

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและวิจารณ์

การวิจัยเพื่อศึกษาอิทธิพลของสารกำจัดวัชพืชสองชนิด คือ สารพาราควอตและสารไกลโฟเสท ต่อความสามารถในการดูดซับของดิน เป็นการศึกษาทั้งในห้องปฏิบัติการเพื่อศึกษาพฤติกรรมการดูดซับสารพาราควอตและไกลโฟเสทในดินโดยวิธี batch equilibration technique และการศึกษาทดลองใน soil microcosm ภายใต้โรงเรือนทดลองเพื่อศึกษาอิทธิพลของสารกำจัดวัชพืชทั้งสองชนิดในแง่ต่างๆ เช่น อัตราการใส่สารและระยะเวลาหลังจากการใส่สารกำจัดวัชพืชที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณการดูดซับธาตุต่างๆในดิน การศึกษาวิจัยสามารถสรุปได้ดังนี้

1. การทดสอบการดูดซับสารไกลโฟเสทในตัวอย่างดินของโครงการวิจัยพบว่า ปริมาณการดูดซับไกลโฟเสทในดินมีค่าขึ้นกับความเข้มข้นเป็นรูปแบบ L-curve และสอดคล้องกับสมการ Freundlich Isotherm ค่า $1/n$ ของสมการมีค่าระหว่าง 0.40 – 0.63 ซึ่งแสดงถึงความไม่เป็นเส้นตรงของสมการการดูดซับ สรุปได้ว่าการดูดซับสารไกลโฟเสทบนอนุภาคดินเกิดขึ้นได้หลายกลไกเนื่องจากความสามารถในการแตกตัวที่หลากหลายและความไม่สม่ำเสมอขององค์ประกอบดินที่ทำหน้าที่เป็นตัวดูดซับ ค่าความสามารถในการดูดซับสารไกลโฟเสทดินที่คำนวณจากสมการ (K_f) มีค่าระหว่าง 40 – 550 โดยค่าคงที่การดูดซับไกลโฟเสทมีความสัมพันธ์กับคุณสมบัติดินที่เกี่ยวข้องกับปริมาณประจุและการแลกเปลี่ยนไอออนของดิน ได้แก่ ปริมาณดินเหนียว ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ค่าความจุแลกเปลี่ยนไอออนบวกและปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน

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

3. การใส่สารกำจัดวัชพืชไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นรวมของดินและระดับพีเอชของดิน แต่ระดับพีเอชของดินที่ศึกษามีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาของการทดลองอย่างมีนัยสำคัญจาก 6.11 เมื่อเริ่มต้นการทดลองเป็น 5.92 ในการเก็บตัวอย่างครั้งสุดท้าย การเปลี่ยนแปลงระดับพีเอชดังกล่าวไม่สามารถสรุปได้ว่ามีอิทธิพลจากการใส่สารกำจัดวัชพืชในการทดลอง แต่อาจมีผลมาจากการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากปฏิกิริยาทางเคมีตามธรรมชาติภายในดิน หรือ อาจเป็นผลจากการลดลงของความชื้นในดินเมื่อน้ำในดินระเหยออกไป ได้มากขึ้นในช่วงเวลาที่มีสภาพอากาศแห้งแล้ง

4. ปริมาณอินทรีย์วัตถุของดินในการทดลองมีการเปลี่ยนแปลงโดยมีค่าลดลงตามระยะเวลาอย่างมีนัยสำคัญในทุกๆ การทดลองที่ได้รับสารกำจัดวัชพืช แต่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาอย่างมีนัยสำคัญในตำรับที่ไม่มีการใส่สารกำจัดวัชพืช (control) การเปลี่ยนแปลงของปริมาณอินทรีย์วัตถุอาจเนื่องมาจากการที่สิ่งมีชีวิตในดินสามารถใช้สารพาราควอตและไกลโฟเสทเป็นแหล่งอาหารและพลังงานจึงมีการเจริญเติบโตได้มากส่งผลต่อการย่อยสลายอินทรีย์สารที่มีอยู่ในดินได้มากกว่าดินที่ไม่ได้รับสารกำจัดวัชพืช

