

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

พาราควอต (Paraquat) เป็นสารกำจัดวัชพืชที่มีการนำเข้ามาใช้เป็นปริมาณมากอยู่ใน 3 อันดับแรกของประเทศไทย (สำนักงานควบคุมพืชและวัตถุการเกษตร, 2547,2548) นอกจากนั้นเกษตรกรยังมีการใช้สารกำจัดวัชพืชในปริมาณที่มากเกินไปจนเกิดความจำเป็น จากการสอบถามเกษตรกรในพื้นที่ภาคเหนือตอนล่างพบว่าการใช้สารพาราควอตในการเพาะปลูกข้าวโพด พริกและไม้ผลในปริมาณมากเกินกว่าปริมาณที่แนะนำ (Amondham, 2006) แม้ว่าสารพาราควอตจะจัดอยู่ในกลุ่มสารกำจัดวัชพืชที่ไม่เคลื่อนที่เนื่องจากมีการดูดซับที่แข็งแรงบนอนุภาคดิน แต่ยังมีรายงานการปนเปื้อนของสารชนิดนี้ในสิ่งแวดล้อม ในประเทศไทย จากการสำรวจของกองวัตถุมีพิษพบว่า มีการปนเปื้อนของพาราควอตในน้ำใต้ดินของที่ราบลุ่มภาคกลางได้แก่ จังหวัดอ่างทอง ลพบุรี สิงห์บุรี สุพรรณบุรีและชัยนาทที่ระดับ 1.5 – 18.9 $\mu\text{g/L}$ นอกจากนั้นยังมีรายงานการพบการปนเปื้อนในน้ำและตะกอนของแม่น้ำอันและแม่น้ำสงคราม ที่ระดับ 9.26 – 87 $\mu\text{g/L}$ (กองวัตถุมีพิษการเกษตร, 2543) ปริมาณพาราควอตที่ตรวจพบเหล่านี้จัดว่าเป็นระดับที่เริ่มมีความเสี่ยงต่อสุขภาพอนามัยของประชากรเนื่องจากมีปริมาณใกล้เคียง 40 ไมโครกรัมต่อลิตร ซึ่งเป็นปริมาณที่อนุญาตให้ดื่มได้ในน้ำดื่ม (Gustafson, 1993)

สารมลพิษที่เข้าสู่ดินจะมีความเป็นไป (Fate) ที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อคุณภาพสิ่งแวดล้อม ได้แก่ การดูดซับ (Adsorption) ที่อนุภาคคอลลอยด์ดินกระทำต่อสารเคมี การเคลื่อนย้ายลงสู่แหล่งน้ำใต้ดินโดยการชะล้าง (Leaching) การเคลื่อนย้ายไปสู่แหล่งน้ำผิวดินโดยการไหลบ่าผิวดิน (Runoff) และกษัยการ (Erosion) รวมไปถึงการย่อยสลายสารเคมีโดยกิจกรรมทางชีวเคมีในดิน (Biological Degradation) ความเป็นไปต่างๆดังกล่าวมีความสัมพันธ์และถูกควบคุมด้วยองค์ประกอบของดินและคุณสมบัติของดิน รวมทั้งสภาพแวดล้อมและสภาพการใช้ประโยชน์ของที่ดิน

ดินน้ำขังเป็นสภาพดินที่พบได้อย่างกว้างขวางในประเทศไทย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเขตภาคเหนือตอนล่างสามารถพบดินน้ำท่วมขังได้จากทั้งพื้นที่เพาะปลูกข้าวหน้าน้ำขังและดินน้ำท่วม สภาพการท่วมขังของน้ำในพื้นที่จะเป็นการท่วมไม่ตลอดปี โดย ดินที่ใช้ในการเพาะปลูกข้าวหน้าน้ำขังมีสภาพน้ำท่วมขังอย่างน้อย 3-4 เดือนในรอบปีและการท่วมขังของน้ำในฤดูฝนทำให้ดินบางพื้นที่มีน้ำขังยาวนานถึง 1 เดือน สภาพดินแห้งสลับกับการขังน้ำในบางฤดูกาลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีและชีวภาพของดิน สภาพดินที่เกิดน้ำท่วมขังจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีและชีวภาพ ได้แก่ ศักย์รีดอกซ์ ความเป็นกรดด่าง กิจกรรมของจุลินทรีย์ ซึ่งจะมีผลต่อพฤติกรรมของสารมลพิษในดินและการแพร่กระจายของสารมลพิษสู่สิ่งแวดล้อม นอกจากนั้นสภาพการท่วมขังสลับกับดินแห้งที่เกิดเป็นวงจรอย่างต่อเนื่องทุกปีหรือหลายรอบในหนึ่งปีจะทำให้เกิดกระบวนการ Ferrollysis ในดินที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของแร่ดินเหนียว ทำให้เกิดการสลายตัวของแร่ดินเหนียว ปรากฏการณ์ดังกล่าวจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติต่างๆ เช่นปริมาณและชนิดของดินเหนียวและเนื้อดิน ที่ทำให้ความสามารถของดินในการดูดซับมลพิษเปลี่ยนแปลงไป

พฤติกรรมของสารมลพิษในดิน ได้แก่ การดูดซับ การเคลื่อนย้ายและการย่อยสลาย เป็นสิ่งสำคัญที่ควบคุมการแพร่กระจายของสารมลพิษไปสู่สิ่งแวดล้อมและระบบนิเวศที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตามมา ข้อมูลด้านพฤติกรรมของพาราควอตที่จำเป็นในการอธิบายผลกระทบของกิจกรรมทางการเกษตรต่อคุณภาพสิ่งแวดล้อมที่มีอยู่ส่วนใหญ่ได้จากการศึกษาในสภาพดินที่มีการระบายอากาศดี นอกจากนั้นการศึกษาในสภาพขาดออกซิเจนยังเป็นการศึกษาในระบบตะกอนลำนํ้า ซึ่งมีการแช่งน้ำอยู่ตลอดเวลา ข้อมูลดังกล่าวในสภาพพื้นที่ที่มีน้ำท่วมขังสลับกับดินแห้งยังมีการศึกษากันน้อยมากทั้งในและต่างประเทศ การศึกษาถึงพฤติกรรมและความเป็นไปของสารกำจัดวัชพืชพาราควอตในดินที่มีการท่วมขังของน้ำสลับกับสภาพดินแห้งอย่างต่อเนื่องจะทำให้ได้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อนักวิชาการด้านทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมในการประเมินการแพร่กระจายของสารกำจัดวัชพืชและผลกระทบของมลพิษทางการเกษตรต่อสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสมกับสภาพทางภูมิศาสตร์ของพื้นที่ได้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

- 1) เพื่อศึกษาผลของสภาพน้ำขังและลักษณะดินน้ำขังสลับกับดินแห้งต่อคุณสมบัติของดิน
- 2) เพื่อศึกษาผลของระยะเวลาการท่วมขังของน้ำต่อคุณสมบัติของดิน
- 3) เพื่อศึกษาผลของสภาพน้ำขังและลักษณะดินน้ำขังสลับกับดินแห้งต่อความสามารถในการดูดซับของดิน
- 4) เพื่อศึกษาผลของสภาพน้ำขังและลักษณะดินน้ำขังสลับกับดินแห้งต่อปริมาณการตกค้างของสารพาราควอตในน้ำแช่ขัง

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

- 1) ดิน 2 ชนิดที่เป็นตัวแทนของพื้นที่น้ำท่วมขังของภาคเหนือตอนล่าง
- 2) คุณสมบัติของดิน ประกอบด้วย คุณสมบัติทางเคมีไฟฟ้า คุณสมบัติทางเคมีธาตุอาหารพืชและปริมาณการดูดซับ
- 3) การวิเคราะห์ปริมาณการตกค้างของพาราควอตที่อยู่ในรูปสารดั้งเดิม (Parent compound)

บทที่ 2

การตรวจเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การเปลี่ยนแปลงสภาพของดินจากดินแห้งที่มีการระบายอากาศดีไปเป็นดินน้ำขังจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติและกิจกรรมต่างๆในดินอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อดินมีน้ำขังกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินจะเปลี่ยนจากพวกที่ใช้ออกซิเจนไปเป็นพวกที่ไม่ใช้ออกซิเจน หลังจากดินมีน้ำขังระยะเวลาหนึ่งออกซิเจนที่มีอยู่ปริมาณจำกัดจะถูกใช้ไปเป็นตัวรับอิเล็กตรอนในกิจกรรมการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุจนหมดไป หลังจากนั้นจะมีการใช้สารรับอิเล็กตรอนชนิดอื่นแทน เช่น NO_3^- , MnO_2 , CH_3COCOOH หรือ $\text{Fe}(\text{OH})_3$ เป็นตัวรับอิเล็กตรอนแทน กิจกรรมเหล่านี้จะทำให้ดินค่าศักย์รีดอกซ์ลดต่ำลงเรื่อยๆ ซึ่งจะมีผลต่อลักษณะทางเคมีของดิน เช่น การเปลี่ยนแปลงค่า pH ของดิน และการละลายได้มากขึ้นของไอออนบางชนิด เช่น เหล็กและแมงกานีส เป็นต้น นอกจากนั้น สภาพดินแห้งสลับกับน้ำขังที่เกิดเป็นประจำอย่างต่อเนื่อง จะทำให้เกิดกระบวนการ Ferrollysis ที่ทำให้แร่ดินเหนียวลูมิโนซิลิเกตเกิดการแตกตัวและมีการสร้างแร่ออกไซด์ ควอตซ์และคลอไรด์ ซึ่งเป็นแร่เหนียวมากขึ้น (Ranst and Coninck, 1996; Schaefer et al., 2000)

พฤติกรรมของสารมลพิษต่างๆรวมทั้งสารกำจัดวัชพืชพาราควอต ทั้งด้านการดูดซับ การเคลื่อนย้ายและการย่อยสลายมีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับองค์ประกอบต่างๆ รวมทั้งคุณสมบัติด้านต่างๆของดิน (Amondham, 2006; Khan, 1980; Sojo et al., 1989) ดังนั้นพฤติกรรมของสารมลพิษในดินน้ำขังจึงแตกต่างจากดินที่มีการระบายอากาศดี นอกจากนั้นการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติด้านต่างๆของดินที่เกิดจากการมีน้ำท่วมขังอย่างต่อเนื่องเป็นประจำทุกปียังมีแนวโน้มที่จะทำให้ดินมีคุณภาพเลวลงและส่งผลต่อพฤติกรรมของสารมลพิษที่แตกต่างจากดินในพื้นที่ดินแห้งอื่นอีกด้วย

พาราควอตเป็นสารกำจัดวัชพืชที่เป็นโมเลกุลที่มีขั้ว ที่จัดอยู่ในสารกำจัดวัชพืชที่คงทนและไม่เคลื่อนย้าย พฤติกรรมของสารกำจัดพาราควอตในดิน ทั้งในด้านการดูดซับ การเคลื่อนย้ายและการแตกตัว ได้มีการศึกษากันในหลายพื้นที่ โดยส่วนใหญ่เป็นการศึกษาในสภาพดินแห้งการระบายน้ำดี

พฤติกรรมการดูดซับของพาราควอตสามารถอธิบายได้ด้วยรูปแบบและค่าคงที่ใน Isotherm ที่ระดับความเข้มข้นต่ำ การดูดซับอธิบายได้ดีด้วย Freundlich Isotherm ส่วนที่ระดับความเข้มข้นสูงใกล้เคียงค่าความจุแลกเปลี่ยนไอออนของดิน การดูดซับอธิบายได้ด้วย Langmuir Isotherm (Brownawell et al., 1990) องค์ประกอบของดินต่างๆ เช่น แร่ดินเหนียว ออกไซด์และอินทรีย์วัตถุเป็นตัวดูดซับที่สำคัญในดิน ดังนั้นคุณสมบัติขององค์ประกอบดินจึงสิ่งที่ควบคุมพฤติกรรมการดูดซับพาราควอตในดิน กลไกการดูดซับพาราควอตบนอนุภาคดินเหนียวและอินทรีย์วัตถุในดินคือ แรงไฟฟ้าสถิตและการถ่ายเทประจุ ปริมาณการดูดซับของพาราควอตจึงมีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับค่าความจุแลกเปลี่ยนไอออนบวกของดิน พาราควอตมีความชอบต่อการถูกดูดซับอยู่บนอนุภาคดินเหนียวมากกว่าอนุภาคอินทรีย์วัตถุ และมีความชอบต่อการถูกดูดซับบนแร่ดินเหนียวชนิดต่างๆ ที่ต่างกัน โดยพาราควอตมีความชอบต่อแร่ Montmorillonite มากกว่า แร่ Kaolinite และ Vermiculite เนื่องจากการดูดซับอยู่ในหลีบของแร่ดินเหนียวมีความแข็งแรงมากกว่าการดูดซับบนพื้นผิวภายนอก แร่ออกไซด์เป็นตัวดูดซับพาราควอตที่สำคัญในดินเขตร้อนชื้น เช่น ดินของประเทศไทย เนื่องจากเป็นแร่ชนิดเด่น การดูดซับพาราควอตบนแร่ออกไซด์เป็นการดูดซับที่เฉพาะเจาะจงกับพื้นผิว นอกจากคุณสมบัติของตัวดูดซับแล้ว คุณสมบัติอื่นๆที่มีบทบาทต่อการดูดซับพาราควอตในดินประกอบด้วย ความเป็นกรดด่าง ปริมาณเกลือ ปริมาณไอออนที่มีอยู่ และ organic ion

