



248952



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ

อิทธิพลของสารพาราควอทและไกลโฟเสทในดิน
ที่มีต่อความสามารถในการดูดซับของดิน

โดย ดร. วภากร (อมรธรรม) ศิริวงศ์

กรกฎาคม 2553

600953942

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ



248952

สัญญาเลขที่ MRG5080395

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ อิทธิพลของสารพาราควอทและไกลโฟเสทในดินที่มีต่อ
ความสามารถในการดูดซับของดิน

คณะผู้วิจัย



ดร. วภากร (อมรธรรม) ศิริวงศ์
คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยนครสวรรค์

สนับสนุนโดยสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย
(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกอ.และ สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

บทคัดย่อ

248952

โครงการวิจัยเพื่อศึกษาอิทธิพลของสารกำจัดวัชพืชสองชนิดคือสารพาราควอตและสารไกลโฟเสตที่มีต่อความสามารถในการดูดซับธาตุต่าง ๆ ในดิน เป็นการศึกษาในตัวอย่างดินร่วนปนทรายแป้ง (silty loam) มีปริมาณอนุภาคขนาดดินเหนียว 39.3 % และปริมาณอินทรีย์วัตถุ 3.27% ประกอบด้วย การทดลองในสภาพโรงเรือนกับดินที่บรรจุใน soil microcosm ทำการใส่สารกำจัดวัชพืช 4 ตำรับการทดลอง ประกอบด้วย ตำรับควบคุมที่ไม่ใส่สารกำจัดวัชพืช (Control) ตำรับที่ใส่สารพาราควอตร่วมกับสารไกลโฟเสตอัตรา 2.5 เท่า (2.5PQ2.5GLY) ตำรับที่ใส่สารพาราควอตอัตรา 5 เท่า (PQ) และตำรับที่ใส่สารไกลโฟเสตอัตรา 5 เท่า (GLY) ของอัตราที่แนะนำให้กับเกษตรกร โดยทำการใส่สารกำจัดวัชพืชต่อเนื่องกัน 4 ครั้ง เก็บตัวอย่างดินไปวิเคราะห์เมื่อเวลา 8 สัปดาห์หลังจากการใส่สารกำจัดวัชพืชแต่ละครั้งและเก็บต่อเนื่องไปเมื่อเวลา 16, 24, 32 และ 40 สัปดาห์หลังจากการใส่สารครั้งที่สี่ ผลจากการวิจัย พบว่า การใส่สารพาราควอตและไกลโฟเสตมีผลทำให้ปริมาณการดูดซับแคลเซียมและทองแดงในดินลดลงอย่างชัดเจนเมื่อใช้สารกำจัดวัชพืชอัตรา 5 เท่าของอัตราแนะนำแก่เกษตรกร ไม่พบอิทธิพลดังกล่าวในตำรับการทดลองที่มีการใช้สารกำจัดวัชพืชร่วมกันในอัตรา 2.5 เท่า การลดลงของปริมาณการดูดซับแคลเซียมและทองแดงพบได้ทันทีหลังจากการเติมสารแต่ละชนิดลงในดินทั้งตำรับที่ใส่เพียงหนึ่งครั้งและตำรับที่ใส่อย่างต่อเนื่องกันสี่ครั้ง อิทธิพลของสารกำจัดวัชพืชที่มีต่อการดูดซับที่เกิดขึ้นเป็นแบบไม่ถาวร โดยผลของสารพาราควอตต่อการดูดซับแคลเซียมพบเฉพาะเมื่อใส่สารทันที และผลดังกล่าวหมดไปอย่างรวดเร็วและไม่พบในสัปดาห์ที่ 8 สำหรับอิทธิพลของสารพาราควอตต่อการดูดซับทองแดงพบได้เมื่อใส่สารทันที การใส่สาร 4 ครั้งจะทำให้มีผลต่อเนื่องไปถึงสัปดาห์ที่ 8 แต่ไม่พบในสัปดาห์ที่ 16 และโครงการวิจัยนี้ไม่พบอิทธิพลของสารกำจัดวัชพืชต่อปริมาณการดูดซับธาตุแมกนีเซียมและธาตุสังกะสีในดิน สำหรับอิทธิพลต่อคุณสมบัติด้านต่าง ๆ ของดิน พบว่า การใส่สารกำจัดวัชพืชมีผลต่อปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน แต่ไม่มีผลต่อความหนาแน่นและค่าพีเอชดิน