5. การใส่สารพาราควอตลงในดินในปริมาณสูงมีอิทธิพลต่อความสามารถในการดูดซับของดิน โดยีผลทำให้ปริมาณการดูดซับแคลเซียมและทองแดงของดินลดลงอย่างชัดเจน

การลดลงของปริมาณการดูดซับแคลเซียมและทองแดงของดินสามารถอธิบายได้จากการแข่งขันระหว่างสารพาราควอตกับธาตุไอออนบวกอนินทรีย์บนพื้นผิวดูดซับในดิน โดยสารพาราควอตซึ่งโมเลกุลมีลักษณะเป็นสารอินทรีย์ในรูปไอออนบวก (organic cation) จึงมีแรงดูดยึดบนอนุภาคดินเหนียวสูงกว่าไอออนบวกที่เป็นอนินทรีย์มาก (Rytwo and Margulies, 1996) นอกจากนี้ Brownawell et al. (1990) รายงานว่าการไล่ที่พาราควอตบนแร่มอนต์มอริลโลไนต์โดยไอออนอื่นมีลำดับเป็น $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^{2+} > \text{K}^{+}$ ดังนั้นพาราควอตที่ดูดซับบนผิวอนุภาคดินจึงไม่ถูกไล่ที่ได้โดยธาตุไอออนบวกอื่นๆ และการมีพาราควอตบนผิวจึงทำให้พื้นที่ผิวการดูดซับธาตุไอออนบวกอื่นลดลง

อิทธิพลของสารพาราควอตที่มีต่อปริมาณการดูดซับทองแดง สามารถอธิบายได้จากรูปแบบการดูดยึดของสารประกอบต่างๆ ของดิน (speciation) ได้แก่ อินทรีย์วัตถุ แร่ออกไซด์ คาร์บอเนต การแลกเปลี่ยนไอออนและภายในหลิบบของแร่ดินเหนียว Amondham 2006 รายงานว่า สารพาราควอตในดินส่วนใหญ่จะถูกดูดยึดไว้ในหลิบบของแร่ดินเหนียวซึ่งเป็นส่วนที่ไม่สามารถสกัดและเคลื่อนที่ได้ถึง 84.3% ส่วนอื่นนอกจากนั้นทั้งหมดจะถูกดูดยึดโดยอินทรีย์วัตถุในดินถึง 15.6% โดยการดูดยึดโดยการแลกเปลี่ยนไอออนและบนแร่ออกไซด์เกิดขึ้นน้อยมาก ในทางเดียวกัน ธาตุทองแดงเป็นไอออนที่ถูกดูดยึดอยู่กับอินทรีย์วัตถุในดินเป็นส่วนใหญ่ โดยมีรายงานว่าการดูดซับทองแดงบนอนุภาคดินมีสัดส่วนเป็นการดูดยึดโดยแรงยึดทางอินทรีย์ 40.2% แรงยึดของแร่ออกไซด์ (oxide bound) 25.6% แรงยึดคาร์บอเนต (carbonate-bound) 24.7% ตกค้างในหลิบบแร่ดินเหนียว (residual) 7.1% และส่วนที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable fraction) เพียง 2.4% (Yobouet, et al, 2010) ดังนั้น อิทธิพลของสารพาราควอตต่อทองแดงน่าจะเกิดจากที่สารพาราควอตเข้าครอบครองพื้นผิวแลกเปลี่ยนไอออนบวกบนอินทรีย์คอลลอยด์ทำให้พื้นที่ที่เหมาะสมต่อการดูดซับทองแดงของดินลดลง ส่วนในกรณีของธาตุสังกะสีแม้จะเป็นธาตุโลหะหนักที่มีจำนวนประจุเท่ากับทองแดง แต่ธาตุสังกะสีถูกดินดูดยึดในรูปแร่ออกไซด์เป็นส่วนใหญ่ โดยมีลำดับคือ oxide-bound 34.7%, organically bound 22.9%, carbonate-bound 23.3% residual 13.4% และ exchangeable 5.7% (Yobouet, et al, 2010) ธาตุสังกะสีจึงได้รับอิทธิพลจากสารพาราควอตน้อยจนไม่สามารถสังเกตเห็นได้จากการทดลองนี้