พาราควอตเป็นสารกำจัดวัชพืชที่เคลื่อนได้ค่อนข้างจำกัดเนื่องจากมีการดูดซับอย่างแข็งแรงบนอนุภาคดิน Smith and Mayfield (1978) รายงานว่าพาราควอตเคลื่อนย้ายลงไปตามหน้าตัดได้น้อย และมีการตกค้างอยู่เฉพาะบนดินชั้นบน Amondhan (2006) รายงานผลการศึกษาที่สอดคล้องกันว่าพาราควอตเป็นสารกำจัดวัชพืชที่ถูกดูดซับได้ดี การเคลื่อนย้ายจำกัดอยู่ในระดับ 1-5 เซนติเมตรจากผิวดินเท่านั้น พฤติกรรมการย่อยสลายของพาราควอตในดินสามารถเกิดขึ้นได้ ทั้งโดยกระบวนการทางเคมี ทางชีวภาพและโดยแสง การย่อยสลายทางชีวภาพเกิดขึ้นโดยจุลินทรีย์หลายกลุ่มในดินที่ใช้สารพาราควอตเป็นแหล่งไนโตรเจน เช่น แบคทีเรีย เชื้อรา ยีส และแอกติโนมัยซิส การย่อยสลายพาราควอตในดินเกิดได้ค่อนข้างช้ากว่าในห้องทดลอง เนื่องจากกระบวนการดูดซับโดยการดูดซับบนอนุภาคดินเหนียวจะยังยับยั้งการย่อยสลายได้มากกว่าการดูดซับบนอนุภาคอินทรีย์วัตถุเนื่องจากการตรึงในหลิบบของแร่ดินเหนียว Burn and Audus (1970) รายงานว่าหลังจากใส่พาราควอตลงในดินที่ระดับความเข้มข้น 100-400 ppm ปริมาณครึ่งหนึ่งของพาราควอตจะหายไปภายในระยะเวลา 20 วัน Amondham (2006) รายงานว่าการแตกตัวของพาราควอตในดินเขตร้อนขึ้นเป็นไปตาม first-order kinetic model ซึ่งมีค่า DT50 เป็น 36-46 วัน

สำหรับสภาพของดินน้ำขัง ข้อมูลด้านพฤติกรรมของพาราควอตในดินที่มีสภาพดินขาดออกซิเจนหรือน้ำขังยังมีการศึกษาค่อนข้างจำกัด ส่วนการศึกษาการศึกษาอิทธิพลของสภาพน้ำขังต่อสารกำจัดวัชพืชชนิดอื่นยังมุ่งความสนใจไปที่สภาพตะกอนของแหล่งน้ำและระบบบำบัดน้ำเสียมากกว่าลักษณะของดินน้ำขังในช่วงเวลาหนึ่งของการทำนาหรือฤดูน้ำหลากสลับกับสภาพดินแห้งนอกฤดูฝนซึ่งเป็นสภาพที่เกิดขึ้นมากในพื้นที่ภาคเหนือตอนล่างของประเทศไทย

สภาพการขังน้ำจะมีผลต่อคุณสมบัติดินทั้งทางเคมีและชีวภาพ กิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินจะเปลี่ยนจากพวกที่ใช้ออกซิเจนไปเป็นพวกที่ไม่ใช้ออกซิเจน สำหรับกระบวนการทางเคมี ปริมาณออกซิเจนที่มีอยู่จำกัดเมื่อถูกใช้ไปเป็นตัวรับอิเล็กตรอนในกิจกรรมการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุจนหมดไป จะมีการใช้สารชนิดอื่นเช่น เป็นตัวรับอิเล็กตรอนแทนซึ่งทำให้ค่าศักย์รีดอกซ์ลดต่ำลงเรื่อยๆ การลดลงของค่าศักย์รีดอกซ์จะมีผลต่อค่า pH ของดิน และปริมาณการละลายได้ของไอออนบางชนิด

สภาพการมีน้ำขังในบางฤดูกาลสลับกับดินแห้ง เป็นปรากฏการณ์ที่ทำให้เปลี่ยนแปลงของแร่ดินเหนียวที่จะมีผลต่อพฤติกรรมดูดซับและการปลดปล่อยสารมลพิษในดิน กระบวนการ Ferrolysis เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นจากสภาพการมีน้ำขังและดินแห้งสลับกันอย่างต่อเนื่องร่วมกับลักษณะดินเป็นกรด เมื่อดินมีน้ำขังโดย Fe^{2+} ที่เกิดขึ้นในสภาพรีดักชันไปไล่ที่ธาตุต่าง Na^+ , Ca^{2+} ที่จากส่วนที่แลกเปลี่ยนได้บนแร่ดินเหนียวและชะล้างออกจากหน้าตัดดินไปก้นไบคาร์บอเนต และเมื่อดินแห้ง Fe^{2+} จะถูกออกซิไดส์ไปเป็น Fe^{3+} และเกิดการไฮโดรไลซ์ปลดปล่อยโปรตอน หรือ H^+ ออกมา โปรตอนที่ถูกผลิตขึ้นนี้จะไล่ที่ Al^{3+} ในผลึกแร่ดินเหนียวออกมาก ปรากฏการณ์ที่เกิดสลับกันไปอย่างต่อเนื่องนี้จะทำให้เกิดการแตกตัวของแร่ดินเหนียวอลูมิเนียมซิลิเกต มีการสร้างแร่ออกไซด์ ควอตซ์และคลอไรด์ ซึ่งเป็นแร่เฉื่อยมากขึ้น ความสามารถในการเป็นตัวดูดซับของดินจะเกิดการเปลี่ยนแปลงไป Rans and Coninck (1996) พบว่ามีกระบวนการ Ferrolysis เกิดขึ้นกับดินบางชนิดของประเทศเบลเยียมและฝรั่งเศส ที่ทำให้ดินมีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของแร่ดินเหนียวและกลุ่มเนื้อดิน Schaefer et al., (2000) พบว่า ดิน Xanthic Acrustox -Ustic Quartzpsamments-Oxyaquic Haplorthods ในบราซิล มีการสลายตัวของแร่ดินเหนียวและเป็นที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำเนื่องจากกระบวนการ low pH and ferrolysis

ในด้านการแตกตัวและการสลายตัวของสารกำจัดวัชพืชชนิดต่างๆ พบว่าสภาพการขังน้ำมีผลต่อการสลายตัวของสารกำจัดวัชพืชชนิดต่างๆ ที่แตกต่างกันออกไป โดยทั่วไป ดินน้ำขังจะมี nitrate, carbon dioxide or sulfate ทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอนแทนออกซิเจน ซึ่งทำให้อัตราการย่อยสลายสารกำจัดวัชพืชหลายชนิดเกิดได้ช้ากว่า Camper et al., 1980 รายงานผลการศึกษาในดินทรายร่วนที่มีอากาศและขาดอากาศว่า profluralin มีปริมาณการย่อยสลายลดลงจาก 86% เป็น 72% ส่วน trifluralin มีปริมาณการย่อยสลายลดลงจาก 83% เป็น 78% ตามลำดับ Thomas and Holt, 1980 พบว่า สารกำจัดวัชพืช monilate แตกตัวไป 40 % ในระยะเวลา 3 และ 40 สัปดาห์ในดินแห้งและดินน้ำท่วมตามลำดับ Graham et al., (2000) พบว่าการย่อยสลายของ Alachlor ในสภาพขาดออกซิเจนเกิดได้เร็วกว่าสภาพมีออกซิเจน Konopa (1994) พบว่า การย่อยสลาย Chloroacetanilide herbicides (Alachlor, Metolachlor, and Propachlor) ในสภาพน้ำขังเกิดขึ้น 30-60% ภายในระยะเวลา 30 วันและการย่อยสลายจะเกิดได้มีในดินที่มีการควบคุมปริมาณ co-metabolite ที่ได้จากการเพิ่มเติมอินทรีย์วัตถุลงสู่ดิน

การเปลี่ยนแปลงศักย์รีดอกซ์ของดินขังน้ำมีผลต่อคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของดิน ซึ่งส่งผลไปสู่การดูดซับและการปลดปล่อยสารวัชพืชของอนุภาคดิน การเปลี่ยนแปลงศักย์รีดอกซ์มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า pH ของดิน ซึ่งจะมีผลต่อการแตกตัว และการมีประจุของสารประกอบอินทรีย์ เนื่องจากลักษณะ "surface acidity" (Swoboda and Kunze, 1968) สารกำจัดวัชพืชที่เป็นกรดอ่อนหรือด่างอ่อนจะมีการปลดปล่อยโปรตอน (protonation) ที่ขึ้นกับค่า pH ของระบบ เมื่อดินมี pH ต่ำกว่าค่าคงที่ของการแตกตัว (pK) ด้านหนึ่งของโมเลกุลจะแตกตัวเป็นไอออนบวก และด้านที่เหลือยังคงเป็นกลาง ดังนั้นการแตกตัวเป็นไอออนบวกจะส่งเสริมให้เกิดการดูดซับได้มากขึ้นโดยด้านที่แตกตัวเป็นไอออนบวกจะถูกดูดซับด้วยกลไกการแลกเปลี่ยนไอออน ส่วนด้านที่เหลือของโมเลกุลจะจับกับอนุภาคดินโดย hydrogen bonding and Van der Waal's mechanism (Gonzales-Pradas et al., 2000, Ainsworth et al, 1987 and Khan, 1980b) สารกำจัดวัชพืชพวกที่เป็นด่างอ่อน เช่น อทราซีน จะมีการดูดซับได้มากในดินที่มีค่า pH เป็นกลาง ปริมาณการดูดซับสูงสุดเกิดขึ้นในช่วง pH ใกล้เรียงกับค่าคงที่การแตกตัว และการดูดซับมากขึ้นเมื่อ pH ลดลง Weber (1993) รายงานว่า ในดินเนื้อปานกลางที่เป็นกลาง (pH 5.3-6.3) การดูดซับของ Atrazine จะเกิดโดยแรงทางกายภาพ ในดินที่เป็นกรด (pH 2.0-3.1). กลไกการดูดซับเกิดโดยการแลกเปลี่ยนไอออน สำหรับสารกำจัดวัชพืชที่เป็นกรดอ่อน เช่น ในดินเป็นกลางจะมีการดูดซับน้อยเนื่องจากโมเลกุลแตกตัวเป็นไอออนลบ ปริมาณการดูดซับสูงสุดจะเกิดได้มากเมื่อดินมี pH ต่ำกว่าค่าคงที่การแตกตัว ซึ่งโมเลกุลจะอยู่ในรูปไอออนบวกเกิดขึ้นมาก (Cresser and Edwards, 1993; Khan, 1980b) แต่โมเลกุลไอออนลบจะถูกดูดซับได้โดยอินทรีย์คอลลอยด์ด้วยแรง Van Der Waal's forces แต่เป็นการดูดซับที่ปลดปล่อยได้ง่าย. (Clausen et al., 2001; Khan, 1980b)

บทที่ 3

วิธีการศึกษาวิจัย

การศึกษาอิทธิพลของสภาพน้ำท่วมขังและสภาพน้ำท่วมขังสลับกับดินแห้ง ที่มีต่อพฤติกรรมของสารพาราควอตและการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติต่างๆของดิน เป็นการศึกษาเกี่ยวกับตัวอย่างดินสองชนิดที่ได้คัดเลือกมาเป็นตัวแทนของพื้นที่น้ำท่วมขังของภาคเหนือตอนล่าง ทำการทดลองในสภาพเรือนทดลองโดยใช้หน่วยทดลองตัวอย่างดินที่จำลองแบบการมีสภาพน้ำท่วมขังและการปรับสภาพดินแห้งก่อนและหลังการท่วมขัง ทำการรักษาระดับความชื้นดินตลอดการทดลองและเก็บตัวอย่างตามระยะเวลาต่างๆมาวิเคราะห์ข้อมูลประกอบด้วย คุณสมบัติทางเคมีของดินและปริมาณการดูดซับรวมทั้งการวิเคราะห์ปริมาณการตกค้างของสารพาราควอตที่อยู่ในรูปสารดั้งเดิม (Parent compound) ตามระยะเวลาต่างๆ โดยมีแผนการทดลองและขั้นตอนวิธีการศึกษาดังต่อไปนี้

3.1 การสำรวจพื้นที่และการคัดเลือกตัวอย่างดิน

ทำการสำรวจพื้นที่เกษตรกรรมที่ได้อิทธิพลจากการขังน้ำทั้งการเพาะปลูกและน้ำท่วมในฤดูฝน จำนวน 10 จุดสำรวจที่กระจายอยู่ในพื้นที่จังหวัดพิษณุโลก สุโขทัย อุตรดิตถ์และพิจิตรดังแสดงในภาพที่ 3.1 ทำการเก็บตัวอย่างดินมาวิเคราะห์ข้อมูลคุณสมบัติต่างๆของดิน ได้แก่ สัดส่วนขนาดอนุภาคดิน ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ความจุแลกเปลี่ยนไอออน และค่าพีเอชของดินและคัดเลือกตัวอย่างดิน 2 ตัวอย่างที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างในระดับเดียวกัน แต่มีความแตกต่างในปริมาณอนุภาคขนาดดินเหนียวและปริมาณอินทรีย์วัตถุเพื่อนำไปใช้ในการทดลอง