การศึกษาพฤติกรรมการดูดซับสารไกลโฟเสตและพาราควอตในตัวอย่างดินของโครงการวิจัย พบว่า ปริมาณการดูดซับไกลโฟเสตและพาราควอตในดินมีค่าขึ้นกับความเข้มข้นและมีความสอดคล้องกับสมการ Freundlich Isotherm จากการคำนวณค่า adsorption capacity และ adsorption intensity สำหรับพาราควอต พบว่า K_f มีค่า 3812 และ $1/n$ มีค่า 0.182 สำหรับไกลโฟเสต พบว่า K_f มีค่า 40 - 550 และ $1/n$ มีค่า 0.40 - 0.63 จากค่า $1/n$ แสดงถึงความไม่เป็นเส้นตรงและความไม่สม่ำเสมอของกลไกการดูดซับสารพาราควอตและไกลโฟเสตในดิน คุณสมบัติของดินที่มีผลต่อพฤติกรรมการดูดซับสารไกลโฟเสต 10 ตัวอย่างดิน ประกอบด้วย ปริมาณดินเหนียว ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ความจุแลกเปลี่ยนไอออนบวกในดิน และปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน

คำสำคัญ

พาราควอต ไกลโฟเสต สารกำจัดวัชพืช ดิน การดูดซับ ทองแดง สังกะสี แคลเซียม แมกนีเซียม

Abstract**248952**

Research on effect of paraquat and glyphosate herbicides on soil adsorption capacity was studied in silty loam texture soil which contained 39.3% clay and 3.27% organic matter. Herbicide applications were applied in PVC soil microcosms for 4 treatments including 1) Control: no herbicide application, 2) 2.5PQ2.5GLY: paraquat and glyphosate application each at 2.5 times, 3) PQ: paraquat application at 5 times, and 4) GLY: glyphosate application at 5 times of official application rate. The four herbicide treatments were applied in microcosm soils for 4 times, continuously. Soil in microcosm was harvested at 0 and 8 weeks after each application and continuously at 16, 24, 32 and 40 weeks after the fourth application. The results exhibited that the amount of calcium and copper adsorption in soil was decreased significantly as effected by paraquat and glyphosate application. The decreasing effect was found at immediately after application and at a rate of 5 times of single herbicide application, but not found in mixed application. This herbicidal effect was temporal, the decreasing effect of paraquat and glyphosate on calcium adsorption was not exhibited at 8 weeks, but the obstructive effect of paraquat on copper adsorption was continuously found at 8 weeks but not at 16 weeks and later on. There was no evident of the effect of herbicide on magnesium and zinc adsorption. Soil organic matter was an additional characteristic influenced by herbicide application that it was decreased significantly in all herbicide treatments.

Paraquat and glyphosate adsorption in soil was concentration dependence and fitted to Freundlich Isotherm which $1/n$ value reflecting nonlinearity and non-uniformity adsorption. Adsorption capacity and adsorption intensity was calculated, for paraquat, K_f and $1/n$ were 3812 and 0.182, respectively. For glyphosate adsorption, K_f value were 40 – 550 and $1/n$ value were 0.40 – 0.63 and adsorption capacity was significantly correlated to clay content, organic matter content and exchangeable calcium.

Keywords:

Glyphosate, Paraquat, Herbicide, Soil, Adsorption, Calcium, Magnesium, Copper, Zinc, Metal
Freundlich Isotherm