6. สารไกลโฟเสทมีผลทำให้ปริมาณการดูดซับแคลเซียมลดลงอย่างชัดเจน แต่ไม่มีผลต่อปริมาณการดูดซับแมกนีเซียม ทองแดงและสังกะสี

อิทธิพลของไกลโฟเสทที่มีต่อปริมาณการดูดซับแคลเซียมในดิน สามารถอธิบายได้จากการเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างสารไกลโฟเสทกับไอออนบวกที่เป็นอิสระสามารถดูดซับได้น้อยลง โดยไอออนบวกสองประจุ (divalent cation) เช่น calcium (Ca), magnesium (Mg), manganese (Mn) and iron(Fe) สามารถยึดกับกลุ่มอนุมูล carboxyl and phosphonate บนโมเลกุลของสารไกลโฟเสทได้ดี (Lundager-Madsen et al., 1978; Motekaitis and Martell, 1985; Barja et al., 2001) โดยเฉพาะอย่างยิ่งแคลเซียมสามารถตะกอนเป็น 1:1 complex กับสารไกลโฟเสท (Gauvrit et al., 2001; Schoenherr and Schreiber, 2004) (Nalewaja et al., 1991; Thelen et al., 1995) ดังนั้นการมีสารไกลโฟเสทในดินจึงขัดขวางกระบวนการดูดซับแคลเซียมโดยอนุภาคดินได้เป็นอย่างมากเนื่องจากสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างสารไกลโฟเสทกับแคลเซียมมีความสามารถในการดูดซับลดลง

อิทธิพลของสารไกลโฟเสทต่อการดูดซับธาตุโลหะทองแดงและสังกะสีในดินจากโครงการวิจัยนี้ไม่สอดคล้องกับสมมติฐานและเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องอื่นที่พบว่าสารไกลโฟเสทสามารถเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนอิสระกับทองแดงและสังกะสีได้ที่มีอิสระต่อดูดซับซึ่งเกิดในดินที่มีค่าพีเอชสูงกว่า 5 (Morillo, et al., 2002; Wang, et al., 2004; Wang, et al., 2006; Gimsing et al., 2007 และ Wang, et al., 2008) ความไม่สอดคล้องนี้สามารถอธิบายได้ว่า อิทธิพลทางลบของไกลโฟเสทต่อการดูดซับธาตุโลหะจะเกิดอย่างชัดเจนในดินที่มีอินทรีย์วัตถุต่ำ ค่าความจุแลกเปลี่ยนไอออนบวก เนื่องจากเป็นกลไกที่เกิดบนแร่ออกไซด์ (Wang, et al., 2006) แต่ตัวอย่างดินของโครงการวิจัยนี้มีปริมาณอินทรีย์วัตถุและค่าความจุแลกเปลี่ยนไอออนบวกสูงถึง 3.27% และ 8.60 cmol_c kg⁻¹ จึงไม่สามารถเห็นอิทธิพลได้อย่างชัดเจน

7. อิทธิพลของสารพาราควอตและไกลโฟเสทต่อปริมาณการดูดซับต่าง ๆ เกิดอย่างชัดเจนเมื่อใช้สารในอัตราสูงถึง 5 เท่าของปริมาณที่แนะนำแก่เกษตรกร ผลของการใช้สารทั้งสองชนิดร่วมกันในอัตรา 2.5 เท่าของปริมาณที่แนะนำไม่มีผลต่อปริมาณการดูดซับต่าง ๆ ยังไม่มีความชัดเจนจากโครงการวิจัยนี้