ภาพที่ 3.1 พื้นที่เกษตรกรรมที่ใช้ทำนาที่ทำการสำรวจ

3.2 หน่วยทดลองและการวางแผนการทดลอง

โครงการวิจัยนี้ทำการศึกษาพฤติกรรมของพาราควอทในตัวอย่างดินที่บรรจุอยู่ใน soil microcosm 2 ชนิด ที่ทำจากท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 เซนติเมตรยาว 15 เซนติเมตร บรรจุให้ดินที่คลุกเคล้าให้สม่ำเสมอแล้วให้มีความลึก 10 เซนติเมตร ควบคุมระดับความชื้นดินและปล่อยให้ดินปรับสภาพในเรือนทดลองก่อนนำไปทดลอง การทดลองทำในสภาพของโรงเรือนทดลองที่มีหลังคาใสป้องกันน้ำฝนตลอดการทดลอง

ทำการทดลองในตัวอย่างดิน 2 ตัวอย่าง ดินแต่ละชนิดมีการใส่สารการใส่พาราควอท 2 ดำรับการทดลอง และมีการปรับสภาพการขังน้ำ 3 รูปแบบ ทำการทดลอง 2 ซ้ำ ดำรับใส่สารพาราควอทและการปรับสภาพการขังน้ำ ดังต่อไปนี้

1) การใส่สารพาราควอท ประกอบด้วย

- ดินที่ไม่ใส่สารพาราควอท
- ดินที่ใส่สารพาราควอทในอัตรา 5 เท่าของปริมาณที่แนะนำให้เกษตรกรใช้ โดยนำตัวอย่างดินในแต่ละ microcosm ที่ผ่านการปรับสภาพแล้วมาเติมสารละลายมาตรฐานพาราควอทไดคลอไรด์ความเข้มข้น $2,946 \text{ mg paraquat L}^{-1}$ ที่เตรียมจากสาร 1,1'-dimethyl-4,4'-bipyridinium ความบริสุทธิ์ 98% ของ Sigma-Aldrich ปริมาตร 1 mL โดยหยดให้ทั่วลงบริเวณผิวหน้าดินภายใน microcosm ดังภาพที่ 3.2

2) ดำรับการปรับสภาพน้ำท่วมขัง ทำการปรับสภาพความชื้นของดินใน microcosm 2 รูปแบบ ดังภาพที่ 3.3 ภาพที่ 3.4 และ ภาพที่ 3.5 ประกอบด้วย

- ดินแห้ง 40 วัน-ดินน้ำขัง 25 วัน (Dry to Submerge) โดยนำ microcosm ที่เติมสารพาราควอทตามดำรับการทดลองแล้วไปวางไว้ในโรงเรือนในสภาพความชื้นเริ่มต้นเป็นเวลา 40 วัน แล้วทำการเติมน้ำกรองจนดินมีน้ำท่วมขังผิวดินประมาณ 1 เซนติเมตรและรักษาระดับน้ำท่วมขังไว้เป็นเวลา 25 วัน
- ดินน้ำขัง 40 วัน-ดินแห้ง 25 วัน (Submerge and Drying) โดยนำดินใน microcosm ที่เติมสารพาราควอทตามดำรับการทดลองแล้ว มาวางไว้ในโรงเรือนและเติมน้ำกรองจนดินมีน้ำท่วมขังผิวดินประมาณ 1 เซนติเมตรและรักษาระดับน้ำขังไว้เป็นเวลา 40 วันแล้วจึงปล่อยให้ดินแห้งไปเป็นเวลา 25 วัน

ตัวอย่างดินใน soil microcosm มีการจัดวางในโรงเรือนที่มีหลังคาพลาสติกและผนังโปร่ง โดยรอบโดยการจัดวางแบบสุ่มตลอดตามภาพที่ 3.5

3.3 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์ข้อมูล

ทำการเก็บตัวอย่างดินและน้ำในแต่ละ microcosm เมื่อเวลา 0, 6, 12, 20, 40, 50, 60, 65 วัน นำไปวิเคราะห์ข้อมูลต่างๆ ประกอบด้วย คุณสมบัติของดิน ความสามารถในการดูดซับ และปริมาณสารพาราควอทที่ตกค้าง ดังตารางที่ 3.2



ภาพที่ 3.2 การใส่สารพาราควอทองในดิน



ภาพที่ 3.3 สภาพดินไม่ขังน้ำ



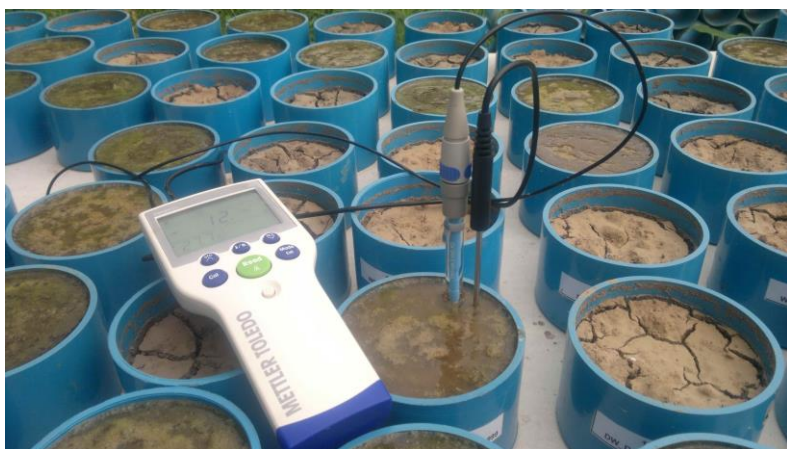
ภาพที่ 3.4 สภาพดินที่มีน้ำขัง



ภาพที่ 3.5 การจัดการสภาพน้ำตามรูปแบบต่างในการทดลอง



ภาพที่ 3.6 การจัดวาง microcosm ในโรงเรือนทดลอง



ภาพที่ 3.7 การวัดค่าศักย์รีดอกซ์ อุณหภูมิดินและพีเอชดินในสภาพการทดลอง

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติของดินและวิธีการวิเคราะห์

คุณสมบัติดิน	วิธีการวิเคราะห์	เอกสารอ้างอิง
1. ศักย์รีดอกซ์	Pt electrode	
2. ค่าความเป็นกรดด่าง	ดิน:น้ำ 1:1 และ portable probe	
3. ความจุแลกเปลี่ยนไอออนบวก	Neutral 1N NH ₄ OAc	Chapman (1965)
4. ปริมาณธาตุต่างแลกเปลี่ยนได้	Neutral 1N NH ₄ OAc	Lanyon and Heald (1982)
5. ปริมาณธาตุที่เป็นประโยชน์	DTPA extraction	Olson and Roscoe (1982)
6. ปริมาณอินทรีย์วัตถุ	Wet Oxidation with K ₂ Cr ₂ O ₇	Walkley-Black (1934)
7. ปริมาณการดูดซับไอออน	โดย Batch equilibration technique	(OECD, 1993)
8. ปริมาณสารพาราควอตตกค้าง	Reflux Digestion Method	(Kennedy, 1986 และ Bullock, 1980)

การวัดค่าศักย์รีดอกซ์ของดิน

การวัดค่าศักย์รีดอกซ์ของดินเป็นการวัดในสภาพดินระหว่างการทดลองหรือก่อนเก็บตัวอย่าง โดยใช้ Combined metal electrode สำหรับวัดค่าศักย์รีดอกซ์ที่ทำจาก Platinum ring with Movable glass sleeve model InLab®Redox Pro ของ Mettler Toledo (No.51343201) โดยทำการวัดค่าศักย์รีดอกซ์ อุณหภูมิและค่าพีเอชโดยแยกหัววัดในแต่ละครั้ง ตามภาพที่ 3.6

การวิเคราะห์ปริมาณการดูดซับ

การวิเคราะห์พฤติกรรมของการดูดซับของสารพาราควอตในดินใช้วิธี Batch equilibration technique ตามแนวทางการทดสอบสารเคมีหมายเลข 106 ของ OECD (OECD Guideline for the Testing of Chemicals 106) (OECD, 1993) โดยการผสมดินที่ไม่มีสารพาราควอตกับสารละลายสารพาราควอตเข้มข้น 700 mg/L สัดส่วนดินต่อสารละลาย 1:25 ในระบบที่มีสารละลาย 0.01 M CaCl₂ เป็นสารละลายพื้นฐานมีระยะเวลาทำปฏิกิริยาถึงจุดสมดุลโดยการนำส่วนผสมไปเขย่าเป็นเวลา 24 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส นำไปเข้าเครื่องปั่นเหวี่ยงและกรอง แล้วนำไปวัดปริมาณสารพาราควอตที่เหลือในสารละลายโดยเครื่อง spectrometer คำนวณหาปริมาณสารพาราควอตที่ถูกดูดซับและค่าคงที่การดูดซับ เช่น Adsorption Capacity (K_f) และ Adsorption Intensity (1/n) จาก Freundlich Adsorption Isotherm ตามสมการต่อไปนี้

$$Q = K_f C_e^{1/n}$$

เมื่อ Q = คือปริมาณพาราควอตที่ถูกดูดซับบนดิน, mg/kg
 C_e = ค่าความเข้มข้นของพาราควอตที่จุดสมดุล, mg/L
 K_f = Adsorption Capacity, (mg/kg)/(mg/L)
 1/n = Adsorption Intensity

การวิเคราะห์ปริมาณตกค้างของสารพาราควอตในดิน

การวิเคราะห์หาปริมาณสารพาราควอตที่ตกค้างในดินทำการสกัดตัวอย่างดินแห้ง 25 กรัม เติมด้วยน้ำกลั่น 65 mL และกรด H_2SO_4 เข้มข้น 35 mL ต้มให้เดือดในระบบ Reflux Digestion Method ที่มีระบบควบแน่นโดยคอนเดนเซอร์ที่มีน้ำหล่อเย็นเป็นเวลา 5 ชั่วโมง เมื่อสารสกัดเย็นแล้วนำไปกรองแล้วกำจัดสิ่งรบกวนโดย Cation Resin Column โดยการเทสารสกัดผ่าน Dowex x-8 resin 5 กรัมที่อัตราการไหล 5-10 mL/min และชะล้างสิ่งรบกวนออกโดยน้ำกลั่น 25 mL กรดไฮโดรคลอริก 2 นอร์มอล 100 mL น้ำกลั่น 25 mL สารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ 2.5% 50 mL และน้ำกลั่น 25 mL ที่อัตราการไหล 3-4 mL/min จากนั้นทำการเก็บสารละลายที่ได้จากการไล่ที่พาราควอตออกจากเรซินโดยสารละลายอิมัลชันของแอมโมเนียมคลอไรด์ ที่อัตราการไหล 1 mL/min จำนวน 50 mL นำไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของสารพาราควอตโดยเครื่อง spectrometer ต่อไป

การวิเคราะห์ความเข้มข้นของพาราควอต

การวิเคราะห์ความเข้มข้นของสารพาราควอตในสารละลายที่สกัดได้หรือในสารละลายที่เหลือจากการดูดซับโดยการวัดการดูดกลืนคลื่นแสงที่ของอนุมูลที่ได้จากการรีดิวซ์พาราควอตจากการผสมระหว่างสารสกัด 5 mL กับสารละลาย 0.2% (w/v) sodium dithiomite ในสารละลายต่าง ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 390 nm. (Kennedy, 1986 และ Bullock, 1980)

บทที่ 4

ผลการศึกษาวิจัย

การศึกษาอิทธิพลของสภาพน้ำท่วมขังและสภาพน้ำท่วมขังสลับกับดินแห้ง ที่มีต่อพฤติกรรมของสารพาราควอตและการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติต่างๆของดินในตัวอย่างดินที่ได้คัดเลือกมาเป็นตัวแทนของพื้นที่น้ำท่วมขังของภาคเหนือตอนล่างสองชนิด การทดลองในสภาพเรือนทดลองโดยใช้หน่วยทดลองตัวอย่างดินที่จำลองแบบการมีสภาพน้ำท่วมขังและการปรับสภาพดินแห้งก่อนและหลังการท่วมขังที่มีการรักษาระดับความชื้นดินตลอดการทดลองและมีการเก็บตัวอย่างตามระยะเวลาด่างๆมาวิเคราะห์ข้อมูลประกอบด้วย คุณสมบัติทางเคมีของดินและปริมาณการดูดซับ รวมทั้งปริมาณสารพาราควอตที่อยู่ในรูปสารดั้งเดิม (Parent compound) ที่มีการตกค้างตามระยะเวลาด่างๆ ได้ผลการศึกษาวิจัยดังต่อไปนี้