บทสรุปสำหรับผู้บริหาร

Executive Summary

ประเทศไทยมีการใช้สารกำจัดวัชพืช (herbicide) มากเป็นอันดับหนึ่งของสารกำจัดศัตรูพืชทั้งหมด สารไกลโฟเสทและพาราควอตเป็นสารกำจัดวัชพืชที่มีการนำเข้ามาใช้มากที่สุด สารเคมีต่างๆ ที่ลงสู่ดินจะมีพฤติกรรม (behavior) ความเป็นไป (fate) และการแพร่กระจายไปสู่ระบบนิเวศน์ นอกจากนี้ยังมีโอกาสทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติและกิจกรรมทางเคมีต่างๆ ในดินที่ส่งผลต่อการแสดงบทบาทหน้าที่ในด้านการเป็นแหล่งน้ำและอาหารต่อพืชและในด้านการเป็นตัวดูดซับและย่อยสลายมลพิษในสิ่งแวดล้อม การศึกษาถึงผลกระทบของการใช้สารกำจัดวัชพืชต่อคุณสมบัติของดินที่ผ่านมาส่วนใหญ่เป็นการศึกษาในสภาพแวดล้อมของต่างประเทศที่มีภูมิอากาศแตกต่างจากประเทศไทย และเป็นการศึกษาอิทธิพลที่มีต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ดิน ยังมีรายงานการศึกษาน้อยมากในด้านผลกระทบของการใช้สารกำจัดวัชพืชต่อคุณสมบัติดินทางเคมีและกายภาพที่ส่งผลถึงความสามารถในการดูดซับสารประกอบและไอออนของดินทั้งในและต่างประเทศ โครงการวิจัย เรื่อง การศึกษาอิทธิพลของสารกำจัดวัชพืชสองชนิดคือพาราควอตและไกลโฟเสทที่มีต่อความสามารถในการดูดซับธาตุต่างๆ ในดิน ประกอบด้วย การทดสอบพฤติกรรมการดูดซับสารไกลโฟเสทและสารพาราควอตในห้องปฏิบัติการ และการทดลองในสภาพโรงเรือนเพื่อศึกษาอิทธิพลของการใส่สารพาราควอตและไกลโฟเสทลงในดินต่อความสามารถในการดูดซับของดิน โดยวัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย ประกอบด้วย 1) ศึกษาผลของสารกำจัดวัชพืชสองชนิดต่อความสามารถในการดูดซับของดิน 2) ศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาในการใส่สารกำจัดวัชพืชที่มีต่อความสามารถในการดูดซับของดิน 3) ศึกษาผลของการใส่สารกำจัดวัชพืชอย่างต่อเนื่องต่อความสามารถในการดูดซับของดิน และ 4) เพื่อให้สามารถระบุตัวดัชนีชี้วัดผลกระทบของการใช้สารกำจัดวัชพืชต่อคุณภาพของทรัพยากรดิน การวิจัยเพื่อศึกษาอิทธิพลของสารกำจัดวัชพืชสองชนิด คือ สารพาราควอตและสารไกลโฟเสทต่อความสามารถในการดูดซับของดิน เป็นการศึกษาทั้งในห้องปฏิบัติการเพื่อศึกษาพฤติกรรมการดูดซับสารพาราควอตและไกลโฟเสทในดินโดยวิธี batch equilibration technique

การทดลองเพื่อศึกษาอิทธิพลของสารกำจัดวัชพืชต่อความสามารถในการดูดซับของดิน เป็นการศึกษาอิทธิพลของสารพาราควอตและไกลโฟเสท ในแง่ที่เกี่ยวข้องกับอัตราการใช้ ระยะเวลาหลังการใส่และวิธีการใส่ลงในดินซ้ำกันอย่างต่อเนื่อง โดยใช้ตัวอย่างดินร่วนปนทรายแป้ง (silty loam) ที่มีปริมาณอนุภาคขนาดดินเหนียว 39.3 % และปริมาณอินทรีย์วัตถุ 3.27% บรรจุใน soil microcosm สารพาราควอตและไกลโฟเสทที่ใช้เป็นสารละลายที่เตรียมจากสารมาตรฐานประกอบด้วย 4 ตำรับการทดลอง คือ ตำรับควบคุมที่ไม่ใส่สารกำจัดวัชพืช (Control) ตำรับที่ใส่สารพาราควอตร่วมกับสารไกลโฟเสทอัตรา 2.5 เท่า (2.5PQ2.5GLY) ตำรับที่ใส่สารพาราควอตอัตรา 5 เท่า (PQ) และอัตราที่ใส่สารไกลโฟเสทอัตรา 5 เท่า (GLY) ของอัตราที่แนะนำให้กับเกษตรกร การใส่สารกำจัดวัชพืชเป็นการใส่ลงบนผิวดินใน microcosm ต่อเนื่องกัน 4 ครั้ง ทำการเก็บตัวอย่างดินไปวิเคราะห์โดยเก็บทันทีและเก็บหลังจากการใส่สารกำจัดวัชพืชแต่ละครั้ง 8 สัปดาห์และหลังจากการใส่ครั้งที่สี่ทำการเก็บตัวอย่างไปอย่างต่อเนื่องในระยะ 16, 24, 32 และ 40 สัปดาห์ ตัวแปรที่ทำการศึกษา

