่อความเป็นประโยชน์ของธาตุโลหะหนักในรูปของการดูดดึงธาตุโลหะหนักสู่พืช

**จุดมุ่งหมายของการศึกษา**

1. ศึกษาผลของไกลโฟเสทต่อรูปที่เข้าสู่ระบบชีวภาพได้ง่ายของธาตุโลหะหนักในดิน
2. ศึกษาผลของไกลโฟเสทต่อการดูดดึงธาตุโลหะหนักในส่วนต่างๆ ของพืช

**ขอบเขตของงานวิจัย**

การวิจัยนี้ศึกษาอิทธิพลของไกลโฟเสทในดินต่อการดูดดึงแคดเมียมและตะกั่วในผักกาดเขียวปลี โดยการทดลองจะแบ่งออกเป็นชุดที่ไม่มีการใส่สารไกลโฟเสท และชุดที่มีการใส่สารไกลโฟเสทในดินตัวอย่างที่มีธาตุโลหะหนักระดับความเข้มข้นต่างๆ ที่ทำการเตรียมไว้เพื่อปลูกพืช ตัวอย่างในดินเนื้อหยาบที่ไม่เติมธาตุอาหารพืชเพื่อหลีกเลี่ยงอิทธิพลของธาตุปุ๋ยต่อผลการทดลอง ทำการศึกษาความเป็นกรด-ด่างของดิน ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดิน เนื้อดิน ปริมาณธาตุโลหะหนักทั้งหมดในดิน รูปของธาตุโลหะหนักที่มีผลต่อการดูดดึงธาตุโลหะหนักสู่พืช และปริมาณธาตุโลหะหนักในส่วนต่างๆ ของพืช

**นิยามศัพท์เฉพาะ**

ไกลโฟเสท หมายถึง สารกำจัดวัชพืชที่จัดอยู่ในกลุ่มฟอสเฟตอินทรีย์ (organophosphonate) เป็นสารกำจัดวัชพืชแบบหลังงอกประเภทดูดซึม ไม่เลือกทำลาย นำมาใช้ในการควบคุมวัชพืชได้หลายชนิด มีการใช้กันอย่างแพร่หลายในพืชผลทางการเกษตร พืชผักและสวนผลไม้

ธาตุโลหะหนัก หมายถึง กลุ่มธาตุที่มีความถ่วงจำเพาะตั้งแต่ 5.0 ขึ้นไป ส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่ม transition metals มีเลขอะตอมในช่วง 23 -92 อยู่ในคาบ 5 - 7 ในตารางธาตุ ได้แก่ ตะกั่ว แคดเมียม ทองแดง สังกะสี โครเมียม ปรอท นิเกิล เหล็ก แมงกานีส โคบอลต์ สารหนู เป็นต้น ธาตุโลหะหนักเป็นสารที่คงตัวไม่สามารถสลายตัวได้ในกระบวนการธรรมชาติ จึงเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต

รูปที่เข้าสู่ระบบชีวภาพได้ง่าย (Bioavailability) คือ ความพร้อมในการนำธาตุอาหารไปใช้ประโยชน์ของสิ่งมีชีวิต เช่น พืช และสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กในดินที่มีการนำไปใช้ประโยชน์ ความเป็นประโยชน์ของธาตุสามารถบ่งชี้ได้จากรูปของธาตุโลหะหนักในดิน การดูดดึงของพืชไปสู่ส่วนต่างๆ และปริมาณในรูปชีวมวลของจุลินทรีย์

**สมมติฐานของการวิจัย**

การปนเปื้อนของไกลโฟเสทในดินมีผลต่อความสามารถในการเคลื่อนย้ายธาตุโลหะหนักและส่งผลต่อการดูดดึงสู่พืช และการสะสมธาตุโลหะหนักในพืช

**ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ**

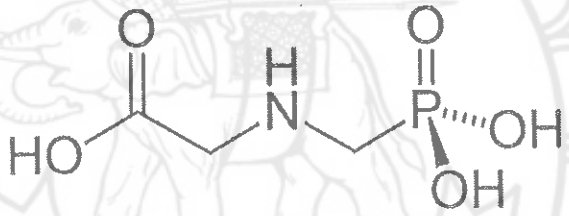
1. ได้ทราบข้อมูลอิทธิพลของไกลโฟเสทต่อรูปของธาตุโลหะหนักในดิน
2. ได้ทราบข้อมูลอิทธิพลของไกลโฟเสทต่อรูปของธาตุโลหะหนักในดินสู่การดูดดึงธาตุโลหะหนักในพืช
3. ได้ทราบข้อมูลผลกระทบของไกลโฟเสทร่วมกับธาตุโลหะหนักต่อการแพร่กระจายของธาตุโลหะหนักในผลผลิตทางการเกษตร

# บทที่ 2

# เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

## ไกลโฟเสท (Glyphosate)

ไกลโฟเสท (Glyphosate (N-[phosphonomethyl]glycine)) มีสูตรโครงสร้างทางเคมี $C_3H_8NO_5P$ และมีสูตรโครงสร้างทางโมเลกุลแสดงดังภาพ 1 เป็นสารกำจัดวัชพืชที่จัดอยู่ในกลุ่มฟอสเฟตอินทรีย์ โดยมีการเชื่อมพันธะของ covalent carbon กับ phosphorous (C–P) (Kools, et al., 2005) โครงสร้างโมเลกุลมี 3 หมู่ฟังชันก์ คือ amine carboxylate และ phosphonate โมเลกุลของไกลโฟเสทมีคุณสมบัติเป็นกรดอ่อนสามารถแตกตัวได้หลายขั้นตอนตามค่า $pK_a$ ที่ระดับค่าความเป็นกรด-ด่างแตกต่างกัน




ภาพ 1 โครงสร้างไกลโฟเสท

**ที่มา**: Kools, et al., 2004

ไกลโฟเสทเป็นสารกำจัดวัชพืชแบบหลังงอกประเภทดูดซึม ไม่เลือกทำลาย นำมาใช้ในการควบคุมวัชพืชได้หลายชนิดในทางการเกษตร (Dong-Mei Zhou, et al., 2004) จะมีการควบคุมวัชพืชโดยการยับยั้งการสังเคราะห์กรดอะมิโนที่จำเป็นสำหรับการสร้างโปรตีนในพืช ทำให้มีการใช้สารกำจัดวัชพืชไกลโฟเสทอย่างแพร่หลายในทางการเกษตร ไกลโฟเสทสามารถดูดซับในอนุภาคดินได้เพิ่มขึ้นเมื่อดินมีปริมาณแร่ดินเหนียว และค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (cation exchange capacity) เพิ่มขึ้น และมีปริมาณฟอสฟอรัส และค่าความเป็นกรด-ด่างในดินลดลง การดูดซับของไกลโฟเสทมีความสัมพันธ์กับค่าความเป็นกรด-ด่างดิน โดยในสภาพค่าความเป็นกรด-ด่างดินเป็นกลาง ไกลโฟเสทจะมีการแตกตัวของหมู่ฟังก์ชัน carboxylate และ

phosphonate เป็นโมเลกุลประจุลบที่จับกับธาตุไอออนบวกในดิน เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่เป็นอิสระในสารละลายดิน ไกลโฟเสทสามารถดูดซับในอนุภาคดินอย่างรวดเร็วในชั่วโมงแรกของการใช้ เพราะไกลโฟเสทยึดกับอนุภาคดินทันทีที่มีการสัมผัสกับดิน และการดูดซับจะช้าลงในภายหลัง การดูดซับที่แข็งแรงภายในอนุภาคดินทำให้การย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ในดินเกิดขึ้นได้ช้าลง ดังนั้นไกลโฟเสทยังคงอยู่ในดิน และสิ่งแวดล้อม ส่วนใหญ่จะพบการตกค้างไกลโฟเสทที่หน้าดินระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร เป็นการจำกัดการเคลื่อนที่ไปสู่สิ่งแวดล้อม ซึ่งการย่อยสลายไกลโฟเสทด้วยจุลินทรีย์ดินมีค่าเฉลี่ยครึ่งชีวิต 2 เดือนในดิน และ ในน้ำมีการกระจายอย่างรวดเร็วผ่านการดูดซับผ่านตะกอนแขวนลอยและตะกอนด้านล่าง มีค่าครึ่งชีวิต 2-10 สัปดาห์ในน้ำ การย่อยสลายของไกลโฟเสทสามารถเกิดขึ้นได้โดยกระบวนการทางเคมีและชีวภาพในดินตามธรรมชาติ (วภากร ศิริวงศ์, 2557 และ Tu, et al., 2001)

**ธาตุโลหะหนัก**

ธาตุโลหะหนัก หมายถึง กลุ่มธาตุที่มีความถ่วงจำเพาะตั้งแต่ 5.0 ขึ้นไป ส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่ม Transition metals ได้แก่ ตะกั่ว แคดเมียม ทองแดง สังกะสี โครเมียม ปรอท นิเกิล เหล็ก แมงกานีส โคบอลต์ และสารหนู เป็นต้น ธาตุโลหะหนักเกิดขึ้นตามธรรมชาติจะอยู่ตามพื้นผิวโลกอยู่ในรูปของแร่ต่างๆในธรรมชาติ ซึ่งส่วนใหญ่ธาตุโลหะหนักจะอยู่ในรูปสารประกอบ เช่น $Cu_2O$ $FeCr_2O4$ และ CdS เป็นต้น ธาตุโลหะหนักมีอัตราการสลายตัวค่อนข้างช้า คงตัวไม่สามารถสลายตัวได้ในกระบวนการธรรมชาติ ทำให้มีการสะสมอยู่ในสิ่งแวดล้อมได้นาน จึงเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมและสิ่งมีชีวิต

1. แคดเมียม (Cd)

แคดเมียมเป็นธาตุที่ค่อนข้างหายากในธรรมชาติ พบในรูปของแคดเมียมซัลไฟด์ (CdS) มีสีเหลืองอยู่ในแร่ greenockite เป็นธาตุโลหะหนักแต่เนื้ออ่อนมีน้ำหนักอะตอม 112.4 amu. มีจุดหลอมเหลว 320.9 องศาเซลเซียส และจุดเดือด 765 องศาเซลเซียส ซึ่งปะปนอยู่ในแร่สังกะสีซัลไฟด์ แคดเมียมส่วนใหญ่เป็นผลิตผลพลอยได้จากการถลุงแร่สังกะสี การนำแคดเมียมมาใช้ประโยชน์ประมาณ 50 % ใช้ในการเคลือบเงาผิวโลหะด้วยไฟฟ้าทำให้ผิวโลหะเงางามและทนต่อการกัดกร่อน ไม่เป็นสนิม ใช้ในอุปกรณ์รถยนต์ต่างๆใช้ทำผลิตภัณฑ์และของใช้ทางด้านอุตสาหกรรม ชิ้นส่วนของเครื่องบิน วิทยุ โทรทัศน์ และตู้เย็น เป็นต้น นอกจากนี้ยังพบว่าแคดเมียมใช้ใน photoelectric cells ผสมในสารกำจัดเชื้อราที่ใช้ในกิจกรรมการเกษตร สารกำจัดแมลง และสารกำจัดหนอน (อดิเรก แก้วจำรัส, 2528) ซึ่งอาจทำให้แคดเมียมมีการสะสมในพืช จากการศึกษาการสะสมแคดเมียมในพันธุ์ข้าวที่ปลูกในดินนาจากพื้นที่ตำบลพระธาตุผาแดง

อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก ซึ่งปลูกในดินที่มีระดับความเข้มข้นของแคดเมียมต่ำ 2 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และความเข้มข้นสูง 21 มิลลิกรัม/กิโลกรัม พบว่าข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 เป็นพันธุ์ข้าวที่มีการสะสมแคดเมียมต่ำสุด ในดินที่ระดับความเข้มข้นของแคดเมียมต่ำ มีการสะสมในส่วนเหนือดิน 0.005 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ในรากมีการสะสมมากที่สุด 1.940 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และไม่มีการสะสมแคดเมียมในส่วนของเมล็ดและเปลือก ในดินที่ระดับความเข้มข้นของแคดเมียมสูง มีการสะสมในส่วนเหนือดิน 2.010 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ในราก 7.410 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ในเมล็ด 0.680 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และไม่มีการสะสมแคดเมียมในส่วนของเปลือก (เพื่อนจิต บุญจันทร์, 2548) และการสะสมแคดเมียมในพืชผัก ที่ปลูกในดินที่มีความเข้มข้น 0, 2, 5, 10 และ 100 มิลลิกรัม/กิโลกรัม พบว่าผักกาดหอมมีการสะสมแคดเมียมมากที่สุด ซึ่งสะสมส่วนราก 5.717-66.797 ส่วนใบ 4.955-25.949 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และพืชที่ปลูกโดยใช้ดินที่ใส่ปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชน มีการสะสมแคดเมียมในพืชประเภทบริโภคใบ คือ ผักบุ้ง ผักคะน้า ผักกาดหอม ผักกาดเขียว และต้นหอม ซึ่งสะสมในส่วนรากอยู่ในช่วง 0.079-1.350 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ส่วนใบ 0.005-0.668 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และส่วนลำต้น 0.002-2.384 มิลลิกรัม/กิโลกรัม พืชประเภทบริโภคส่วนหัวหรือราก คือ ผักกาดหอม และหัวหอม สะสมในส่วนหัวอยู่ในช่วง 0.008-0.263 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และส่วนใบ 0.302-0.480 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และพืชประเภทบริโภคผล คือ แตงกวา มะเขือเทศ และข้าวโพดฝักอ่อน สะสมในส่วนรากอยู่ในช่วง 0.007-0.877 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ส่วนใบ 0.004-0.764 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ส่วนลำต้น 0.035-0.705 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และผล 0.007-0.275 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (สุภาพร พงศ์ธรพฤกษ์, 2545) แคดเมียมสามารถเข้าสู่ร่างกายได้จากการสูดดมหรือ การหายใจเอาควันที่มีแคดเมียมเข้าไป ทำให้มีอาการคล้ายเป็นไข้หวัด หรือเรียกว่า ไข้ไอโลหะ (metal fume fever) ทำให้ปวดศีรษะ อ่อนเพลีย ไข้หนาวสั่น เจ็บหน้าอก อาจมีคลื่นไส้ อาเจียน ปวดท้อง อาจเสียชีวิตจากอาการขาดน้ำและเกลือแร่ หรือไตวายได้ และแคดเมียมที่เข้าไปสะสมอยู่ในร่างกายจนถึงระดับอันตรายสารแคดเมียมได้ทำลายอวัยวะและระบบต่างๆ ของร่างกายทำให้เกิดโรคพิษแคดเมียมหรือเรียกทั่วไปว่า โรคอิไต-อิไต (itai itai) เป็นโรคที่ส่งผลร้ายกับกระดูกโดยตรง ซึ่งจะทำให้เกิดอาการปวดในกระดูก กระดูกเสื่อมสภาพและเสียรูปไปในที่สุด (แสงโฉม เกิดคล้า และศิรนุช ชิ้นอินมนู, 2547)

2. ตะกั่ว (Pb)

ตะกั่วเป็นธาตุประเภทโลหะหนัก โลหะอ่อน สีเทาเงินหรือแกมน้ำเงิน มีจุดหลอมเหลว 327 องศาเซลเซียส ตะกั่วมีคุณสมบัติที่อ่อนตัวสามารถดัดเป็นรูปร่างต่างๆ จึงถูกใช้ประโยชน์มากมาย ตะกั่วถูกนำมาใช้ในด้านอุตสาหกรรมเพื่อผลิตสิ่งต่างๆ เช่น สีทาบ้าน ขั้วอิเล็กโทรดใน

แบตเตอรี่รถยนต์ การซ่อมรถยนต์ สีฝุ่น สีน้ำมัน การทำเครื่องปั้นดินเผา หมึกพิมพ์ การผลิตท่อน้ำ ยาฆ่าแมลง ปุ๋ยบำรุงดิน และปุ๋ยเคมีต่างๆ ที่ใช้ทางการเกษตร เป็นต้น (อดิเรก แก้วจำรัส, 2528) จึงทำให้ตะกั่วสามารถแพร่กระจายอยู่ในดิน น้ำ อากาศ รวมไปถึงพืชที่มนุษย์ได้รับการบริโภค ตะกั่วไม่มีความจำเป็นต่อร่างกาย เมื่อเข้าสู่ร่างกายจะก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพ จากการศึกษา การสะสมตะกั่วในต้นทานตะวันและข้าวฟ่างที่ปนเปื้อนในดินบ้านคลิตี้ จังหวัดกาญจนบุรี โดย ทานตะวันและข้าวฟ่างมีการสะสมตะกั่วสูงสุดที่ 105 วัน ซึ่งทานตะวันมีการสะสมสูงสุด 142.52±18.55 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และข้าวฟ่างมีการสะสมสูงสุด 80.73±12.52 มิลลิกรัม/กิโลกรัม มีการสะสมในรากสูงสุด รองลงมาคือ ลำต้น ใบ เปลือก และเมล็ด (สายชล สุขญาณกิจ, 2555) การสะสมตะกั่วในพืชผัก ที่ปลูกในดินที่มีความเข้มข้น 10, 100, 500 และ 1000 มิลลิกรัม/กิโลกรัม พบว่าผักกาดหอมมีการสะสมตะกั่วมากที่สุด ซึ่งสะสมส่วนราก 41.541-139.307 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และส่วนใบ 5.518-22.870 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และพืชที่ปลูกโดยใช้ดินที่ใส่ปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชน มีการสะสมตะกั่วในพืชประเภทบริโภคใบ คือ ผักบุ้ง ผักคะน้า ผักกาดหอม ผักกาดเขียว และต้นหอม ซึ่งสะสมในส่วนรากอยู่ในช่วง 0.665-2.585 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ส่วนใบ 0.120-2.582 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และส่วนลำต้น 0.742-2.756 มิลลิกรัม/กิโลกรัม พืชประเภทบริโภคส่วนหัวหรือราก คือ ผักกาดหอม และหัวหอม สะสมในส่วนหัวอยู่ในช่วง 0.178-1.22 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และพืชประเภทบริโภคผล คือ แตงกวา มะเขือเทศ และข้าวโพดฝักอ่อน สะสมในส่วนราก 0.849-1.850 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ส่วนใบ 0.470-3.866 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และส่วนลำต้น 0.140-0.826 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (สุภาพร พงศ์ธรพฤกษ์, 2545) และการสะสมตะกั่วในพืชผักและไม้ดอก ที่ปลูกด้วยดินที่ใส่ปุ๋ยหมักจากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ซึ่งดาวเรืองที่ปลูกในดินมีการสะสมตะกั่ว 0.07-0.13 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และมะเขือเทศ 0.13-0.19 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (ศิริพร แสงจันทร์, 2549) โดยพบว่าสาเหตุของการปนเปื้อนตะกั่วในสิ่งแวดล้อมเกิดจากการกระทำของมนุษย์เป็นส่วนใหญ่ มีการทำจัดและมีการนำตะกั่วมาหลอมเพื่อกลับมาใช้ใหม่อย่างไม่ถูกวิธี ซึ่งการได้รับสารตะกั่วในปริมาณมากในระยะเวลาสั้น ทำให้มีการคลื่นไส้ อาเจียน ปวดท้องรุนแรง ปวดศีรษะ และอ่อนเพลีย (กรมควบคุมมลพิษ, 2555)

**ตาราง 1 สรุปปริมาณการสะสมแคดเมียมและตะกั่วในพืชชนิดต่าง ๆ**

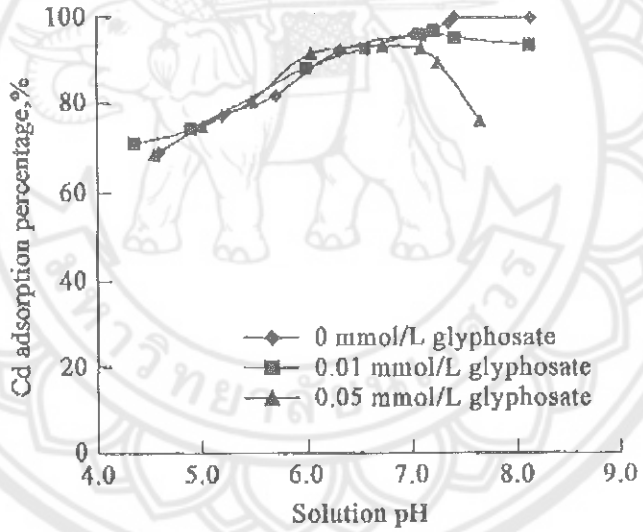
| ธาตุโลหะหนัก | ชนิดพืช | ปริมาณการสะสมในส่วนต่างๆ (มิลลิกรัม/กิโลกรัม) | ผู้ที่ทำการศึกษา |
|---|---|---|---|
| แคดเมียม (Cd) | 1. ข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 (ความเข้มข้น 2 mg/kg) | 1. ส่วนราก 1.940 และส่วนเหนือดิน 0.005 ไม่พบในส่วนเมล็ดและเปลือก | 1. เพื่อนจิต บุญจันทร์, 2548 |
| | 2. ข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 (ความเข้มข้น 21 mg/kg) | 2. ส่วนราก 7.410 ส่วนเหนือดิน 2.010 และส่วนเมล็ด 0.680 ไม่พบในส่วนเปลือก | 1. เพื่อนจิต บุญจันทร์, 2548 |
| | 3. ผักกาดหอม | 3. ส่วนราก 5.717-66.797 และส่วนใบ 4.955-25.949 | 1. สุภาพร พงศ์ธรพฤกษ์, 2545 |
| | ดินที่ใส่ปุ๋ยหมัก 4. ผักบุ้ง ผักคะน้า ผักกาดหอม ผักกาดเขียว และต้นหอม | 4. ส่วนราก 0.079-1.350 ส่วนใบ 0.005-0.668 และส่วนลำต้น 0.002-2.384 | 1. สุภาพร พงศ์ธรพฤกษ์, 2545 |
| | 5. ผักกาดหอม และหัวหอม | 5. ส่วนหัว 0.008-0.263 และส่วนใบ 0.302-0.480 | 1. สุภาพร พงศ์ธรพฤกษ์, 2545 |
| | 6. แตงกวา มะเขือเทศ และข้าวโพดฝักอ่อน | 6. ส่วนราก 0.007-0.877 ส่วนใบ 0.004-0.764 ส่วนลำต้น 0.035-0.705 และผล 0.007-0.275 | 1. สุภาพร พงศ์ธรพฤกษ์, 2545 |

ตาราง 1 (ต่อ)

| ธาตุโลหะหนัก | ชนิดพืช | ปริมาณการสะสมในส่วนต่างๆ (มิลลิกรัม/กิโลกรัม) | ผู้ที่ทำการศึกษา |
|---|---|---|---|
| ตะกั่ว (Pb) | 1. ทานตะวัน | 1. 142.52±18.55 | 1. สายชล สุขญาณกิจ, 2555 |
| | 2. ข้าวฟ่าง | 2. 80.73±12.52 (รากสูงสุด รองลงมาคือ ลำต้น ใบ เปลือก และเมล็ด) | 1. สายชล สุขญาณกิจ, 2555 |
| | 3. ผักกาดหอม | 3. ส่วนราก 41.541-139.307 และส่วนใบ 5.518-22.870 | 1. สุภาพร พงศ์ธรพฤกษ์, 2545 |
| | ดินที่ใส่ปุ๋ยหมัก 4. ผักบุ้ง ผักคะน้า ผักกาดหอม ผักกาดเขียว และต้นหอม | 4. ส่วนราก 0.665-2.585 ส่วนใบ 0.120-2.582 และส่วนลำต้น 0.742-2.756 | 1. สุภาพร พงศ์ธรพฤกษ์, 2545 |
| | 5. ผักกาดหอม และหัวหอม | 5. ส่วนหัว 0.178-1.22 | 1. สุภาพร พงศ์ธรพฤกษ์, 2545 |
| | 6. แตงกวา มะเขือเทศ และข้าวโพดฝักอ่อน | 6. ส่วนราก 0.849-1.850 ส่วนใบ 0.470-3.866 และส่วนลำต้น 0.140-0.826 | 1. สุภาพร พงศ์ธรพฤกษ์, 2545 |
| | ดินที่ใส่ปุ๋ยหมัก 7. ดาวเรือง | 7. ทั้งต้น 0.07-0.13 | 1. ศิริพร แสงจันทร์, 2549 |
| | 8. มะเขือเทศ | 8. ทั้งต้น 0.13-0.19 | 1. ศิริพร แสงจันทร์, 2549 |

**ปฏิสัมพันธ์ระหว่างธาตุโลหะหนักกับไกลโฟเสทในดิน**

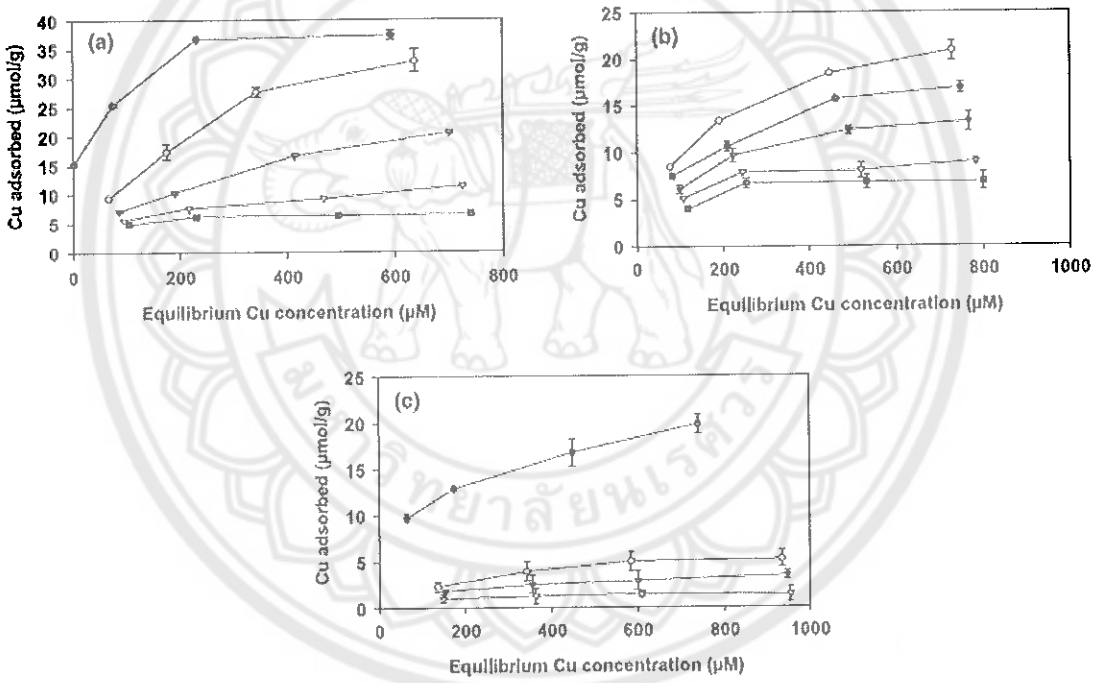
เมื่อมีการปนเปื้อนธาตุโลหะหนักร่วมกับไกลโฟเสทในดินจะเกิดปฏิสัมพันธ์ระหว่างธาตุโลหะหนักกับไกลโฟเสท จากการศึกษาการมีไกลโฟเสทและไม่มีในดิน พบว่าไกลโฟเสทมีผลทำให้ปริมาณการดูดซับแคดเมียมลดลงในดินเมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างระดับ 6.7 แต่ไกลโฟเสทไม่มีผลต่อการดูดซับแคดเมียมเมื่อค่าค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่า 6.7 แสดงดังภาพ 2 แคดเมียมสามารถเกิดปฏิกิริยากับไกลโฟเสทโดยการเกิดสารประกอบเชิงซ้อน การดูดซับปริมาณสังกะสีในเกอไทต์ที่มีไกลโฟเสท โดยเมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างมีค่าต่ำกว่า 5 การดูดซับจะเพิ่มขึ้น ขณะที่ค่าความเป็นกรด-ด่างมีค่าระดับ 5 การดูดซับปริมาณสังกะสีในดินลดลง เนื่องจากการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของไกลโฟเสทและสังกะสีมีประจุลบสูงทำให้ลดปฏิสัมพันธ์กับดิน และที่ค่าค่าความเป็นกรด-ด่างสูงสังกะสีสามารถตกตะกอนได้ แต่ไกลโฟเสทสามารถยับยั้งการตกตะกอนโดยการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับสังกะสี เช่น $Zn(OH)_2$ เป็นต้น (Yu-Jun Wang, et al., 2008)




**ภาพ 2 การดูดซับแคดเมียมขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรด-ด่างในดินที่ไม่มีและมีไกลโฟเสท**

**ที่มา:** Wang Yu-jun, et al., 2004

การดูดซับทองแดงในดินสามชนิดแสดงดังภาพ 3 โดยดิน LM มีการดูดซับทองแดงมากกว่าดินสองชนิด เนื่องจากมีปริมาณเหล็ก (Fe) สูงที่สุดถึง 35.68 % และมีอนุภาคดินเหนียวและทรายแป้งที่สูง รองลงมาเป็นดิน S48 แม้ว่าดิน ST จะมีปริมาณอินทรียวัตถุ 5.34 % ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก 20.07 $cmol_c/kg$ และมีปริมาณอนุภาคขนาดทราย 61 % ทำให้มีการดูดซับทองแดงต่ำที่สุดในดินที่ไม่มีไกลโฟเสท ในขณะดินที่มีไกลโฟเสทการดูดซับทองแดงจะลดลงเมื่อความเข้มข้นของไกลโฟเสทเพิ่มขึ้น โดยดิน LM มีการดูดซับทองแดงลดลงอย่างมากถึง 90 % ดิน ST มีการดูดซับทองแดงลดลงน้อยกว่าดิน LM และดิน S48 มีการดูดซับทองแดงลดลงมากที่สุด ซึ่งค่าความเป็นกรด-ด่างเป็นปัจจัยหนึ่งในการดูดซับทองแดงในดิน โดยค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่า 5 ทำให้มีการดูดซับทองแดงในดินเพิ่มขึ้น (Morillo, et al., 2002)




**ภาพ 3 การดูดซับทองแดงในดิน** (a) LM (OM 1.41 %, CEC 12.36 cmol $kg^{-1}$, sand 17.0 %, clay 25.0 %, Fe 35.68 %) (b) ST (OM 5.34 %, CEC 20.07 cmol $kg^{-1}$, sand 61.0 %, clay 10.0 %, Fe 6.69 %) และ (c) S48 (OM 1.86 %, CEC 9.82 cmol $kg^{-1}$, sand 34.0 %, clay 18.0 %, Fe 6.42 %) **ที่ไม่มีไกลโฟเสท ( ● ) และมีไกลโฟเสท** 0.5 (○), 1.0 (▼), 1.5 (▽) และ 2 (■) **มิลลิโมลาร์**