4.1 คุณสมบัติของดินที่ใช้ทำการทดลอง

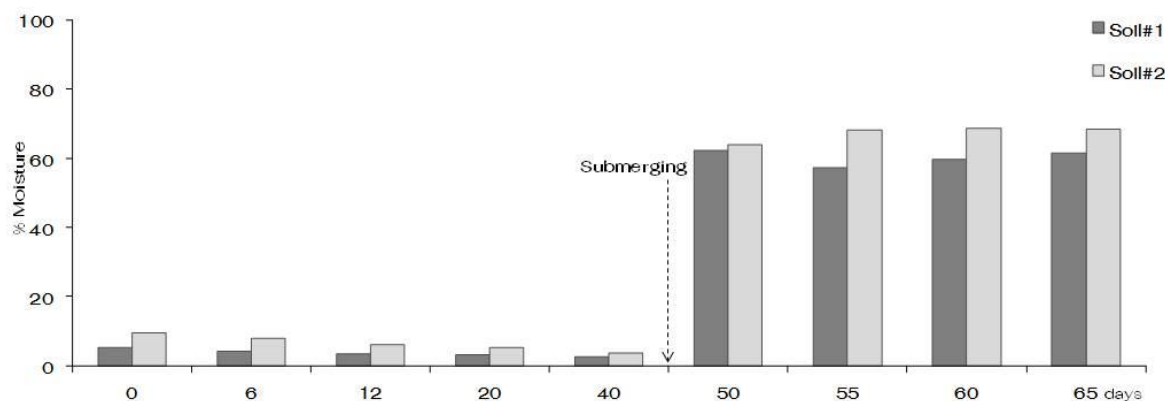
การสำรวจพื้นที่ราบลุ่มที่ใช้ในการทำน่าน้ำขังของพื้นที่ศึกษาจาก 9 จุดสำรวจ ได้ทำการคัดเลือกตัวอย่างดินเนื้อละเอียดเพื่อเป็นตัวแทนของพื้นที่นาในพื้นที่ 2 ชนิด คือ ตัวอย่างดินร่วนปนดินเหนียว (ตัวอย่างดิน Soil#1) และตัวอย่างดินเหนียว (ตัวอย่างดิน Soil#2) ตัวอย่างดินทั้งสองชนิดมีปริมาณดินเหนียว ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ค่าความจุแลกเปลี่ยนไอออนแตกต่างกันและมีค่าความเป็นกรดต่างใกล้เคียงกันคือเป็นดินกรดแก่ตามข้อมูลต่างแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติต่างๆของตัวอย่างดินที่ทำการศึกษา

Characteristic	Soil#1	Soil#2
% Clay	39	77.2
% Silt	40.5	11.8
% Sand	20.5	11
Textural Class	Clay Loam	Clay
%OM	3.7	5.8
CEC, cmole/kg	13.6	21
pH (1:1 H ₂ O)	5.14	5.05
pH (1:2 CaCl ₂)	4.48	4.53

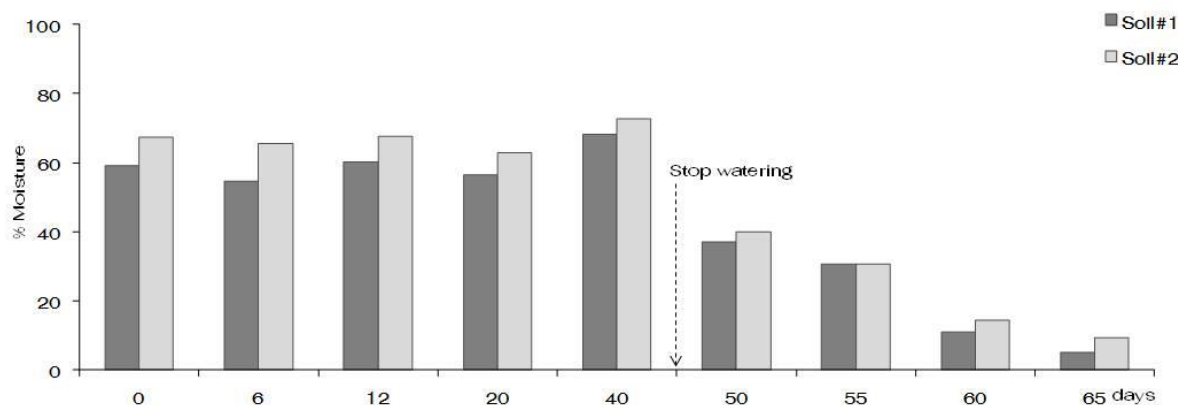
4.2 สภาพน้ำขังและความชื้นดิน

การปรับสภาพน้ำท่วมขังของดิน โดยปล่อยให้ดินมีสภาพดินแห้งเป็นระยะเวลา 40 วัน แล้วให้น้ำในสภาพน้ำขังเป็นเวลา 25 วัน และผลการวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณความชื้นดินก่อนทำการวิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆ ของดินได้ข้อมูลปริมาณความชื้นดินของตัวอย่างดิน Soil#1 และตัวอย่างดิน Soil#2 ตามที่แสดงในภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 ปริมาณความชื้นดินที่ปรับสภาพความชื้นเป็นดินแห้ง 40 วันและดินน้ำขัง 25 วัน

การปรับสภาพน้ำท่วมขังของดิน โดยปล่อยให้ดินมีสภาพน้ำท่วมขังเป็นระยะเวลา 40 วัน แล้วหยุดให้น้ำและปล่อยให้ดินแห้งเป็นระยะเวลา 25 วัน และผลการวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณความชื้นดินก่อนทำการวิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆ ของดินได้ข้อมูลปริมาณความชื้นดินของตัวอย่างดิน Soil#1 และตัวอย่างดิน Soil#2 ตามที่แสดงในภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.2 ปริมาณความชื้นดินที่ปรับสภาพความชื้นดินเป็นดินน้ำขัง 40 วัน และปล่อยให้แห้งไป 25 วัน

4.3 ผลของสภาพน้ำท่วมขังต่อปริมาณสารพาราควอตตกค้างในดิน

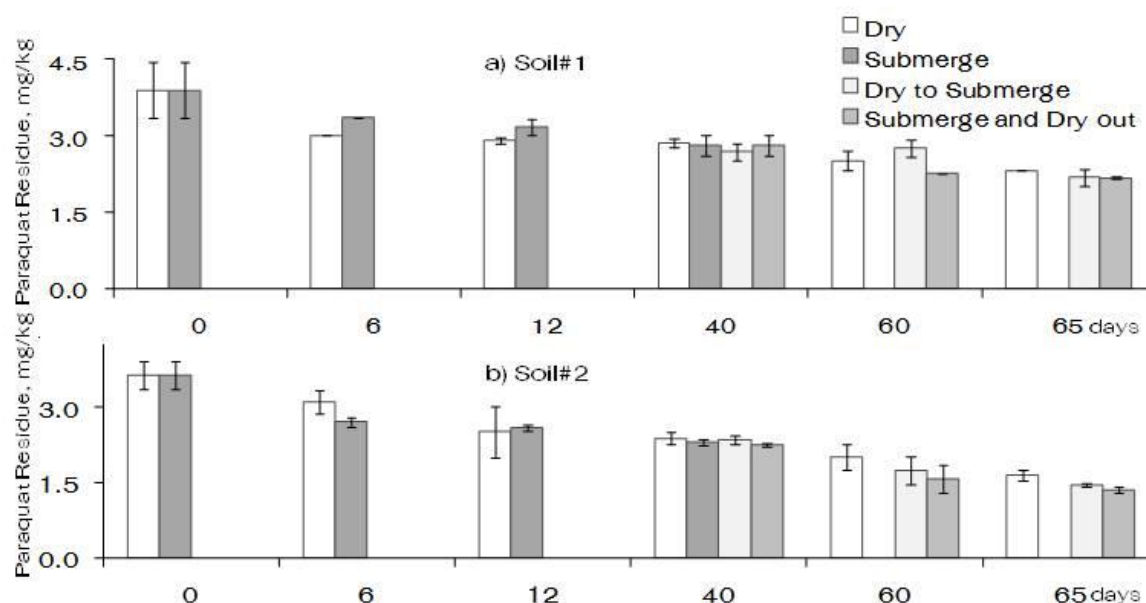
ความเข้มข้นของสารพาราควอตในตัวอย่างดิน Soil#1 และตัวอย่างดิน Soil#2 ที่มีสภาพน้ำท่วมขังแบบต่างๆที่วิเคราะห์ตามช่วงระยะเวลาของการทดลองแสดงในตารางที่ 4.2 จากการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารพาราควอตตกค้างในดินตามระยะเวลาดังแสดงในภาพที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่าปริมาณสารพาราควอตตกค้างในดินมีค่าลดลงตามระยะเวลาการทดลอง การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของสารพาราควอตระหว่างดินที่มีสภาพความชื้นรูปแบบต่างๆเมื่อสิ้นสุดแต่ละวงจรในวันที่ 40 และ 65 พบว่า ในวันที่ 40 ความเข้มข้นของสารพาราควอตตกค้างในดินที่มีสภาพความชื้นรูปแบบแบบต่างๆไม่มีความแตกต่างกัน โดยดินที่ไม่มีน้ำท่วมขังและดินที่มีน้ำท่วมขังมีค่า 2.86 และ 2.81 mg/kg ตามลำดับในตัวอย่างดิน Soil#1 และมีค่า 2.37 และ 2.29 mg/kg ตามลำดับในตัวอย่างดิน Soil#2 สำหรับความชื้นของสารพาราควอตตกค้างในดินในวันที่ 65 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 90% แต่ความเข้มข้นของพาราควอตในดินที่มีการสลับสภาพน้ำท่วมขังมีแนวโน้มมีค่าต่ำกว่าในดินแห้ง โดยมีค่าเรียงลำดับน้อยไปหามากในดินน้ำขังที่ถูกระบายน้ำ ดินน้ำขังหลังจากดินแห้งและดินแห้งตลอดการทดลอง เป็น 2.17, 2.18 และ 2.32 mg/kg ตามลำดับในดิน Soil#1 และมีค่า 1.35, 1.45, 1.65 ตามลำดับในดิน Soil#2

ตารางที่ 4.2 ความเข้มข้นของสารพาราควอตตกค้างในตัวอย่างดินดิน Soil#1 and Soil#2 ที่มีสภาพน้ำแบบต่างๆ

Day	Concentration of paraquat in Soil#1, mg/kg				Concentration of paraquat in Soil#2, mg/kg			
	Dry	Dry and Submerge	Submerge	Submerge and Drying	Dry	Dry and Submerge	Submerge	Submerge and Drying
0	3.89		3.89		3.62		3.62	
6	3.00		3.35		3.09		2.69	
12	2.91		3.17		2.51		2.59	
40	2.86ns ^{1/}	2.68ns ^{1/}	2.81ns ^{1/}	2.81ns ^{1/}	2.37ns ^{1/}	2.34ns ^{1/}	2.29ns ^{1/}	2.25ns ^{1/}
60	2.51	2.75		2.25	2.00	1.74		1.57
65	2.32ns ^{2/}	2.18ns ^{2/}		2.17ns ^{2/}	1.65 ns ^{2/}	1.45 ns ^{2/}		1.35 ns ^{2/}

^{1/} การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของพาราควอตในดินที่มีรูปแบบความชื้นต่างๆ โดยเปรียบเทียบภายในค่าเฉลี่ยของวันที่ 40 ในตัวอย่างแต่ละตัวอย่างดินที่ระดับความเชื่อมั่น 90% ($\alpha=0.1$)

^{2/}... การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของพาราควอตในดินที่มีรูปแบบความชื้นต่างๆ โดยเปรียบเทียบภายในค่าเฉลี่ยของวันที่ 65 ในตัวอย่างแต่ละตัวอย่างดินที่ระดับความเชื่อมั่น 90% ($\alpha=0.1$)



ภาพที่ 4.3 แสดงความเข้มข้นของสารพาราควอตตกค้างในดินที่มีสภาพน้ำต่างๆตามระยะเวลาการทดลอง

4.4 ผลของสภาพน้ำท่วมขังต่อปริมาณการดูดซับสารพาราควอตในดิน

ปริมาณการดูดซับสารพาราควอตในตัวอย่างดินทั้งสองชนิดที่มีน้ำขังเป็นเวลา 40 วันและระบายน้ำออก 25 วันโดยทำการทดสอบกับตัวอย่างดินที่ไม่มีการใส่สารพาราควอตในระหว่างการทดลอง ได้ค่าความเข้มข้นของสารพาราควอตที่จุดสมดุล ปริมาณการดูดซับสารพาราควอต และค่าความสามารถในการดูดซับจากสมการ Freundlich Isotherm ตามตารางที่ 4.3 และ ตารางที่ 4.4