ประกอบด้วย คุณสมบัติต่างๆของดิน ได้แก่ ความเป็นกรดต่าง ปริมาณอินทรีย์วัตถุและความหนาแน่นรวมของดิน รวมทั้งความสามารถในการดูดซับธาตุแคลเซียม แมกนีเซียม สังกะสีและทองแดงในดินที่ระดับความลึก 5 เซนติเมตร สภาพการทดลองมีการควบคุมความชื้นของดินตลอดการทดลอง

ผลการศึกษาวิจัยสามารถสรุปได้ดังนี้

1. การดูดซับสารไกลโฟเสทในดินมีปริมาณขึ้นกับความเข้มข้น มีรูปกราฟแบบ L-curve ซึ่งสอดคล้องกับสมการ Freundlich Isotherm ค่า $1/n$ ของสมการการดูดซับมีค่าระหว่าง 0.40 - 0.63 แสดงถึงความสัมพันธ์ที่ไม่เป็นเส้นตรงเนื่องจากองค์ประกอบต่างๆของดินทำให้มีกลไกการดูดซับที่หลากหลายเกิดขึ้น ค่าความสามารถในการดูดซับสารไกลโฟเสทในดินที่คำนวณจากสมการ (K_f) มีค่าระหว่าง 40 - 550 โดยมีความสัมพันธ์กับปริมาณดินเหนียว ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ความจุแลกเปลี่ยนไอออนบวกและปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน

2. การดูดซับสารพาราควอทในดินมีความสัมพันธ์ทางบวกกับค่าความเข้มข้นซึ่งสามารถอธิบายได้โดย Freundlich Adsorption Isotherm และมีค่า adsorption capacity (K_f) เป็น 3812 และ adsorption intensity ($1/n$) เป็น 0.182

3. การใส่สารกำจัดวัชพืชไม่ทำให้ความหนาแน่นรวมของดินเปลี่ยนแปลง แต่ค่าพีเอชของดินที่ทดลองมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาของการทดลองอย่างมีนัยสำคัญ โดยเมื่อเริ่มต้นการทดลองดินมีค่าพีเอชเป็น 6.11 และลดลงเป็น 5.92 ในการเก็บตัวอย่างครั้งสุดท้าย แต่การเปลี่ยนแปลงระดับพีเอชดังกล่าวไม่สามารถสรุปได้ว่าเป็นอิทธิพลจากปัจจัยของสิ่งทดลอง

4. ปริมาณอินทรีย์วัตถุของดินมีการเปลี่ยนแปลงโดยมีแนวโน้มลดลงในทุกตำรับการทดลอง ปริมาณอินทรีย์วัตถุของดินลดลงอย่างมีนัยสำคัญในตำรับการทดลองที่ได้รับสารกำจัดวัชพืชทั้งสองชนิด แต่ปริมาณอินทรีย์วัตถุของดินตำรับ Control มีการลดลงอย่างไม่มีนัยสำคัญ ซึ่งอธิบายได้ว่าอินทรีย์วัตถุในดินมีการสลายตัวไปตามธรรมชาติ สำหรับดินที่ทำการทดลองไม่ได้รับอินทรีย์วัตถุเพิ่มเติมตลอดการทดลองจึงมีปริมาณอินทรีย์วัตถุลดลงไปตามระยะเวลาของการทดลอง สารพาราควอทและไกลโฟเสทที่ใส่ลงในดินสามารถเป็นแหล่งอาหารและพลังงานทำให้กิจกรรมของจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นเกิดการย่อยสลายอินทรีย์สารที่มีอยู่ในดินได้รวดเร็วขึ้น