**ที่มา:** Morillo, et al., 2002

**รูปของธาตุในดิน** (Fractions)

รูปที่เข้าสู่ระบบชีวภาพได้ง่าย (Bioavailability) คือ ความพร้อมในการนำธาตุอาหารไปใช้ประโยชน์ของสิ่งมีชีวิต เช่น พืช และสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กในดินที่มีการนำไปใช้ประโยชน์ ความเป็นประโยชน์ของธาตุสามารถบ่งชี้ได้จากรูปของธาตุโลหะหนักในดิน การดูดดึงของพืชไปสู่ส่วนต่างๆ และปริมาณในรูปชีวมวลของจุลินทรีย์ ซึ่งถือได้ว่า Bioavailability เป็นปัจจัยสำคัญในการควบคุมความเป็นพิษของธาตุโลหะหนักในดิน

รูปของธาตุโลหะหนักในดินที่เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการดูดดึงธาตุโลหะหนักเข้าสู่พืช รูปของธาตุโลหะหนักในดินมี 6 รูปแบบคือ รูปที่ละลายน้ำได้ (Water soluble form), รูปที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable fraction), รูปที่ตรึงกับคาร์บอเนต (Carbonate Bound fraction), รูปที่ตรึงกับออกไซด์ (Oxide Bound fraction), รูปที่ตรึงกับอินทรียสาร (Organic Bound fraction) และรูปที่เหลือตกค้าง (Residual fraction) โดย Soluble form และ Exchangeable fraction เป็นรูปของธาตุโลหะหนักที่พร้อมจะใช้ประโยชน์ได้ทันที Carbonate Bound fraction, Oxide Bound fraction และ Organic Bound fraction เป็นรูปของธาตุโลหะหนักที่ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทันทีอาจมีการเปลี่ยนรูปเป็นใช้ประโยชน์ได้ขึ้นอยู่กับสภาวะของดิน และ Residual fraction เป็นรูปของธาตุโลหะหนักที่เป็น Immobilized forms เป็นธาตุโลหะหนักที่อยู่ในช่องว่างระหว่างแผ่นของผลึก (crystal lattice) ของแร่ดินเหนียวที่ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ ไม่ละลายด้วยกระบวนการทางกายภาพ (Yobouet, et al., 2010) จากการศึกษาการดูดซับแคดเมียมในดินนาข้าว อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก โดยแคดเมียมดูดซับในดินในรูป Exchangeable fraction เป็นรูปธาตุโลหะหนักที่สามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้ และในรูป Carbonate Bound fraction ซึ่งดินที่มีการปนเปื้อนใหม่แคดเมียมจะยึดอยู่กับคาร์บอเนต พืชสามารถดูดดึงได้ง่าย เมื่อการดูดซับมีระยะเวลาที่นานขึ้นหรือเกิดการปนเปื้อนในระยะเวลานาน แคดเมียมในดินจะยึดอยู่กับส่วนที่ตกค้างในรูปที่พืชไม่สามารถดูดดึงได้ง่าย เช่น Oxide Bound fraction และ Organic Bound fraction (ปภามญชุ์ ชีประเสริฐ, 2554) จากการศึกษารูปของธาตุโลหะหนักมีผลต่อการดูดดึงของกะหล่ำปลี โดยรูปของธาตุโลหะหนักแคดเมียม สังกะสีและตะกั่วที่ถูกดูดดึงเข้าสู่พืชเป็น Exchangeable fraction และ Carbonate Bound fraction ที่ 0.76 1.01 และ 0.98 % ตามลำดับ ธาตุโลหะหนักในรูป Exchangeable fraction มีความสามารถในการเคลื่อนย้ายมากที่สุด และธาตุโลหะหนักในรูป

Carbonate Bound fraction จะไวต่อการเปลี่ยนแปลงทางค่าความเป็นกรด-ด่างดังนั้นจึงง่ายต่อการเคลื่อนย้าย (XIAN, X., 1989)

**การดูดดึงธาตุโลหะหนักของพืช**

การปนเปื้อนของธาตุโลหะหนักในดินเป็นเวลานานทำให้ธาตุโลหะหนักมีการตกค้างและสะสมในสิ่งแวดล้อม โดยเมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างของดินลดลง ความสามารถในการเคลื่อนย้ายและความเป็นประโยชน์ของธาตุโลหะหนักจะเพิ่มขึ้น (Badawy, et al., 2002) เป็นผลทำให้ธาตุโลหะหนักสามารถเคลื่อนย้ายเข้าไปสะสมในส่วนต่างๆของพืชได้ โดยกระบวนการดูดดึงธาตุโลหะหนักของพืชอาจเป็นแบบการดูดดึงแบบใช้พลังงาน (active absorption) หรือการดูดดึงแบบไม่ใช้พลังงาน (passive absorption) ซึ่งเมื่อไอออนถูกดูดดึงผ่านรากและเคลื่อนย้ายสู่ระบบท่อลำเลียงด้วยกระบวนการสังเคราะห์แสง กระบวนการดูดดึงแบบไม่ใช้พลังงาน ดูดดึงด้วยวิธีแลกเปลี่ยนไอออน หรือวิธีการคายน้ำ ซึ่งกระบวนการเกิดในขณะที่พืชดูดน้ำเพื่อทดแทนการคายน้ำ เมื่ออัตราการดูดไอออนเร็วเกินกว่าอัตราการคายน้ำ ทำให้เกิดภาวะ concentration gradient ที่บริเวณรากจึงทำให้ธาตุโลหะหนักในดินสามารถเคลื่อนที่เข้าสู่พืชได้จากดินเข้าสู่รากพืช ซึ่งลำดับธาตุโลหะหนักต่อความสามารถในการดูดดึงสู่พืชจากมากไปน้อยคือ แมงกานีส > สังกะสี > นิกเกิล = แคดเมียม > โครเมียม = ตะกั่ว พืชแต่ละชนิดจะมีการสะสมธาตุโลหะหนักและความทนทานต่อความเป็นพิษที่ต่างกัน (สุภาพร พงศ์ธรพฤกษ์, 2552 และณรงค์ จงปลื้มปิติ, 2548) จากการศึกษาทานตะวันและข้าวฟ่างดูดซับตะกั่วที่ปนเปื้อนในดินบ้านคลิตี้ จังหวัดกาญจนบุรี โดยประสิทธิภาพในการเคลื่อนย้ายตะกั่วเข้าสู่พืช พบว่าทานตะวันและข้าวฟ่างที่อายุ 105 วัน มีประสิทธิภาพในการเคลื่อนย้ายตะกั่วมาสะสมในส่วนต่างๆของพืชสูงสุด ซึ่งทานตะวันสะสมตะกั่วได้สูงสุดที่ 142.52±18.55 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และข้าวฟ่างสะสมตะกั่วสูงสุดที่ 80.73±12.52 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ทานตะวันมีประสิทธิภาพในการเคลื่อนย้ายตะกั่วสูงกว่าข้าวฟ่าง ซึ่งมีการสะสมในส่วนรากสูงสุด รองลงมาคือ ลำต้น ใบ เปลือก และเมล็ด ตามลำดับ โดยปริมาณการสะสมตะกั่วจะเพิ่มสูงขึ้นตามช่วงอายุของพืช จากการสะสมตะกั่วไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตในทานตะวันและข้าวฟ่าง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Panich-pat และ Srinives, 2009 ที่ศึกษาการสะสมตะกั่วในต้นข้าว พบว่าความเข้มข้นตั้งแต่ 0-3,000 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของต้นข้าว (สายชล สุขญาณกิจ และธนวรรณ พาณิชพัฒน์, 2555) จากการศึกษาการดูดซึมแคดเมียมและตะกั่วโดยต้นข้าวในเนื้อดินสามชนิดคือ ดินร่วนปนทราย ดินร่วนเหนียวปนทราย และดินร่วนปนเหนียว พบว่าแคดเมียมมีการสะสมอยู่ในเมล็ด ต้นอ่อน และรากของต้นข้าว 18-28, 17-35 และ

27-54 % ตามลำดับ และตะกั่วสะสมเป็น 16-34, 9-24 และ 28-43 % ตามลำดับ ซึ่งมีการสะสมในรากสูงสุด โดยเนื้อดินที่ทำให้มีปริมาณการสะสมแคดเมียมและตะกั่วในต้นข้าว ตามลำดับดังนี้ ดินร่วนปนทราย > ดินร่วนเหนียวปนทราย > ดินร่วนปนเหนียว (Kibria, et al., 2006) ถั่วเหลืองมีการสะสมของแคดเมียมในส่วนของใบ 2 % และส่วนของเมล็ด 8 % (Dominic A. Cataldo, et al., 1981) ต้อยติ่งทั้งต้นมีประสิทธิภาพในการสะสมโลหะทองแดง 1,522 สังกะสี 4,111 และนิกเกิล 7,332 มิลลิกรัม/กิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง ซึ่งมีการสะสมมากในส่วนเหนือพื้นดิน ส่วนราก และทั้งต้น (นัยนันทน์ อริยกานนท์, 2550) ปฏิสัมพันธ์ของธาตุโลหะหนักต่อการดูดดึงสู่พืช ซึ่งปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดดึงธาตุโลหะหนักของพืช คือ ลักษณะสมบัติดินซึ่งอยู่ในสภาพที่สามารถละลายได้ มีปัจจัยที่ควบคุมสภาพการละลายได้ของธาตุโลหะหนักดังนี้ เนื้อดิน ความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน อุณหภูมิดิน ระดับความชื้นดิน และกิจกรรมของจุลินทรีย์ดิน เมื่อธาตุโลหะหนักมีความสามารถในการละลายมากขึ้นทำให้เกิดพิษต่อพืชและสิ่งแวดล้อม โดยนิกเกิล แคดเมียม และสังกะสีมีความสามารถในการเคลื่อนย้ายได้ง่าย ทองแดงมีความสามารถในการเคลื่อนย้ายปานกลาง และตะกั่ว ปรอท และโครเมียมมีความสามารถในการเคลื่อนย้ายได้น้อย ซึ่งการเพิ่มปริมาณอินทรียวัตถุลงไปในดินจะช่วยลดการเคลื่อนย้ายและความเป็นประโยชน์ของธาตุโลหะหนักในดิน อินทรียวัตถุสามารถจับยึดธาตุโลหะหนักไว้ได้ พืชจึงดูดดึงธาตุโลหะหนักได้น้อย ค่าความเป็นกรด-ด่างของดินที่เพิ่มขึ้นทำให้การดูดดึงธาตุโลหะหนักของพืชลดลง เพราะไอออนของธาตุโลหะหนักในรูปที่เปลี่ยนประจุได้และละลายน้ำได้จะมีปริมาณลดลงเมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้น (สุภาพร พงศ์ธรพฤกษ์, 2552 และศิริพร แสงจันทร์, 2549) และพืชที่ปลูกในดินทรายจะมีปริมาณการสะสมของธาตุโลหะหนักที่มากกว่าพืชที่ปลูกดินเหนียว ซึ่งลำดับของเนื้อดินที่ทำให้มีปริมาณการสะสมแคดเมียมและตะกั่วในต้นข้าว คือ ดินร่วนปนทราย > ดินร่วนเหนียวปนทราย > ดินร่วนปนเหนียว (Kibria, et al., 2006)

สายพันธุ์เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อปริมาณการดูดดึงของพืช ความสามารถการดูดดึงธาตุโลหะหนักของพืชมีความแตกต่างทางชนิดพืช Kuboi, et al., 1986 รายงานว่ามีการจัดกลุ่มระดับความสามารถในการดูดดึงแคดเมียมตามสายพันธุ์พืช กลุ่มพืชที่มีการสะสมที่ระดับต่ำ คือ พืชตระกูลถั่ว (Leguminosae) กลุ่มพืชที่มีการสะสมที่ระดับปานกลาง คือ พืชตระกูลหญ้า (Gramineae) พืชตระกูลพันธุ์ไม้ (Liliaceae) พืชตระกูลแตง (Cucurbitaceae) และ พืชตระกูลผัก (Umbelliferae) และกลุ่มพืชที่มีการสะสมที่ระดับสูง คือ พืชตระกูลกะหล่ำ (Cruciferae) พืชตระกูลดอก (Compositae) และพืชตระกูลพริก มะเขือ (Solanaceae) ซึ่งผักกาดหอมที่อยู่ในกลุ่มสายพันธุ์ Compositae มีการสะสมตะกั่ว สังกะสีและทองแดงที่ระดับสูง และถั่วลันเตาที่อยู่ใน

กลุ่มสายพันธุ์ Leguminosae มีการสะสมตะกั่ว สังกะสีและทองแดงที่ระดับต่ำ แม้ว่าพืชชนิดเดียวกันแต่แตกต่างทางสายพันธุ์ความสามารถในการดูดดึงธาตุโลหะหนักก็แตกต่างกัน Alexander, et al., (2006) รายงานว่าแครอทที่ปลูกเป็นสายพันธุ์ของ nairob มีการสะสมของแคดเมียม ทองแดง และสังกะสีที่ระดับต่ำ แต่สายพันธุ์ของ amsterdam มีการสะสมที่ระดับสูง เมื่อพืชมีความสามารถในการสะสมธาตุโลหะหนัก พืชยังมีกลไกการป้องกันธาตุโลหะหนักเข้าสู่ระดับรากด้วย ซึ่ง Magda Pal, et al., (2006) รายงานว่ากลไกที่มีความสามารถในการป้องกันแคดเมียมเข้าสู่ cytosol ประกอบด้วยการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด-ด่างบริเวณราก ธาตุโลหะหนักที่ยึดอยู่กับอินทรีย์ และการพัฒนาของเหมือกหนาที่ขัดขวางบริเวณปลายราก

การเป็นปฏิกิริยาต่อกัน (antagonism) และปฏิกิริยาเสริมกัน (synergism) ของธาตุโลหะหนักและธาตุอื่นๆ มีผลต่อการการดูดดึงธาตุโลหะหนักของพืช การสะสมแคดเมียมในส่วนรากของข้าว $Fe^{3+}$ $Mn^{2+}$ และ $Cu^{2+}$ จะเพิ่มการเคลื่อนที่ของแคดเมียม ในส่วนของใบแคดเมียมมีการเคลื่อนที่ได้ดีเมื่อมี $Fe^{3+}$ $Zn^{2+}$ และ $Cu^{2+}$ เป็นตัวกระตุ้น (เพื่อนจิต บุญจันทร์, 2548) การสะสมปริมาณแคดเมียมที่เพิ่มขึ้นในใบและรากของข้าวโพดทำให้ปริมาณสังกะสีจะลดลง และเมื่อปริมาณเหล็กในใบและรากสูงขึ้น ทำให้ปริมาณแคดเมียมเพิ่มขึ้น (ศิริพร แสงจันทร์, 2549) และปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมลดลง เนื่องจากแคดเมียมเพิ่มขึ้นในแตงกวา มะเขือเทศ ข้าวโพดและผักกาดหอม (Aiman Hasan, et al., 2009)

**พืชที่ทำการศึกษา**

ผักกาดเขียวปลี (Leaf mustard) เป็นพืชในวงศ์ Brassicaceae, Cruciferae มีชื่อวิทยาศาสตร์ *Brassica juncea* (L.) สันนิษฐานว่าประเทศจีนเป็นแหล่งของพันธุ์ปลูก ซึ่งพบว่ามีความหากหลายทางพันธุกรรมของผักกาดเขียวปลี จึงมีการนำมาปลูกกันอย่างแพร่หลายโดยจะนิยมปลูกผักกาดเขียวปลีชนิดกินใบ ผักกาดเขียวปลีเป็นพืชตระกูลเดียวกับกะหล่ำดอก กะหล่ำปลี และคะน้า มีอายุการเก็บเกี่ยว 55-75 วัน เป็นพืชอายุปีเดียว ไม่มีการแตกกิ่งสาขา ระบบรากเป็นแบบรากแก้ว โคนก้านยึดติดกับรากและพื้นดิน ลำต้นค่อนข้างเรียบ รูปร่างและขนาดของใบแตกต่างกันไป ใบมีสีเขียวอ่อนจนถึงสีเขียวเข้ม ปลีสีเขียวอ่อนมีใบอ่อนหุ้มอยู่โดยรอบ ลำต้นตั้งตรงสูง 30-60 เซนติเมตร สามารถปลูกได้ตลอดปี โดยในประเทศไทยนิยมปลูกกันมากในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เช่น จังหวัดเชียงใหม่ เชียงราย ตาก น่าน และนครราชสีมา เป็นต้น ส่วนใหญ่จะนิยมนำผักกาดเขียวปลีมาดองเพื่อประกอบเป็นอาหาร และอุตสาหกรรมผักกาดดองเป็นสินค้าส่งออกสู่ต่างประเทศ (อรสา ดิสถาพร, 2540 และบัญชาการ วินัยพานิช, 2548)

ซึ่งผักกาดเขียวปลีสามารถสะสมทองแดงในส่วนเหนือพื้นดินมากที่สุดที่ระยะการเก็บเกี่ยวที่ 40 วัน มีค่าเท่ากับ 1,700 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และผักกาดเขียวปลีในส่วนรากมีการสะสมทองแดงมากที่สุดที่ระยะเก็บเกี่ยว 50 วัน มีค่าเท่ากับ 1,120 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และตะกั่วมีการสะสมในผักกาดเขียวปลีที่ระดับความเข้มข้น 0.008- 0.13 มิลลิกรัม/กิโลกรัม โดยโครเมียม แคดเมียม และตะกั่วมีการยับยั้งการเจริญเติบโตของผักกาดเขียวปลี (บัญชาการ วินัยพานิช, 2548 และ Chang, et al., 2014)

# บทที่ 3

# วิธีดำเนินงานวิจัย

การศึกษาอิทธิพลของไกลโฟเสทต่อการดูดดึงธาตุโลหะหนักในพืช เป็นการติดตามปริมาณธาตุโลหะหนักในพืชที่เปลี่ยนแปลงไปตามระยะเวลาต่างๆ และการเคลื่อนย้ายของธาตุโลหะหนักในดินสู่พืช เปรียบเทียบระหว่างตัวอย่างดินที่ไม่เติมไกลโฟเสท และเติมไกลโฟเสท ทำการศึกษากับตัวอย่างดิน และธาตุโลหะหนัก ดังนี้ แคดเมียม และตะกั่ว

**การเตรียมตัวอย่างดินที่ใช้ทำการทดลอง**

การเก็บตัวอย่างดินในการทำการศึกษากำหนดโดยเลือกพื้นที่จุดเก็บตัวอย่างดินที่เป็นดินเนื้อหยาบ ซึ่งเป็นดินในหน่วยแผนที่ชุดดินโคราช (kt) มีลักษณะเป็นดินร่วนปนทรายหรือดินร่วนสีน้ำตาล มีเนื้อหยาบ จากพื้นที่บ้านหนองกวางลี้ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก เป็นพื้นที่ป่าผสมผสาน โดยทำการเก็บตัวอย่างดินที่ระดับความลึกไม่เกิน 15 เซนติเมตร ลักษณะพื้นที่เก็บตัวอย่างดิน แสดงดังภาพ 4 และภาพ 5

**ภาพ 4 ลักษณะพื้นที่เก็บตัวอย่างดิน**

ภาพ 5 การเก็บตัวอย่างดิน

**การทดลองอิทธิพลของไกลโฟเสทต่อการดูดดึงแคดเมียมและตะกั่วสู่พืช**

การศึกษาเพื่อหาอิทธิพลของไกลโฟเสทที่มีผลต่อการเคลื่อนย้ายแคดเมียมและตะกั่วตามระยะเวลาการเจริญเติบโตของพืช 3 ระยะ คือ 1, 14 และ 40 วัน เป็นการทดลองกับดินในกระถางที่ทำการปลูกผักกาดเขียวปลี และทำการวิเคราะห์ธาตุโลหะหนักในดิน และพืชตามระยะเวลาต่างๆ โดยทำการทดลองในเรือนทดลอง โดยระยะเวลาการเจริญเติบโตของพืชกำหนดจากผลการทดลองเบื้องต้นซึ่งช่วงระยะเวลาเพียง 40 วัน ผักกาดเขียวปลีสามารถดูดดึงธาตุโลหะหนักได้ในปริมาณมากและจะดูดดึงได้ลดลงที่ระยะเวลาเพิ่มขึ้น จึงทำการเลือกระยะเวลาการเจริญเติบโตของพืชถึงเพียง 40 วัน (เบญจมาศ อุ่นศรี, 2558)

1. **แผนการทดลอง**

วางแผนการทดลอง โดยจัดสิ่งทดลองให้กับดินในกระถางประกอบด้วย ความเข้มข้นของธาตุโลหะหนัก และความเข้มข้นของไกลโฟเสท โดยแบ่งการทดลองเป็น 3 การทดลอง สำหรับเก็บตัวอย่างตามระยะเวลาการเจริญเติบโตของผักกาดเขียวปลี สิ่งทดลองแต่ละชนิดมีระดับดังนี้

ความเข้มข้นของธาตุโลหะหนัก

1. M0: ดินที่ไม่มีการเติมธาตุโลหะหนัก

2. M1: ธาตุโลหะหนักที่ระดับความเข้มข้นดังนี้ แคดเมียม 56 และตะกั่ว 104 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ

ความเข้มข้นของไกลโฟเสท

1. G0: ความเข้มข้นของไกลโฟเสทที่ 0 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

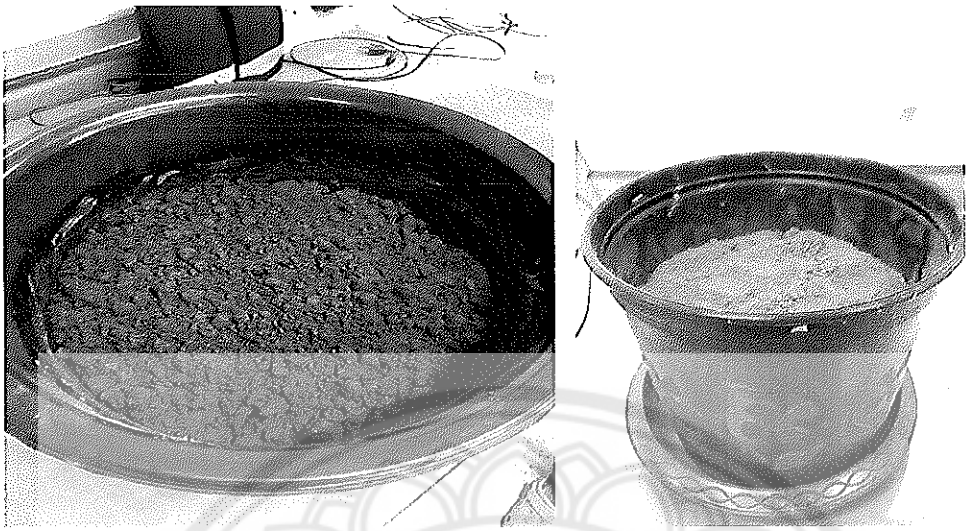
2. G1: ความเข้มข้นของไกลโฟเสทที่ 98 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

การทดลองในเรือนทดลองวางแผนแบบการทดลองที่มีแผนแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) มีจำนวนการทดลอง 2 ซ้ำ โดยมีแผนการทดลอง แสดงดังภาพ 6

ภาพ 6 การวางแผนแบบการทดลองในเรือนทดลอง

2. การเตรียมตัวอย่างดินเพื่อการทดลอง

ทำการเตรียมตัวอย่างดินโดยนำดินที่เก็บจากพื้นที่ป่าผสมผสานนำไปผึ่งให้แห้ง (air dry) และร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร ทำการเตรียมตัวอย่างดินให้มีการปนเปื้อนของโลหะธาตุเดี่ยว 2 ชนิด คือ แคดเมียม และตะกั่ว ซึ่งตัวอย่างดินมี 2 ระดับการปนเปื้อน คือ ดินที่ไม่มีการเติมโลหะหนักและดินที่มีการเติมโลหะหนัก โดยนำสารละลายตามความเข้มข้นผสมคลุกเคล้ากับตัวอย่างดินให้เป็นเนื้อเดียวกันแล้วผึ่งทิ้งไว้ในที่ร่มจนดินแห้ง จากนั้นนำดินมาชั่ง 300 กรัม เพื่อนำไปใส่กระถางเตรียมปลูกตัวอย่างพืช แสดงดังภาพ 7

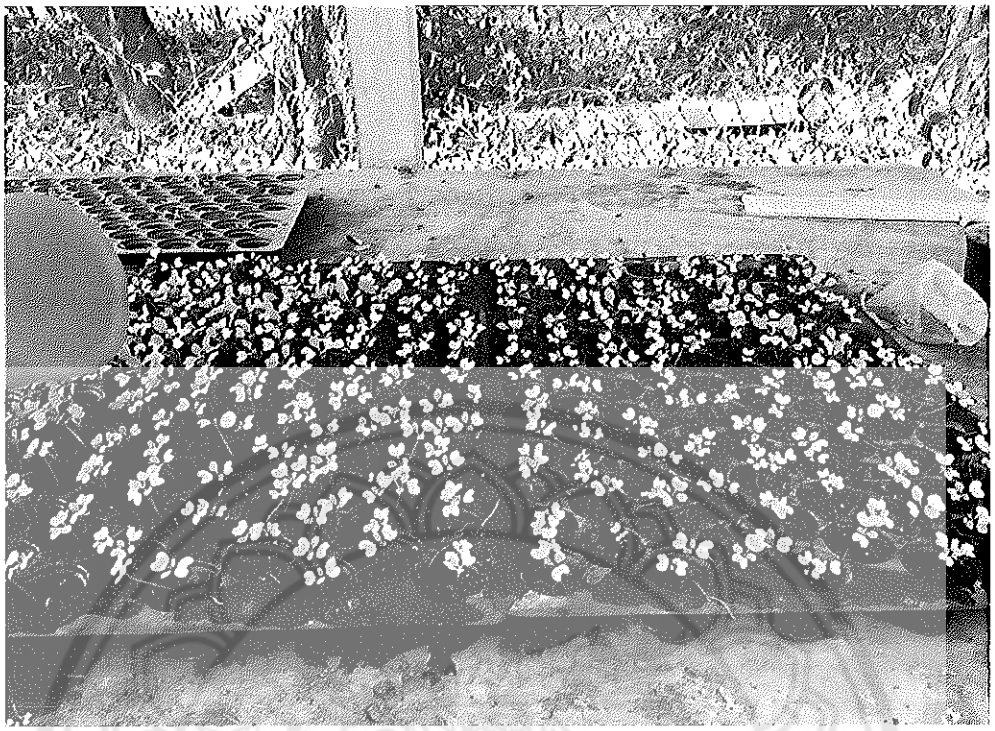


ภาพ 7 การเตรียมดิน

3. การปลูกพืช

การเพาะปลูกพืชทำการเพาะปลูกกล้าผักกาดเขียวปลีโดยการนำเมล็ดมาเพาะในกระบะเพาะ โดยหยอดเมล็ดหลุมละ 4-5 เมล็ด เมื่อต้นกล้างอกได้ประมาณ 20 วัน ก็ทำการย้ายกล้าลงกระถาง โดยเลือกต้นกล้าที่มีขนาดใกล้เคียงกันให้เหลือ 2-3 ต้นต่อกระถาง มาปลูกลงในกระถางที่เตรียมดินไว้ แสดงดังภาพ 8 และภาพ 9

ภาพ 8 การเพาะปลูกกล้าผักกาดเขียวปลีในกระบะเพาะ



ภาพ 9 ต้นกล้าผักกาดเขียวปลีงอกอายุ 20 วัน

4. การเติมไกลโฟเสท

เมื่อต้นกล้างอกได้ระยะเวลา 20 วัน ทำการเติมสารไกลโฟเสทในรูปสารละลายที่เตรียมจาก (N-(Phosphonomethy)glycine 96% ในรูปผงสีขาว นำมาละลายด้วยน้ำกลั่นให้อยู่ในรูปสารละลายแล้วเติมลงในดิน และเติมน้ำกรองในกระถางดินที่ไม่มีการเติมไกลโฟเสท โดยใช้วิธีการหยดให้ทั่วลงบนพื้นผิวหน้าดิน

จากนั้นทำการรดน้ำให้ต้นผักกาดเขียวปลีกระถางละ 20 มิลลิลิตร ทุกวันจนครบกำหนดการเก็บตัวอย่างดินและพืช โดยรักษาระดับความชื้นดินให้มีค่า 86 % ของความสามารถในการอุ้มน้ำของดินที่หาโดยวิธีของ Harding and Ross, 1964

**5. การเก็บตัวอย่าง**

ทำการเก็บตัวอย่างดินและพืชตามระยะเวลา คือ 1, 14 และ 40 วัน โดยแยกดินและรากพืชออกจากดินให้มากที่สุด โดยทำการสะบัดและเขี่ยดินที่ติดรากพืชออกจนหมดเพื่อนำตัวอย่างดินและพืชในส่วนรากและลำต้นไปทำการวิเคราะห์ ทำการวัดการเจริญเติบโตของพืชจากปริมาณน้ำหนักแห้งหลังทำการอบ 48 ชั่วโมง

ภาพ 10 ต้นผักกาดเขียวปลีอายุ 40 วัน

6. การวิเคราะห์

6.1 การวิเคราะห์สมบัติของตัวอย่างดิน

นำตัวอย่างดินที่อบแล้วนำไปร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร แล้วนำไปวิเคราะห์สมบัติของดินตามรายละเอียดและการวิเคราะห์ แสดงดังตาราง 2

ตาราง 2 วิธีการวิเคราะห์สมบัติดิน

| สมบัติที่วิเคราะห์ | วิธีที่วิเคราะห์ |
|---|---|
| ความเป็นกรด-ด่างของดิน | ดิน : น้ำ เท่ากับ 1:1 |
| ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน | Walkley Black modified acid-dichromate digestion, $FeSO_4$ titration method |
| ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดิน | Ammonium saturation method |
| เนื้อดิน | Hydrometer method |
| ปริมาณแอมโมเนียม และไนเตรทในดิน | Steam distillation method |
| ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดิน | $HClO_4$ digestion&vanadomolibdate method |
| ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน | Bray II method |