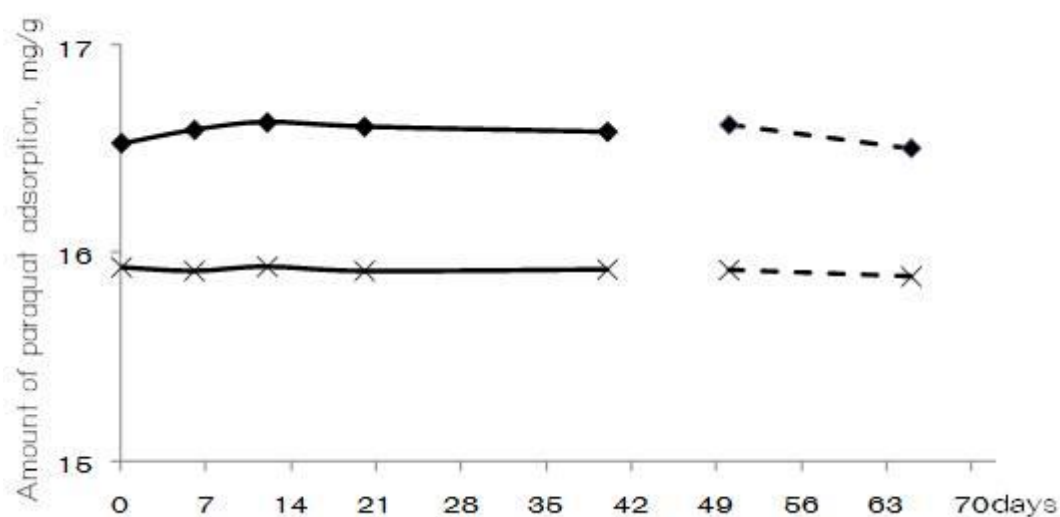
ภาพที่ 4.4 แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณการดูดซับสารพาราควอตในดินมีสภาพน้ำต่างๆตามระยะเวลาการทดลองพบว่า การมีน้ำขังไม่มีผลทำให้ปริมาณการดูดซับสารพาราควอตของตัวอย่างดินมีการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจน แต่การระบายน้ำออกมีผลทำให้ปริมาณการดูดซับลดน้อยลงในดินทั้งสอง

ตารางที่ 4.3 ค่าความเข้มข้นของสารพาราควอตที่จุดสมดุล ปริมาณการดูดซับสารพาราควอตและค่าความสามารถในการดูดซับจากสมการ Freundlich Isotherm ตัวอย่างดิน Soil#1

Day		Paraquat concentration at equilibrium, mg/L		Amount of paraquat Adsorption, mg/g			Isotherm Constant K_d
		#1	#2	#1	#2	Mean	
0	Submerge	62.94	62.76	15.93	15.93	15.93	0.253
6	Submerge	63.40	63.47	15.92	15.91	15.91	0.251
12	Submerge	62.73	62.66	15.93	15.93	15.93	0.254
20	Submerge	63.50	63.47	15.91	15.91	15.91	0.251
40	Submerge	63.08	63.18	15.92	15.92	15.92	0.252
50	Drying	63.33	63.26	15.92	15.92	15.92	0.252
65	Drying	65.83	63.33	15.85	15.92	15.89	0.246

ตารางที่ 4.4 ค่าความเข้มข้นของสารพาราควอตที่จุดสมดุล ปริมาณการดูดซับสารพาราควอตและค่าความสามารถในการดูดซับจากสมการ Freundlich Isotherm ตัวอย่างดิน Soil#2

		Paraquat		Amount of paraquat			Isotherm
		concentration		Adsorption, mg/g			Constant
		at equilibrium, mg/L					
Day		#1	#2	#1	#2	Mean	K _d
0	Submerge	39.01	38.75	16.52	16.53	16.53	0.425
6	Submerge	35.31	37.34	16.62	16.57	16.59	0.457
12	Submerge	35.52	34.28	16.61	16.64	16.63	0.476
20	Submerge	35.94	35.54	16.60	16.61	16.61	0.465
40	Submerge	37.64	35.75	16.56	16.61	16.58	0.452
50	Drying	39.01	38.75	16.52	16.53	16.53	0.425
65	Drying	35.31	37.34	16.50	16.51	16.50	0.414



ภาพที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงปริมาณการดูดซับสารพาราควอตในดินมีสภาพน้ำต่างๆตามระยะเวลาการทดลอง

4.5 ผลของสภาพน้ำท่วมขังและสารพาราควอตต่อคุณสมบัติต่างๆของดิน

4.5.1 ค่าศักย์รีดอกซ์ (Redox potential)

การวัดค่าศักย์รีดอกซ์ ระดับอุณหภูมิและค่าพีเอชของดินเพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงสภาพรีดักชันของดินที่ทำการทดลองตลอดระยะเวลาการทดลอง ได้ค่าศักย์รีดอกซ์ อุณหภูมิและค่าพีเอชของตัวอย่างดิน Soil#1 และ Soil#2 ดังแสดงในตารางที่ 4.5

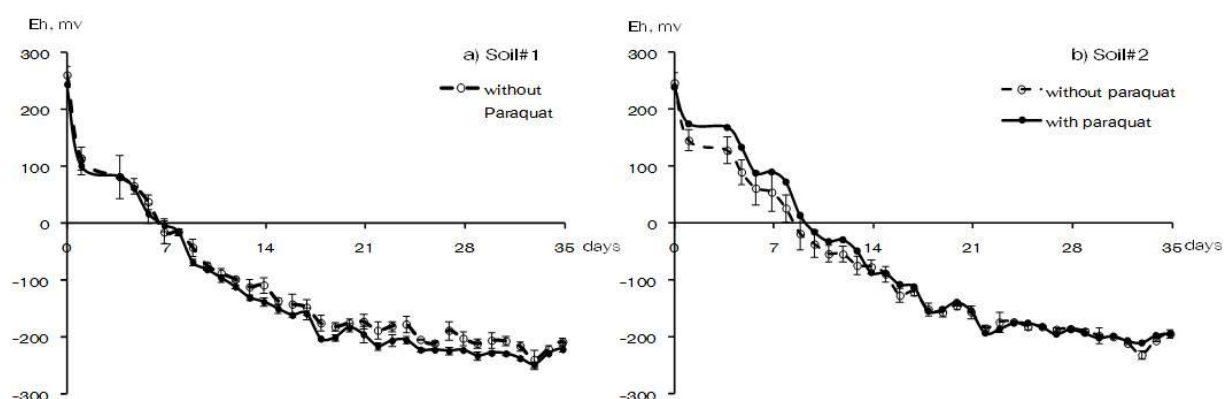
การเปลี่ยนแปลงค่าศักย์รีดอกซ์ของดิน Soil#1 และ Soil#2 ตามระยะเวลาที่มีน้ำท่วมขังแสดงในภาพที่ 4.5 จากภาพดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการมีน้ำท่วมขังมีผลทำให้ดินเปลี่ยนแปลงสภาพจากออกซิเดชันเป็นสภาพรีดักชันอย่างรวดเร็ว ค่าศักย์รีดอกซ์ของดินทั้งสองชนิดลดต่ำลงถึงระดับ 0 ในเวลา 7 และ 10 วัน ในดิน Soil#1 และ Soil#2 ตามลำดับ เมื่อระยะเวลาการขังน้ำเพิ่มขึ้นค่าศักย์รีดอกซ์ของดินทั้งสองลดลงจนถึงจุดต่ำสุดเมื่อเวลาผ่านไป 34 วัน และมีค่าคงที่ต่อไปที่ระดับ -230 และ -210 mV ในดิน Soil#1 และ Soil#2 ตามลำดับ การปรับระดับลดลงของค่าศักย์รีดอกซ์ในตัวอย่างดิน Soil#2 เกิดขึ้นช้ากว่าดิน Soil#1 เนื่องจากดิน Soil#2 มีปริมาณดินเหนียวอินทรีย์วัตถุมากกว่า

เมื่อดินที่มีน้ำขังติดต่อกันเป็นเวลา 40 วันและน้ำได้ถูกระบายออกไปจนดินแห้งลงไปตามลำดับ ค่าศักย์รีดอกซ์ของดินจะปรับระดับเพิ่มขึ้นดังแสดงในภาพที่ 4.6 การโดยปรับค่าศักย์รีดอกซ์มีความสัมพันธ์กับระดับความชื้นดิน คือ ในช่วงระยะ 5 วันหลังจากหยุดให้น้ำและดินยังมีความชื้นสูงกว่า 40% ดินยังคงสภาพรีดักชันโดยค่าศักย์รีดอกซ์มีค่าคงที่ หลังจากนั้นเมื่อดินเริ่มแห้งลงจนมีความชื้นต่ำกว่า 40% ดินจะเริ่มปรับเปลี่ยนไปเป็นสภาพออกซิเดชัน และโดยค่าศักย์รีดอกซ์ของดินจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนมีค่ามากกว่า 0 mV เมื่อดินมีความชื้น 25 - 30 %

การใส่สารพาราควอตในดินไม่มีผลทำให้แนวโน้มการลดของค่าศักย์รีดอกซ์ของดินทั้งสองชนิดแตกต่างกัน รวมทั้งไม่มีผลต่อการปรับเปลี่ยนจากสภาพรีดักชันไปเป็นสภาพออกซิเดชันหลังจากหยุดการให้น้ำ โดยค่าศักย์รีดอกซ์ของดินที่มีการใส่สารพาราควอตมีการปรับเพิ่มขึ้นที่ระดับและระยะเวลาใกล้เคียงกันการไม่ใส่สารพาราควอต

ตารางที่ 4.5 ค่าศักย์รีดอกซ์ อุณหภูมิ และค่าพีเอชของดินตามระยะเวลาเวลาการขังน้ำ

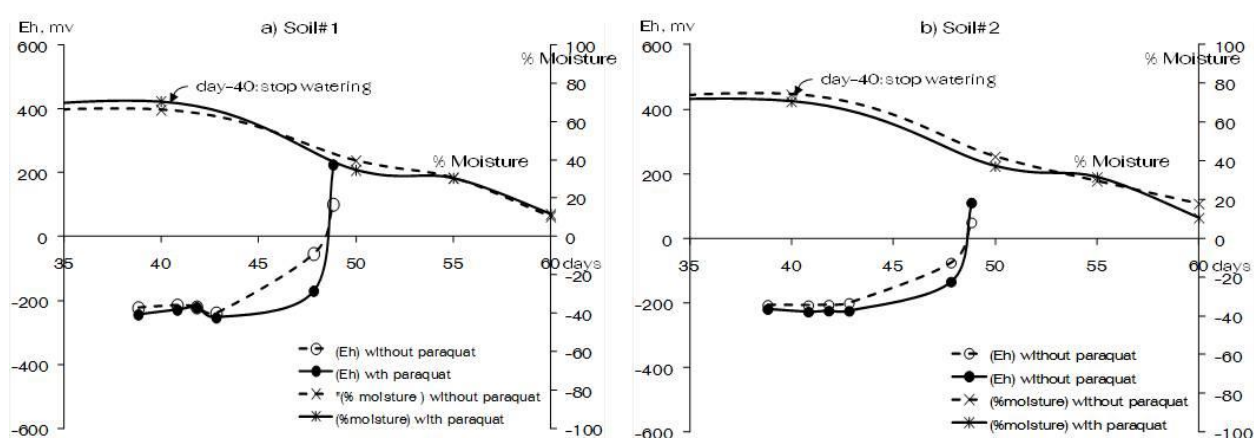
Day	Soil#1						Soil#2					
	Without paraquat			With paraquat			Without paraquat			With paraquat		
	Temp °C	pH	Redox, mV	Temp °C	pH	Redox, mV	Temp °C	pH	Redox, mV	Temp °C	pH	Redox, mV
0	32.8	5.38	260	32.9	5.36	244	33.4	5.26	247	31.8	5.36	239
1	37.0	5.46	114	37.5	5.47	101	37.3	5.51	146	34.8	5.39	175
4	28.0	5.56	81	28.3	5.65	82	28.1	5.65	128	28.1	5.47	168
5	25.9	5.73	65	27.0	5.90	62	25.9	5.75	90	25.6	5.48	134
6	26.4	5.86	37	26.9	5.92	17	26.5	5.83	62	26.6	5.63	88
7	31.7	5.87	-16	32.5	5.89	-4	29.1	5.78	55	30.7	5.65	90
8	32.0	6.06	-16	32.4	6.07	-16	31.9	5.95	27	30.6	5.77	73
9	36.1	6.06	-43	37.5	6.01	-69	35.7	5.98	-18	34.2	5.86	14
10	36.3	6.13	-74	36.9	6.16	-82	36.4	6.03	-37	34.7	5.91	-16
11	32.3	6.25	-88	33.3	6.26	-97	31.8	6.15	-54	31.8	6.02	-32
12	31.2	6.33	-99	32.0	6.34	-112	31.2	6.17	-54	31.2	6.10	-29
13	36.9	6.37	-112	37.5	6.36	-131	37.7	6.20	-74	34.7	6.16	-49
14	30.3	6.47	-109	30.8	6.45	-139	30.2	6.32	-77	29.9	6.24	-87
15	32.7	6.48	-137	33.5	6.49	-151	33.3	6.38	-89	32.0	6.29	-88
16	31.3	6.53	-143	32.7	6.52	-162	32.2	6.41	-127	30.4	6.31	-108
17	32.6	6.54	-148	33.5	6.51	-159	34.0	6.41	-121	32.7	6.38	-112
18	35.3	6.52	-176	36.2	6.57	-203	35.4	6.36	-151	35.4	6.41	-154
19	39.6	6.48	-182	41.7	6.47	-201	39.9	6.35	-156	39.0	6.37	-151
20	35.7	6.60	-176	36.8	6.63	-184	35.8	6.51	-145	33.9	6.52	-139
21	36.9	6.59	-173	38.5	6.69	-196	38.3	6.53	-156	35.1	6.53	-153
22	35.8	6.69	-189	37.9	6.65	-216	37.0	6.56	-185	34.0	6.60	-193
23	36.6	6.67	-181	37.5	6.60	-207	38.7	6.59	-174	34.0	6.64	-186
24	32.2	6.70	-178	33.3	6.70	-206	32.8	6.65	-173	31.9	6.65	-175
25	29.7	6.78	-205	31.6	6.80	-223	30.3	6.73	-182	28.6	6.74	-175
26	34.9	6.75	-211	35.9	6.79	-223	35.2	6.70	-182	33.8	6.66	-182
27	31.2	6.78	-189	34.4	6.77	-225	30.3	6.72	-186	32.7	6.73	-195
28	37.8	6.67	-203	40.1	6.66	-223	38.5	6.58	-185	35.0	6.66	-186
29	40.2	6.66	-212	42.6	6.64	-233	46.5	6.63	-190	39.1	6.63	-193
30	37.0	6.76	-206	39.3	6.66	-228	37.7	6.67	-197	35.0	6.70	-201
31	38.3	6.68	-207	41.1	6.68	-229	41.3	6.64	-199	36.4	6.66	-198
32	30.9	6.82	-216	32.8	6.85	-238	31.0	6.83	-211	30.5	6.80	-206
33	36.2	6.81	-240	39.6	6.78	-249	37.3	6.85	-231	36.5	6.75	-210
34	35.4	6.85	-222	37.2	6.82	-229	36.4	6.74	-206	33.8	6.74	-197
35	29.8	6.92	-209	30.1	6.89	-222	30.1	6.80	-194	28.9	6.84	-194
36	37.9	6.75	-224	39.7	6.76	-240	38.6	6.74	-209	35.7	6.70	-204
37	38.2	6.75	-224	39.3	6.75	-241	39.5	6.69	-189	36.8	6.69	-223
38	32.5	6.80	-223	33.1	6.79	-240	33.3	6.75	-207	31.6	6.73	-221
39	35.1	6.73	-223	36.0	6.71	-244	36.0	6.67	-206	33.4	6.69	-219
40	31.1	6.81	-215	31.7	6.87	-229	31.2	7.07	-207	30.9	6.78	-227