5. สารพาราควอทในอัตราสูงที่ใส่ลงดินมีผลทำให้ปริมาณการดูดซับแคลเซียมและทองแดงของดินลดลงอย่างชัดเจน เนื่องจากสารพาราควอทมีโมเลกุลที่แตกตัวเป็นสารอินทรีย์ไอออนบวก (organic cation) จึงสามารถดูดซับบนผิวอนุภาคดินได้ดีกว่าและลดพื้นที่ดูดซับไอออนบวกอื่นๆลง นอกจากนั้น สารพาราควอทและทองแดงยังมีความชอบต่อการดูดซับบนอนุภาคอินทรีย์คอลลอยด์จึงเกิดการแข่งขันกันได้

6. สารไกลโฟเสททำให้ปริมาณการดูดซับแคลเซียมลดลงอย่างชัดเจน แต่ไม่มีผลต่อปริมาณการดูดซับแมกนีเซียม ทองแดงและสังกะสี อิทธิพลของไกลโฟเสทที่มีต่อปริมาณการดูดซับแคลเซียมในดินอธิบายได้จากความสามารถของสารไกลโฟเสทในการจับกับไอออนบวกสองประจุ (divalent cation) สร้างเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีอิสระต่อการดูดซับ โดยเฉพาะอย่างยิ่งแคลเซียมสามารถตะกอนกับไกลโฟเสทในสัดส่วน 1 : 1 ดังนั้นการมีสารไกลโฟเสทในดินจึงทำให้การดูดซับธาตุแคลเซียมในดินลดลงเป็นอย่างมาก ผลการศึกษามีความขัดแย้งกับงานวิจัยอื่นๆ โดยการศึกษาครั้งนี้ไม่พบผลของสารไกลโฟเสทต่อการดูดซับธาตุทองแดงและ

สังกะสี เนื่องจากตัวอย่างดินที่ศึกษามีปริมาณอินทรีย์วัตถุและค่าความจุแลกเปลี่ยนไอออนบวกสูง แต่อิทธิพลทางลบของไกลโฟเสตต่อการดูดซับธาตุโลหะจะพบอย่างชัดเจนบนแร่ออกไซด์และพบในดินที่มีอินทรีย์วัตถุและค่าความจุแลกเปลี่ยนไอออนบวกต่ำ รวมทั้งอัตราการใส่สารไกลโฟเสตในการทดลองนี้ต่ำมากเมื่อเทียบกับงานอื่นๆ ดังนั้นจึงไม่เห็นผลของสารไกลโฟเสตต่อการดูดซับธาตุสังกะสี

7. อิทธิพลของสารพาราควอตและไกลโฟเสตต่อปริมาณการดูดซับต่างๆ เกิดเฉพาะเมื่อใช้สารในอัตราสูงถึง 5 เท่าของปริมาณที่แนะนำแก่เกษตรกร การใช้สารทั้งสองชนิดร่วมกันในอัตรา 2.5 เท่าของปริมาณที่แนะนำไม่มีผลต่อปริมาณการดูดซับต่างๆ

8. อิทธิพลของสารพาราควอตและไกลโฟเสตต่อปริมาณการดูดซับต่างๆ ในดินพบได้เมื่อเก็บตัวอย่างดินทันทีหลังจากใส่สารกำจัดวัชพืช อิทธิพลดังกล่าวหมดไปอย่างรวดเร็วภายในระยะเวลา 8 สัปดาห์หลังจากการใส่สารกำจัดวัชพืชทุกครั้ง เนื่องจากปฏิกิริยาการดูดซับและการสลายตัวของสารกำจัดวัชพืชเกิดได้อย่างรวดเร็ว ผลของสารกำจัดวัชพืชต่อการดูดซับแคลเซียมพบเมื่อใส่สารกำจัดวัชพืชครั้งแรก ส่วนผลของสารพาราควอตต่อการดูดซับธาตุทองแดงสามารถสังเกตได้หลังจากการใส่ต่อเนื่องกันถึงสี่ครั้ง