**ที่มา**: กรมวิชาการเกษตร, 2544

### 6.2 การวิเคราะห์ธาตุโลหะหนักทั้งหมดในดิน

การวิเคราะห์หาปริมาณธาตุโลหะหนักได้แก่ แคดเมียม และตะกั่วในดิน ทำได้โดยการย่อยดินด้วยกรดเปอร์คลอริกและกรดไนตริกในอัตราส่วน 1:2 $HClO_4$/ $HNO_3$ (1:2) แล้วชั่งตัวอย่างดิน 0.5 กรัม เติม $HClO_4$/$HNO_3$ (1:2) 5 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที แล้วนำไปย่อยที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที เมื่อควันสีน้ำตาลหมดไปเพิ่มอุณหภูมิเป็น 128 องศาเซลเซียส ย่อยต่อจนสารละลายตัวอย่างเกือบแห้งประมาณ 3-4 ชั่วโมง ถ้าตัวอย่างดินมีอินทรียวัตถุเหลืออยู่จะมีสีดำให้เติม $HClO_4$/$HNO_3$ จำนวน 5 มิลลิลิตร แล้วย่อยตัวอย่างดินต่อไปจนเปลี่ยนสีเป็นสีเทาซีด ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น แล้วกรองใส่ลงใน volumetric flask ขนาด 25 มิลลิลิตร โดยใช้กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42 แล้วนำสารละลายที่ได้ไปวัดหาความเข้มข้นของธาตุโลหะหนักด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) โดยใช้ความยาวคลื่นตามที่วิธีการวิเคราะห์แต่ละธาตุกำหนด (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553)

**6.3 การวิเคราะห์รูปของธาตุโลหะหนักในดิน**

การศึกษารูปของธาตุโลหะหนักในดิน ได้แก่ แคดเมียม และตะกั่ว ด้วยวิธีการสกัดลำดับขั้น โดยชั่งตัวอย่างดิน 2 กรัม ใส่ใน centrifuge tube แล้วนำมาสกัดสาร ดังนี้

1. Water soluble form (F1): สกัดด้วย deionized water 20 มิลลิลิตร เขย่าที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส 1 ชั่วโมง แล้วนำไป centrifuge 10000 rpm 30 นาที

2. Exchangeable Fraction (F2): นำ residue จาก (F1) มาสกัดด้วย 1 M $NH_4OAc$ 20 มิลลิลิตร ที่ pH 7 เขย่าที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง แล้วนำไป centrifuge 10000 rpm 30 นาที

3. Carbonate Bound Fraction (F3): นำ residue จาก (F2) มาสกัดด้วย 1 M $NH_4OAc$ 20 มิลลิลิตร ที่ pH 5 เขย่าที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง แล้วนำไป centrifuge 10000 rpm 30 นาที

4. Oxide Bound Fraction (F4): นำ residue จาก (F3) มาสกัดด้วย 0.04 M $NH_2OH \cdot HCl$ in 25% (v/v) HOAc 20 มิลลิลิตร ให้ความร้อนที่ 85 องศาเซลเซียส ด้วย water bath 2 ชั่วโมง เขย่าที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง แล้วนำไป centrifuge 10000 rpm 30 นาที

5. Organic Bound Fraction (F5): นำ residue จาก (F4) มาสกัดด้วย 0.02 mol/l $HNO_3$ 3 มิลลิลิตร และ 30% $H_2O_2$ ที่ pH 2 (ปรับ pH ด้วย $HNO_3$) 5 มิลลิลิตร ให้ความร้อนที่ 85 องศาเซลเซียส ด้วย water bath ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นแล้วเติม 5 mL of 3.2 M $NH_4OAc$ in 20% $HNO_3$ และ diluted ด้วยน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร เขย่าที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส 1 ชั่วโมง แล้วนำไป centrifuge 10000 rpm 30 นาที

6. Residual Fraction (F6): ชั่ง residue จาก (F5) 1 กรัม มาอบให้แห้ง แล้วนำมาสกัดด้วย 7 M $HNO_3$ 10 มิลลิลิตร ให้ความร้อนที่ 85 องศาเซลเซียส ด้วย hot plate 6 ชั่วโมง หลังจากน้ำระเหย เติม 2 M $HNO_3$ 1 มิลลิลิตร นำส่วนที่ละลายแล้วมา diluted ด้วยน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร

ดินที่เหลือจากทุกๆเฟส นำไปล้างด้วยน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร ก่อนนำไปสกัดในแต่ละขั้นตอน และขั้นตอนสุดท้ายนำสารละลายใสที่กรองแต่ละ Fraction มาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) (Q. Lin, et al., 2003)

**6.4 การวิเคราะห์แคดเมียมและตะกั่วในพืช**

ทำการเตรียมตัวอย่างพืช โดยนำพืชที่เก็บจากกระถางที่ปลูกไว้นำไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง ทำการแยกส่วนราก และส่วนลำต้นชั่งน้ำหนักแห้งและ

บันทึกผล นำตัวอย่างพืชไปบดด้วยครกกระเบื้องเคลือบให้ละเอียด แล้วเก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณธาตุโลหะหนัก ได้แก่ แคดเมียม และตะกั่วในพืช โดยการย่อยตัวอย่างพืชด้วยกรดเปอร์คลอริกและกรดไนตริกในอัตราส่วน 1: 2 $HClO_4$/ $HNO_3$ (1: 2) ชั่งตัวอย่างพืช 1.0 กรัม แล้วเติมกรดผสม $HClO_4$/ $HNO_3$ 5 มิลลิลิตร นำไปย่อยที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ประมาณ 1 ชั่วโมง เมื่อควันสีน้ำตาลแดงหมด ให้เพิ่มอุณหภูมิขึ้นเป็น 190-200 องศาเซลเซียส ย่อยตัวอย่างจนได้สารละลายใส จากนั้นตั้งทิ้งไว้ให้เย็นปรับปริมาตรเป็น 25 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น นำไปกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42 แล้วนำสารละลายที่ได้จากการย่อยมาวิเคราะห์ธาตุโลหะหนักด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) โดยใช้ความยาวคลื่นตามที่วิธีการวิเคราะห์แต่ละธาตุกำหนด (กรมวิชาการเกษตร, 2544)

**การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ**

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้โปรแกรม SPSS เวอร์ชั่น 17.0 โดยใช้วิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ย (ANOVA) ทดสอบความแตกต่างของแต่ละ treatment โดยใช้วิธี least Significant Difference (LSD)

# บทที่ 4

# ผลการวิจัย

การทดลองเพื่อศึกษาอิทธิพลของไกลโฟเสทต่อการดูดดึงแคดเมียมและตะกั่วในผักกาดเขียวปลี ซึ่งทำการทดสอบสมบัติของดิน รูปของแคดเมียมละตะกั่ว และปริมาณแคดเมียมและตะกั่วในดินและพืช

**สมบัติของดินที่ใช้ทำการทดลอง**

คุณสมบัติของดินที่ใช้ทำการทดลอง แสดงดังตาราง 3 ตัวอย่างดินที่ใช้ทำการศึกษาเป็นเนื้อดินร่วนปนทรายมีปริมาณดินเหนียว 10.7 % และมีปริมาณอินทรียวัตถุในดิน 2.03 % เป็นดินที่มีความสามารถในการระบายน้ำได้ดี และมีความเป็นกลางมีค่าความเป็นกรด-ด่าง 6.50

**ตาราง 3 สมบัติต่าง ๆ ของดินที่ใช้ทำการทดลอง**

| สมบัติดิน | ค่า |
|---|---|
| %Clay | 10.7 |
| %Silt | 8.94 |
| %Sand | 80.36 |
| Soil texture | sandy loam |
| pH (1:1 $H_2O$) | 6.50 |
| %Organic Matter Content (%OM) | 2.03 |
| Total Cd, มิลลิกรัม/กิโลกรัม | 3.14 |
| Total Pb, มิลลิกรัม/กิโลกรัม | 96.81 |
| Total Phosphorus, เปอร์เซ็นต์ | 0.027 |
| Available Phosphorus , มิลลิกรัม/กิโลกรัม | 21.92 |

**การศึกษาอิทธิพลของไกลโฟเสทต่อการดูดดึงแคดเมียมและตะกั่วสู่พืช**

การศึกษาเพื่อหาอิทธิพลของไกลโฟเสทที่มีผลต่อการเคลื่อนย้ายแคดเมียมและตะกั่วในดินเข้าสู่พืชตามระยะเวลาการเจริญเติบโตของพืช 3 ระยะ คือ 1, 14 และ 40 วัน

**1. ความเป็นกรด-ด่างในดิน**

ค่าความเป็นกรด-ด่างในดินทดลองที่ระยะ 1, 14 และ 40 วัน แสดงดังตาราง 4 การเติมโลหะหนักและไกลโฟเสทไม่มีผลต่อค่าความเป็นกรด-ด่างในดินที่ระยะ 1 วัน แต่มีผลต่อค่าความเป็นกรด-ด่างในดินที่ระยะ 14 และ 40 วัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p \leq 0.05$ ในบางตำรับการทดลอง

ผลของการเติมโลหะแคดเมียมและตะกั่ว พบว่าเมื่อเติมโลหะตะกั่วทำให้มีผลต่อค่าความเป็นกรด-ด่างในดินเพิ่มขึ้นที่ระยะ 14 วัน ในดินที่เติมไกลโฟเสท โดยในดินที่ไม่เติมตะกั่วมีค่าความเป็นกรด-ด่างในดินเป็น 5.73 และเมื่อเติมตะกั่วมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 5.89 ที่ระยะ 14 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p \leq 0.05$

ผลของการเติมไกลโฟเสท พบว่าเมื่อเติมไกลโฟเสทในดินทำให้มีผลต่อค่าความเป็นกรด-ด่างในดินลดลงที่ระยะ 14 และ 40 วัน ในดินที่ไม่เติมโลหะหนัก(M0) โดยในดินที่ไม่เติมไกลโฟเสทมีค่าความเป็นกรด-ด่างในดินเป็น 5.92 และ 6.50 และเมื่อเติมไกลโฟเสทมีค่าลดลงเป็น 5.73 และ 6.33 ที่ระยะ 14 และ 40 วัน ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p \leq 0.05$

**ตาราง 4 ค่าความเป็นกรด-ด่างในดินตามระยะเวลาการเจริญเติบโตของผักกาดเขียวปลี**

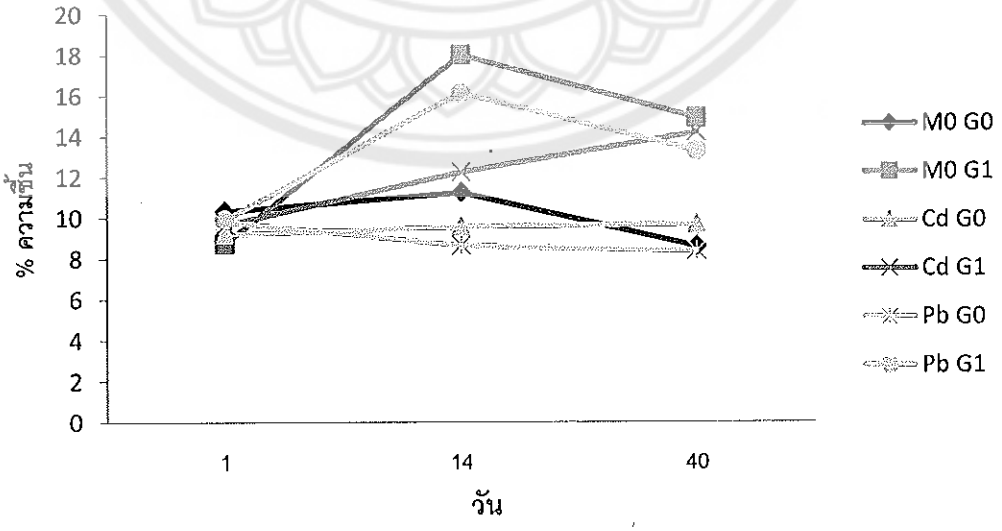
| วัน | ค่าความเป็นกรด-ด่าง | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | M0* | | Cd | | Pb | | ค่าเฉลี่ย |
| | G0 | G1 | G0 | G1 | G0 | G1 | |
| 1 | 6.29 | 6.21 | 6.26 | 6.22 | 6.24 | 6.24 | 6.24 |
| 14 | $5.92^{a}$ ** | $5.73^{c}$ | $5.84^{abc}$ | $5.76^{bc}$ | $5.96^{a}$ | $5.89^{ab}$ | 5.85 |
| 40 | $6.50^{a}$ | $6.33^{bc}$ | $6.51^{a}$ | $6.41^{abc}$ | $6.52^{a}$ | $6.47^{ab}$ | 6.45 |

**หมายเหตุ:** *M0 แสดงตัวอย่างดินที่ไม่เติมโลหะหนัก, G0 คือ ตัวอย่างดินที่ไม่เติมไกลโฟเสท และ G1 คือ ตัวอย่างดินที่เติมไกลโฟเสท

**ตัวอักษรพิมพ์เล็กแสดงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบในระยะเวลาเดียวกันโดยวิธี ANOVA มีค่า F-test ที่ $df_{treatment} = 5$, $df_{error} = 6$, $\alpha = 0.05$ เป็น $1.418^{ns}$, $4.344^{ns}$ และ $2.604^{ns}$ ที่ระยะ 1, 14 และ 40 วัน ตามลำดับ

2. **ความชื้นในดิน**

ค่าความชื้นในดินทดลองที่ระยะ 1, 14 และ 40 วัน แสดงดังภาพ 11 จากการทดลองพบว่า ค่าความชื้นในดินอยู่ระหว่าง 8.73-10.32%, 8.63-18.00% และ 8.36-14.89% ของดินที่ระยะเวลา 1,14 และ 40 วัน ตามลำดับ




**ภาพ 11 ค่าความชื้นในดินตามระยะเวลาการเจริญเติบโตของผักกาดเขียวปลี**

### 3. ปริมาณแอมโมเนียม

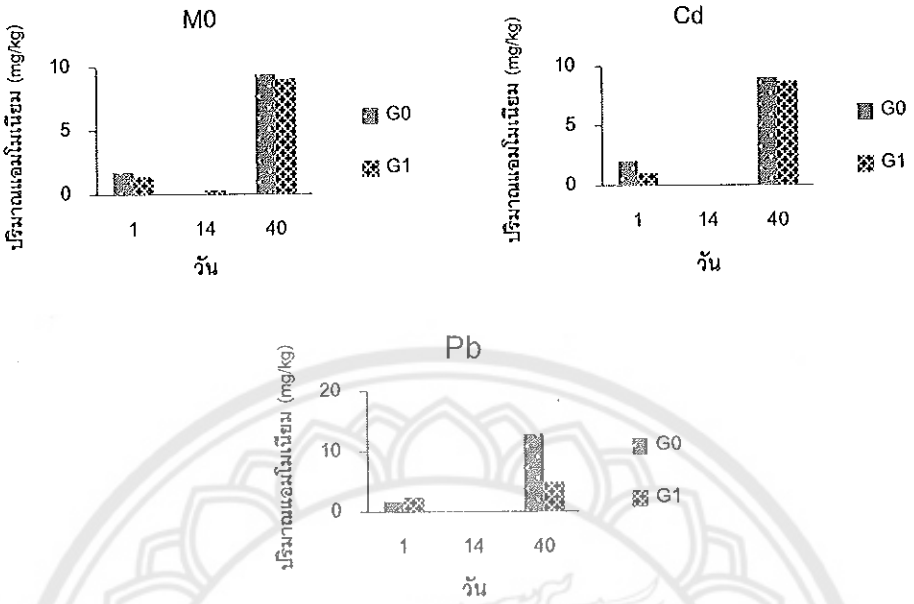
ปริมาณแอมโมเนียมในดินทดลองที่ระยะ 1, 14 และ 40 วัน แสดงดังตาราง 5 การเติมโลหะหนักและไกลโฟเสทไม่มีผลต่อปริมาณแอมโมเนียมในดินที่ระยะ 1, 14 และ 40 วัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p \leq 0.05$

**ตาราง 5 ปริมาณแอมโมเนียมในดินตามระยะเวลาการเจริญเติบโตของผักกาดเขียวปลี**

| วัน | ปริมาณแอมโมเนียมในดิน (มิลลิกรัม/กิโลกรัม) | | | | | | ค่าเฉลี่ย |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | M0* | | Cd | | Pb | | |
| | G0 | G1 | G0 | G1 | G0 | G1 | |
| 1 | 1.750 | 1.400 | 2.100 | 1.050 | 1.750 | 2.449 | 1.750 |
| 14 | 0.000 | 0.354 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.059 |
| 40 | 9.448 | 9.098 | 9.099 | 8.748 | 12.946 | 4.899 | 9.040 |

**หมายเหตุ**: *M0 แสดงตัวอย่างดินที่ไม่มีการเติมโลหะหนัก, G0 คือ ตัวอย่างดินที่ไม่มีการเติมไกลโฟเสท และ G1 คือ ตัวอย่างดินที่มีการเติมไกลโฟเสท

ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบในระยะเวลาเดียวกันโดยวิธี ANOVA มีค่า F-test ที่ $df_{treatment} = 5$, $df_{error} = 6$, $\alpha = 0.05$ เป็น $0.320^{ns}$, $1.000^{ns}$ และ $0.787^{ns}$ ที่ระยะ 1, 14 และ 40 วัน ตามลำดับ




**ภาพ** 12 การเปรียบเทียบปริมาณแอมโมเนียมในดินที่ไม่เติมไกลโฟเสทเทียบกับ**ดินที่เติม**ไกลโฟเสทร่วมกับโลหะหนักตามระยะเวลา 1,14 และ 40 วัน

4. ปริมาณไนเตรท

ปริมาณไนเตรทในดินทดลองที่ระยะ 1, 14 และ 40 วัน แสดงดังตาราง 6 การเติมโลหะหนักและไกลโฟเสทไม่มีผลต่อปริมาณไนเตรทในดินที่ระยะ 14 และ 40 วัน แต่**มีผลต่อ**ปริมาณไนเตรทในดินที่ระยะ 1 วัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p \leq 0.05$

ผลของการเติมโลหะแคดเมียมและตะกั่ว พบว่าเมื่อเติมโลหะตะกั่วทำให้**มีผลต่อ**ปริมาณไนเตรทในดินเพิ่มขึ้นที่ระยะ 1 วัน ในดินที่ไม่เติมไกลโฟเสท โดยในดินที่ไม่เติมตะกั่วมีปริมาณไนเตรทในดินเป็น 2.100 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และเมื่อเติมตะกั่วมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 5.949 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ที่ระยะ 1 วัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p \leq 0.05$

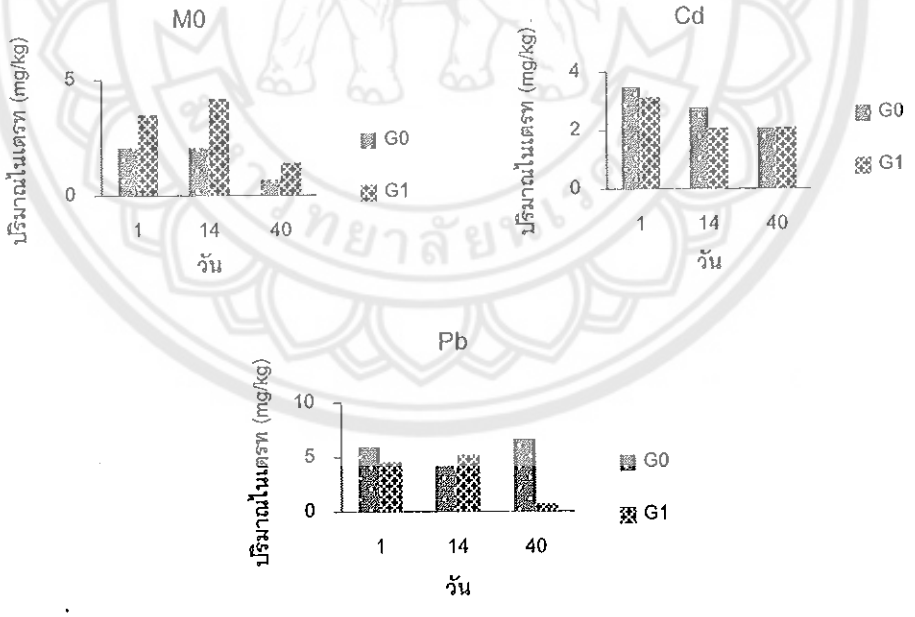
ผลของการเติมไกลโฟเสท พบว่าเมื่อเติมไกลโฟเสทในดินไม่มีผลต่อปริมาณไนเตรทในดินที่ระยะเวลา 1, 14 และ 40 วัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p \leq 0.05$

**ตาราง 6 ปริมาณไนเตรทในดินตามระยะเวลาการเจริญเติบโตของผักกาดเขียวปลี**

| วัน | ปริมาณไนเตรทในดิน (มิลลิกรัม/กิโลกรัม) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | M0* | | Cd | | Pb | | ค่าเฉลี่ย |
| | G0 | G1 | G0 | G1 | G0 | G1 | |
| 1 | $2.100^{c}$ ** | $3.499^{bc}$ | $3.499^{bc}$ | $3.149^{bc}$ | $5.949^{a}$ | $4.549^{ab}$ | 3.791 |
| 14 | $2.100^{b}$ | $4.199^{ab}$ | $2.799^{ab}$ | $2.099^{b}$ | $4.199^{ab}$ | $5.249^{a}$ | 3.441 |
| 40 | 0.700 | 1.400 | 2.100 | 2.100 | 6.649 | 0.700 | 2.275 |

**หมายเหตุ:** *M0 แสดงตัวอย่างดินที่ไม่เติมโลหะหนัก, G0 คือ ตัวอย่างดินที่ไม่เติมไกลโฟเสท และ G1 คือ ตัวอย่างดินที่เติมไกลโฟเสท

**ตัวอักษรพิมพ์เล็กแสดงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบในระยะเวลาเดียวกันโดยวิธี ANOVA มีค่า F-test ที่ $df_{treatment} = 5$, $df_{error} = 6$, $\alpha = 0.05$ เป็น $7.730^{*}$, $3.304^{ns}$ และ $0.549^{ns}$ ที่ระยะ 1, 14 และ 40 วัน ตามลำดับ




**ภาพ 13 การเปรียบเทียบปริมาณไนเตรทในดินที่ไม่เติมไกลโฟเสทเทียบกับดินที่เติมไกลโฟเสทร่วมกับโลหะหนักตามระยะเวลา 1,14 และ 40 วัน**

**5. ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด**

ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินทดลองที่ระยะ 1, 14 และ 40 วัน แสดงดังตาราง 7 การเติมโลหะหนักและไกลโฟเสทไม่มีผลต่อปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินที่ระยะ 1 วัน แต่มีผลต่อปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินที่ระยะ 14 และ 40 วัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p \leq 0.05$

ผลของการเติมโลหะแคดเมียมและตะกั่ว พบว่าเมื่อเติมโลหะแคดเมียมทำให้มีผลต่อปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินลดลงที่ระยะ 14 วัน ในดินที่เติมไกลโฟเสท โดยในดินที่ไม่เติมแคดเมียมมีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินเป็น 0.027 % และเมื่อเติมแคดเมียมมีค่าลดลงเป็น 0.024 % ที่ระยะ 14 วัน และดินที่เติมตะกั่วทำให้มีผลต่อปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินเพิ่มขึ้นที่ระยะ 14 และ 40 วัน ในดินที่ไม่เติมไกลโฟเสท โดยในดินที่ไม่เติมตะกั่วมีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินเป็น 0.023 % และ 0.025 % และเมื่อเติมตะกั่วมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 0.026 % และ 0.032 % ที่ระยะ 14 และ 40 วัน ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p \leq 0.05$

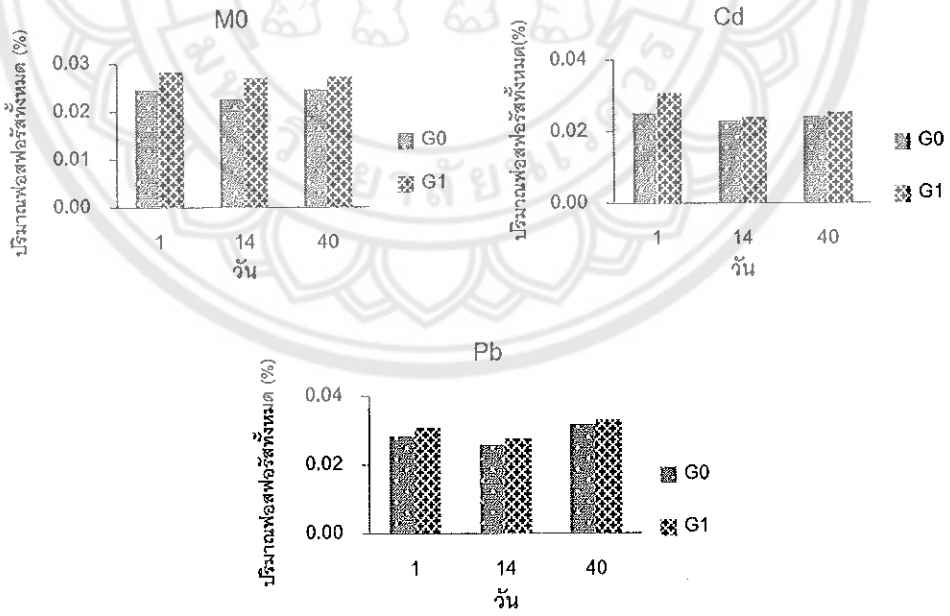
ผลของการเติมไกลโฟเสท พบว่าเมื่อเติมไกลโฟเสททำให้มีผลต่อปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินเพิ่มขึ้นที่ระยะ 14 วัน ในดินที่ไม่เติมโลหะหนัก(M0) โดยในดินที่ไม่เติมไกลโฟเสทมีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินเป็น 0.023 % และเมื่อเติมไกลโฟเสทมีปริมาณเพิ่มขึ้นเป็น 0.027 % ที่ระยะ 14 วัน และดินที่เติมตะกั่ว เมื่อเติมไกลโฟเสททำให้มีผลต่อปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินเพิ่มขึ้นที่ระยะ 14 วัน โดยในดินที่ไม่เติมไกลโฟเสทมีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินเป็น 0.026 % และเมื่อเติมไกลโฟเสทมีปริมาณเพิ่มขึ้นเป็น 0.028 % ที่ระยะ 14 วัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p \leq 0.05$

**ตาราง 7 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินตามระยะเวลาการเจริญเติบโตของผักกาด-เขียวปลี**

| วัน | ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดิน (%) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | M0* | | Cd | | Pb | | ค่าเฉลี่ย |
| | G0 | G1 | G0 | G1 | G0 | G1 | |
| 1 | 0.025 | 0.029 | 0.026 | 0.031 | 0.028 | 0.031 | 0.028 |
| 14 | $0.023^{c**}$ | $0.027^{ab}$ | $0.023^{c}$ | $0.024^{c}$ | $0.026^{b}$ | $0.028^{a}$ | 0.025 |
| 40 | $0.025^{c}$ | $0.027^{abc}$ | $0.024^{c}$ | $0.026^{bc}$ | $0.032^{ab}$ | $0.033^{a}$ | 0.028 |

**หมายเหตุ:** *M0 แสดงตัวอย่างดินที่ไม่เติมโลหะหนัก, G0 คือ ตัวอย่างดินที่ไม่เติมไกลโฟเสท และ G1 คือ ตัวอย่างดินที่เติมไกลโฟเสท

**ตัวอักษรพิมพ์เล็กแสดงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบในระยะเวลาเดียวกันโดยวิธี ANOVA มีค่า F-test ที่ $df_{treatment} = 5$, $df_{error} = 6$, $\alpha = 0.05$ เป็น $2.377^{ns}$, $23.744^{*}$ และ $4.010^{ns}$ ที่ระยะ 1, 14 และ 40 วัน ตามลำดับ




**ภาพ 14 การเปรียบเทียบปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินที่ไม่เติมไกลโฟเสทเทียบกับดินที่เติมไกลโฟเสทร่วมกับโลหะหนักตามระยะเวลา 1,14 และ 40 วัน**

**6. ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์**

ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินทดลองที่ระยะ 1, 14 และ 40 วัน แสดงดังตาราง 8 การเติมโลหะหนักและไกลโฟเสทมีผลต่อปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินที่ระยะ 1, 14 และ 40 วัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p \leq 0.05$

ผลของการเติมโลหะแคดเมียมและตะกั่ว พบว่าเมื่อเติมโลหะตะกั่วทำให้มีผลต่อปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินเพิ่มขึ้นที่ระยะ 1 และ 14 วัน ในดินที่ไม่เติมไกลโฟเสท โดยในดินที่ไม่เติมตะกั่วมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินเป็น 22.380 และ 17.494 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และเมื่อเติมตะกั่วมีปริมาณเพิ่มเป็น 25.052 และ 19.140 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ที่ระยะ 1 และ 14 วัน ตามลำดับ และดินที่เติมไกลโฟเสทที่ระยะ 14 และ 40 วัน เมื่อเติมโลหะตะกั่วทำให้มีผลต่อปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินเพิ่มขึ้น โดยในดินที่ไม่เติมตะกั่วมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินเป็น 18.951 และ 20.658 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และเมื่อเติมตะกั่วมีปริมาณเพิ่มเป็น 20.535 และ 21.884 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ที่ระยะ 14 และ 40 วัน ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p \leq 0.05$