ภาพที่ 4.5 ค่าศักย์รีดอกซ์ของดินที่มีน้ำท่วมขังของตัวอย่างดิน Soil#1 และ Soil#2 ที่มีและไม่มีการเติมสารพาราควอต

ตารางที่ 4.6 ค่าศักย์รีดอกซ์ของดิน อุณหภูมิและค่าพีเอชของดินหลังจากปล่อยให้ดินแห้ง

Day	Soil#1						Soil#2					
	Without paraquat			With paraquat			Without paraquat			With paraquat		
	Temp °C	pH	Redox, mV	Temp °C	pH	Redox, mV	Temp °C	pH	Redox, mV	Temp °C	pH	Redox, mV
39	35	6.73	-223	36	6.71	-244	36	6.67	-206	33	6.69	-219
41	31	6.81	-215	32	6.87	-229	31	7.07	-207	31	6.78	-227
42	32	6.90	-221	32	7.10	-222	32	7.34	-205	31	7.02	-224
43	34	6.84	-240	35	7.03	-254	36	7.17	-200	33	7.35	-224
44	32	6.99	-54	33	6.87	-170	34	6.85	-75	31	6.94	-134
45	33	7.17	101	32	6.85	225	33	6.52	50	35	5.99	111



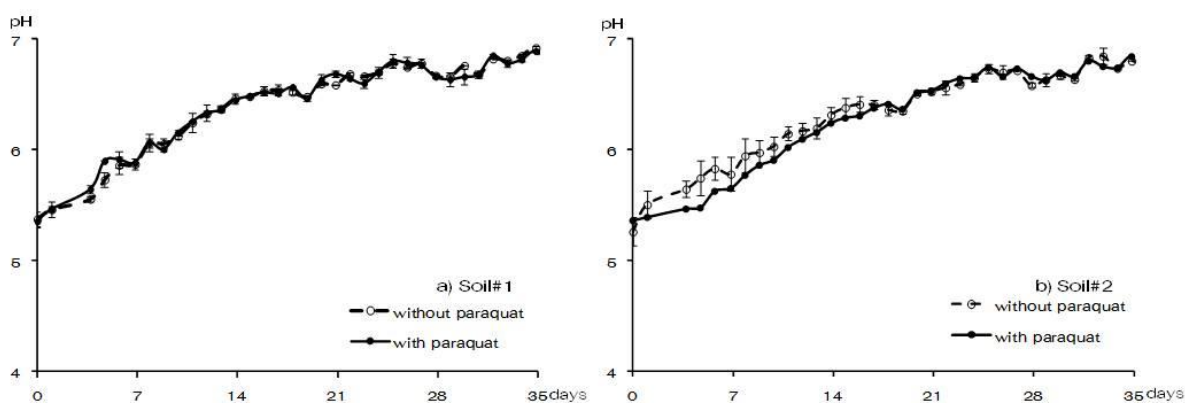
ภาพที่ 4.6 ค่าศักย์รีดอกซ์ของดินและปริมาณความชื้นดินหลังจากปล่อยให้ดินแห้ง

4.5.2. ความเป็นกรด-ด่าง

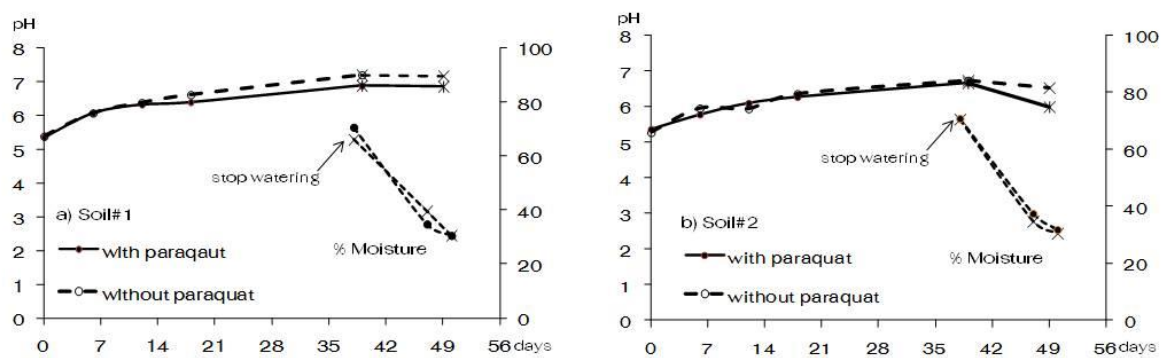
ดินที่มีน้ำท่วมขังต่อเนื่องกันจะมีการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างดัง ข้อมูลแสดงในภาพที่ 4.7 เมื่อมีน้ำท่วมขังค่าพีเอชของดินกรดแก่ที่ใช้ในการทดลองจะมีค่าสูงขึ้นตามระยะเวลาของการมีน้ำท่วมขัง จนถึงจุดคงที่ในระยะเวลาเดียวกับการเปลี่ยนแปลงค่าศักย์รีดอกซ์ ค่าพีเอชของตัวอย่างดิน Soil#1 และ Soil#2 เพิ่มขึ้นจาก 5.36 และ 5.26 ไปเป็น 6.92 และ 6.80 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าสภาพน้ำท่วมขังอย่างต่อเนื่องทำให้ระดับความเป็นกรด-ด่างของดินเปลี่ยนแปลงจากดินกรดแก่ไปเป็นดินที่เป็นกลาง การเปลี่ยนแปลงระดับพีเอชของตัวอย่างดิน Soil#1 เกิดขึ้นได้เร็วกว่าตัวอย่างดิน Soil#2

เมื่อสภาพความชื้นของดินเปลี่ยนจากสภาพน้ำขังไปเป็นดินแห้ง ค่าพีเอชของดินจะมีค่าต่ำลง ดังข้อมูลค่าพีเอชของดินใน microcosm เดียวและใน microcosm ที่เก็บตามระยะเวลาดังแสดงในภาพที่ 4.8 และ 4.9 โดยดินที่ปรับเปลี่ยนมาเป็นดินเป็นกลางมีการเปลี่ยนกลับไปเป็นดินกรดแก่ ค่าพีเอชของตัวอย่างดิน Soil#1 และ Soil#2 ปรับลดลงจาก 6.51 และ 6.32 เป็น 4.88 และ 5.25 ตามลำดับ

การมีพาราควอตในดินไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่างของดินทั้งสองชนิด โดยค่าพีเอชดินที่มีการใส่สารพาราควอตมีการปรับเพิ่มขึ้นที่ระดับและระยะเวลาใกล้เคียงกันการไม่ใส่สารพาราควอต



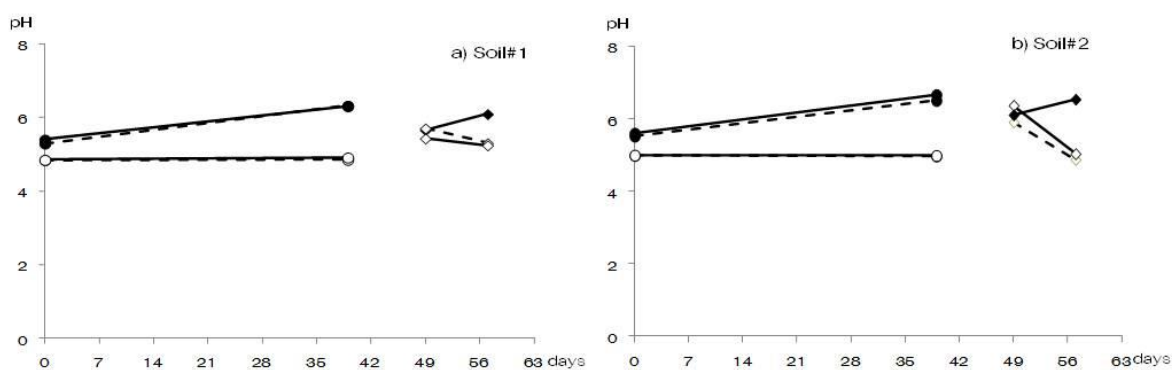
ภาพที่ 4.7 ค่าพีเอชของดินที่มีน้ำท่วมขังอย่างต่อเนื่องในตัวอย่างดิน Soil#1 และ Soil#2 ที่มีและไม่มีสารพาราควอต



ภาพที่ 4.8 ค่าพีเอชของดินที่มีการปรับเปลี่ยนสภาพน้ำท่วมขังไปเป็นดินแห้งและค่าความชื้นดิน

ตารางที่ 4.7 ค่าพีเอชของดินในตัวอย่างดินที่เก็บไปวิเคราะห์

Day	Soil#1								Soil#2							
	Without paraquat				With paraquat				Without paraquat				With paraquat			
	Dry	Dry to Submerge	Submerge, Drying	Submerge, Drying	Dry	Dry to Submerge	Submerge, Drying	Submerge, Drying	Dry	Dry to Submerge	Submerge, Drying	Submerge, Drying	Dry	Dry to Submerge	Submerge, Drying	Submerge, Drying
0	4.99		5.52		5.00		5.6		4.85		5.3		4.85		5.4	
40	4.97		6.51		4.99		6.67		4.85		6.32		4.92		6.31	
50				5.91		6.11		6.37	4.92			5.71	4.95	5.66		5.43
60				4.88		6.54		5.04				5.31		6.10		5.25



ภาพที่ 4.9 การเปรียบเทียบค่าพีเอชของดินใน soil microcosm ที่มีสภาพน้ำท่วมขังตามรูปแบบต่างๆกัน

4.5.3. ปริมาณไนโตรเจนในดิน

การศึกษาผลของสภาพการขังน้ำและระยะเวลาการขังน้ำ รวมทั้งอิทธิพลของการใส่สารพาราควอตต่อปริมาณไนโตรเจนในดินโดยการวิเคราะห์ปริมาณไนเตรทและแอมโมเนียมในตัวอย่างดินที่ระยะเวลาต่างๆได้ข้อมูลเป็นปริมาณไนเตรทดังแสดงในตารางที่ 4.8, ตารางที่ 4.9 และตารางที่ 4.10 และปริมาณแอมโมเนียมดังแสดงในตารางที่ 4.11

ค่าเฉลี่ยของปริมาณไนโตรเจนดินที่ไม่มีน้ำขังมีค่าสูงกว่าดินที่มีน้ำขังอย่างมีนัยสำคัญ ดินที่มีการสลับจากดินแห้งไปเป็นดินน้ำขังจะมีค่าเฉลี่ยของไนโตรเจนในดินต่ำที่สุด ในทางกลับกันดินน้ำขังที่ถูกระบายน้ำออกไปจะมีปริมาณไนโตรเจนสูงที่สุด โดยดินทั้งสองชนิดมีแนวโน้มไม่ไปทางเดียวกัน จากภาพที่ 4.10 ซึ่งแสดงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณไนเตรทตามระยะเวลา พบว่า ปริมาณไนเตรทในดินแห้งมีค่าคงที่อยู่ที่ระดับ 0.2 และ 0.4 mg/kg ในตัวอย่างดิน Soil#1 และ Soil#2 ตลอดการทดลองตามลำดับ ส่วนในดินที่มีน้ำท่วมขังจะมีปริมาณไนเตรทลดลงอย่างชัดเจนในดินทั้งสองชนิด ปริมาณไนเตรทในดินในวันแรกของการทดลองสำหรับดินที่ไม่มีการใส่สารพาราควอตมีค่า 0.21 และ 0.421 mg/kg ในดิน Soil#1 และ Soil#2 ตามลำดับ และเมื่อมีน้ำท่วมขังเป็นเวลา 40 วันปริมาณไนเตรทมีค่าลดลงเหลือ 0.110 และ 0.114 mg/kg ในดิน Soil#1 และ Soil#2 ตามลำดับ