9. ปริมาณการดูดซับธาตุแคลเซียมและทองแดงในดินและปริมาณอินทรีย์วัตถุซึ่งได้รับผลกระทบจากการมีสารพาราควอตและไกลโฟเสตปนเปื้อนในดิน ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมและอาจพัฒนาไปเป็นตัวบ่งชี้ผลกระทบของสารกำจัดวัชพืชต่อคุณภาพดินได้ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย และ สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา ที่สนับสนุนงบประมาณในการวิจัย และขอขอบคุณมหาวิทยาลัยนเรศวรที่สนับสนุนโอกาส เวลาและสถานที่ในการดำเนินโครงการวิจัย รวมทั้งขอกราบขอบพระคุณ รศ. ดร. ปรีดา พากเพียร ที่ได้กรุณาเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิจัย

งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลงได้ด้วยความร่วมมือและกำลังใจจากครอบครัว มารดา พี่น้อง เพื่อนพ้องและผู้ใกล้ชิดทุกท่าน ผู้วิจัยขอแสดงความระลึกถึงความดีและขอขอบคุณทุกท่านมา ณ ที่นี้

ดร. วภากร (อมรธรรม) ศิริวงศ์
ผู้วิจัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	i
Abstract	ii
บทสรุปสำหรับผู้บริหาร	iii
กิตติกรรมประกาศ	vi
สารบัญ	vii
สารบัญตาราง	ix
สารบัญภาพ	x
 บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
 บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 สารพาราควอท	3
2.1.1 การดูดซึมและการออกฤทธิ์ในพืช	3
2.1.2 พืชต่อคนและสัตว์	5
2.1.3 ความเป็นไปของพาราควอทในสิ่งแวดล้อมและในดิน	5
2.2 สารไกลโฟเสท	7
2.2.1 การดูดซึมและการออกฤทธิ์ในพืช	7
2.2.2 พืชต่อคนและสัตว์	8
2.2.3 ความเป็นไปของพาราควอทในสิ่งแวดล้อมและในดิน	8
2.3 ผลกระทบของสารกำจัดวัชพืชต่อคุณภาพทรัพยากรดิน	9
 บทที่ 3 วิธีการศึกษาวิจัย	
3.1 กรอบและแผนผังโครงการวิจัย	12
3.2 การคัดเลือกตัวอย่างดินและคุณสมบัติของดินที่ใช้ในการศึกษา	12
3.3 การศึกษาพฤติกรรมการดูดซับพาราควอทและไกลโฟเสทในดิน	14
3.4 การศึกษาอิทธิพลของสารกำจัดวัชพืชต่อการเปลี่ยนแปลงการดูดซับของดิน	14
3.4.1 แผนการทดลอง	15
3.4.2 การใส่สารกำจัดวัชพืช การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์ตัวอย่าง	17

หน้า

บทที่ 4 ผลการศึกษา

4.1 พฤติกรรมการดูดซับสารไกลโฟเสทและพาราควอทในดิน.....	18
4.1.1 การดูดซับไกลโฟเสทของดิน.....	18
4.1.2 การดูดซับพาราควอทของดิน.....	24
4.2 อิทธิพลของสารพาราควอทและไกลโฟเสทในดิน.....	25
4.2.1 การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติต่างๆของดิน.....	25
4.2.2 การเปลี่ยนแปลงปริมาณการดูดซับธาตุแคลเซียมของดิน.....	29
4.2.3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณการดูดซับธาตุแมกนีเซียมของดิน.....	30
4.2.4 การเปลี่ยนแปลงปริมาณการดูดซับธาตุทองแดงของดิน.....	31
4.2.5 การเปลี่ยนแปลงปริมาณการดูดซับธาตุสังกะสีของดิน.....	32

บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและวิจารณ์.....	33
---------------------------------------	----