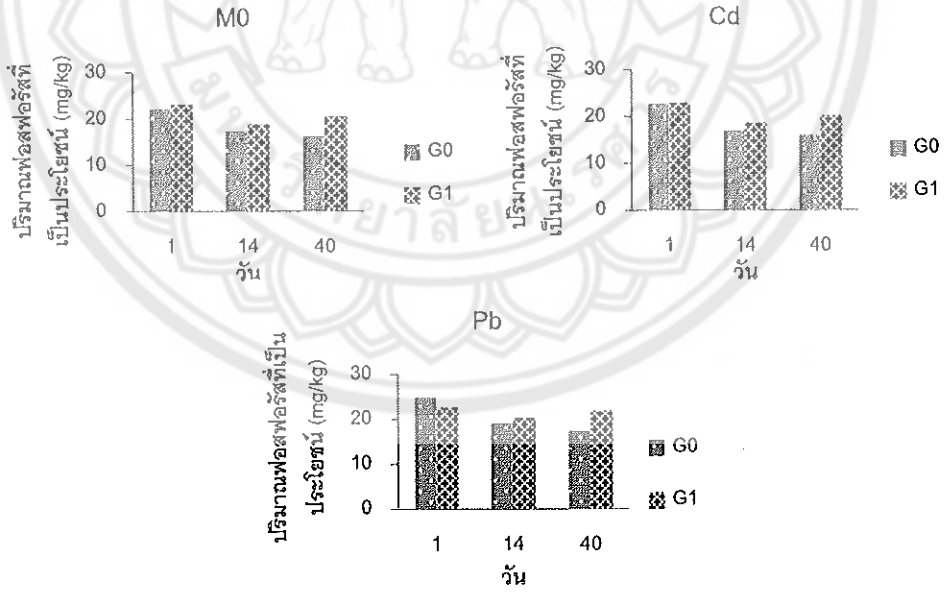
ผลของการเติมไกลโฟเสท พบว่าเมื่อเติมไกลโฟเสททำให้มีผลต่อปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินลดลงที่ระยะ 1 วัน ในดินที่เติมตะกั่ว โดยในดินที่ไม่เติมไกลโฟเสทมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินเป็น 25.052 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และเมื่อเติมไกลโฟเสทมีปริมาณลดลงเป็น 22.829 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ที่ระยะ 1 วัน และเมื่อเติมไกลโฟเสททำให้มีผลต่อปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินเพิ่มขึ้นที่ระยะ 14 และ 40 วัน ในดินที่ไม่เติมโลหะหนัก(M0) ดินที่เติมแคดเมียมและดินที่เติมตะกั่ว โดยในดินที่ไม่เติมไกลโฟเสทมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินเป็น 17.494 และ 16.408 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ของดินที่ไม่เติมโลหะหนัก(M0) 17.166 และ 16.102 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ของดินที่เติมแคดเมียม และ 19.140 และ 17.411 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ของดินที่เติมตะกั่ว และเมื่อเติมไกลโฟเสทมีปริมาณเพิ่มขึ้นเป็น 18.951 และ 20.658 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ของดินที่ไม่เติมโลหะหนัก(M0) 18.803 และ 20.335 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ของดินที่เติมแคดเมียม และ 20.535 และ 21.884 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ของดินที่เติมตะกั่ว ที่ระยะ 14 และ 40 วัน ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p \leq 0.05$

**ตาราง 8 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินตามระยะเวลาการเจริญเติบโตของผักกาดเขียวปลี**

| วัน | ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน (มิลลิกรัม/กิโลกรัม) | | | | | | ค่าเฉลี่ย |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | M0* | | Cd | | Pb | | |
| | G0 | G1 | G0 | G1 | G0 | G1 | |
| 1 | 22.380$^{b**}$ | 23.331$^{b}$ | 23.026$^{b}$ | 23.171$^{b}$ | 25.052$^{a}$ | 22.829$^{b}$ | 23.298 |
| 14 | 17.494$^{c}$ | 18.951$^{b}$ | 17.166$^{c}$ | 18.803$^{b}$ | 19.140$^{b}$ | 20.535$^{a}$ | 18.682 |
| 40 | 16.408$^{cd}$ | 20.658$^{b}$ | 16.102$^{d}$ | 20.335$^{b}$ | 17.411$^{c}$ | 21.884$^{a}$ | 18.800 |

**หมายเหตุ:** *M0 แสดงตัวอย่างดินที่ไม่เติมโลหะหนัก, G0 คือ ตัวอย่างดินที่ไม่เติมไกลโฟเสท และ G1 คือ ตัวอย่างดินที่เติมไกลโฟเสท

**ตัวอักษรพิมพ์เล็กแสดงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบในระยะเวลาเดียวกันโดยวิธี ANOVA มีค่า F-test ที่ $df_{treatment} = 5$, $df_{error} = 6$, $\alpha = 0.05$ เป็น 5.112*, 22.969* และ 47.949* ที่ระยะ 1, 14 และ 40 วัน ตามลำดับ




**ภาพ 15 การเปรียบเทียบปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินที่ไม่เติม ไกลโฟเสท เทียบกับดินที่เติมไกลโฟเสทร่วมกับโลหะหนักตามระยะเวลา 1,14 และ 40 วัน**

**7. ปริมาณแคดเมียมและตะกั่วในดิน**

**7.1 แคดเมียม (Cd)**

ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในดินที่ 1, 14 และ 40 วัน แสดงดังตาราง 9 พบว่า ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดของ 1 วัน ในดินที่ไม่เติมไกลโฟเสทพบปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในดินที่ไม่เติมโลหะหนัก (M0) และดินที่เติมแคดเมียมเท่ากับ 1.897 และ 36.304 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ ในดินที่เติมไกลโฟเสทมีค่าเท่ากับ 1.897 และ 40.048 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ

ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในดินของ 14 วัน ในดินที่ไม่เติมไกลโฟเสทพบปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในดินที่ไม่เติมโลหะหนัก (M0) และดินที่เติมแคดเมียมเท่ากับ 2.256 และ 41.221 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ ในดินที่เติมไกลโฟเสทมีค่าเท่ากับ 2.648 และ 30.910 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ

ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในดินของ 40 วัน ในดินที่ไม่เติมไกลโฟเสทพบปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในดินที่ไม่เติมโลหะหนัก (M0) และดินที่เติมแคดเมียมเท่ากับ 2.712 และ 37.712 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ ในดินที่เติมไกลโฟเสทมีค่าเท่ากับ 1.990 และ 37.819 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ

**ตาราง 9 ปริมาณแคดเมียมในดิน**

| โลหะหนัก (มก/กก.) | | วัน | ทั้งหมด (Total) |
|---|---|---|---|
| M0 | G0 | 1 | 1.897 |
| | | 14 | 2.256 |
| | | 40 | 2.712 |
| | G1 | 1 | 1.897 |
| | | 14 | 2.648 |
| | | 40 | 1.990 |
| Cd | G0 | 1 | 36.304 |
| | | 14 | 41.221 |
| | | 40 | 37.712 |
| | G1 | 1 | 40.048 |
| | | 14 | 30.910 |
| | | 40 | 37.819 |

**หมายเหตุ:** M0 แสดงตัวอย่างดินที่ไม่เติมโลหะหนัก, G0 คือ ตัวอย่างดินที่ไม่เติมไกลโฟเสท และ G1 คือ ตัวอย่างดินที่เติมไกลโฟเสท

7.2 ตะกั่ว (Pb)

ปริมาณตะกั่วทั้งหมดในดินที่ 1, 14 และ 40 วัน แสดงดังตาราง 10 พบว่าปริมาณตะกั่วทั้งหมดในดินของ 1 วัน ในดินที่ไม่เติมไกลโฟเสทพบปริมาณตะกั่วทั้งหมดในดินที่ไม่เติมโลหะหนัก (M0) และดินที่เติมตะกั่วเท่ากับ 70.246 และ 189.935 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ ในดินที่เติมไกลโฟเสทมีค่าเท่ากับ 70.577 และ 185.423 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ

ปริมาณตะกั่วทั้งหมดในดินของ 14 วัน ในดินที่ไม่เติมไกลโฟเสทพบปริมาณตะกั่วทั้งหมดในดินที่ไม่เติมโลหะหนัก (M0) และดินที่เติมตะกั่วเท่ากับ 75.645 และ 197.589 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ ในดินที่เติมไกลโฟเสทมีค่าเท่ากับ 82.789 และ 198.161 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ

ปริมาณตะกั่วทั้งหมดในดินของ 40 วัน ในดินที่ไม่เติมไกลโฟเสทพบปริมาณตะกั่วทั้งหมดในดินที่ไม่เติมโลหะหนัก (M0) และดินที่เติมตะกั่วเท่ากับ 89.360 และ 206.280 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ ในดินที่เติมไกลโฟเสทมีค่าเท่ากับ 89.470 และ 191.190 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ

**ตาราง 10 ปริมาณตะกั่วในดิน**

| โลหะหนัก (มก/กก.) | | วัน | ทั้งหมด (Total) |
|---|---|---|---|
| M0 | G0 | 1 | 70.246 |
| | | 14 | 75.645 |
| | | 40 | 89.360 |
| | G1 | 1 | 70.577 |
| | | 14 | 82.789 |
| | | 40 | 89.470 |
| Pb | G0 | 1 | 189.935 |
| | | 14 | 197.589 |
| | | 40 | 206.280 |
| | G1 | 1 | 185.423 |
| | | 14 | 198.161 |
| | | 40 | 191.190 |

**หมายเหตุ:** M0 แสดงตัวอย่างดินที่ไม่เติมโลหะหนัก, G0 คือ ตัวอย่างดินที่ไม่เติมไกลโฟเสท และ G1 คือ ตัวอย่างดินที่เติมไกลโฟเสท

8. **รูปของแคดเมียมในดิน** (Cadmium Fractions in soil)

ปริมาณแคดเมียมในรูปต่างๆ ของดินที่เติมแคดเมียมและไกลโฟเสทที่ 1, 14 และ 40 วัน แสดงดังตาราง 11 และมีสัดส่วนแสดงดังภาพ 16

**ตาราง 11 รูปของแคดเมียมในดินตามระยะเวลา**

| โลหะหนัก (มก/กก.) | | วัน | F1 | F2 | F3 | F4 | F5 | F6 | Mobility Factor (%) | ทั้งหมด (Total) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| M0 | G0 | 1 | 0.899 | 1.038 | 0.965 | 0.744 | 1.028 | 0.651 | 54.503 | 1.967 |
| | | 14 | 0.690 | 0.819 | 0.963 | 1.076 | 0.801 | 0.566 | 50.305 | 2.339 |
| | | 40 | 0.776 | 0.984 | 0.828 | 0.790 | 1.012 | 0.621 | 51.653 | 2.811 |
| | G1 | 1 | 0.897 | 1.057 | 0.711 | 0.834 | 1.084 | 0.585 | 51.562 | 1.967 |
| | | 14 | 0.717 | 0.911 | 0.992 | 0.800 | 0.919 | 0.610 | 52.937 | 2.745 |
| | | 40 | 0.913 | 0.936 | 0.659 | 0.840 | 1.114 | 0.603 | 49.524 | 2.063 |
| Cd | G0 | 1 | 0.686 | 18.264 | 15.998 | 10.718 | 3.259 | 0.625 | 70.533 | 37.637 |
| | | 14 | 0.755 | 14.833 | 14.668 | 13.208 | 3.160 | 0.584 | 64.090 | 42.734 |
| | | 40 | 1.197 | 13.615 | 16.119 | 12.433 | 3.437 | 0.445 | 65.468 | 39.097 |
| | G1 | 1 | 0.890 | 19.423 | 15.163 | 10.524 | 3.208 | 0.494 | 71.378 | 41.519 |
| | | 14 | 0.809 | 16.213 | 17.872 | 11.978 | 3.140 | 0.631 | 68.903 | 32.045 |
| | | 40 | 1.128 | 13.649 | 16.718 | 12.468 | 2.989 | 0.515 | 66.351 | 39.208 |

**หมายเหตุ:** M0 แสดงตัวอย่างดินที่ไม่เติมโลหะหนัก, G0 คือ ตัวอย่างดินที่ไม่เติมไกลโฟเสท และ G1 คือ ตัวอย่างดินที่เติมไกลโฟเสท

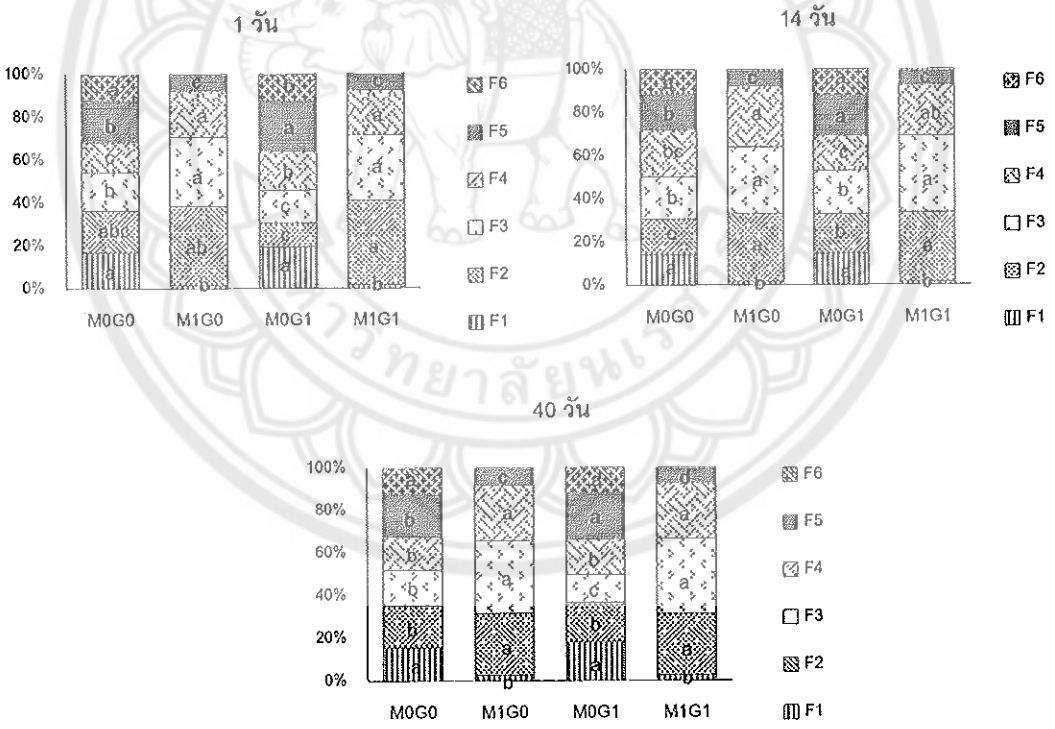
สัดส่วนของแคดเมียมรูปต่างๆ ในดินที่เติมแคดเมียมและไกลโฟเสทที่ 1, 14 และ 40 วัน แสดงดังภาพ 16 สัดส่วนแต่ละรูปของแคดเมียมในดินของ 1 วัน ในดินที่ไม่เติมไกลโฟเสท(G0) ดินที่ไม่เติมโลหะหนัก(M0) จะอยู่ในรูปที่แลกเปลี่ยนได้ (F2) สูงที่สุด มีค่าเท่ากับ 20 % รองมาคือ F5, F3, F1, F4 และ F6 มีค่าเท่ากับ 19, 18, 17, 14 และ 12 % ของผลรวมทุกรูป ตามลำดับ เมื่อเติมโลหะแคดเมียม(M1) จะอยู่ในรูปที่แลกเปลี่ยนได้ (F2) สูงที่สุด มีค่าเท่ากับ 37 % รองมาคือ F3, F4, F5, F1 และ F6 มีค่าเท่ากับ 32, 22, 7, 2 และ 1 % ของผลรวมทุกรูป ตามลำดับ และในดินที่เติมไกลโฟเสท(G1) ดินที่ไม่เติมโลหะหนัก(M0) จะอยู่ในรูปที่ตรึงกับอินทรียสาร (F5) สูงที่สุด มีค่าเท่ากับ 21 % รองมาคือ F1, F4, F3, F6 และ F2 มีค่าเท่ากับ 17, 16, 14, 11 และ 10 % ของผลรวมทุกรูป ตามลำดับ เมื่อเติมโลหะแคดเมียม(M1) จะอยู่ในรูปที่แลกเปลี่ยนได้ (F2) สูงที่สุด มีค่าเท่ากับ 39 % รองมาคือ F3, F4, F5, F1 และ F6 มีค่าเท่ากับ 31, 21, 6, 2 และ 1 % ของผลรวมทุกรูป ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบผลของการไม่เติมและเติมโลหะแคดเมียมในดิน พบว่าการเติมโลหะแคดเมียมมีผลทำให้รูป F2, F3 และ F4 เพิ่มขึ้น และรูป F1, F5 และ F6 ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

สัดส่วนแต่ละรูปของแคดเมียมในดินของ 14 วัน ในดินที่ไม่เติมไกลโฟเสท(G0) ดินที่ไม่เติมโลหะหนัก(M0) จะอยู่ในรูปที่ตรึงกับออกไซด์ (F4) สูงที่สุด มีค่าเท่ากับ 22 % รองมาคือ F3, F2, F5, F1 และ F6 มีค่าเท่ากับ 20, 17, 16, 14 และ 12 % ของผลรวมทุกรูป ตามลำดับ เมื่อเติมโลหะแคดเมียม(M1) จะอยู่ในรูปที่แลกเปลี่ยนได้ (F2) สูงที่สุดมีค่าเท่ากับ 31 % รองมาคือ F3, F4, F5, F1 และ F6 มีค่าเท่ากับ 31, 28, 7, 2 และ 1 % ของผลรวมทุกรูป ตามลำดับ และในดินที่เติมไกลโฟเสท(G1) ดินที่ไม่เติมโลหะหนัก(M0) จะอยู่ในรูปที่ตรึงกับคาร์บอเนต (F3) สูงที่สุด มีค่าเท่ากับ 20 % รองมาคือ F5, F2, F4, F1 และ F6 มีค่าเท่ากับ 19, 18, 16, 14 และ 12 % ของผลรวมทุกรูป ตามลำดับ เมื่อเติมโลหะแคดเมียม(M1) จะอยู่ในรูปที่ตรึงกับคาร์บอเนต (F3) สูงที่สุด มีค่าเท่ากับ 35 % รองมาคือ F2, F4, F5, F1 และ F6 มีค่าเท่ากับ 32, 24, 6, 2 และ 1 % ของผลรวมทุกรูป ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบผลของการไม่เติมและเติมโลหะแคดเมียมในดิน พบว่าการเติมโลหะแคดเมียมมีผลทำให้รูป F2, F3 และ F4 เพิ่มขึ้น และรูป F1, F5 และ F6 ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

สัดส่วนแต่ละรูปของแคดเมียมในดินของ 40 วัน ในดินที่ไม่เติมไกลโฟเสท(G0) ดินที่ไม่เติมโลหะหนัก(M0) จะอยู่ในรูปที่ตรึงกับอินทรียสาร (F5) สูงที่สุด มีค่าเท่ากับ 20 % รองมาคือ F2, F3, F4, F1 และ F6 มีค่าเท่ากับ 19, 17, 16, 15 และ 12 % ของผลรวมทุกรูป ตามลำดับ เมื่อเติมโลหะแคดเมียม(M1) จะอยู่ในรูปที่ตรึงกับคาร์บอเนต (F3) สูงที่สุดมีค่าเท่ากับ 34 % รองมาคือ F2,

F4, F5, F1 และ F6 มีค่าเท่ากับ 29, 26, 7, 3 และ 1 % ของผลรวมทุกรูป ตามลำดับ และในดินที่เติมไกลโฟเสท(G1) ดินที่ไม่เติมโลหะหนัก(M0) จะอยู่ในรูปที่ตรึงกับอินทรียสาร (F5) สูงที่สุด มีค่าเท่ากับ 22 % รองมาคือ F2, F1, F4, F3 และ F6 มีค่าเท่ากับ 19, 18, 17, 13 และ 12 % ของผลรวมทุกรูป ตามลำดับ เมื่อเติมโลหะแคดเมียม(M1) จะอยู่ในรูปที่ตรึงกับคาร์บอเนต (F3) สูงที่สุด มีค่าเท่ากับ 35 % รองมาคือ F2, F4, F5, F1 และ F6 มีค่าเท่ากับ 29, 26, 6, 2 และ 1 % ของผลรวมทุกรูป ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบผลของการไม่เติมและเติมโลหะแคดเมียมในดิน พบว่าการเติมโลหะแคดเมียมมีผลทำให้รูป F2, F3 และ F4 เพิ่มขึ้น และรูป F1, F5 และ F6 ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

การเติมไกลโฟเสทมีผลทำให้รูป F3 และ F6 ลดลงใน 1 วัน ทำให้รูป F2 และ F6 เพิ่มขึ้น รูป F4 ลดลงใน14 วัน และทำให้รูป F5 ลดลงใน 40 วัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนรูป F1 ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ




**ภาพ 16 สัดส่วนแต่ละรูปของแคดเมียมในดินที่ไม่เติมโลหะหนัก(M0) กับดินที่เติมโลหะแคดเมียม(M1) ในดินที่ไม่เติมไกลโฟเสท(G0) และดินที่เติมไกลโฟเสท(G1) ตามระยะเวลา 1,14 และ 40 วัน**

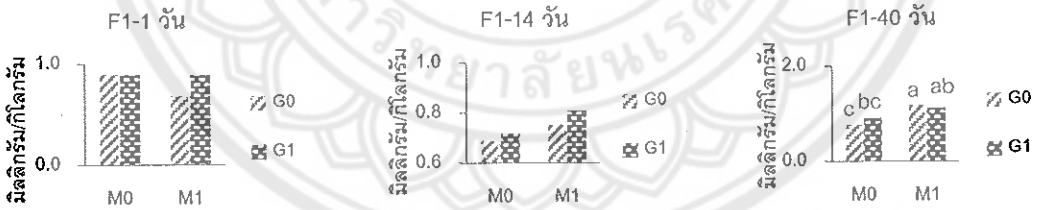
**9. ผลของการเติมโลหะแคดเมียมและไกลโฟเสทต่อรูปของโลหะหนักในดิน**

ผลของการเติมโลหะแคดเมียม

การเติมแคดเมียมมีผลต่อแคดเมียมในดินทุกรูป อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ทุกระยะ แสดงดังภาพ 17 โดย F1 มีปริมาณเพิ่มขึ้นที่ระยะ 40 วัน แสดงดังภาพ (a) F2, F3, F4 และ F5 มีปริมาณเพิ่มขึ้นที่ระยะ 1, 14 และ 40 วัน แสดงดังภาพ (b), (c), (d) และ (e) ตามลำดับ และ F6 มีปริมาณลดลงที่ระยะ 40 วัน แสดงดังภาพ (f) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในดินที่เติมแคดเมียม

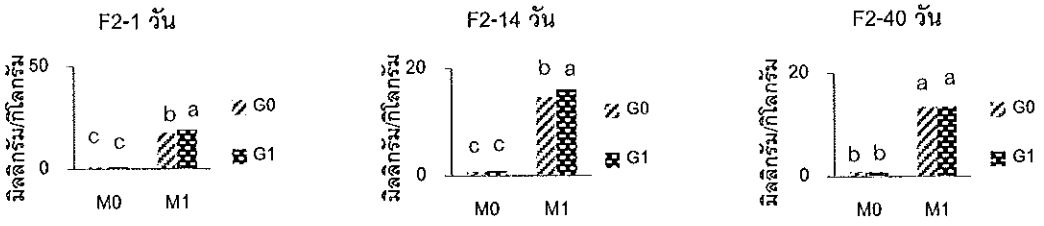
ผลของการเติมไกลโฟเสท

การเติมไกลโฟเสทมีผลต่อ F2 ที่ระยะ 1 และ 14 วัน และมีผลต่อ F5 ที่ระยะ 40 วัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงดังภาพ 17 โดยการเติมไกลโฟเสทมีผลทำให้ F2 เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p \leq 0.05$ ที่ระยะ 1 และ 14 วันในดินที่เติมแคดเมียม โดยดินที่ไม่เติมไกลโฟเสทมี F2 เป็น 18.264 และ 14.833 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และเมื่อเติมไกลโฟเสทมีปริมาณเพิ่มขึ้นเป็น 19.423 และ 16.213 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ที่ระยะ 1 และ 14 วัน ตามลำดับ และการเติมไกลโฟเสทมีผลทำให้ F5 ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p \leq 0.05$ ที่ระยะ 40 วันในดินที่เติมแคดเมียม โดยดินที่ไม่เติมไกลโฟเสทมี F5 เป็น 3.437 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และเมื่อเติมไกลโฟเสทมีปริมาณลดลงเป็น 2.989 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ที่ระยะ 40 วัน

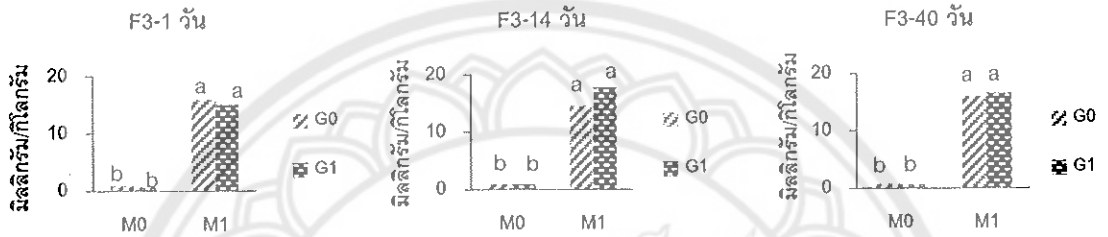



(a)

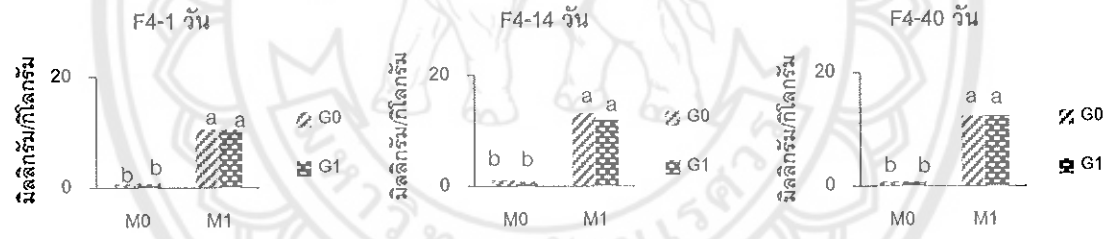
**ภาพ 17 ผลของการเติมโลหะแคดเมียมและไกลโฟเสทต่อรูปของโลหะหนักในดิน รูป F1 (a), F2 (b), F3 (c), F4 (d), F5 (e) และ F6 (f) ตามระยะเวลา 1,14 และ 40 วัน**



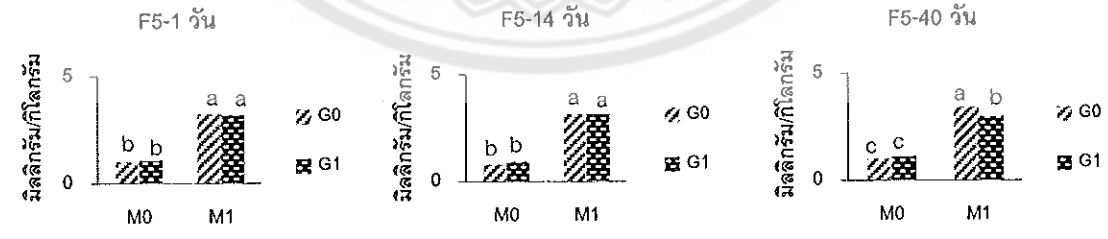

(b)




(c)

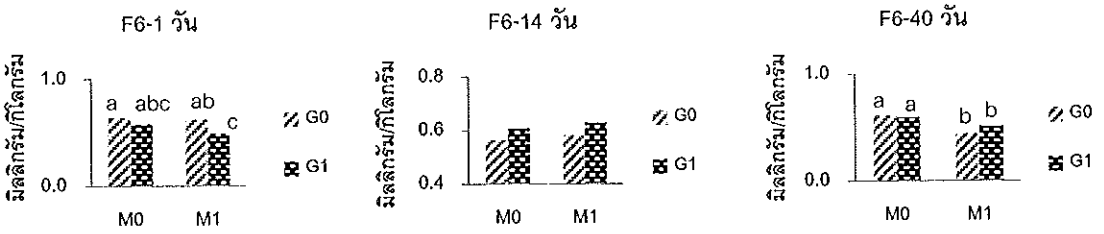



(d)




(e)

ภาพ 17 (ต่อ)




(f)

ภาพ 17 (ต่อ)

10. รูปของตะกั่วในดิน (Lead Fractions in soil)

ปริมาณตะกั่วในรูปต่างๆ ของดินที่เติมตะกั่วและไกลโฟเสทที่ 1, 14 และ 40 วัน แสดง ดังตาราง 12 และมีสัดส่วนแสดงดังภาพ 18

ตาราง 12 รูปของตะกั่วในดินตามระยะเวลา

| โลหะหนัก (มก/กก.) | | วัน | F1 | F2 | F3 | F4 | F5 | F6 | Mobility Factor (%) | ทั้งหมด (Total) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| M0 | G0 | 1 | 11.234 | 12.773 | 14.755 | 13.151 | 17.103 | 10.332 | 48.850 | 70.246 |
| | | 14 | 11.455 | 12.525 | 14.638 | 11.847 | 14.873 | 9.472 | 51.622 | 75.645 |
| | | 40 | 14.552 | 14.213 | 16.144 | 11.525 | 14.682 | 9.507 | 55.702 | 89.360 |
| | G1 | 1 | 11.719 | 13.454 | 14.876 | 10.127 | 17.147 | 9.637 | 52.039 | 70.577 |
| | | 14 | 11.937 | 13.972 | 15.445 | 10.567 | 16.228 | 10.423 | 52.632 | 82.789 |
| | | 40 | 13.714 | 14.797 | 14.641 | 10.948 | 15.906 | 9.923 | 53.988 | 89.470 |
| Pb | G0 | 1 | 14.642 | 13.076 | 28.263 | 31.525 | 59.354 | 11.339 | 35.386 | 189.935 |
| | | 14 | 15.827 | 12.083 | 20.354 | 32.970 | 46.160 | 9.661 | 35.216 | 197.589 |
| | | 40 | 16.275 | 14.422 | 20.920 | 35.352 | 52.290 | 8.816 | 34.858 | 206.280 |
| | G1 | 1 | 11.482 | 16.048 | 27.462 | 28.858 | 62.722 | 11.709 | 34.743 | 185.423 |
| | | 14 | 12.121 | 13.373 | 23.039 | 29.535 | 50.237 | 10.437 | 34.981 | 198.161 |
| | | 40 | 16.948 | 13.543 | 22.492 | 48.230 | 87.078 | 9.302 | 26.814 | 191.190 |

**หมายเหตุ:** M0 แสดงตัวอย่างดินที่ไม่เติมโลหะหนัก, G0 คือ ตัวอย่างดินที่ไม่เติมไกลโฟเสท และ G1 คือ ตัวอย่างดินที่เติมไกลโฟเสท