ภาพที่ 4.12 แสดงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณแอมโมเนียมในดินตามระยะเวลาการขังน้ำ พบว่า ปริมาณแอมโมเนียมในดินไม่ขังน้ำมีค่าคงที่อยู่ที่ระดับ 0.4 mg/kg ในตัวอย่างดินทั้งสองชนิด ส่วนในดินที่มีน้ำท่วมขังจะมีปริมาณแอมโมเนียมเพิ่มขึ้นชัดเจนในดินทั้งสองชนิด

การเปลี่ยนสภาพจากดินน้ำท่วมขังไปเป็นดินแห้งทำให้ปริมาณไนเตรทในดินกลับมีค่าสูงขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 4.13 การใส่สารพาราควอตลงในดินมีอิทธิพลต่อปริมาณไนเตรทในดินอย่างชัดเจนคือทำให้ปริมาณไนเตรทในดินทั้งสองชนิดลดลงอย่างชัดเจน โดยผลของสารพาราควอตต่อปริมาณไนเตรทในดิน Soil#1 มีการลดลงอย่างชัดเจนกว่าดิน Soil#2

ตารางที่ 4.8 ความเข้มข้นของไนเตรทในตัวอย่างดิน Soil#1 ที่มีสภาพน้ำต่างๆตามระยะเวลา

Day	Concentration of nitrate in soil without paraquat, mg/kg			Concentration of nitrate in soil with paraquat, mg/kg			
	Dry	Submerge	Submerge, Drying	Dry	Dry to Submerge	Submerge	Submerge, Drying
0	0.210	0.210		0.210		0.210	
6	0.210	0.150		0.210		0.162	
12	0.230	0.150		0.187		0.138	
20	0.230	0.149		0.180		0.114	
40	0.210	0.110		0.140		0.114	
50	0.233		0.443	0.210	0.170		0.431
60	0.280		0.467	0.280	0.099		0.397
65					0.068		

ตารางที่ 4.9 ความเข้มข้นของไนเตรทในตัวอย่างดิน Soil#2 ที่มีสภาพน้ำต่างๆตามระยะเวลา

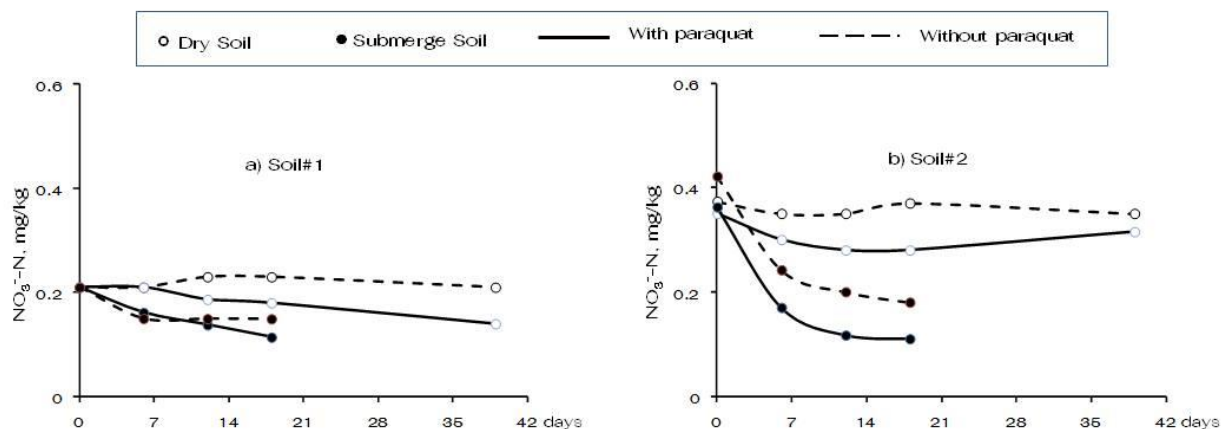
Day	Concentration of nitrate in soil without paraquat, mg/kg			Concentration of nitrate in soil without paraquat, mg/kg			
	Dry	Submerge	Submerge, Drying	Dry	Dry to Submerge	Submerge	Submerge, Drying
0	0.373	0.421		0.350		0.363	
6	0.350	0.242		0.300		0.170	
12	0.350	0.200		0.280		0.117	
20	0.370	0.180		0.280		0.110	
40	0.350			0.315			
50	0.368		0.286	0.397	0.298		0.400
60	0.455		0.350	0.467	0.141		0.175
65					0.138		

ตารางที่ 4.10 ค่าเฉลี่ยของปริมาณไนเตรทในตัวอย่างดินและการเปรียบเทียบ

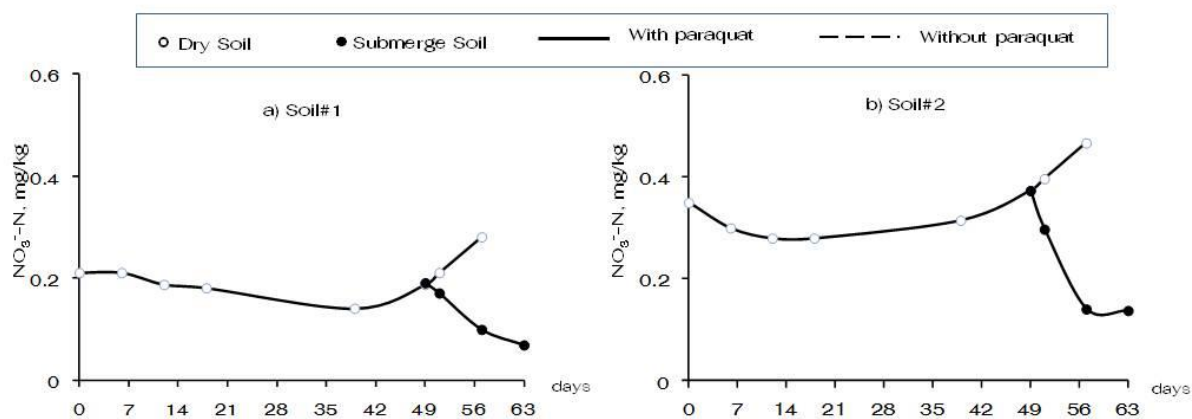
Water pattern	Concentration of nitrate in Soil#1, mg/kg			Concentration of nitrate in Soil#2, mg/kg		
	Without paraquat	With paraquat	Mean	Without paraquat	With paraquat	Mean
Dry	0.235	0.206	0.211b ^{1/}	0.374	0.350	0.362a ^{2/}
Dry to Submerge	-	0.084	0.084d ^{1/}	-	0.145	0.145bc ^{2/}
Submerge	0.153	0.156	0.154c ^{1/}	0.283	0.156	0.219ab ^{2/}
Submerge to Drying	0.45	0.410	0.434a ^{1/}	0.324	0.288	0.306a ^{2/}
Mean	0.302	0.214	0.221	0.304a	0.235b	0.244

^{1/} การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของรูปแบบความชื้นต่างๆในดินSoil#1 มีค่า MSE=0.004 และ $F_{(3,36)}=27.548$

^{2/} การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของรูปแบบความชื้นต่างๆในดินSoil#2 มีค่า MSE=0.015 และ $F_{(3,36)} = 6.580$



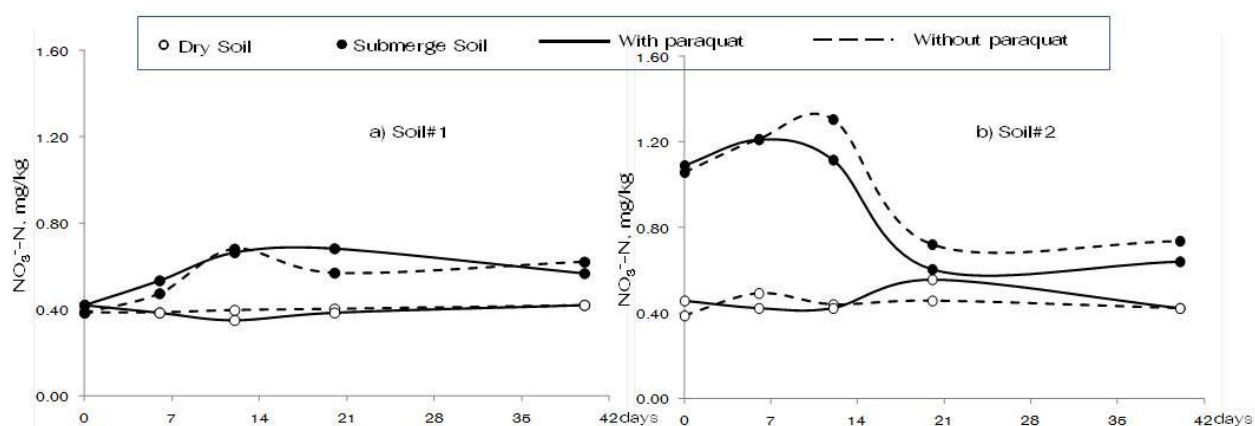
ภาพที่ 4.10 ปริมาณไนเตรทไนโตรเจนในดินแห้งและดินน้ำขัง ตัวอย่างดิน Soil#1 และ Soil#2 ที่มีและไม่มีสารพาราควอต



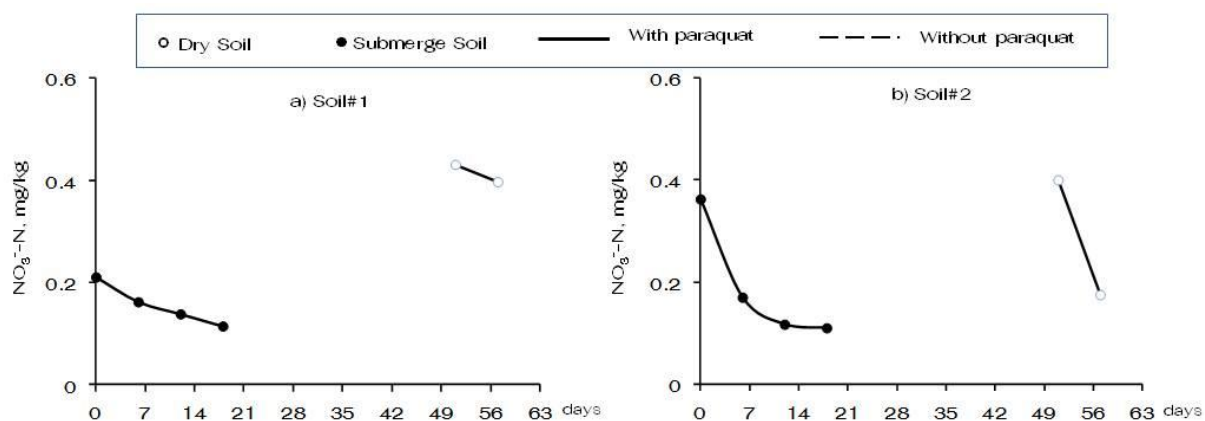
ภาพที่ 4.11 ปริมาณไนเตรทไนโตรเจนในดินแห้งและดินที่เปลี่ยนจากดินแห้งเป็นดินน้ำขัง หลังจากใส่สารพาราควอต 40 วันในตัวอย่างดิน Soil#1 และ Soil#2

ตารางที่ 4.11 ความเข้มข้นของแอมโมเนียมในตัวอย่างดินที่มีสภาพน้ำต่างๆตามระยะเวลาทดลอง

Day	Concentration of nitrate in Soil#1, mg/kg				Concentration of nitrate in Soil#2, mg/kg			
	without paraquat		with paraquat		without paraquat		with paraquat	
	Dry	Submerge	Dry	Submerge	Dry	Submerge	Dry	Submerge
0	0.385	0.385	0.420	0.420	0.385	1.056	0.455	1.088
6	0.385	0.474	0.385	0.534	0.490	1.211	0.420	1.209
12	0.397	0.680	0.350	0.664	0.438	1.303	0.420	1.114
20	0.403	0.569	0.385	0.682	0.455	0.719	0.554	0.602
40	0.420	0.620	0.420	0.567	0.420	0.734	0.420	0.638



ภาพที่ 4.12 ปริมาณแอมโมเนียมในดินแห้งและดินน้ำขัง ตัวอย่างดิน Soil#1 และ Soil#2 ที่มีและไม่มีสารพาราควอต



ภาพที่ 4.13 ปริมาณไนเตรทไนโตรเจนในดินน้ำขังและดินที่เปลี่ยนจากดินน้ำขังเป็นดินแห้ง หลังจากใส่สารพาราควอต 40 วันในตัวอย่างดิน Soil#1 และ Soil#2

4.5.4. ปริมาณจุลธาตุที่เป็นประโยชน์ในดิน

การศึกษาผลของสภาพและระยะเวลาการขังน้ำและการใส่สารพาราควอตต่อปริมาณจุลธาตุที่เป็นประโยชน์ในดินโดยการวิเคราะห์ปริมาณเหล็ก แมงกานีส ทองแดงและสังกะสีที่สกัดด้วย DTPA ในตัวอย่างดินที่มีสภาพการขังน้ำแบบต่างๆที่ระยะเวลาต่างๆได้ข้อมูลดังแสดงในตารางที่ 4.12 และตารางที่ 4.13