8. อิทธิพลของสารพาราควอตและไกลโฟเสทที่มีต่อปริมาณการดูดซับต่าง ๆ ในดินเป็นอิทธิพลที่เกิดขึ้นอย่างไม่ถาวร โดยจะพบหลังจากการใส่สารกำจัดวัชพืชลงในดินทันทีหรืออาจพบต่อเนื่องไปในสัปดาห์ที่ 8 เท่านั้น

ผลของสารพาราควอตต่อการดูดซับแคลเซียมและทองแดงสามารถพบได้ทันทีหลังจากการใส่สารพาราควอตลงดิน และสำหรับอิทธิพลต่อธาตุทองแดงยังสามารถพบได้ที่ระยะเวลา 8 สัปดาห์หลังจากการใส่สารกำจัดวัชพืช สารพาราควอตเป็นสารที่ถูกดูดซับได้อย่างรวดเร็วถึง 90% ภายใน 24 ชั่วโมง และเมื่ออยู่ในดินสามารถสลายตัวหมดไปอย่างรวดเร็ว โดยมีค่า DT₅₀ เพียง 46 วัน (Amondham, 2006) ดังนั้น อิทธิพลการแข่งขันแย่งพื้นผิวดูดซับกับธาตุแคลเซียมจึงไม่สามารถพบต่อเนื่องไปในสัปดาห์ที่แปด สารพาราควอตที่ถูกดูดซับจะสลายตัวได้จำกัดและมีความคงทนอยู่บนผิวดินได้ยาวนานขึ้น ดังนั้นผลของสารพาราควอตที่ถูกดูดซับบนอนุภาคอินทรีย์คอลลอยด์ที่ทำให้มีพื้นที่ผิวการดูดซับทองแดงได้ลดลงจึงคงอยู่ไปได้ถึง 8 สัปดาห์

อย่างไรก็ตามการดูดซับบนอนุภาคอินทรีย์เป็นการดูดซับไม่ถาวรและปลดปล่อยออกมาได้ (Khan, 1973) ดังนั้นอิทธิพลดังกล่าวจึงไม่พบในสัปดาห์ที่ 16 และการลดลงของพื้นที่ผิวดูดซับที่ยาวนานถึงในสัปดาห์ที่แปดจะพบเฉพาะเมื่อมีการใส่สารพาราควอตต่อเนื่องเป็นครั้งที่สี่

ผลของสารไกลโฟเสทที่มีต่อการดูดซับแคลเซียมพบเฉพาะหลังจากการใส่สารไกลโฟเสททันทีเท่านั้น เนื่องจากสารไกลโฟเสทถูกดูดซับบนผิวดินได้มากถึง 50% ภายใน 24 ชั่วโมง และมีค่า DT_{50} เพียง 13-19 วัน ความสามารถในการสร้างเป็นสารเชิงซ้อนกับแคลเซียมหมดไปอย่างรวดเร็ว โดยการใส่สารไกลโฟเสทต่อเนื่องหลายครั้งติดต่อกันไม่ทำให้เกิดผลสะสม

9. ปริมาณการดูดซับธาตุแคลเซียมและทองแดงเป็นตัวแปรที่ได้รับอิทธิพลจากการใส่สารพาราควอตและไกลโฟเสทลงในดิน การลดลงของการดูดซับมีผลต่อคุณภาพทรัพยากรดินในหลายด้าน เช่น มีผลต่อสมดุลธาตุอาหารในดิน นอกจากนั้นยังมีผลต่อการเคลื่อนย้ายของธาตุโลหะหนักไปสู่สิ่งแวดล้อมต่างๆ ได้มากขึ้น ดังนั้นอิทธิพลของสารกำจัดวัชพืชที่มีต่อปริมาณและพฤติกรรมดูดซับต่างๆ โดยเฉพาะธาตุแคลเซียมและทองแดงจึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมให้สามารถใช้เป็นตัวบ่งบอกผลกระทบของสารกำจัดวัชพืชต่อคุณภาพของทรัพยากรดินต่อไป