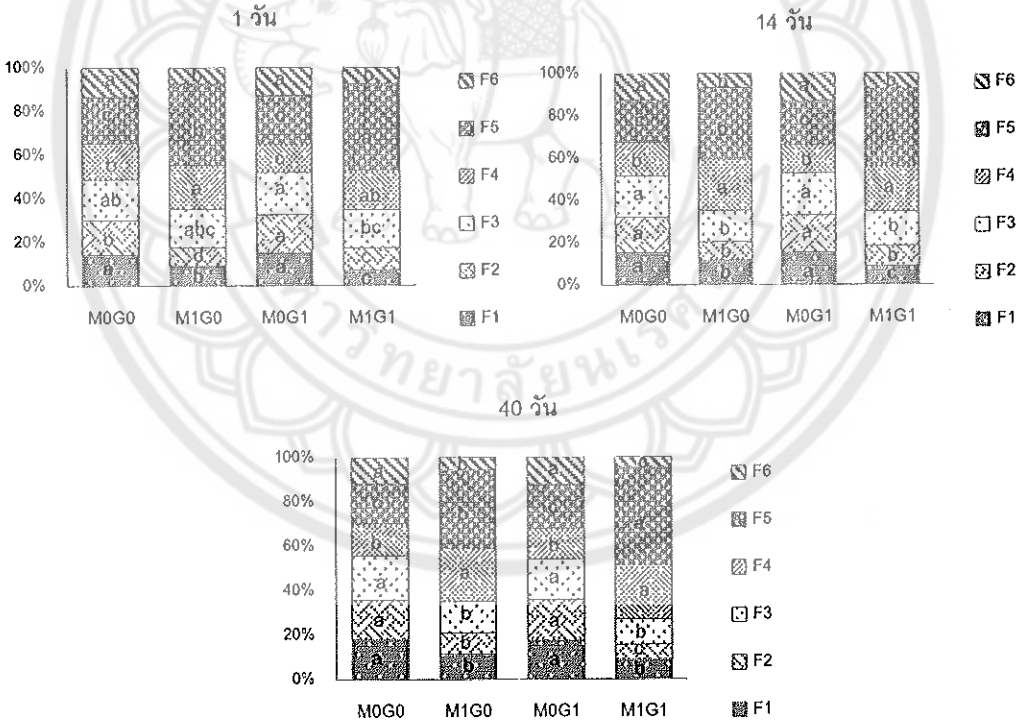
สัดส่วนในรูปต่างๆ ของตะกั่วในดินที่เติมตะกั่วและไกลโฟเสทที่ 1, 14 และ 40 วัน แสดงดังภาพ 18 สัดส่วนแต่ละรูปของตะกั่วในดินของ 1 วัน ในดินที่ไม่เติมไกลโฟเสท(G0) ดินที่ไม่เติมโลหะหนัก(M0) จะอยู่ในรูปที่ตรึงกับอินทรียสาร (F5) สูงที่สุด มีค่าเท่ากับ 22 % รองมาคือ F3, F4, F2, F1 และ F6 มีค่าเท่ากับ 19, 17, 16, 14 และ 13 % ของผลรวมทุกรูป ตามลำดับ เมื่อเติมโลหะตะกั่ว(M1) จะอยู่ในรูปที่ตรึงกับอินทรียสาร (F5) สูงที่สุด มีค่าเท่ากับ 38 % รองมาคือ F4, F3, F1, F2 และ F6 มีค่าเท่ากับ 20, 18, 9, 8 และ 7 % ของผลรวมทุกรูป ตามลำดับ และในดินที่เติมไกลโฟเสท(G1) ดินที่ไม่เติมโลหะหนัก(M0) จะอยู่ในรูปที่ตรึงกับอินทรียสาร (F5) สูงที่สุด มีค่าเท่ากับ 22 % รองมาคือ F3, F2, F1, F4 และ F6 มีค่าเท่ากับ 19, 17, 15, 13 และ 12 % ของผลรวมทุกรูป ตามลำดับ เมื่อเติมโลหะตะกั่ว(M1) จะอยู่ในรูปที่ตรึงกับอินทรียสาร (F5) สูงที่สุด มีค่าเท่ากับ 40 % รองมาคือ F4, F3, F2, F6 และ F1 มีค่าเท่ากับ 18, 17, 10, 8 และ 7 % ของผลรวมทุกรูป ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบผลของการไม่เติมและเติมโลหะตะกั่วในดิน พบว่าการเติมโลหะตะกั่วมีผลทำให้รูป F4 และ F5 เพิ่มขึ้น และรูป F1, F2, F3 และ F6 ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

สัดส่วนแต่ละรูปของตะกั่วในดินของ 14 วัน ในดินที่ไม่เติมไกลโฟเสท(G0) ดินที่ไม่เติมโลหะหนัก(M0) จะอยู่ในรูปที่ตรึงกับอินทรียสาร (F5) สูงที่สุด มีค่าเท่ากับ 20 % รองมาคือ F3, F2, F4, F1 และ F6 มีค่าเท่ากับ 19, 17, 16, 15 และ 13 % ของผลรวมทุกรูป ตามลำดับ เมื่อเติมโลหะตะกั่ว(M1) จะอยู่ในรูปที่ตรึงกับอินทรียสาร (F5) สูงที่สุด มีค่าเท่ากับ 34 % รองมาคือ F4, F3, F1, F2 และ F6 มีค่าเท่ากับ 24, 15, 12, 9 และ 7 % ของผลรวมทุกรูป ตามลำดับ และในดินที่เติมไกลโฟเสท(G1) ดินที่ไม่เติมโลหะหนัก(M0) จะอยู่ในรูปที่ตรึงกับอินทรียสาร (F5) สูงที่สุด มีค่าเท่ากับ 21 % รองมาคือ F3, F2, F1, F4 และ F6 มีค่าเท่ากับ 20, 18, 15, 13 และ 13 % ของผลรวมทุกรูป ตามลำดับ เมื่อเติมโลหะตะกั่ว(M1) จะอยู่ในรูปที่ตรึงกับอินทรียสาร (F5) สูงที่สุด มีค่าเท่ากับ 36 % รองมาคือ F4, F3, F2, F1 และ F6 มีค่าเท่ากับ 21, 16, 10, 9 และ 8 % ของผลรวมทุกรูป ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบผลของการไม่เติมและเติมโลหะตะกั่วในดิน พบว่าการเติมโลหะตะกั่วมีผลทำให้รูป F4 และ F5 เพิ่มขึ้น และรูป F1, F2, F3 และ F6 ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

สัดส่วนแต่ละรูปของตะกั่วในดินของ 40 วัน ในดินที่ไม่เติมไกลโฟเสท(G0) ดินที่ไม่เติมโลหะหนัก(M0) จะอยู่ในรูปที่ตรึงกับคาร์บอเนต (F3) สูงที่สุด มีค่าเท่ากับ 20 % รองมาคือ F5, F1, F2, F4 และ F6 มีค่าเท่ากับ 19, 18, 17, 14 และ 12 % ของผลรวมทุกรูป ตามลำดับ เมื่อเติมโลหะตะกั่ว(M1) จะอยู่ในรูปที่ตรึงกับอินทรียสาร (F5) สูงที่สุด มีค่าเท่ากับ 35 % รองมาคือ F4,

F3, F1, F2 และ F6 มีค่าเท่ากับ 24, 14, 11, 10 และ 6 % ของผลรวมทุกรูป ตามลำดับ และในดินที่เติมไกลโฟเสท(G1) ดินที่ไม่เติมโลหะหนัก(M0) จะอยู่ในรูปที่ตรึงกับอินทรียสาร (F5) สูงที่สุด มีค่าเท่ากับ 20 % รองมาคือ F2, F3, F1, F4 และ F6 มีค่าเท่ากับ 19, 18, 17, 14 และ 12 % ของผลรวมทุกรูป ตามลำดับ เมื่อเติมโลหะตะกั่ว(M1) จะอยู่ในรูปที่ตรึงกับอินทรียสาร (F5) สูงที่สุด มีค่าเท่ากับ 44 % รองมาคือ F4, F3, F1, F2 และ F6 มีค่าเท่ากับ 24, 11, 9, 7 และ 5 % ของผลรวมทุกรูป ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบผลของการไม่เติมและเติมโลหะตะกั่วในดิน พบว่าการเติมโลหะตะกั่วมีผลทำให้รูป F4 และ F5 เพิ่มขึ้น และรูป F1, F2, F3 และ F6 ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

การเติมไกลโฟเสทมีผลทำให้รูป F2 เพิ่มขึ้น รูป F4 ลดลงใน 1 และ 14 วัน ทำให้รูป F5 เพิ่มขึ้นใน 14 และ 40 วัน และ F6 เพิ่มขึ้นใน 14 วัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนรูป F1 และรูป F3 ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ




**ภาพ 18 สัดส่วนแต่ละรูปของตะกั่วในดินที่ไม่เติมโลหะหนัก(M0) กับดินที่เติมโลหะตะกั่ว (M1) ในดินที่ไม่เติมไกลโฟเสท(G0) และดินที่เติมไกลโฟเสท(G1) ตามระยะเวลา 1,14 และ 40 วัน**

**11. ผลของการเติมโลหะตะกั่วและไกลโฟเสทต่อรูปของโลหะหนักในดิน**

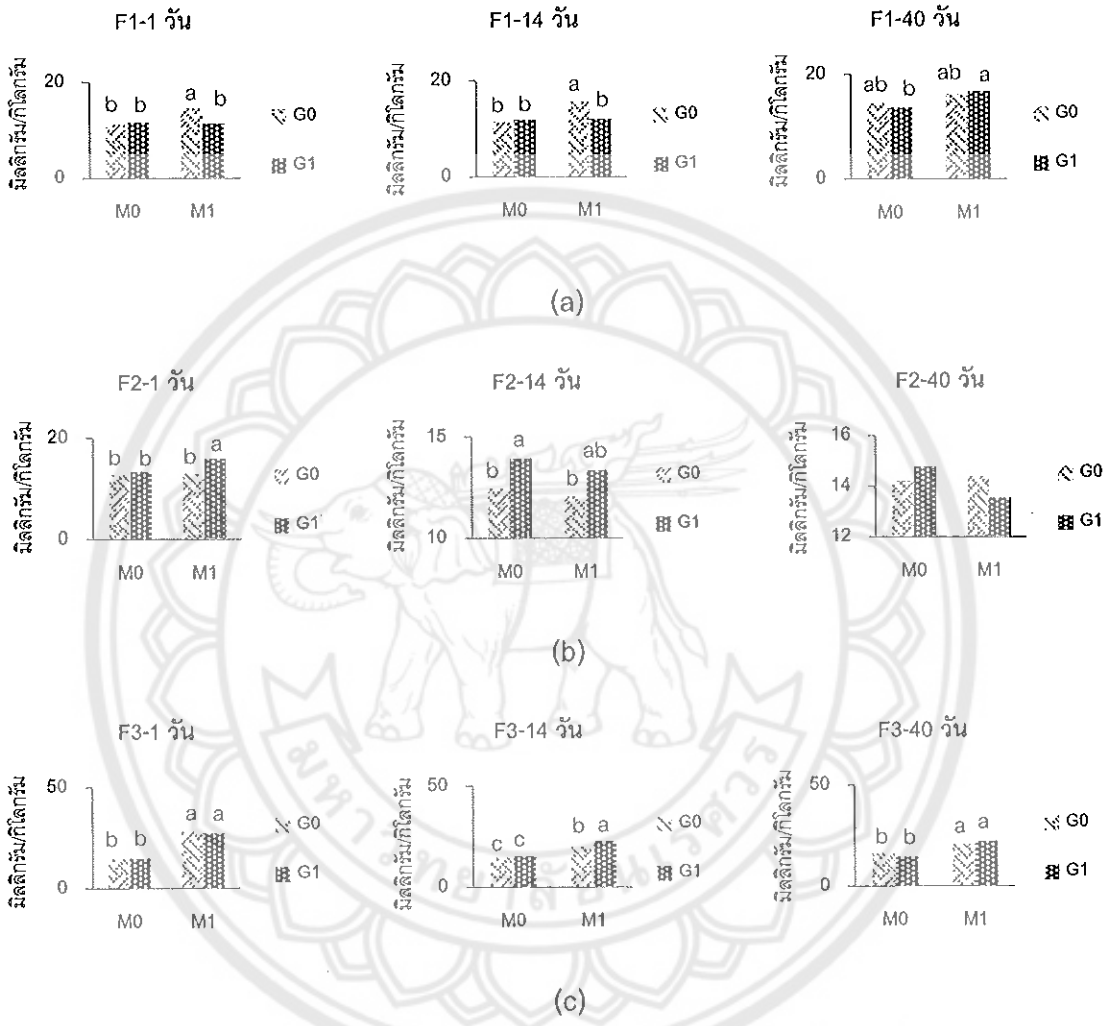
ผลของการเติมโลหะตะกั่ว

การเติมตะกั่วมีผลต่อตะกั่วในดินทุกรูป อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ทุกระยะ แสดงดังภาพ 19 โดย F1 มีปริมาณลดลงที่ระยะ 1 วัน และเพิ่มขึ้นที่ระยะ 14 และ 40 วัน แสดงดังภาพ (a) F2 มีปริมาณเพิ่มขึ้นที่ระยะ 1 วัน และลดลงที่ระยะ 14 และ 40 วัน แสดงดังภาพ (b) F3, F4 และ F5 มีปริมาณเพิ่มขึ้นที่ระยะ 1, 14 และ 40 วัน แสดงดังภาพ (c), (d) และ (e) ตามลำดับ และ F6 ปริมาณเพิ่มขึ้นที่ระยะ 1 และ 14 วัน และลดลงที่ระยะ 40 วัน แสดงดังภาพ (f) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในดินที่เติมตะกั่ว

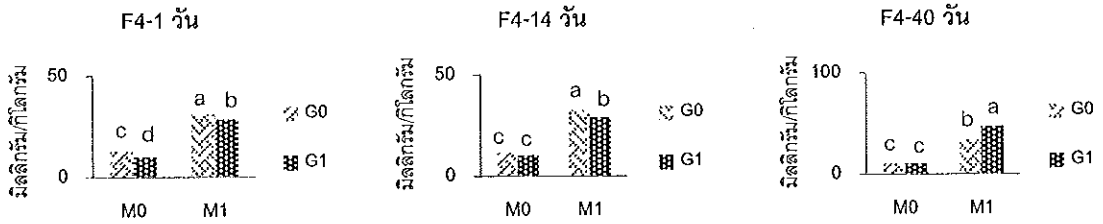
ผลของการเติมไกลโฟเสท

การเติมไกลโฟเสทมีผลต่อ F1 และ F2 ที่ระยะ 1 และ 14 วัน มีผลต่อ F3 ที่ระยะ 14 วัน มีผลต่อ F4 ที่ระยะ 1, 14 และ 40 วัน มีผลต่อ F5 ที่ระยะ 40 วัน และมีผลต่อ F6 ที่ระยะ 1 และ 14 วัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงดังภาพ 19 โดยการเติมไกลโฟเสทมีผลทำให้ F1 ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระยะ 1 และ 14 วันในดินที่เติมตะกั่ว โดยดินที่ไม่เติมไกลโฟเสทมี F1 เป็น 14.642 และ 15.827 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และเมื่อเติมไกลโฟเสทมีปริมาณลดลงเป็น 11.482 และ 12.121 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ที่ระยะ 1 และ 14 วัน ตามลำดับ การเติมไกลโฟเสทมีผลทำให้ F2 เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระยะ 1 และ 14 วันในดินที่เติมตะกั่ว โดยดินที่ไม่เติมไกลโฟเสทมี F2 เป็น 13.076 และ 12.083 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และเมื่อเติมไกลโฟเสทมีปริมาณเพิ่มขึ้นเป็น 16.048 และ 13.373 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ที่ระยะ 1 และ 14 วัน ตามลำดับ การเติมไกลโฟเสทมีผลทำให้ F3 เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระยะ 14 วัน ในดินที่เติมตะกั่ว โดยดินที่ไม่เติมไกลโฟเสทมี F3 เป็น 20.354 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และเมื่อเติมไกลโฟเสทมีปริมาณเพิ่มขึ้นเป็น 23.039 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ที่ระยะ 14 วัน การเติมไกลโฟเสทมีผลทำให้ F4 ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระยะ 1 และ 14 วัน และเพิ่มขึ้นที่ระยะ 40 วัน ในดินที่เติมตะกั่ว โดยดินที่ไม่เติมไกลโฟเสทมี F4 เป็น 31.525, 32.970 และ 35.352 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และเมื่อเติมไกลโฟเสทมีปริมาณเป็น 28.858, 29.535 และ 48.230 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ที่ระยะ 1, 14 และ 40 วัน ตามลำดับ การเติมไกลโฟเสทมีผลทำให้ F5 เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระยะ 40 วัน ในดินที่เติมตะกั่ว โดยดินที่ไม่เติมไกลโฟเสทมี F5 เป็น 52.290 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และเมื่อเติมไกลโฟเสทมีปริมาณเพิ่มขึ้นเป็น 87.078 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ที่ระยะ 40 วัน และการเติมไกลโฟเสทมีผลทำให้ F6 เพิ่มขึ้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระยะ 1 และ 14 วัน ในดินที่เติมตะกั่ว โดยดินที่ไม่เติมไกลโฟเสทมี F6 เป็น 11.339

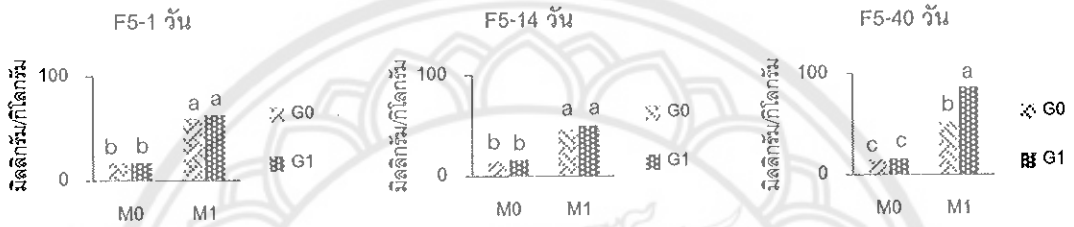
และ 9.661 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และเมื่อเติมไกลโฟเสทมีปริมาณเพิ่มขึ้นเป็น 11.709 และ 10.437 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ที่ระยะ 1 และ 14 วัน ตามลำดับ



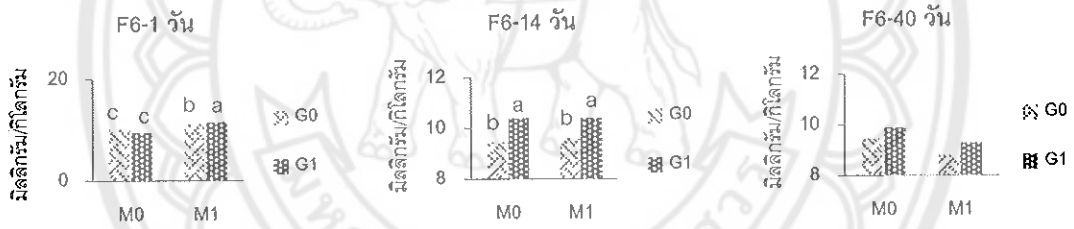

**ภาพ** 19 ผลของการเติมโลหะตะกั่วและไกลโฟเสทต่อรูปของโลหะหนักในดิน รูป F1 (a), F2 (b), F3 (c), F4 (d), F5 (e) และ F6 (f) ตามระยะเวลา 1,14 และ 40 วัน




(d)




(e)




(f)

ภาพ 19 (ต่อ)

## 12. การเจริญเติบโตของผักกาดเขียวปลี

### 12.1 แคดเมียม

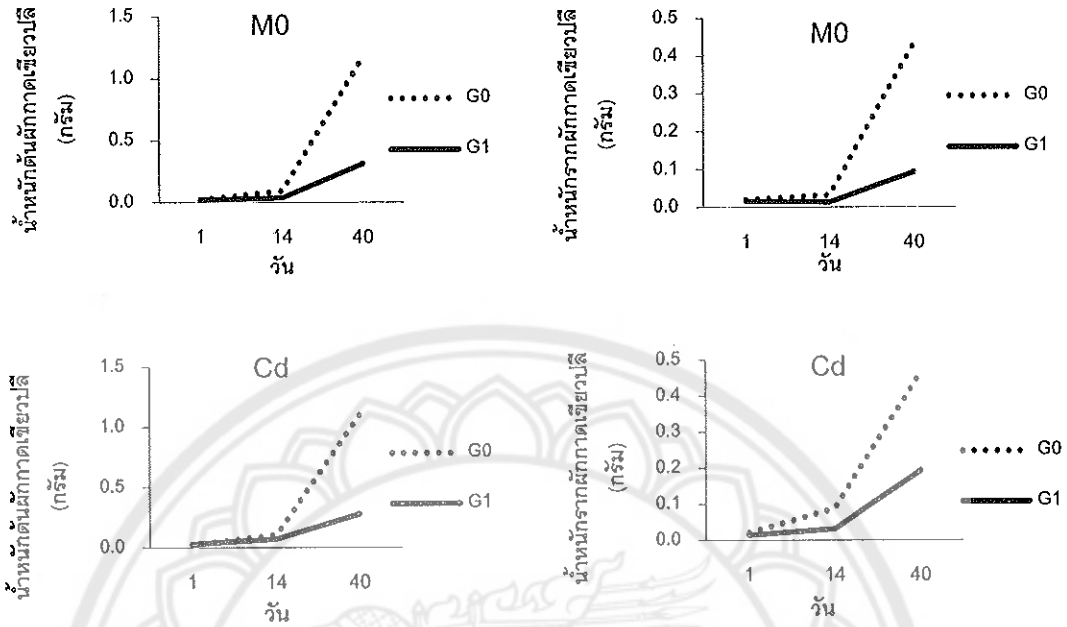
การเจริญเติบโตของผักกาดเขียวปลีในดินที่ไม่เติมไกลโฟเสทและเติมไกลโฟเสทในดินที่ไม่เติมโลหะหนัก และดินที่เติมโลหะแคดเมียมของทั้ง 3 ตามระยะเวลาการเจริญเติบโต พบว่าผักกาดเขียวปลีมีการเจริญเติบโตทั้งต้นและรากเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาโดยปริมาณน้ำหนักแห้งมีการเพิ่มขึ้นในระยะ 14 และ 40 วัน แสดงดังตาราง 13

เมื่อมีการเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของผักกาดเขียวปลีในดินที่ไม่เติมไกลโฟเสทและเติมไกลโฟเสท พบว่าระยะ 14 และ 40 วัน ดินที่เติมไกลโฟเสทมีน้ำหนักแห้งทั้งต้นและรากของผักกาดเขียวปลีน้อยกว่าดินที่ไม่เติมไกลโฟเสทพบได้ทั้งดินไม่เติมและเติมแคดเมียม แสดงดังภาพ 20

ตาราง 13 การดูดดึงธาตุแคดเมียมในผักกาดเขียวปลีตามระยะเวลาการเจริญเติบโต

| โลหะหนัก | | วัน | การเจริญเติบโต (กรัม) | | | | ความเข้มข้น (มิลลิกรัม/กิโลกรัม) | | | | การดูดดึง (มิลลิกรัม/กระถาง) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | ต้น | | ราก | | ต้น | | ราก | | ต้น | ราก |
| | | | Rep 1 | Rep 2 | Rep 1 | Rep 2 | Rep 1 | Rep 2 | Rep 1 | Rep 2 | | |
| M0 | G0 | 1 | 0.024 | - | 0.020 | - | 56.882 | - | 64.709 | - | 1.342 | 1.301 |
| | | 14 | 0.1116 | 0.0756 | 0.0411 | 0.0240 | 10.457 | 14.994 | 32.866 | 53.150 | 1.150 | 1.313 |
| | | 40 | 1.1500 | 1.1867 | 0.3612 | 0.5028 | 3.627 | 3.215 | 3.462 | 2.803 | 3.993 | 1.330 |
| | G1 | 1 | 0.023 | - | 0.016 | - | 54.497 | - | 82.343 | - | 1.259 | 1.326 |
| | | 14 | 0.0352 | 0.0393 | 0.0194 | 0.0078 | 31.254 | 27.143 | 72.642 | 175.319 | 1.083 | 1.388 |
| | | 40 | 0.0201 | 0.6045 | 0.0050 | 0.1813 | 63.462 | 2.718 | 261.801 | 6.667 | 1.459 | 1.259 |
| Cd | G0 | 1 | 0.027 | - | 0.021 | - | 104.251 | - | 102.514 | - | 2.763 | 2.153 |
| | | 14 | 0.1151 | 0.0953 | 0.1155 | 0.0619 | 107.835 | 137.691 | 109.198 | 143.155 | 12.767 | 10.737 |
| | | 40 | 1.0520 | 1.1502 | 0.5110 | 0.4192 | 68.071 | 69.395 | 67.303 | 73.791 | 75.715 | 32.663 |
| | G1 | 1 | 0.030 | - | 0.015 | - | 98.644 | - | 144.743 | - | 2.930 | 2.128 |
| | | 14 | 0.0714 | 0.0745 | 0.0239 | 0.0386 | 125.746 | 130.606 | 188.299 | 183.034 | 9.354 | 5.783 |
| | | 40 | 0.1402 | 0.4207 | 0.0253 | 0.3629 | 51.704 | 80.439 | 129.338 | 81.947 | 20.545 | 16.505 |

**หมายเหตุ:** M0 แสดงตัวอย่างดินที่ไม่เติมโลหะหนัก, G0 คือ ตัวอย่างดินที่ไม่เติมไกลโฟเสท และ G1 คือ ตัวอย่างดินที่เติมไกลโฟเสท




**ภาพ** 20 การเจริญเติบโตของต้น และรากผักกาดเขียวปลีในดินที่ไม่เติมไกลโฟเสท(G0) และเติมไกลโฟเสท(G1) ตามระยะเวลา 1,14 และ 40 วัน

12.2 ตะกั่ว

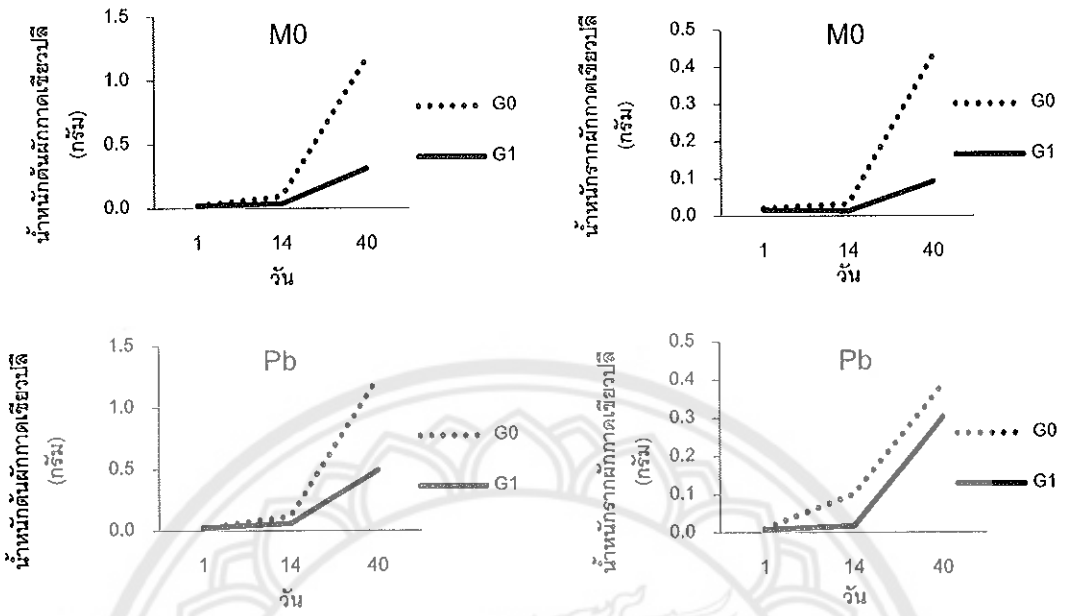
การเจริญเติบโตของผักกาดเขียวปลีในดินที่ไม่เติมไกลโฟเสทและเติมไกลโฟเสทในดินที่ไม่เติมโลหะหนัก และดินที่เติมโลหะตะกั่วของทั้ง 3 การทดลองตามระยะเวลาการเจริญเติบโต พบว่าผักกาดเขียวปลีมีการเจริญเติบโตทั้งต้นและรากเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาโดยปริมาณน้ำหนักแห้งมีการเพิ่มขึ้นในระยะ 14 และ 40 วัน แสดงดังตาราง 14

เมื่อมีการเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของผักกาดเขียวปลีในดินที่ไม่เติมไกลโฟเสทและเติมไกลโฟเสท พบว่าระยะ 14 และ 40 วัน ดินที่เติมไกลโฟเสทมีน้ำหนักแห้งทั้งต้นและรากของผักกาดเขียวปลีน้อยกว่าดินที่ไม่เติมไกลโฟเสทพบได้ทั้งดินไม่เติมและเติมตะกั่ว แสดงดังภาพ 21

ตาราง 14 การดูดดึงธาตุตะกั่วในผักกาดเขียวปลีตามระยะเวลาการเจริญเติบโต

| โลหะหนัก | | วัน | การเจริญเติบโต(กรัม) | | | | ความเข้มข้น (มิลลิกรัม/กิโลกรัม) | | | | การดูดดึง (มิลลิกรัม/กระถาง) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | ต้น | | ราก | | ต้น | | ราก | | ต้น | ราก |
| | | | Rep 1 | Rep 2 | Rep 1 | Rep 2 | Rep 1 | Rep 2 | Rep 1 | Rep 2 | | |
| M0 | G0 | 1 | 0.024 | - | 0.020 | - | 718.966 | - | 924.729 | - | 16.968 | 18.587 |
| | | 14 | 0.1116 | 0.0756 | 0.0411 | 0.0240 | 137.996 | 196.799 | 355.640 | 709.160 | 15.139 | 15.818 |
| | | 40 | 1.1500 | 1.1867 | 0.3612 | 0.5028 | 38.135 | 35.525 | 49.434 | 39.565 | 43.007 | 18.874 |
| | G1 | 1 | 0.023 | - | 0.016 | - | 739.051 | - | 1157.720 | - | 17.072 | 18.639 |
| | | 14 | 0.0352 | 0.0393 | 0.0194 | 0.0078 | 388.536 | 322.746 | 871.926 | 2161.939 | 13.180 | 16.889 |
| | | 40 | 0.0201 | 0.6045 | 0.0050 | 0.1813 | 768.788 | 26.513 | 3445.760 | 97.334 | 15.740 | 17.438 |
| Pb | G0 | 1 | 0.020 | - | 0.010 | - | 927.594 | - | 1860.358 | - | 18.274 | 19.162 |
| | | 14 | 0.0785 | 0.1529 | 0.0478 | 0.1558 | 180.212 | 99.014 | 432.566 | 180.996 | 14.643 | 24.438 |
| | | 40 | 1.1774 | 1.3006 | 0.3532 | 0.4267 | 33.366 | 27.695 | 122.880 | 114.446 | 37.652 | 46.118 |
| | G1 | 1 | 0.025 | - | 0.009 | - | 708.852 | - | 2309.629 | - | 17.438 | 19.632 |
| | | 14 | 0.0345 | 0.0853 | 0.0083 | 0.0267 | 376.735 | 182.381 | 2107.229 | 739.188 | 14.277 | 18.613 |
| | | 40 | 0.4973 | 0.4870 | 0.3328 | 0.2740 | 26.136 | 27.976 | 135.592 | 145.815 | 13.311 | 42.539 |