เอกสารอ้างอิง.....	37
--------------------	----

ภาคผนวก.....	43
--------------	----

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 คุณสมบัติด้านต่าง ๆ ของสารพาราควอทและสารไกลโฟเสท	4
3.1 คุณสมบัติต่าง ๆ ของดิน 10 ตัวอย่าง	13
3.2 ปริมาณสารพาราควอทและไกลโฟเสทที่ใส่ในดินตามตำรับการทดลองในแต่ละครั้ง	15
3.3 แผนการใส่สารกำจัดวัชพืช	17
4.1 ปริมาณการดูดซับและปริมาณความเข้มข้นของไกลโฟเสทที่จุดสมดุลย์ที่ ความเข้มข้นเริ่มต้นระดับต่าง ๆ ของตัวอย่างดิน 10 ชนิด	20
4.2 ค่าคงที่ของสมการ Freundlich Adsorption Isotherm และค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนดของสมการ เส้นตรงของการดูดซับไกลโฟเสทใน 10 ตัวอย่างดิน	22
4.3 ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่จากสมการการดูดซับกับคุณสมบัติต่าง ๆ ของดิน	23
4.4 ปริมาณการดูดซับและปริมาณความเข้มข้นของพาราควอทของตัวอย่างดิน SIT ที่ทำการศึกษา	24
4.5 ค่าพีเอชของดินที่ระยะเวลาต่าง ๆ หลังจากได้รับสารกำจัดวัชพืชแต่ละตำรับการทดลอง	26
4.6 ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินที่ระยะเวลาต่าง ๆ หลังจากได้รับสารกำจัดวัชพืชแต่ละ ตำรับการทดลอง	27
4.7 ค่าความหนาแน่นของดินที่ระยะเวลาต่าง ๆ หลังจากได้รับสารกำจัดวัชพืชแต่ละตำรับการทดลอง	28
4.8 ปริมาณการดูดซับแคลเซียมในดินที่ระยะเวลาต่าง ๆ หลังจากใส่สารกำจัดวัชพืช ตามตำรับการทดลอง	29
4.9 ปริมาณการดูดซับแมกนีเซียมในดินตามตำรับการทดลองและตามระยะเวลาใส่และเก็บตัวอย่าง	30
4.10 ปริมาณการดูดซับทองแดงในดินตามตำรับการทดลองและตามระยะเวลาใส่และเก็บตัวอย่าง	31
4.11 ปริมาณการดูดซับสังกะสีในดินตามตำรับการทดลองและตามระยะเวลาใส่และเก็บตัวอย่าง	32

สารบัญภาพ

ภาพ	หน้า
1.1 สถิติการนำเข้าสารกำจัดศัตรูพืชของประเทศไทย	1
3.1 กรอบและแผนผังการทดลองภายใต้กรอบโครงการวิจัย	11
3.2 สภาพพื้นที่เก็บตัวอย่าง	16
3.3 การบรรจุตัวอย่างดินแบบไม่รบกวนโครงสร้างใน Soil Microcosm	16
3.4 สภาพโรงเรือนทดลองและลักษณะการให้น้ำ	16
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการดูดซับกับความเข้มข้นที่จุดสมดุลเมื่อใช้สัดส่วนดินต่อสารละลายต่างกัน	18
4.2 ปริมาณการดูดซับสารไกลโฟเสตตามระยะเวลาเมื่อใช้สัดส่วนดินต่อสารละลายต่างกัน	19
4.3 Adsorption Isotherm ของไกลโฟเสตใน 10 ตัวอย่างดิน	22
4.4 Adsorption Isotherm ของสารพาราควอตในตัวอย่างดิน SIT	24
4.5 ค่าพีเอชของดินที่ระยะเวลาต่าง ๆ หลังจากได้รับสารกำจัดวัชพืชแต่ละตำรับการทดลอง	26
4.6 ความชื้นของดินใน microcosm ตลอดระยะเวลาการทดลอง	26
4.7 ปริมาณอินทรีย์วัตถุของดินใน microcosm หลังจากได้รับสารกำจัดวัชพืชในแต่ละตำรับการทดลองระยะต่าง ๆ	27
4.8 ความหนาแน่นรวมของดินใน microcosm ที่ระยะเวลาต่าง ๆ หลังจากได้รับสารกำจัดวัชพืชแต่ละตำรับการทดลอง	28
4.9 ปริมาณการดูดซับทองแดงในตัวอย่างดินที่ระยะเวลาต่าง ๆ หลังจากได้รับสารกำจัดวัชพืชตามตำรับทดลอง	30
4.10 ปริมาณการดูดซับทองแดงในตัวอย่างดินที่ระยะเวลาต่าง ๆ หลังจากได้รับสารกำจัดวัชพืชตามตำรับทดลอง	32