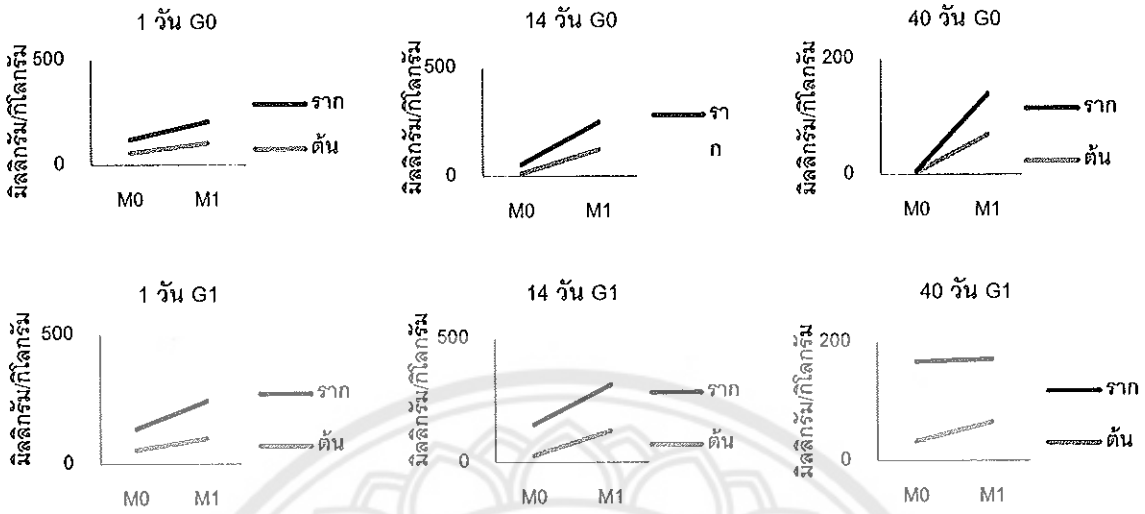
**หมายเหตุ:** M0 แสดงตัวอย่างดินที่ไม่เติมโลหะหนัก, G0 คือ ตัวอย่างดินที่ไม่เติมไกลโฟเสท และ G1 คือ ตัวอย่างดินที่เติมไกลโฟเสท




**ภาพ 21 การเจริญเติบโตของต้น และรากผักกาดเขียวปลีในดินที่ไม่เติมไกลโฟเสท(G0) และเติมไกลโฟเสท(G1) ตามระยะเวลา 1,14 และ 40 วัน**

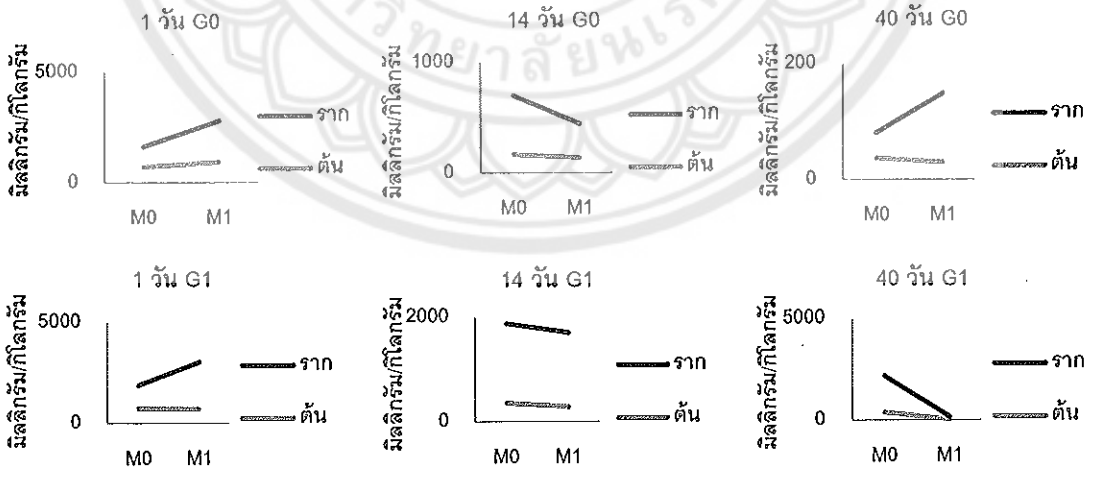
13. ผลของการเติมแคดเมียมและตะกั่วในดินต่อปริมาณแคดเมียมและตะกั่วในผักกาดเขียวปลี

13.1 ผลของการเติมแคดเมียมในดินต่อความเข้มข้นของแคดเมียมในผักกาดเขียว-ปลีที่ระยะ 1, 14 และ 40 วัน แสดงดังภาพ 22 การเติมแคดเมียมในดินทำให้ความเข้มข้นของแคดเมียมในผักกาดเขียวปลีเพิ่มสูงขึ้น โดยมีค่าในส่วนรากสูงกว่าในส่วนต้น แสดงให้เห็นว่าแคดเมียมมีการสะสมที่รากพืชมากกว่าลำต้น




**ภาพ 22 ผลของการไม่เติมและเติมโลหะแคดเมียมในดินต่อส่วนต้น และรากของผักกาดเขียวปลี**

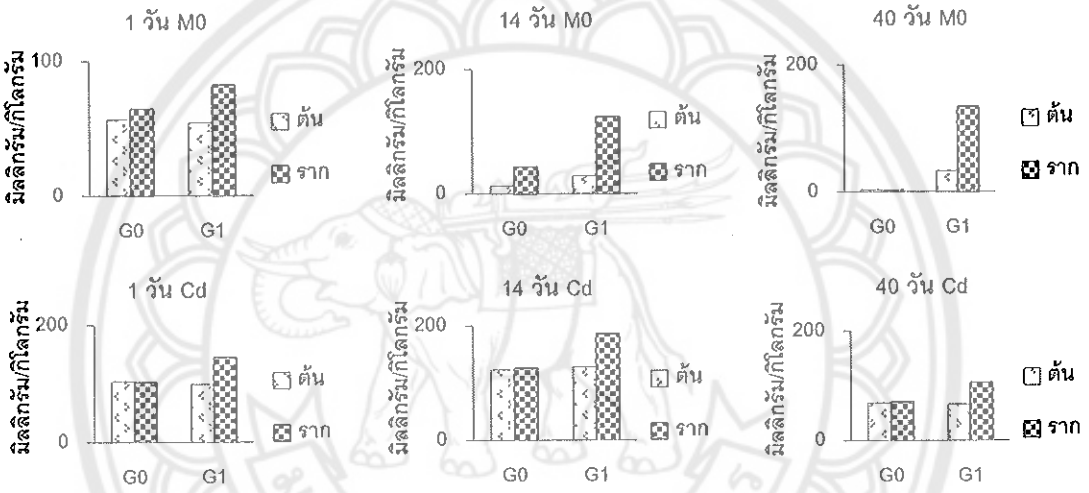
13.2 ผลของการเติมตะกั่วในดินต่อความเข้มข้นของตะกั่วในผักกาดเขียวปลีที่ระยะ 1, 14 และ 40 วัน แสดงดังภาพ 23 การเติมตะกั่วในดินทำให้ความเข้มข้นของตะกั่วในผักกาดเขียวปลีเพิ่มสูงขึ้น โดยมีค่าในส่วนรากสูงกว่าในส่วนต้น แสดงให้เห็นว่าตะกั่วมีการสะสมที่รากพืชมากกว่าลำต้น




**ภาพ 23 ผลของการไม่เติมและเติมโลหะตะกั่วในดินต่อส่วนต้น และรากของผักกาดเขียวปลี**

**14. ผลของการเติมไกลโฟเสทในดินต่อปริมาณแคดเมียมและตะกั่วในต้น-ผักกาดเขียวปลี**

14.1 ผลของการเติมไกลโฟเสทลงในดินที่ไม่มีและมีแคดเมียมต่อการดูดดึงของแคดเมียมในผักกาดเขียวปลีที่ระยะ 1, 14 และ 40 วัน แสดงดังภาพ 24 การเติมไกลโฟเสทในดินทำให้ความเข้มข้นของแคดเมียมในส่วนรากของต้นผักกาดเขียวปลีเพิ่มสูงขึ้น ทั้งดินที่ไม่เติมและเติมแคดเมียมที่ทุกระยะการเจริญเติบโต แสดงให้เห็นว่าการเติมไกลโฟเสททำให้มีการสะสมแคดเมียมที่ส่วนรากของต้นผักกาดเขียวปลีเพิ่มขึ้น

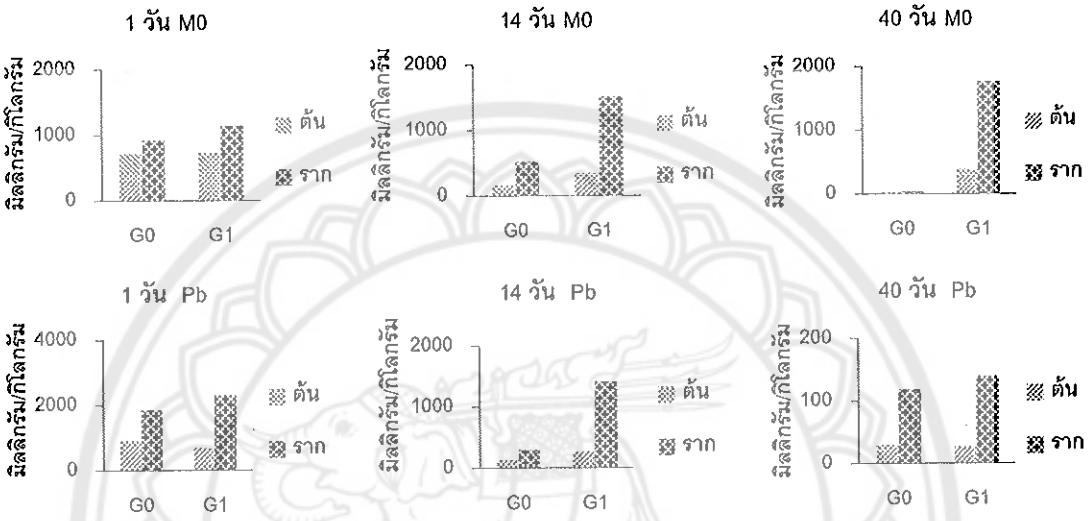



**ภาพ 24 ผลของการไม่เติมและเติมไกลโฟเสทในดินต่อส่วนต้น และรากของผักกาดเขียวปลี**

14.2 ผลของการเติมไกลโฟเสทลงในดินที่ไม่มีและมีตะกั่วต่อการดูดดึงของตะกั่วในผักกาดเขียวปลีที่ระยะ 1, 14 และ 40 วัน แสดงดังภาพ 25 การเติมไกลโฟเสทในดินทำให้ความเข้มข้นของตะกั่วในผักกาดเขียวปลีเพิ่มขึ้น โดยมีปริมาณในรากเพิ่มขึ้นทั้งในดินที่ไม่เติมและเติมตะกั่วที่ทุกระยะการเจริญเติบโต ส่วนปริมาณในต้นเพิ่มขึ้นในดินที่ไม่เติมตะกั่วที่ระยะ 14 และ 40 วัน แสดงให้เห็นว่าการเติมไกลโฟเสททำให้มีการสะสมตะกั่วในส่วนรากต้นผักกาดเขียวปลีเพิ่มขึ้น ส่วนผลของไกลโฟเสทต่อการสะสมในต้นเกิดเฉพาะในดินที่ไม่เติมตะกั่วเท่านั้น

การเติมไกลโฟเสทลงในดินมีผลทำให้แคดเมียมและตะกั่วในรูปที่เคลื่อนย้ายได้เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับการเพิ่มของปริมาณการดูดดึงแคดเมียมและตะกั่วเข้าสู่รากของ

ผักกาดเขียวปลี ผลจากการทดลองนี้จึงสรุปได้ว่าสารไกลโฟเสทมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของโลหะรูปที่เข้าสู่ระบบชีวภาพได้ง่าย แต่อย่างไรก็ตามสารไกลโฟเสทที่ใส่ลงไปสามารถออกฤทธิ์หลังจากดูดซึมเข้าสู่ลำต้น ทำให้ต้นผักกาดเขียวปลีมีการเจริญเติบโตลดลง ส่งผลให้ปริมาณการดูดดึงแคดเมียมและตะกั่วในต้นพืชทั้งหมดไม่เพิ่มขึ้น

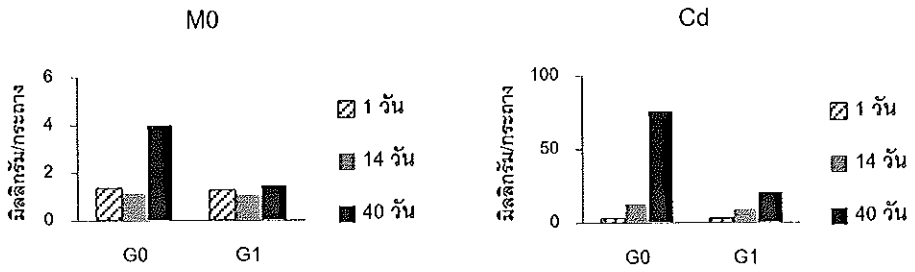



ภาพ 25 ผลของการไม่เติมและเติมไกลโฟเสทในดินต่อส่วนต้น และรากของผักกาดเขียวปลี

15. ปริมาณการดูดดึงแคดเมียมและตะกั่วของผักกาดเขียวปลี

15.1 แคดเมียม

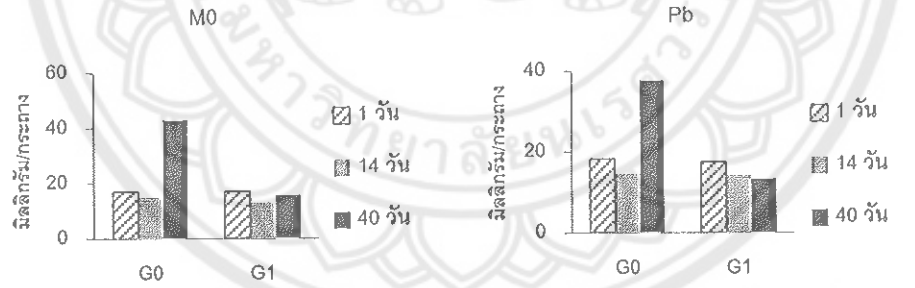
การดูดดึงโลหะแคดเมียมของผักกาดเขียวปลีในดินที่ไม่เติมและเติมแคดเมียมที่ระยะ 1,14 และ 40 วัน แสดงดังภาพ 26 ในดินที่ไม่เติมไกลโฟเสทจะมีปริมาณการดูดดึงแคดเมียมทั้งหมดเพิ่มสูงขึ้นตามระยะการเจริญเติบโตทั้งไม่ได้รับและได้รับแคดเมียม ส่วนดินที่เติมไกลโฟเสทจะมีปริมาณการดูดดึงทั้งหมดไม่เพิ่มขึ้นตามระยะการเจริญเติบโต ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลการเจริญเติบโตที่ลดลงในดินที่ได้รับไกลโฟเสท




**ภาพ** 26 ปริมาณการดูดดึงโลหะแคดเมียมของผักกาดเขียวปลีในดินที่ไม่เติมโลหะหนัก (M0) และดินที่เติมโลหะแคดเมียม ตามระยะเวลา 1,14 และ 40 วัน

15.2 ตะกั่ว

การดูดดึงโลหะตะกั่วของผักกาดเขียวปลีในดินที่ไม่เติมและเติมตะกั่วที่ระยะ 1,14 และ 40 วัน แสดงดังภาพ 27 ในดินที่ไม่เติมไกลโฟเสทจะมีปริมาณการดูดดึงตะกั่วทั้งหมดเพิ่มสูงขึ้นตามระยะการเจริญเติบโตทั้งไม่ได้รับและได้รับตะกั่ว ส่วนดินที่เติมไกลโฟเสทจะมีปริมาณการดูดดึงทั้งหมดไม่เพิ่มขึ้นตามระยะการเจริญเติบโต ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลการเจริญเติบโตที่ลดลงในดินที่ได้รับไกลโฟเสท




**ภาพ 27 ปริมาณการดูดดึงโลหะตะกั่วของผักกาดเขียวปลีในดินที่ไม่เติมโลหะหนัก(M0) และดินที่เติมโลหะตะกั่ว ตามระยะเวลา 1,14 และ 40 วัน**

# บทที่ 5

# บทสรุป

## สรุปผลการวิจัย

### ผลต่อค่าความเป็นกรด-ด่างในดิน

การเติมโลหะตะกั่วทำให้มีผลต่อค่าความเป็นกรด-ด่างในดินเพิ่มขึ้นที่ระยะ 14 วัน ในดินที่เติมไกลโฟเสท และการเติมไกลโฟเสทในดินทำให้มีผลต่อค่าความเป็นกรด-ด่างในดินลดลงที่ระยะ 14 และ 40 วัน ในดินที่ไม่เติมโลหะหนัก(M0)

### ผลต่อปริมาณแอมโมเนียม

การเติมโลหะหนักและไกลโฟเสทไม่มีผลต่อปริมาณแอมโมเนียมในดินที่ระยะ 1, 14 และ 40 วัน

### ผลต่อปริมาณไนเตรท

การเติมโลหะตะกั่วทำให้มีผลต่อปริมาณไนเตรทในดินเพิ่มขึ้นที่ระยะ 1 วัน ในดินที่ไม่เติมไกลโฟเสท และการเติมไกลโฟเสทในดินไม่มีผลต่อปริมาณไนเตรทในดินที่ระยะเวลา 1, 14 และ 40 วัน

### ผลต่อปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด

การเติมโลหะแคดเมียมทำให้มีผลต่อปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินลดลงที่ระยะ 14 วัน ในดินที่เติมไกลโฟเสท และการเติมตะกั่วทำให้มีผลต่อปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินเพิ่มขึ้นที่ระยะ 14 และ 40 วัน ในดินที่ไม่เติมไกลโฟเสท

การเติมไกลโฟเสททำให้มีผลต่อปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินเพิ่มขึ้นที่ระยะ 14 วัน ในดินที่ไม่เติมโลหะหนัก(M0) และในดินที่เติมตะกั่ว

### ผลต่อปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์

การเติมโลหะตะกั่วทำให้มีผลต่อปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินเพิ่มขึ้นที่ระยะ 1 และ 14 วัน ในดินที่ไม่เติมไกลโฟเสท และการเติมโลหะตะกั่วทำให้มีผลต่อปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินเพิ่มขึ้นที่ระยะ 14 และ 40 วัน ในดินที่เติมไกลโฟเสท

การเติมไกลโฟเสททำให้มีผลต่อปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินลดลงที่ระยะ 1 วัน ในดินที่เติมตะกั่ว และการเติมไกลโฟเสททำให้มีผลต่อปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินเพิ่มขึ้นที่ระยะ 14 และ 40 วัน ในดินที่ไม่เติมโลหะหนัก(M0) ดินที่เติมแคดเมียมและดินที่เติมตะกั่ว

**ผลของการเติมโลหะแคดเมียมและไกลโฟเสทต่อรูปของโลหะหนักในดิน**

การเติมโลหะแคดเมียมมีผลต่อรูปแคดเมียมในดิน โดยรูป F1 มีปริมาณเพิ่มขึ้นที่ระยะ 40 วัน รูป F2, F3, F4 และ F5 มีปริมาณเพิ่มขึ้นที่ระยะ 1, 14 และ 40 วัน และรูป F6 มีปริมาณลดลงที่ระยะ 40 วัน ในดินที่เติมแคดเมียม

การเติมไกลโฟเสทมีผลทำให้รูป F2 เพิ่มขึ้นที่ระยะ 1 และ 14 วัน และการเติมไกลโฟเสทมีผลทำให้รูป F5 ลดลงที่ระยะ 40 วัน ในดินที่เติมแคดเมียม

**ผลของการเติมโลหะตะกั่วและไกลโฟเสทต่อรูปของโลหะหนักในดิน**

การเติมโลหะตะกั่วมีผลต่อรูปตะกั่วในดิน โดยรูป F1 มีปริมาณลดลงที่ระยะ 1 วัน และเพิ่มขึ้นที่ระยะ 14 และ 40 วัน รูป F2 มีปริมาณเพิ่มขึ้นที่ระยะ 1 วัน และลดลงที่ระยะ 14 และ 40 วัน รูป F3, F4 และ F5 มีปริมาณเพิ่มขึ้นที่ระยะ 1, 14 และ 40 วัน และรูป F6 ปริมาณเพิ่มขึ้นที่ระยะ 1 และ 14 วัน และลดลงที่ระยะ 40 วัน ในดินที่เติมตะกั่ว

การเติมไกลโฟเสทมีผลทำให้รูป F1 ลดลงที่ระยะ 1 และ 14 วัน ทำให้รูป F2 และ F6 เพิ่มขึ้นที่ระยะ 1 และ 14 วัน ทำให้รูป F3 เพิ่มขึ้นที่ระยะ 14 วัน ทำให้รูป F4 ลดลงที่ระยะ 1 และ 14 วัน และเพิ่มขึ้นที่ระยะ 40 วัน และทำให้รูป F5 เพิ่มขึ้นที่ระยะ 40 วัน ในดินที่เติมตะกั่ว

**ผลของการเติมแคดเมียมและตะกั่วในดินต่อปริมาณแคดเมียมและตะกั่วในผักกาดเขียวปลี**

การเติมโลหะแคดเมียมและตะกั่วในดินทำให้แคดเมียมและตะกั่วมีการสะสมที่รากพืชมากกว่าลำต้น

**ผลของการเติมไกลโฟเสทในดินต่อปริมาณแคดเมียมและตะกั่วในต้นผักกาด-เขียวปลี**

การเติมไกลโฟเสททำให้มีการสะสมแคดเมียมและตะกั่วที่ส่วนรากของต้นผักกาดเขียวปลีเพิ่มขึ้นทั้งในดินที่ไม่เติมและเติมโลหะหนักที่ทุกระยะการเจริญเติบโต

**ปริมาณการดูดดึงแคดเมียมและตะกั่วของผักกาดเขียวปลี**

ดินที่ไม่เติมไกลโฟเสทจะมีปริมาณการดูดดึงแคดเมียมและตะกั่วทั้งหมดเพิ่มสูงขึ้นตามระยะการเจริญเติบโต ส่วนดินที่เติมไกลโฟเสทจะมีปริมาณการดูดดึงทั้งหมดไม่เพิ่มขึ้นตามระยะการเจริญเติบโต

## อภิปรายผลการวิจัย

### ผลต่อค่าความเป็นกรด-ด่างในดิน

การเติมไกลโฟเสทในดินทำให้มีผลต่อค่าความเป็นกรด-ด่างในดิน ทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างดินลดลง เนื่องจากไกลโฟเสทมีคุณสมบัติเป็นกรด เมื่อความเข้มข้นของไกลโฟเสทเพิ่มขึ้นทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างในดินลดลง ( Morillo, et al., 2002) และค่าความเป็นกรด-ด่างในดินมีความสัมพันธ์กับปริมาณอนุภาคคอลลอยด์ดิน โดยดินที่มีเนื้อป่านกลางมีอินทรียวัตถุต่ำจะมีค่าความเป็นกรด-ด่างในดินลดลง (วภากร ศิริวงศ์, 2557) ซึ่งค่าความเป็นกรด-ด่างมีผลต่อการดูดซับโลหะหนักในดินที่มี ไกลโฟเสท การดูดซับปริมาณแคดเมียมลดลงเมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างในดินต่ำกว่า 6.7 และการดูดซับแคดเมียมในดินเพิ่มขึ้นเมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างในดินเพิ่มขึ้น (WANG Yu-jun, et al., 2004) เมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างในดินประมาณ 6 จะเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแคดเมียมกับไกลโฟเสทมีประจุลบสูง ซึ่งจะลดการดูดซับบนผิวอนุภาคดิน (Dong-Mei Zhou, et al., 2004)

### ผลต่อปริมาณไนเตรท

การเติมโลหะตะกั่วทำให้มีผลต่อปริมาณไนเตรทในดินเพิ่มขึ้นในวันแรกของการเติม เนื่องจากการทดลองใช้สารประกอบตะกั่วไนเตรท ($Pb(NO_3)_2$) ซึ่งเกลือของไนเตรท ($NO_3$) มีความสามารถในการละลายน้ำง่ายจะอยู่ในรูปของไอออนที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้แต่จะไม่พบอิทธิพลในวันต่อมา พืชสามารถดูดไอออนของธาตุอาหารได้ เมื่อมีการใส่เกลือแอมโมเนียมในดินจะทำปฏิกิริยากับคอลลอยด์โดยจะแทนที่ไอออนบวก จากอนุภาคคอลลอยด์กลายเป็น metal (colloids) และ metal กลายอยู่ในรูป metal $NO_3$ ทำให้มีความสามารถในการละลายน้ำได้ พืชสามารถดูดขึ้นไปใช้ประโยชน์ได้ง่ายขึ้น (ดวงกมล คำสอน, 2556)

### ผลต่อปริมาณฟอสฟอรัส

การเติมไกลโฟเสทมีผลทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสในดินมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดเพิ่มขึ้นที่ระยะ 14 วัน และปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เพิ่มขึ้นที่ระยะ 14 และ 40 วัน ระยะเวลาการเพิ่มขึ้นของฟอสฟอรัสในดินสอดคล้องกับค่าครึ่งชีวิตของการสลายตัวของไกลโฟเสทในดินที่ 16-33 วัน อิทธิพลของไกลโฟเสทต่อฟอสฟอรัสในดินเกิดจากกลไกการดูดซับไกลโฟเสทบนผิวอนุภาคดินคล้ายคลึงกับการดูดซับฟอสฟอรัสในดิน แต่ไกลโฟเสทมีความชอบดูดซับสูงกว่าฟอสฟอรัส จึงเกิดการแข่งขันกันในการดูดซับโดยไกลโฟเสทสามารถไล่ที่ฟอสฟอรัสออกมา เนื่องจากเกิดการแตกตัวของหมู่ฟังก์ชัน phosphonate ของโมเลกุลไกลโฟเสท ทำให้มีฟอสฟอรัสออกมาในรูปสารละลายดิน (วภากร ศิริวงศ์, 2557) และไกลโฟเสทจัดอยู่ในกลุ่ม phosphonic acids ในโมเลกุลจะประกอบด้วยพันธะระหว่างคาร์บอนกับฟอสฟอรัส ซึ่งพันธะนี้มี

ความเสถียรมากแต่แบคทีเรียสามารถทำลายพันธะได้แล้วนำอนินทรีย์ฟอสเฟตมาใช้ประโยชน์ได้ (ภัทรารัตน์ เทียมเก่า, 2557)

**ผลของการเติมแคดเมียมและตะกั่วในดินต่อปริมาณแคดเมียมและตะกั่วในผักกาดเขียวปลี**

การเติมโลหะแคดเมียมและตะกั่วในดินทำให้แคดเมียมและตะกั่วมีการสะสมที่รากพืชมากกว่าลำต้น เนื่องจากการดูดดึงโลหะหนักของพืชขึ้นอยู่กับความสามารถในการดูดดึงของราก ซึ่งรากมีความสามารถในการดูดดึงปริมาณโลหะหนัก ในขณะเดียวกันรากก็มีการจำกัดการโยกย้ายโลหะหนักไปสู่ส่วนต่างๆ ของพืชที่อยู่เหนือดิน การจำกัดการโยกย้ายโลหะหนักของรากไปสู่อวัยวะอื่นๆ ของพืชเนื่องจากถูกกีดขวางด้วย root endodermis โดยพื้นที่ผิวของรากโลหะหนักจะมีการเชื่อมพันธะกับ carboxyl groups ของ mucilage uronic acid ซึ่ง mucilage จะจำกัดการดูดดึงโลหะหนักไปสู่ส่วนต่างๆ ของพืช และสร้างสิ่งกีดขวางที่ป้องกันระบบของราก ปริมาณโลหะหนักในส่วนต่างๆ ของพืชมีลำดับดังนี้ ราก > ใบ > ลำต้น > ดอก > เมล็ด ลำดับขึ้นอยู่กับชนิดพันธุ์ของพืช (Kibria, et al., 2006 และ Pallavi Sharma & Rama Shanker Dubey, 2005) สอดคล้องกับการสะสมโลหะหนักในพืชชนิดต่างๆ จากการศึกษาการสะสมแคดเมียมในพันธุ์ข้าว ซึ่งปลูกในดินที่มีระดับความเข้มข้นของแคดเมียมต่ำ 2 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และความเข้มข้นสูง 21 มิลลิกรัม/กิโลกรัม พบว่าข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 มีการสะสมแคดเมียมในส่วนเหนือดิน 0.005 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ในรากมีการสะสมมากที่สุด 1.940 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ที่ระดับความเข้มข้นของแคดเมียมต่ำ และที่ระดับความเข้มข้นของแคดเมียมสูง มีการสะสมในส่วนเหนือดิน 2.010 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ในรากมีการสะสมมากที่สุด 7.410 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (เพื่อนจิต บุญจันทร์, 2548) และการสะสมตะกั่วในพืชผัก ที่ปลูกในดินที่มีความเข้มข้น 10, 100, 500 และ 1000 มิลลิกรัม/กิโลกรัม พบว่าผักกาดหอมมีการสะสมตะกั่วมากที่สุด ซึ่งสะสมส่วนราก 41.541-139.307 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และส่วนใบ 5.518-22.870 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (สุภาพร พงศ์ธรพฤกษ์, 2545)

**ผลของการเติมไกลโฟเสทในดินต่อปริมาณแคดเมียมและตะกั่วในต้นผักกาดเขียวปลี**

การเติมไกลโฟเสททำให้มีการสะสมแคดเมียมและตะกั่วที่ส่วนรากของต้นผักกาดเขียวปลีเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเติมไกลโฟเสทในดินทำให้การดูดซับโลหะหนักลดลง แสดงให้เห็นผลของไกลโฟเสทต่อการเพิ่มของรูปที่เข้าสู่ระบบชีวภาพได้ง่าย (bioavailability) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองเมื่อเติมไกลโฟเสทแคดเมียมและตะกั่วในรูปที่แลกเปลี่ยนได้ (F2) มีปริมาณเพิ่มขึ้น และตะกั่วในรูปที่ตรึงกับคาร์บอเนต (F3) มีปริมาณเพิ่มขึ้น จึงทำให้ส่งผลต่อการดูดดึงโลหะหนัก

ของพืช การดูดดึงโลหะหนักของพืชถูกกำหนดโดย chemical forms ซึ่งเกี่ยวกับการละลายในดิน โลหะหนักที่อยู่ในรูป exchangeable form (F2) และ carbonate form (F3) มีความสามารถในการละลายสูงทำให้มีความสำคัญต่อการดูดดึงของพืช (XIAN, X., 1989) รูปที่แลกเปลี่ยนได้ (F2 ) และรูปที่ตรึงกับคาร์บอเนต (F3) ของแคดเมียมในดิน พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ข้อมูลงานวิจัยของ Morillo, et al., 2002 รายงานว่าความเข้มข้นของสารละลายทองแดงจะลดลงเมื่อมีไกลโฟเสท เนื่องจากจะเกิดสารประกอบเชิงซ้อน Cu-Glyphosate ในดิน และงานวิจัยของ WANG Yu-jun, et al., 2004 รายงานว่าการดูดซับแคดเมียมในดิน monmorillonite ลดลงเมื่อมีไกลโฟเสท ซึ่งเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแคดเมียมกับไกลโฟเสทในดิน ดังนั้นจึงมีการเพิ่มขึ้นของแคดเมียมและตะกั่วรูปที่เคลื่อนย้ายได้ เมื่อแคดเมียมมีการดูดซับในดินเป็นระยะเวลานานจะอยู่ในรูปที่พืชไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เช่น รูป Iron, manganese, oxide bound และ Organic matter bound โดยดินที่เกิดการปนเปื้อนใหม่แคดเมียมจะทำการยึดกับคาร์บอเนตพืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ แต่เมื่อระยะเวลาผ่านไปแคดเมียมจะยึดกับส่วนที่ตกค้างทำให้พืชไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ (ปภามญชุ์ ซีประเสริฐ, 2554)

**ปริมาณการดูดดึงแคดเมียมและตะกั่วของผักกาดเขียวปลี**

ดินที่ไม่เติมไกลโฟเสทจะมีปริมาณการดูดดึงแคดเมียมและตะกั่วทั้งหมดเพิ่มสูงขึ้นตามระยะการเจริญเติบโต ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลงานวิจัยของ สายชล สุขญาณกิจ และธนวรรณ พาณิชพัฒน์, 2555 ศึกษาการเปรียบเทียบการใช้ทานตะวันและข้าวฟ่างในการดูดซับตะกั่วที่ปนเปื้อน ในดินบ้านคลิตี้ จังหวัดกาญจนบุรี พบว่า การดูดดึงปริมาณตะกั่วของพืชจะเพิ่มสูงขึ้นตามช่วงอายุของพืช โดยระยะที่พืชมีการเจริญเติบโตทางลำต้นจะมีปริมาณการดูดดึงน้อยกว่าในช่วงระยะเจริญพันธุ์ถึงช่วงระยะสุกแก่ทางสรีรวิทยา ส่วนดินที่เติมไกลโฟเสทจะมีปริมาณการดูดดึงโลหะหนักไม่เพิ่มขึ้นตามระยะการเจริญเติบโต เนื่องจากต้นผักกาดเขียวปลีที่ได้รับไกลโฟเสทมีการเจริญเติบโตลดลง โดยไกลโฟเสทมีการยับยั้งการเจริญเติบโตของพืช การกระทำของไกลโฟเสทต่อพืชประกอบด้วยการยับยั้งการสังเคราะห์ aromatic amino acids ที่พืชใช้สำหรับสังเคราะห์โปรตีนและสารอื่นๆที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโต โดยไกลโฟเสทมีการแย่งจับกับตำแหน่งของ phosphoenolpyruvate (PEP) บนเอนไซม์ 5-enolpyruvylshikimate-3-phosphate synthase (EPSPS) เรียกกระบวนการนี้ว่าการยับยั้งแบบแข่งขัน (competitive inhibitor) ซึ่ง PEP เป็น precursors สำหรับการสร้าง aromatic amino acids และไกลโฟเสทยังทำการยับยั้งกระบวนการ shikimate biosynthetic pathway ซึ่งเป็นวัฏจักรที่จำเป็นสำหรับการสังเคราะห์ aromatic amino acids ในพืชเช่นกัน (ภัทรารัตน์ เทียมเก่า, 2557 และ Iben Lykke Petersen,

et al., 2007) ดังนั้นไกลโฟเสทจึงมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชที่ลดลง และเกิดการงอกของพืชที่ช้าลง

**ข้อเสนอแนะ**

การศึกษาครั้งนี้พบว่าการใส่ไกลโฟเสทมีผลต่อรูปที่เข้าสู่ระบบชีวภาพได้ง่ายของแคดเมียมและตะกั่วในดิน แต่อย่างไรก็ตามเพื่อให้ได้ข้อสรุปที่ชัดเจนและกว้างขวางมากขึ้น จำเป็นต้องทำการศึกษาเพิ่มเติม โดยเพิ่มเติมประเด็นต่างๆดังนี้

1. ทำการศึกษาไกลโฟเสทที่มีผลต่อธาตุโลหะที่เป็นธาตุอาหารต่อพืช
2. ทำการศึกษาปริมาณธาตุอาหารในพืช
3. ทำการศึกษาในพื้นที่จริงในพื้นที่ทำการเกษตร
4. ทำการศึกษาชนิดพืชให้กว้างขวางมากขึ้น
5. ทำการศึกษาปริมาณไกลโฟเสทในดินและในพืช
6. ทำการใส่ปุ๋ยในดินเพื่อให้ต้นพืชสมบูรณ์ และทำการใส่ไกลโฟเสทลงในดินก่อนการปลูกต้นพืชลงกระถางเพื่อป้องกันพืชตาย
7. ทำการปรับระยะเวลาการเก็บตัวอย่างให้สัมพันธ์กับระยะการเจริญเติบโตของพืช

# บรรณานุกรม

# บรรณานุกรม


*คู่มือการปฏิบัติงานกระบวนการวิเคราะห์ดิน น้ำ และพืช ด้านสิ่งแวดล้อม*. (2553). สืบค้น 21 สิงหาคม 2557, จาก http://www.ldd.go.th/PMQA/2553/Manual/OSD-05.pdf

*คู่มือการวิเคราะห์ดินและพืช กรมวิชาการเกษตร*. (2544). กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด.

ณรงค์ จงปลื้มปิติ, ประพาย แก่นนาค, และพงษ์ศักดิ์ ทองแจ่ม. (2548). *การศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของดิน และการสะสมปรอทในพืชผักที่ปลูกในดินผสมปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชน* (การศึกษาค้นคว้าด้วยตนเอง). พิษณุโลก: มหาวิทยาลัยนเรศวร.

ดวงกมล คำสอน และชมพูนุท ไชยรักษ์. (2556). การดูดดึงโลหะหนักของทานตะวัน ที่ปลูกในดินปนเปื้อน สังกะสี ตะกั่ว และทองแดง. *วารสารวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่น*, *41*(2), 468-475.

นัยนันทน์ อริยกานนท์. (2550). *การศึกษาประสิทธิภาพการสะสมทองแดง สังกะสี และนิกเกิลของวัชรพืชในประเทศไทย* (รายงานวิจัย). กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

บัญชาการ วินัยพานิช. (2548). *การบำบัดดินที่ปนเปื้อนทองแดงโดยใช้ผักกาดเขียวปลี ต้อยติ่ง และไมยราบ* (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ปภามญชุ์ ซีประเสริฐ, พัฒนา อนุรักษ์พงศธร และสิรินาฏ เลาหะโรจนพันธ์. (2554). *การดูดซับและการปลดปล่อยแคดเมียมในดินนาข้าว*. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เพื่อนจิต บุญจันทร์. (2548). *การสะสมแคดเมียม (Cd) ในข้าวพันธุ์ชัยนาท 1, พันธุ์สุพรรณบุรี 1, พันธุ์พิษณุโลก 2 และพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกในดินนาจากพื้นที่ ตำบลพระธาตุผาแดง อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก* (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). พิษณุโลก: มหาวิทยาลัยนเรศวร.

ภัทรารัตน์ เที่ยมเก่า. (2557). ความเป็นพิษของไกลโฟเสทและการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์. *วารสารเกษตรพระจอมเกล้า*, *32*(3), 71-79.

วภากร ศิริวงศ์. (2557). อิทธิพลของการใส่ไกลโฟเสทต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของดิน. *วารสารวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่น*, *42*(1), 176-190.

ศิริพร แสงจันทร์. (2549). *การสะสมตะกั่วและแคดเมียมในพืชผักและดอกไม้ ที่ปลูกด้วยปุ๋ยหมักจากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรร่วมกับปุ๋ยเคมี* (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). พิษณุโลก: มหาวิทยาลัยนเรศวร.

แสงโฉม เกิดคล้า และศิรนุช ชิ้นอินมนู. (2557). *สรุปรายงานการเฝ้าระวังโรค*. สืบค้น 12 ตุลาคม 2557, จาก http://www.boe.moph.go.th/Annual/Annual47/part1/48-Heavy%20metal%20poisoning.pdf

สายชล สุขญาณกิจ และธนวรรณ พาณิชพัฒน์. (2555). การเปรียบเทียบการใช้ทานตะวันและข้าวฟ่างในการดูดซับตะกั่วที่ปนเปื้อนในดินบ้านคลิตี้ จังหวัดกาญจนบุรี. ใน *การประชุมวิชาการแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 9*. นครปฐม: คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน.

สุภาพร พงค์ธรพฤกษ์. (2545). *การสะสมตะกั่วและแคดเมียมในพืชผัก* (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). พิษณุโลก: มหาวิทยาลัยนเรศวร.

สุภาพร พงค์ธรพฤกษ์. (2552). *การศึกษาความสามารถในการสะสมโลหะหนักของเฟิร์นขึ้นบนดินในบริเวณอุทยานแห่งชาติภูสอยดาว จังหวัดพิษณุโลก, ประเทศไทย* (วิทยานิพนธ์ปริญญาดุษฎีบัณฑิต). พิษณุโลก: มหาวิทยาลัยนเรศวร.

อดิเรก แก้วจำรัส. (2528). *การหาปริมาณตะกั่ว แคดเมียม ทองแดง สังกะสี โครเมียม และเหล็กในดินและน้ำ จากอำเภอสันกำแพง โดยวิธีสเปคโตรสโคปี* (การค้นคว้าแบบอิสระเชิงวิทยานิพนธ์). เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

อรสา ดิสถาพร. (2540). *ผักกาดเขียวปลี*. สืบค้น 16 กรกฎาคม 2558, จาก http://www.eto.ku.ac.th/neweto/e-book/plant/herb_gar/pak_kad.pdf

Aiman Hasan, S., Fariduddin, Q., Ali, B., Hayat, S., & Ahmad, A. (2009). Cadmium: Toxicity and tolerance in plants. *Environ. Biol, 30*(2), 165-174.

Alexander, P. D., Alloway, B. J., & Dourado, A. M. (2006). Genotypic variations in the accumulation of Cd, Cu, Pb and Zn exhibited by six commonly grown vegetables. *Environmental Pollution, 144*, 736-745.

Badawy, S. H., Helal, M.I.D., Chaudri, A.M., Lawlor, K., & McGrath, S.P. (2002). Soil solidphase controls lead activity in soil solution. *Environmental Quality, 31*, 162-167.

Caaldo, D. A., Garland, T. R., & Wildung, R. E. (1981). Cadmium Distribution and Chemical Fate in Soybean Plants. *Plant Physiol, 68*, 835-839.

Chang, C. Y., Yu, H. Y., Chen, J. J., Li, F. B., Zhang, H. H., & Liu, C. P. (2014). Accumulation of heavy metals in leaf vegetables from agricultural soils and associatedpotential health risks in the Pearl River Delta, South China. *Environ Monit Assess, 186*(3), 1547–1560.

Gupta, K. (2012). Studies on phyto-genotoxic assessment of tannery effluent and chromium on Allium cepa. *Environmental Biology, 33*, 557-563.

Hattab, S., Dridi, B., Chouba, L., Kheder, M. B., & Bousetta, H. (2009). Photosynthesis and growth responses of pea Pisum sativum L. under heavy metals stress. *Environmental Science, 21*, 1552-1556.

Harding, D. E., & Ross, D. J. (1964). Some factors in low-temperature storage influencing the mineralisable-nitrogen of soils. *Science of Food and Agriculture, 15*, 829-34.

Kibria, M. G., Osman, K. T., & Ahmen, M. J. (2006). Cadmium and lead uptake by rice (Oryza sativa L.) grown in three different textured soils. *Soil & Environ, 25*(2), 70-77.

Kools, S. A. E., Van Roovert, M., van Gestel, C. A. M., & van Straalen, N. M. (2005). Glyphosate degradation as a soil health indicator for heavy metal polluted soils. *Soil Biology & Biochemistry, 37*, 1303-1307.

Lin, Q., Chen, Y.X., Chen, H.M., Yu, Y.L., Luo, Y.M., & Wong, M.H. (2003). Chemical behavior of Cd in rice rhizosphere. *Chemosphere, 50*, 755–761.

Morillo, E., Undabeytia, T., Maqueda, C., & Ramos, A. (2002). The effect of dissolved glyphosate upon the sorption of copper by three selected soils. *Chemosphere, 47*, 747–752.

Pal, M., Horvath, E., Janda, T., Páldi, E., & Szalai, G. (2006). Physiological changes and defense mechanisms induced by cadmium stress in maize. *Plant Nutr. Soil Sci, 169*, 239–246.

Petersen, I. L., Hansen, H. C. B., Ravn, H. W., Sorensen, J. C., & Sorensen, H. (2007). Metabolic effects in rapeseed (Brassica napus L.) seedlings after root exposure to glyphosate. *Pesticide Biochemistry and Physiology, 89*, 220-229.

Sharma, P., & Dubey, R. S. (2005). Lead toxicity in plants. *Plant Physiol, 17*(1), 35-52.

Tu, M., Hurd, C., Robison, R., & Randall, J. M. (2001). Glyphosate. *Nature Conservancy, 7*, 1-10.

Wang, Y. J., Zhou, D. M., Sun, R. J., Jia, D. A., Zhu, H. W., & Wang, S. Q. (2008). Zinc adsorption on goethite as affected by glyphosate. *Hazardous Materials, 151*, 179–184.

Xian, X. (1989). Effect of chemical forms of cadmium, zinc, and lead in polluted soils on their uptake by cabbage plants. *Plant and Soil, 113*, 257-264.

Yobouet, Y. A., Adouby, K., Trokourey, A., & Yao, B. (2010). Cadmium, Copper, Lead and Zine speciation in contaminated soils. *Engineering Science and Technology, 2*(5), 802-812.

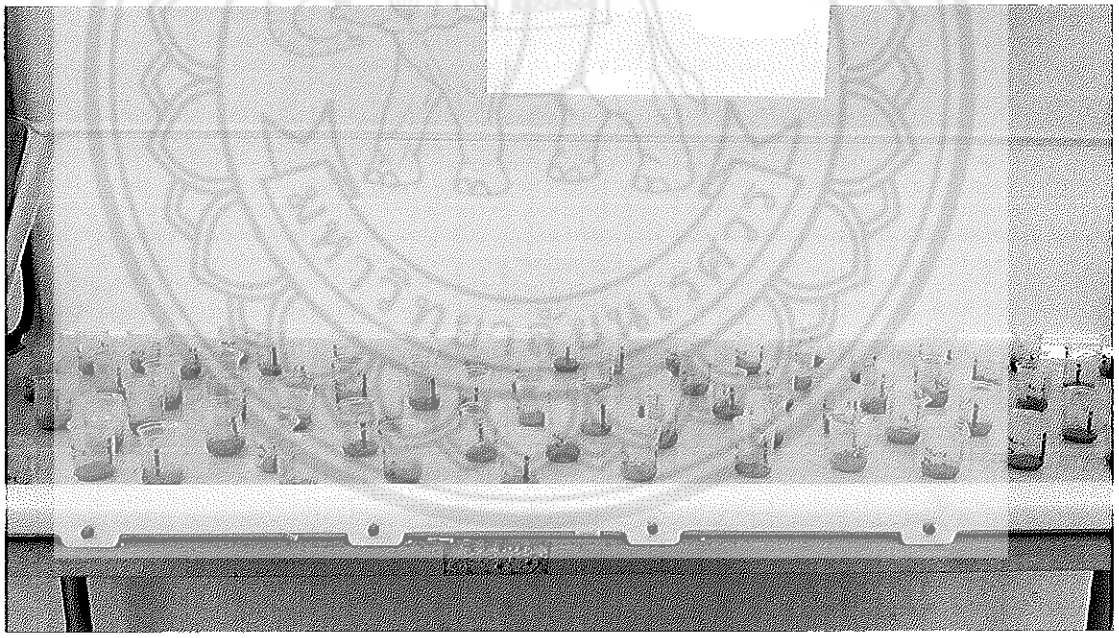
Yu-jun, W., Dong-mei, Z., Xiao-san, L., Rui-juan, S., & Huai-man, C. (2004). Cadmium adsorption in montmorillonite as affected by glyphosate. *Environmental Science, 16*(6), 881-884.

Zhou, D. M., Wang, Y. J., Cang, L., Hao, X. Z., & Luo, X. S. (2004). Adsorption and cosorption of cadmium and glyphosate on two soils with different characteristics. *Chemosphere, 57*, 1237-1244.

# ภาคผนวก

## ภาคผนวก การทดลองหาระยะเวลา ระดับไกลโฟเสท และระดับความเข้มข้นของแคดเมียมและตะกั่วที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปของธาตุโลหะหนักในดิน

การศึกษาเพื่อหาอิทธิพลของไกลโฟเสท และระดับความเข้มข้นของแคดเมียมและตะกั่วต่อรูปของธาตุโลหะหนักในดิน ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ โดยนำตัวอย่างดินที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร มาเติมไกลโฟเสทที่ความเข้มข้น 3 ระดับดังนี้ 0, 67.63 และ 120.76 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และธาตุโลหะหนักที่ 2 ระดับความเข้มข้นดังนี้ ระดับความเข้มข้นต่ำประกอบด้วย แคดเมียม 28 และ ตะกั่ว 52 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ และระดับความเข้มข้นสูงประกอบด้วย แคดเมียม 225 และ ตะกั่ว 414 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ จากนั้นนำดินไปบ่มเป็นระยะเวลา 0, 1, 4, 7, 14, 21, 30, และ 60 วัน และทำการวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมและตะกั่วในดิน รูปของธาตุโลหะหนักในดิน ผลที่ได้จากการทดลองนี้จะนำไปใช้ในการทดลองต่อไป แสดงดังภาพ 1

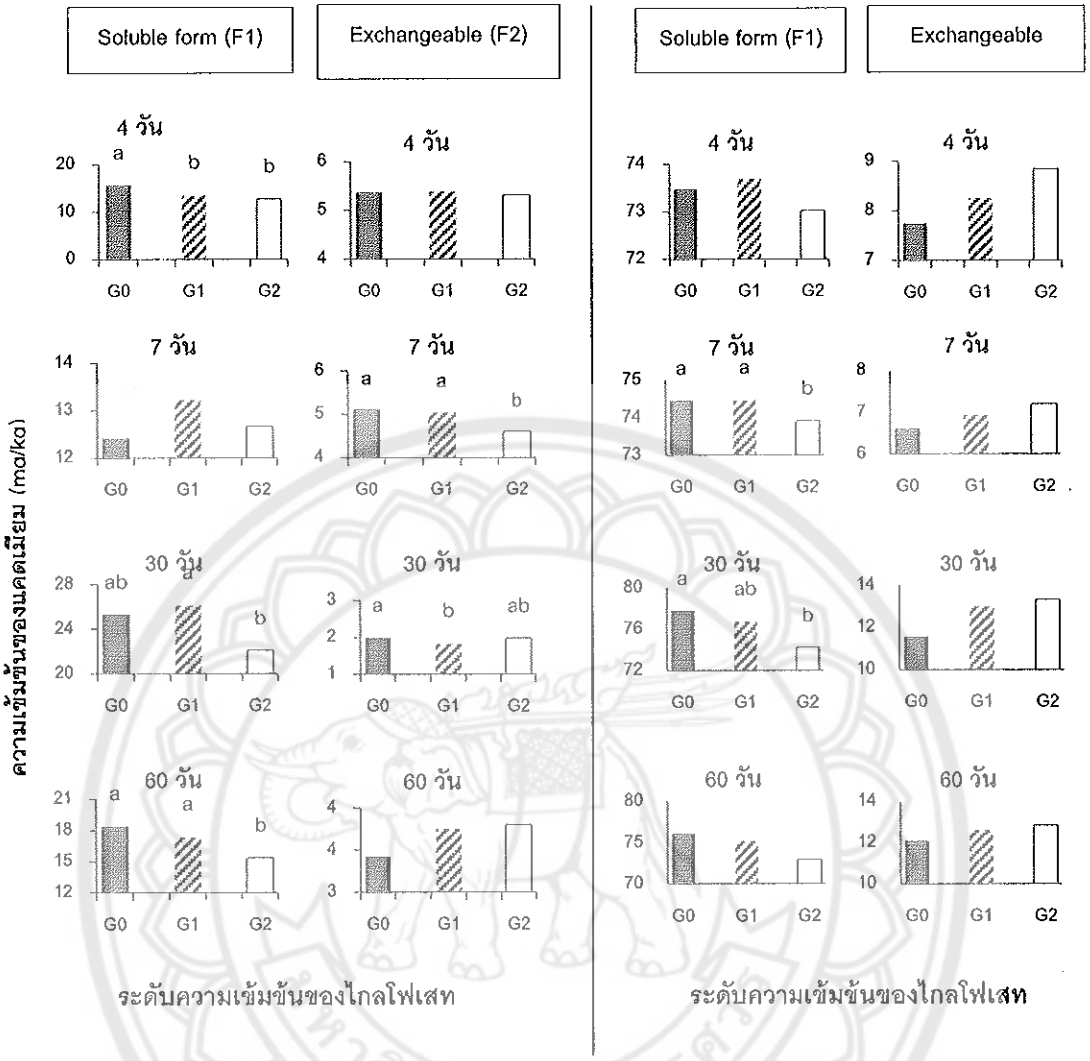


**ภาพ 28 การทดลองหาระยะเวลา ระดับไกลโฟเสท และระดับความเข้มข้นของแคดเมียมและตะกั่ว**

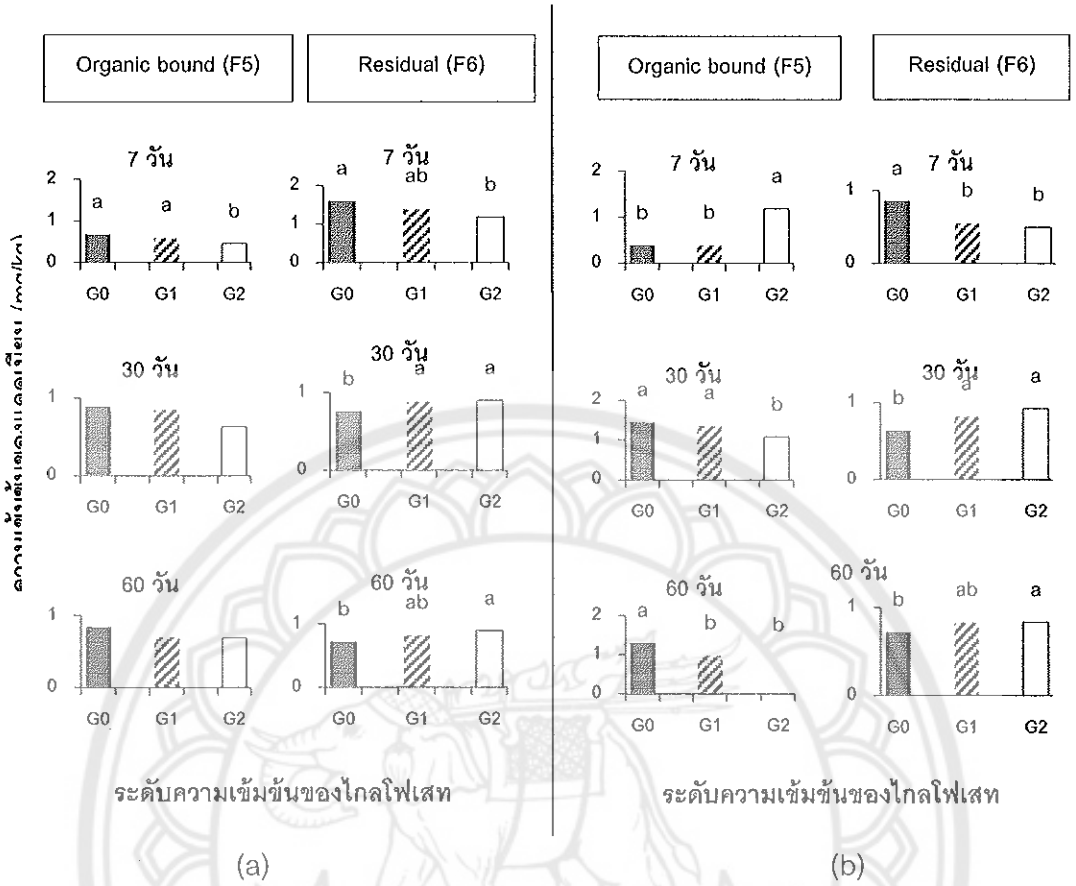
**ผลการศึกษาเพื่อหาปัจจัยด้านความเข้มข้นของแคดเมียมและตะกั่วที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงรูปของธาตุโลหะหนักในดิน**

ทำการศึกษาหาความเข้มข้นของธาตุโลหะแคดเมียม และตะกั่วร่วมกับไกลโฟเสทในดินที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงรูปของธาตุโลหะหนักในดิน โดยเปรียบเทียบระดับความเข้มของธาตุโลหะหนักระดับต่ำ และธาตุโลหะหนักระดับสูง พบว่าการเติมไกลโฟเสทมีผลต่อแคดเมียมรูป F1, F2, F5 และ F6 โดยรูป F1 มีปริมาณลดลงใน 4, 7, 30 และ 60 วัน เมื่อเติมไกลโฟเสทที่ระดับ G2 รูป F2 มีปริมาณเพิ่มขึ้นใน 4, 7, 30 และ 60 วัน รูป F5 มีปริมาณลดลงใน 30 และ 60 วัน และรูป F6 มีปริมาณลดลงใน 7 วัน และเพิ่มขึ้นใน 30 และ 60 วัน เมื่อเติมไกลโฟเสทที่ระดับ G1 และ G2 ซึ่งเปรียบเทียบกับดินที่ไม่เติมไกลโฟเสท โดยความเข้มของธาตุโลหะหนักระดับต่ำและระดับสูงมีแนวโน้มเช่นเดียวกัน ดังแสดงภาพ 2 และ 3

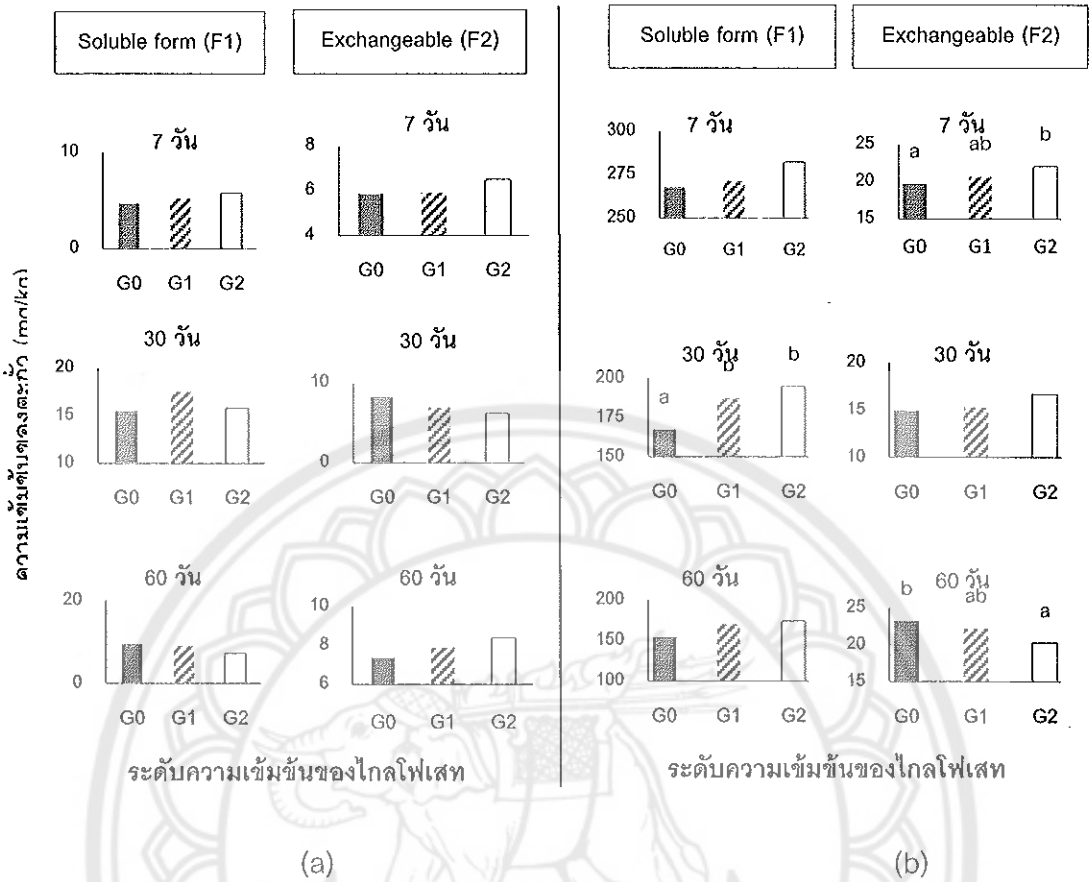
การเติมไกลโฟเสทมีผลต่อตะกั่วรูป F1, F2 ,F3 และ F4 โดยธาตุโลหะหนักระดับต่ำรูป F1 มีปริมาณเพิ่มขึ้นใน 7 วัน และลดลงใน 60 วัน รูป F2 มีปริมาณเพิ่มขึ้นใน 7 และ 60 วัน รูป F3 มีปริมาณลดลงใน 7, 30 และ 60 วัน และรูป F4 มีปริมาณลดลงใน 21 และ 60 วัน เมื่อเติมไกลโฟเสทที่ระดับ G1 และ G2 ซึ่งเปรียบเทียบกับดินที่ไม่เติมไกลโฟเสท ธาตุโลหะหนักระดับสูงรูป F1 มีปริมาณเพิ่มขึ้นใน 7, 30 และ 60 วัน รูป F2 มีปริมาณเพิ่มขึ้นใน 7 และ 30 วัน และลดลงใน 60 วัน รูป F3 มีปริมาณลดลงใน 7 และ 21 วัน เมื่อเติมไกลโฟเสทที่ระดับ G1 และ G2 ซึ่งเปรียบเทียบกับดินที่ไม่เติมไกลโฟเสท และรูป F4 มีปริมาณลดลงใน 7, 21 และ 60 วัน เมื่อเติมไกลโฟเสทที่ระดับ G2 ดังแสดงภาพ 4 และ 5 จากการทดลองจะได้เห็นได้ว่าความเข้มข้นธาตุโลหะหนักระดับต่ำและความเข้มข้นธาตุโลหะหนักระดับสูงมีผลค่อนข้างแตกต่างกัน ดังนั้นจึงทำการเลือกความเข้มข้นระหว่างความเข้มข้นธาตุโลหะหนักระดับต่ำและความเข้มข้นธาตุโลหะหนักระดับสูงเพื่อใช้ในการทดลองต่อไป



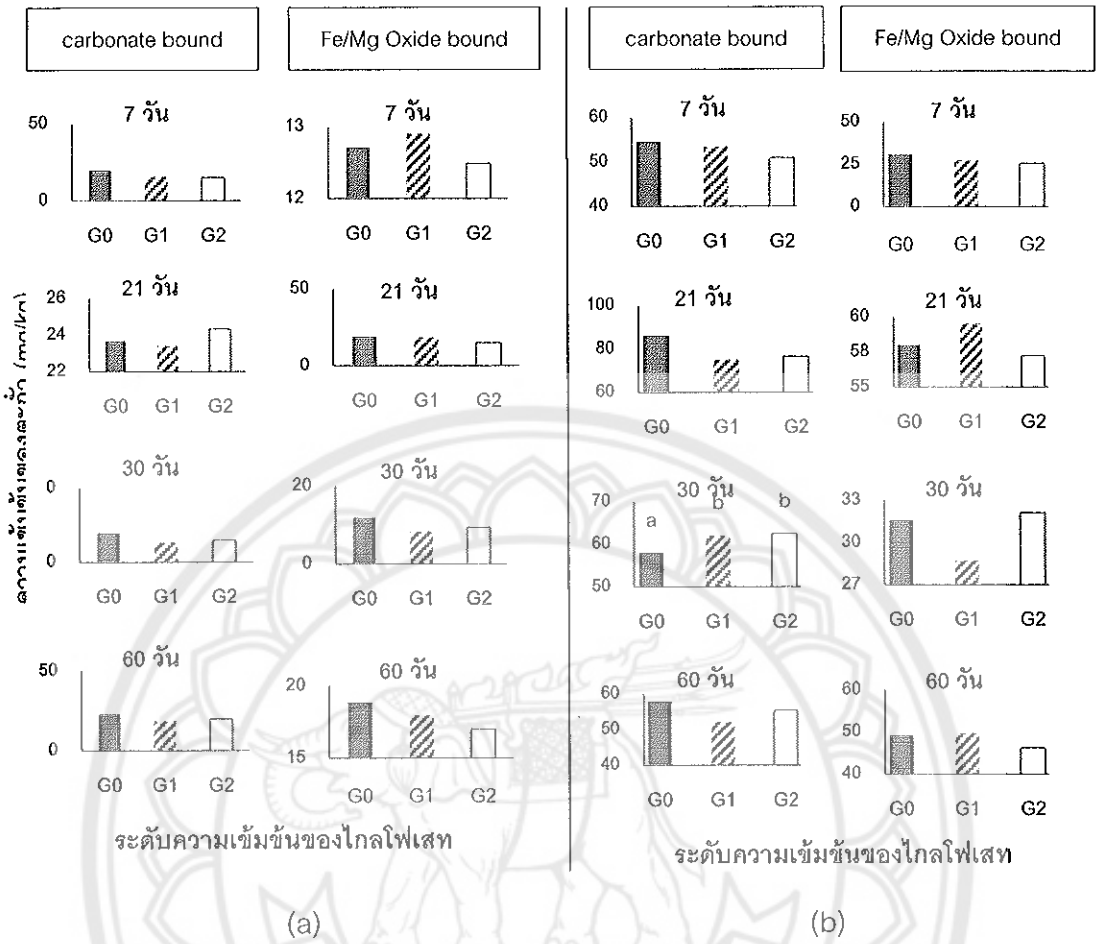

**ภาพ** 29 ปริมาณธาตุโลหะแคดเมียมในรูปที่พร้อมที่จะนำไปใช้ประโยชน์ได้ทันที (F1 และ F2) ตามระยะเวลาหลังจากเติมสารไกลโฟเสทในดินที่มีความเข้มข้นธาตุโลหะหนักระดับต่ำ (a) และสูง (b)




ภาพ 30 ปริมาณธาตุโลหะแคดเมียมในรูปที่ละลายได้ยาก (F5 และ F6) ตามระยะเวลาหลังจากเติมสารไกลโฟเสทในดินที่มีความเข้มข้นธาตุโลหะหนักระดับต่ำ (a) และสูง (b)




**ภาพ** 31 ปริมาณธาตุโลหะตะกั่วในรูปที่พร้อมที่จะนำไปใช้ประโยชน์ได้ทันที (F1 **และ** F2) ตามระยะเวลาหลังจากเติมสารไกลโฟเสทในดินที่มีความเข้มข้นธาตุโลหะ**หนัก** ระดับต่ำ (a) และสูง (b)




**ภาพ** 32 ปริมาณธาตุโลหะตะกั่วในรูปที่ละลายได้ยาก (F3 และ F4) ตามระยะเวลาหลังจากเติมสารไกลโฟเสทในดินที่มีความเข้มข้นธาตุโลหะหนักระดับต่ำ (a) และสูง (b)

## การทดสอบวิธีการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักทั้งหมดในดิน

ธาตุโลหะหนัก 2 ระดับความเข้มข้น คือ ความเข้มข้นต่ำมีแคดเมียม 28 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และตะกั่ว 52 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และความเข้มข้นสูงมีแคดเมียม 225 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และตะกั่ว 414 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

การทดสอบการวิเคราะห์ปริมาณธาตุโลหะหนักทั้งหมดในดินโดยใช้น้ำหนักดินและปริมาตรสุดท้าย 0.5 g : 25 ml ย่อยด้วยกรดเข้มข้น $HNO_3$ และ $HClO_4$ (อัตราส่วน 2:1) แล้วปรับปริมาตรสุดท้ายเป็น 25 มิลลิลิตร ผลการวิเคราะห์แสดงดังตาราง 1

วิธีวิเคราะห์ปริมาณธาตุโลหะหนักทั้งหมดในดินด้วยกรด Nitric-perchloric acid digestion method (NP) โดยชั่งตัวอย่างดิน 1 กรัม ใส่ใน Erlenmeyer flask 125 มิลลิลิตร เติม $HNO_3$ 10 มิลลิลิตร และ $HClO_4$ 5 มิลลิลิตร (อัตราส่วน 2:1) นำไปให้ความร้อนจนเกิดเป็นสารละลายใส หลังจากนั้นทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง นำไปกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 แล้วปรับปริมาตรเป็น 50 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น ผลการวิเคราะห์แสดงดังตาราง 2

**ตาราง 15 ปริมาณธาตุโลหะหนักทั้งหมดในดิน โดยใช้น้ำหนักดินและปริมาตรสุดท้าย 0.5 g : 25 ml**

| | Cd | | Pb | |
|---|---|---|---|---|
| samples | Total (mg/kg) | %recovery | Total (mg/kg) | %recovery |
| N-1 | 10.64 | - | 50.27 | - |
| N-2 | 11.47 | - | 39.63 | - |
| L-1 | 34.03 | 83.24 | 106.12 | 107.82 |
| L-2 | 36.54 | 89.18 | 111.44 | 138.63 |
| H-1 | 204.46 | 86.21 | 401.33 | 84.72 |
| H-2 | 199.03 | 83.42 | 396.01 | 86.00 |

ตาราง 16 ปริมาณธาตุโลหะหนักทั้งหมดในดินด้วยกรด Nitric-perchloric acid digestion method (NP)

| | Cd | | Pb | |
|---|---|---|---|---|
| samples | Total (mg/kg) | %recovery | Total (mg/kg) | %recovery |
| N-1 | 5.21 | - | 44.95 | - |
| N-2 | 3.96 | - | 55.59 | - |
| L-1 | 36.95 | 113.38 | 108.78 | 122.75 |
| L-2 | 37.37 | 119.35 | 106.12 | 97.18 |
| H-1 | 243.72 | 106.01 | 536.97 | 118.85 |
| H-2 | 239.13 | 104.52 | 523.67 | 113.06 |

## ความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการ และการป้องกันการแพร่กระจายของเสีย

การทำการทดลองในห้องปฏิบัติการที่มีสารเคมีต่างๆในแต่ละการทดลอง ซึ่งเป็นสารอันตรายต่อผู้ปฏิบัติการ และอาจจะส่งผลต่อการแพร่กระจายต่อสิ่งแวดล้อมภายนอก ดังนั้นจึงมีข้อปฏิบัติในการป้องกันการเกิดอันตราย และการป้องกันการแพร่กระจายของเสียดังนี้

1. ก่อนจะดำเนินการปฏิบัติงานควรอ่านคู่มือการทดลองให้ละเอียดและเข้าใจเพื่อไม่ให้เกิดข้อผิดพลาดในการทดลอง

2. การปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการควรใส่เสื้อคลุมปฏิบัติการทุกครั้ง เพื่อเป็นการป้องกันการหกกระเซ็นของสารเคมี และถอดเสื้อคลุมออกทุกครั้งเมื่อออกจากห้องปฏิบัติการ เป็นการป้องกันการแพร่กระจายของสารเคมี

3. สวมแว่นตาป้องกันอันตรายที่อาจเกิดกับดวงตาเมื่อมีการใช้สารเคมีที่รุนแรง และอันตราย

4. สวมหน้ากากทุกครั้งเมื่อมีการใช้สารเคมีประเภทไอระเหย เพื่อป้องกันสารเคมีที่มีไอเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจ

5. สวมถุงมือทุกครั้งเมื่อมีการปฏิบัติงาน เพื่อเป็นการป้องกันการหกของสารเคมีใส่มือผู้ปฏิบัติงาน ถอดถุงมือทุกครั้งเมื่อออกจากห้องปฏิบัติการ และทิ้งถุงมือที่มีการเลิกใช้งานลงภาชนะรองรับที่ห้องปฏิบัติการเตรียมไว้เพื่อนำไปกำจัดต่อไป

6. สวมร้องเท้าที่ปกปิดนิ้วเท้า หรือปกปิดเท้าให้มิดชิด เพื่อเป็นการป้องกันการหกกระเซ็นของสารเคมี

7. ใช้ตู้ดูดควันเมื่อมีการปฏิบัติงานกับสารเคมีอันตราย สารเคมีที่ติดไฟง่าย สารเคมีที่อาจเกิดไอระเหย และอาจเกิดการระเบิด

8. ล้างมือให้สะอาดทุกครั้งเมื่อปฏิบัติงานเสร็จสิ้น เพื่อเป็นการชำระล้างสารเคมี

การทดลองจะมีการป้องกันการแพร่กระจายของเสียจากการทดลอง โดยจะทำการเตรียมตัวอย่างดิน พืชและสารละลายต่างๆ ที่ใช้ให้มีปริมาณที่พอดีกับการทดลอง หรือทำการเตรียมตัวอย่างดิน พืชและสารละลายต่างๆ ให้มีปริมาณของเสียน้อยที่สุด ตัวอย่างที่เหลือจากการเตรียมการทดลอง สามารถนำไปปรับเปลี่ยนใช้ได้ในการทดลองต่อไป เมื่อเกิดของเสียที่เหลือ

จากการทดลองที่เป็นของแข็ง และของเหลวต้องมีการแยกเก็บของเสียไว้ในภาชนะปิดให้เหมาะสม และปิดฉลากชื่อของเสียให้ชัดเจน เพื่อนำไปกำจัดโดยจะมีบริษัทจัดการของเสียนำไปกำจัดต่อไป

## วิธีวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

### การวิเคราะห์ความเป็นกรด-ด่าง ของดิน
### (อัตราส่วน ดิน : น้ำ = 1:1)

**อุปกรณ์**

1. เครื่อง pH meter
2. เครื่องชั่ง
3. บีกเกอร์พลาสติก ขนาด 50 มิลลิลิตร
4. แท่งแก้วสาหรับคน
5. กระบอกฉีดน้ำ
6. ช้อนตวง
7. กระบอกตวง 25 มิลลิลิตร

**วิธีการ**

การวัด pH ในน้ำ อัตราส่วน ดิน : น้ำ = 1:1 (w/w) ชั่งดิน 10 กรัม ใส่ในบีกเกอร์พลาสติก เติมน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร คนให้เข้ากันด้วยแท่งแก้วเป็นระยะๆ ให้บ่อยครั้งในระยะ 30 นาทีแรก หลังจากนั้นตั้งทิ้งไว้อีก 30 นาที จึงวัด pH ของดินในส่วนที่เป็นน้ำใสด้วย pH meter

### การวิเคราะห์อินทรีย์คาร์บอน
### โดยวิธี Wet oxidation

**อุปกรณ์**

1. เครื่องชั่ง
2. Erlenmeyer flask ขนาด 250 มิลลิลิตร
3. Volumetric pipet ขนาด 5 และ 20 มิลลิลิตร
4. Cylinder ขนาด 100 มิลลิลิตร
5. Buret ขนาด 50 มิลลิลิตร

**สารเคมี**

1. สารละลาย 1N $K_2Cr_2O_7$

2. $H_2SO_4$

3. $H_3PO_4$

4. สารละลาย 0.5N Ferrous ammonium sulfate (FAS)

**วิธีการ**

1. ชั่งตัวอย่างดิน 0.2-2.0 กรัม ใส่ลงใน Erlenmeyer flask ขนาด 25 มิลลิลิตร เติมสารละลาย 1N $K_2Cr_2O_7$ ลงไป 10 มิลลิลิตร โดยใช้ pipet แกว่ง flask เบาๆ ให้ดินและสารละลายผสมกัน เติม $H_2SO_4$ เข้มข้น จานวน 20 มิลลิลิตร ลงไปโดยเร็ว แกว่ง Flask ค่อนข้างแรงประมาณ 1 นาที ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที

2. เติมน้ำกลั่นลงไป 100 มิลลิลิตร และเติม $H_3PO_4$ เข้มข้นลงไป 10 มิลลิลิตร และเติม NaF 0.2 กรัม (ในกรณีที่ใช้ diphenylamine เป็น indicator) แกว่ง flask แล้วเติม indicator 3-4 หยด สีของ suspension จะเปลี่ยนเป็นสีม่วงปนน้ำเงิน แต่ถ้าใช้ O-phenantholineเป็น indicator สีของ suspension จะเปลี่ยนเป็นสีเขียว

3. ไทเทรต suspension ด้วยสารละลาย 0.5 N FAS จนกระทั่งถึงจุดยุติ คือเปลี่ยนจากสีม่วงหรือม่วงปนน้ำเงินเป็นสีเขียวใส (ใช้ BDS หรือ diphenylamine เป็น indicator) หรือสีของ suspension จะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีน้ำตาลแดง (ใช้ O-phenantholineเป็น indicator)

4. ทำ blank ซึ่งไม่มีตัวอย่างดินควบคู่ไปกับการวิเคราะห์ตัวอย่างดิน

**การคำนวณ**

$$\%C = (10(B-S))/B \times 0.30 \times 1/0.77 \times 1/(\text{น้ำหนักดิน (กรัม)})$$

ในเมื่อ B= จำนวนมิลลิลิตรของ 0.5 N FAS ที่ใช้ไทเทรตกับ blank

S = จำนวนมิลลิลิตรของ 0.5 N FAS ที่ใช้ไทเทรตกับตัวอย่างดิน

0.30 = ค่าคงที่ที่ได้จากการคำนวณตามสมการ ((1N))/1000x12/4x100

0.77 = %recovery ของอินทรีย์คาร์บอนในดินโดยวิธีนี้ซึ่งเท่ากับ 77

%OM = %OC x 1.724 (ถือว่า OM มี 58%OC)

$$\%\text{ easily oxidizing matter (EOM)} = (10(B-S))/B \times 0.30 \times 1/(\text{น้ำหนักดิน (กรัม)})$$

## การวิเคราะห์และจำแนกเนื้อดิน (Soil Texture)
## โดยวิธี Hydrometer method

### อุปกรณ์

1. Mechemical analysis stirrer (ASTM stirring apparatus A)
2. Soil dispersion cup
3. Soil testing graduated cylinder (Bouyoucos jar)
4. Standard hydrometer (ASTM 152 H)
5. เทอร์โมมิเตอร์

### วิธีการทดลอง

1. การกำจัดอินทรียวัตถุในดิน

1.1 เติมน้ำ 50 มิลลิลิตร และ $H_2O_2$ (30%) 5 มิลลิลิตร ลงใน beaker

1.2 ปิดปาก beaker ให้สนิทด้วยกระจกนาฬิกา ถ้าหากปฏิกิริยาเกิดขึ้นรุนแรง สามารถลดปฏิกิริยาดังกล่าว โดยการนำ beaker ไปแช่ในอ่างน้ำเย็น

1.3 นำ Beaker ไปอุ่นให้ร้อนบน hotplate ซึ่งมีอุณหภูมิความร้อน 90-400 °C

1.4 สังเกตว่า $H_2O_2$ ได้ไล่อินทรียวัตถุไปหมดหรือไม่ ถ้ายังไม่หมด (ดูจากปฏิกิริยาและสีของดิน) ก็สามารถเติม $H_2O_2$ ลงไปได้อีก จนไม่ปรากฏปฏิกิริยาใดๆ ทั้งสิ้น

1.5 ตั้ง Beaker ทิ้งไว้บน hot plate ต่อไปได้อีก ประมาณ ½ ถึง 1 ชั่วโมง เพื่อไล่ส่วนเกิน $H_2O_2$ ให้หมดไป

1.6 นำดินไปอบที่อุณหภูมิ 105 °C 24 ชั่วโมง เมื่อแห้งแล้วนำออกจากตู้อบ ใส่ desiccator แล้วนำไปชั่ง เพื่อหาน้ำหนักเนื้อดินรวมเก็บไว้ใช้คำนวณต่อไป

2. การวิเคราะห์

2.1 นำตัวอย่างดินซึ่งร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร อบที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำออกมาใส่ desiccator ทิ้งไว้ให้เย็น

2.2 ชั่งดิน 50 กรัม(ถ้าเป็นดินทรายใช้ 100 กรัม) ใส่ลงใน dispersion cup เติม calgon 5% ลงไป 15 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นลงไปประมาณ ½ ถ้วย ปั่นดินเป็นเวลา 5 นาที (สำหรับดินทราย) หรือ 10 นาที (สำหรับดินเหนียว)

2.3 เทตัวอย่างดินลงใน cylinder เติมน้ำให้ถึงขีดที่กำหนด (ดิน 50 กรัม ทำเป็น 1130 มิลลิลิตร, ดิน 100 กรัม ทำเป็น 1205 มิลลิลิตร) ปิดฝาเขย่ากลับไปกลับมาจนกระทั่งเม็ดดินอยู่ในสภาพสารแขวนลอย วาง cylinder ลงบนโต๊ะแล้วเริ่มจับเวลาทันที

2.4 เมื่อครบ 40 วินาที หย่อน Hydrometer ลงในสารละลายดิน บันทึกค่า hydrometer และอุณหภูมิของสารละลาย

2.5 บันทึกค่า Hydrometer และอุณหภูมิของสารละลายดินอีกครั้งเมื่อครบ 2 ชั่วโมง

2.6 คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของอนุภาคดินและจำแนกเนื้อดินจาก Diagram

**การคำนวณ**

เนื่องจาก Hydrometer ที่ใช้วัดจะให้ค่าเที่ยงตรงที่อุณหภูมิ 68 °F ดังนั้น ถ้าอุณหภูมิของตัวอย่างผิดไป จากนี้จะต้องปรับค่าให้ถูกต้องก่อน โดยใช้ factor C บวกเข้ากับค่าที่อ่านจาก hydrometer

$$C = 0.2(T+68)$$

โดย T คือ อุณหภูมิเป็น °F

ถ้าเทอร์โมมิเตอร์ที่ใช้วัดอ่านเป็น °F ไม่ได้ ให้เปลี่ยนค่าอุณหภูมิโดยใช้สูตร

$$°F = (°C \times 1.8) + 32$$

% (silt + clay) = (40 sec.corrected reading x 100)/(wt. of soil)

% Clay = (20 hrs.corrected reading x 100)/(wt. of soil)

% Sand = 100 – % (silt + clay)

% silt = % (silt + clay) – % clay

## การวิเคราะห์ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดิน(CEC)

**อุปกรณ์**

1. Leaching tube
2. Cotton wool
3. Asbestos powder
4. Erlenmeyer flask ขนาด 125 มิลลิลิตร
5. Volumetric flask ขนาด 200, 2000 มิลลิลิตร
6. Cylinder ขนาด 100 มิลลิลิตร

7. Volumetric pipet 25 มิลลิลิตร

8. Distillation apparatus

9. Analytical balance

10. Buret

**สารเคมี**

1. Ammonium acetate 1 N, pH 7

2. AcidifildNaCl (10% in 0.05 N HCl)

3. Ethyl alcohol 95%

4. Mixed indicator

5. Boric acid indicator 2%

6.0.02 N Standard sulfuric acid

7. MgO

8. Asbestos

**วิธีการทดลอง**

1. ชั่งตัวอย่างดิน (ขนาด 2 มม.) 2 กรัม (ถ้าเป็นดินทรายใช้ 4 กรัม) ใส่ใน Leaching tube ซึ่งรองก้นด้วยสำลีและเทสารละลาย asbestos ปริมาณ 5 มิลลิลิตร

2. ชะดินด้วยน้ำยา 1 N $NH_4OAc$, pH 7 จำนวน 100 มิลลิลิตร โดยค่อยๆปล่อยให้หยดทีละน้อยลงในขวดรองรับ leachate ที่ได้ นำไปวิเคราะห์หาปริมาณ exchangeable bases ($Ca^{2+}$, $Mg^{2+}$, $K^+$ และ $Na^+$) โดยใช้ atomic absorption spectrophotometer

3. ล้างดินใน leaching tube ด้วย ethyl alcohol 95% จำนวน 100 มิลลิลิตร เพื่อล้างเอา $NH_4OAc$ ที่ขังและติดอยู่ตามซอกของอนุภาคออกให้หมด

4. ล้างดินด้วย 10 % acidified NaCl จำนวน 100 มิลลิลิตร เพื่อที่ $Na^+$ จะไปไล่ที่ $NH_4^+$ ที่ดูดซับอยู่ที่ผิวดิน การชะดินนี้ต้องทำอย่างช้าๆ หลังจากนั้นนำ leachate ที่ได้มาปรับปริมาตรให้เป็น 200 ลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น

5. นำ Leachate จากข้อ 4 ไปกลั่นหาปริมาณ $NH_4^+$ โดย pipet สารละลายจากข้อ 4. มา 20 หรือ 25 มิลลิลิตร ใส่ลงใน Kjeldahl flask แล้วเติม MgO 0.2 กรัม จับ $NH_3$ ที่เกิดด้วย 2% boric acid-indicator 5 มิลลิลิตร กลั่นจนได้ปริมาตร 35 มิลลิลิตร สารละลายนี้จะมีสีเขียว หลังจากนั้นนำมา Titrate ด้วย standard $H_2SO_4$ 0.02 N จนถึง end point จะได้สารละลายสีม่วงอมชมพู บันทึกปริมาตรของ standard $H_2SO_4$ ที่ใช้ titrateเพื่อจะนำไปใช้คำนวณต่อไป

6. การคำนวณหาปริมาณ $NH_4^+$ ค่าที่คำนวณได้คิดเป็น เซนติโมล/กิโลกรัม ของดินหรือวัสดุ ซึ่งจะสมมูลย์พอดีกับปริมาณ CEC ดังนั้นค่าที่คำนวณได้จึงถือว่าเป็นค่า CEC ของดินนั้น

7. ควรทำ Blank 2 ตัวอย่าง ควบคู่ไปกับการวิเคราะห์ทุกครั้ง

**การคำนวณ**

สารละลายตัวอย่าง 200 มิลลิลิตร ดูดมาเพียง 25 มิลลิลิตร เพื่อนำมากลั่น หลังจากนั้น Titrate ด้วย 0.02 N $H_2SO_4$ สมมติใช้ไปเท่ากับ T มิลลิลิตร และของ Blank ใช้ไป B มิลลิลิตร

Meq ของ $NH_4^+$ ใน leachate = มิลลิลิตร ของ $H_2SO_4$ ที่ใช้ไทเทรต X normality ของกรด แล้วนำไปเทียบเป็นดิน 100 กรัม ค่าที่ได้ออกมาจะเป็น meq/100 g ซึ่งมีค่าเท่ากับ c mole/kg ปัจจุบันนิยมรายงานเป็น c mole/kg

CEC (meq/100 g) = (Nx(T-B)xAx 100)/(mL.of aliquot ที่ใช้ x นน.ดิน(กรัม))

= c mole/kg

เมื่อ N = Normality ของ Standard $H_2SO_4$

T = ปริมาณของ standard $H_2SO_4$ ที่ใช้ titrate sample

B = ปริมาณของ standard $H_2SO_4$ ที่ใช้ titrate blank

A = ปริมาณทั้งหมดของ aliquot

## การเตรียมสารละลายไกลโฟเสท และโลหะหนัก

**1. การศึกษาเพื่อหาปัจจัยด้านความเข้มข้นของธาตุโลหะหนักที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงรูปของธาตุโลหะหนักในดิน**

**การเตรียมดิน**

นำตัวอย่างดินที่ผ่านการบดและร่อนมาเติมธาตุโลหะหนัก 2 ระดับความเข้มข้นดังนี้ ระดับความเข้มข้นต่ำประกอบด้วย แคดเมียม 28, ตะกั่ว 52, โครเมียม 26 ทองแดง 127 และสังกะสี 131 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และระดับความเข้มข้นสูงประกอบด้วย แคดเมียม 225, ตะกั่ว 414, โครเมียม 104, ทองแดง 350 และสังกะสี 400 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ทำการผสมโลหะทั้งหมดเข้าด้วยกัน เตรียมจากสารละลายมาตรฐาน 1000 มิลลิกรัม/ลิตร โดยผสมสารละลายโลหะหนักปริมาณทั้งหมด 525 มิลลิลิตร ลงในดินทั้งหมด 350 กรัม ปริมาณที่เตรียมแสดงดังตาราง 3

**ตาราง 17 การเตรียมสารละลายโลหะหนักที่ระดับความเข้มข้นต่ำ และระดับความเข้มข้นสูง**

| โลหะหนัก | ความเข้มข้น (mg/kg) | | ความเข้มข้น (mg/l) | | ปริมาณที่ดูดจากสารมาตรฐาน 1000 mg/l (ml) | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | ระดับต่ำ | ระดับสูง | ระดับต่ำ | ระดับสูง | ระดับต่ำ | ระดับสูง |
| Cd | 28 | 225 | 18.74 | 149.88 | 9.84 | 78.69 |
| Pb | 52 | 414 | 34.53 | 276.27 | 18.13 | 145.04 |
| Cr | 26 | 104 | 17.33 | 69.33 | 9.10 | 36.40 |
| Cu | 127 | 350 | 84.73 | 233.33 | 44.48 | 122.50 |
| Zn | 131 | 400 | 87.19 | 266.67 | 45.77 | 140.00 |

**การเตรียมสารละลายไกลโฟเสท**

ชั่งตัวอย่างดินใส่บีกเกอร์พลาสติก 7 กรัม แล้วเติมสารละลายไกลโฟเสทที่ 3 ระดับความเข้มข้นคือ 0, 67.63 และ 120.76 มิลลิกรัม/กิโลกรัมจากสาร N-(phosphonomethyl)glycine 96% นำมาละลายด้วยน้ำกลั่น แล้วหยดให้ทั่วผิวดินด้วยหลอดหยอดปริมาณ 1.45 มิลลิลิตร

**การคำนวณ**

เตรียมไกลโฟเสท 67.63 มิลลิกรัม/กิโลกรัม เตรียมจาก $C_3H_8NO_5P$ ชั่ง 0.0326 กรัม แล้วปรับปริมาณเป็น 100 มิลลิลิตร

เตรียมไกลโฟเสท 120.76 มิลลิกรัม/กิโลกรัม เตรียมจาก $C_3H_8NO_5P$ ชั่ง 0.0583 กรัม แล้วปรับปริมาณเป็น 100 มิลลิลิตร

2. การทดลองอิทธิพลของไกลโฟเสทต่อการดูดดึงแคดเมียมและตะกั่วสู่พืช

**การเตรียมดิน**

นำตัวอย่างดินที่ผ่านการบดและร่อนทำให้มีการปนเปื้อนของโลหะธาตุเดี่ยว 2 ชนิด คือ แคดเมียม และตะกั่ว โดยนำสารละลายตามความเข้มข้นผสมคลุกเคล้ากับตัวอย่างดินให้เป็นเนื้อเดียวกันแล้วผึ่งทิ้งไว้ในที่ร่มจนดินแห้ง จากนั้นนำดินมาชั่ง 300 กรัม เพื่อนำไปใส่กระถางเตรียมปลูกตัวอย่างพืช และเติมสารละลายไกลโฟเสทความเข้มข้น 98 มิลลิกรัม/กิโลกรัม โดยทำการหยดให้ทั่วผิวหน้าดิน ปริมาณ 13.5 มิลลิลิตร

**การเตรียมสารละลายไกลโฟเสท**

เตรียมไกลโฟเสทความเข้มข้น 98 มิลลิกรัม/กิโลกรัม เตรียมจาก $C_3H_8NO_5P$ ชั่ง 0.436 กรัม ปรับปริมาตรเป็น 500 มิลลิลิตร

**การเตรียมสารละลายโลหะหนัก**

โลหะหนักแคดเมียมความเข้มข้น 56 มิลลิกรัม/กิโลกรัม เตรียมจาก $Cd(NO_3)_2.4H_2O$ ชั่ง 0.2263 กรัม แล้วปรับปริมาตรเป็น 750 มิลลิลิตร

โลหะหนักตะกั่วความเข้มข้น 104 มิลลิกรัม/กิโลกรัม เตรียมจาก $Pb(NO_3)_2$ ชั่ง 0.4181 กรัม แล้วปรับปริมาตรเป็น 750 มิลลิลิตร