การเปรียบเทียบปริมาณจุลธาตุที่เป็นประโยชน์ระหว่างดินแห้งกับดินน้ำขังดังข้อมูลในภาพที่ 4.14 และภาพที่ 4.15 แสดงถึงอิทธิพลของการท่วมขังน้ำต่อปริมาณจุลธาตุต่างๆ คือ ทำให้ปริมาณ DTPA-Mn, DTPA-Zn และ DTPA-Fe เพิ่มขึ้นและมีปริมาณลดลงเมื่อมีน้ำท่วมขังยาวนานขึ้น ส่วนปริมาณ DTPA-Cu มีค่าลดลงเมื่อมีน้ำท่วมขัง

การเปรียบเทียบปริมาณ DTPA-Mn ระหว่างดินไม่มีน้ำท่วมขังกับดินที่มีน้ำท่วมขัง พบว่าปริมาณ DTPA-Mn ของตัวอย่างดินทั้งสองชนิดในวันที่ 6, 12, 20 และ 40 ในดินน้ำขังมีค่าสูงกว่าดินที่มีการระบายอากาศดี และปริมาณ DTPA-Mn ของดิน Soil#2 ที่มีน้ำท่วมขังปรับลดลงในวันที่ 40 การเปลี่ยนแปลงปริมาณ Mn ของดินตามระยะเวลาการท่วมขังมีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงค่าศักย์รีดอกซ์และพีเอชดินตาม Eh-pH stability model ธาตุแมงกานีสในสภาพน้ำท่วมขังจะถูกรีดิวซ์ไปเป็น Mn^{2+} ที่มีการละลายได้มากขึ้น เมื่อค่าศักย์รีดอกซ์ลดลงและค่าพีเอชของดินปรับสูงขึ้นธาตุแมงกานีสจะตกตะกอนในรูป $MnCO_3$ ซึ่งมีการละลายได้ลดลงจึงมีปริมาณที่สกัดได้ลดต่ำลงปริมาณโดยตัวอย่างดิน Soil#2 ปริมาณ Mn ปรับลดลงในวันที่ 40 ซึ่งมีค่าศักย์รีดอกซ์และพีเอชของดินเป็น -210 และ 6.8 ตามลำดับ

ปริมาณ DTPA-Zn ของดินเมื่อเปรียบเทียบระหว่างดินไม่มีน้ำท่วมขังกับดินที่มีน้ำท่วมขัง พบว่าในดินตัวอย่างทั้งสองชนิดปริมาณ DTPA-Zn ของดินที่มีน้ำท่วมขังในวันที่ 0, 6 และ 12 มีค่าสูงกว่าดินที่มีการระบายอากาศดี หลังจากนั้นปริมาณ DTPA-Zn ของดินน้ำท่วมขังมีค่าลดต่ำลงกว่าดินแห้ง โดยในดิน Soil#1 ปริมาณแมงกานีสของดินน้ำขังต่ำกว่าในดินแห้งในวันที่ 20 และ 40 ส่วนในตัวอย่างดิน Soil#2 พบว่าดินการลดต่ำลงของปริมาณแมงกานีสในดินน้ำท่วมขังจนต่ำกว่าในดินแห้งเกิดขึ้นในวันที่ 40 ในดินที่ไม่มีสารพาราควอต และในวันที่ 20 และ 40 ในดินที่มีสารพาราควอต การเพิ่มขึ้นของปริมาณ DTPA-Zn ในดินน้ำท่วมขังเกิดจากการรีดิวซ์สังกะสีไปเป็น Zn^{2+} ซึ่งละลายน้ำได้ดี เมื่อดินมีค่าศักย์รีดอกซ์ลดลงและมีค่าพีเอชสูงขึ้นธาตุสังกะสีจะอยู่ในรูป ZnS ที่ไม่ละลายทำให้ปริมาณที่สกัดได้ลดต่ำลงโดยตัวอย่างดิน Soil#1 การตกตะกอนของสังกะสีเกิดขึ้นในวันที่ 20 ส่วนดิน ซึ่งมีค่าศักย์รีดอกซ์และพีเอชของดินเป็น -210 และ 6.8 ตามลำดับ ส่วนตัวอย่างดิน Soil#2 การตกตะกอนของสังกะสีในดินที่มีและไม่มีสารพาราควอตเกิดขึ้นในวันที่ 20 และ 40 ตามลำดับ การเปลี่ยนแปลงปริมาณ Zn ของดินตามระยะเวลาการท่วมขังมีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงค่าศักย์รีดอกซ์และพีเอชดินตาม Eh-pH stability model

ดินที่ไม่มีสารพาราควอท การมีสภาพน้ำท่วมขังไม่ทำให้ปริมาณ DTPA-Fe และ DTPA-Cu ในดินเปลี่ยนแปลงไปจากดินในสภาพแห้ง เนื่องจากในสภาพน้ำท่วมขังการธาตุเหล็กและทองแดง ที่ถูกรีดิวซ์สามารถตกตะกอนได้ในหลายรูปแบบในช่วงที่มีสภาพรีดักชันเพียงเล็กน้อย ได้แก่ FeCO_3 , FeS , Cu_2S , CuS เป็นต้น ปริมาณที่สกัดได้ในดินน้ำขังจึงไม่แตกต่างจากในดินแห้ง ส่วนในดินที่มีสารพาราควอทปริมาณหลักในดินแห้งมีค่าสูงกว่าในดินน้ำท่วมขัง

การปรับเปลี่ยนสภาพความชื้นดินจากสภาพน้ำขังไปเป็นดินแห้งมีผลต่อปริมาณจุลธาตุต่างๆ ที่สกัดได้ โดยเมื่อหยุดให้น้ำในวันที่ 40 และดินมีความชื้นลดลงและเริ่มปรับเปลี่ยนจากสภาพรีดักชันไปเป็นสภาพออกซิเดชันโดยมีค่าศักย์รีดอกซ์สูงกว่า 0 mV ในวันที่ 50 ทำให้ปริมาณ DTPA-Mn มีค่าลดลง ส่วนปริมาณ DTPA-Zn, Fe และ Cu มีค่ามากขึ้นเมื่อเทียบกับดินน้ำขัง เมื่อดินความชื้นในดินลดต่ำลงต่อไปจนมีค่าต่ำกว่า 10% ในวันที่ 65 ปริมาณจุลธาตุทั้งสี่ชนิดจะมีค่าเท่ากับปริมาณที่วัดได้ในดินที่ไม่ได้ขังน้ำ การเพิ่มขึ้นของแมงกานีสที่เป็นประโยชน์และการลดลงของสังกะสี เหล็ก และทองแดงที่เป็นประโยชน์มีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงค่าศักย์รีดอกซ์และพีเอชของดิน โดยเมื่อดินมีค่าศักย์รีดอกซ์เพิ่มขึ้นปริมาณแมงกานีสที่ถูกสกัดได้มีค่าน้อยลงเนื่องจากแมงกานีสถูกออกซิไดซ์และมีการละลายได้น้อยลง การเพิ่มขึ้นของปริมาณสังกะสี เหล็กและทองแดงที่สกัดได้เกิดขึ้นเนื่องจากการละลายของตะกอน ZnS , Fe_2CO_3 , FeCO_3 , FeS_2 , FeCO_3 , CuS , Cu_2S ในสภาพดินที่เป็นกรดเนื่องจากการลดลงของค่าพีเอชเมื่อค่าศักย์รีดอกซ์เพิ่มขึ้น

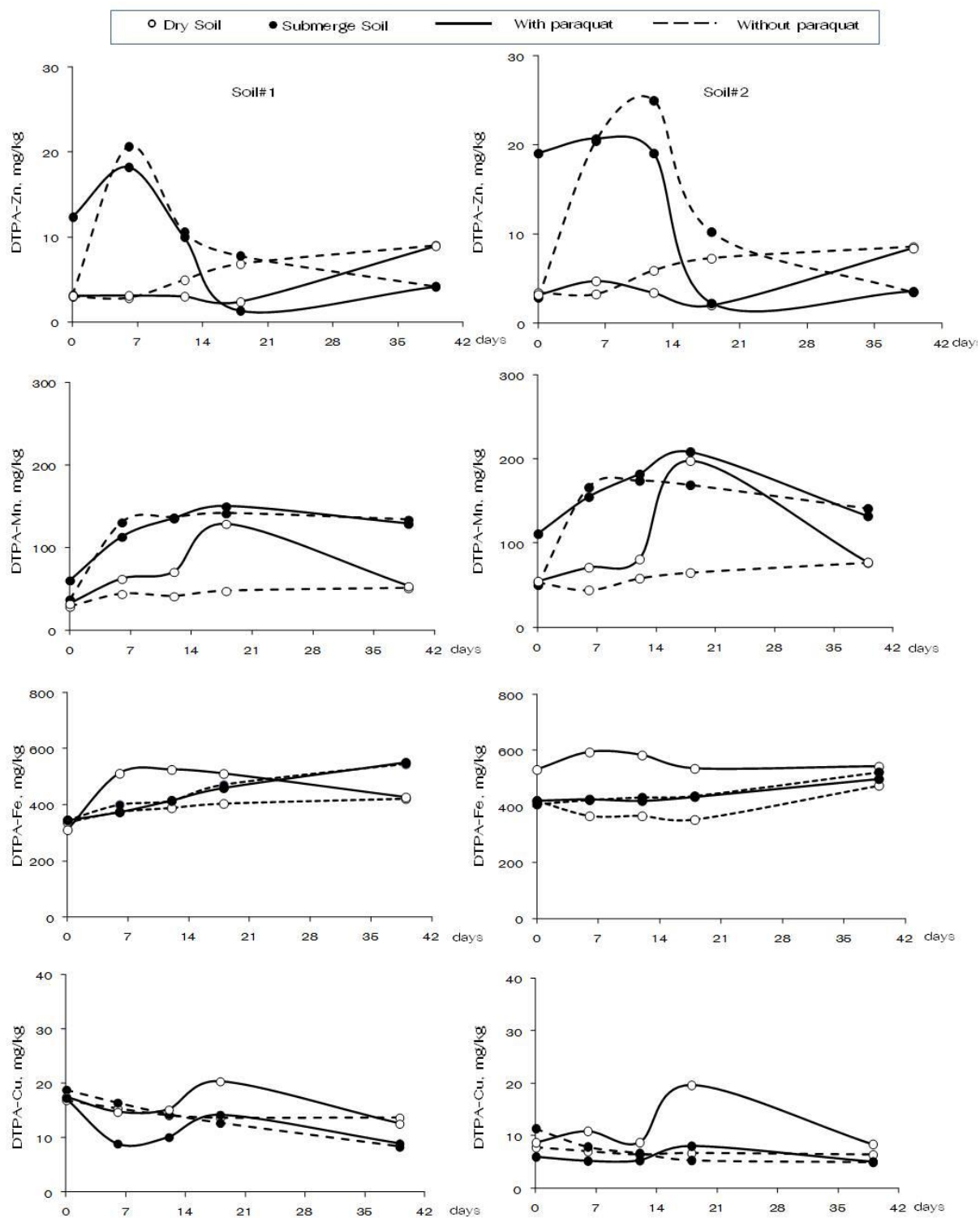
การใส่สารพาราควอทลงในดินที่ทำการทดลองในอัตราห้าเท่าของอัตราแนะนำมีผลต่อปริมาณ DTPA-Mn, DTPA-Fe, DTPA-Zn และ DTPA-Cu แตกต่างกันไป คือ ในดินไม่มีน้ำท่วมขังการมีสารพาราควอทมีผลทำให้ปริมาณ DTPA-Mn เพิ่มขึ้นสูงกว่าดินที่ไม่มีสารพาราควอทในวันที่ 6, 12, 20 สำหรับดิน Soil#1 และในวันที่ 12 และ 20 ในดิน Soil#2 การมีสารพาราควอททำให้ปริมาณ DTPA-Fe ของดินเพิ่มสูงขึ้นกว่าดินที่ไม่มีสารพาราควอทในวันที่ 6, 12, 20 ในดิน Soil#1 และ ในดิน 0, 6, 12 และ 20 ในดิน Soil#2 และทำให้ปริมาณ DTPA-Cu เพิ่มขึ้นในวันที่ 20 ในตัวอย่างดินทั้งสองชนิด ส่วนปริมาณ DTPA-Zn ในดินที่มีและไม่มีพาราควอทมีความใกล้เคียงกันในวันที่ 0, 12, และ 20 ดินที่มีพาราควอทมีปริมาณ DTPA-Zn สูงกว่าดินที่ไม่มีพาราควอทในวันที่ 20 สำหรับดินที่มีน้ำท่วมขังการใส่สารพาราควอทลงในดินไม่มีผลต่อ DTPA-Mn, Fe Cu แต่มีผลทำให้ DTPA-Zn ในดินลดลงในวันที่ 20

ตารางที่ 4.12 ปริมาณจุลธาตุในดินที่สกัดโดย DTPA ในตัวอย่างดิน Soil#1 ที่มีสภาพน้ำ ตาม
ระยะเวลาการทดลอง

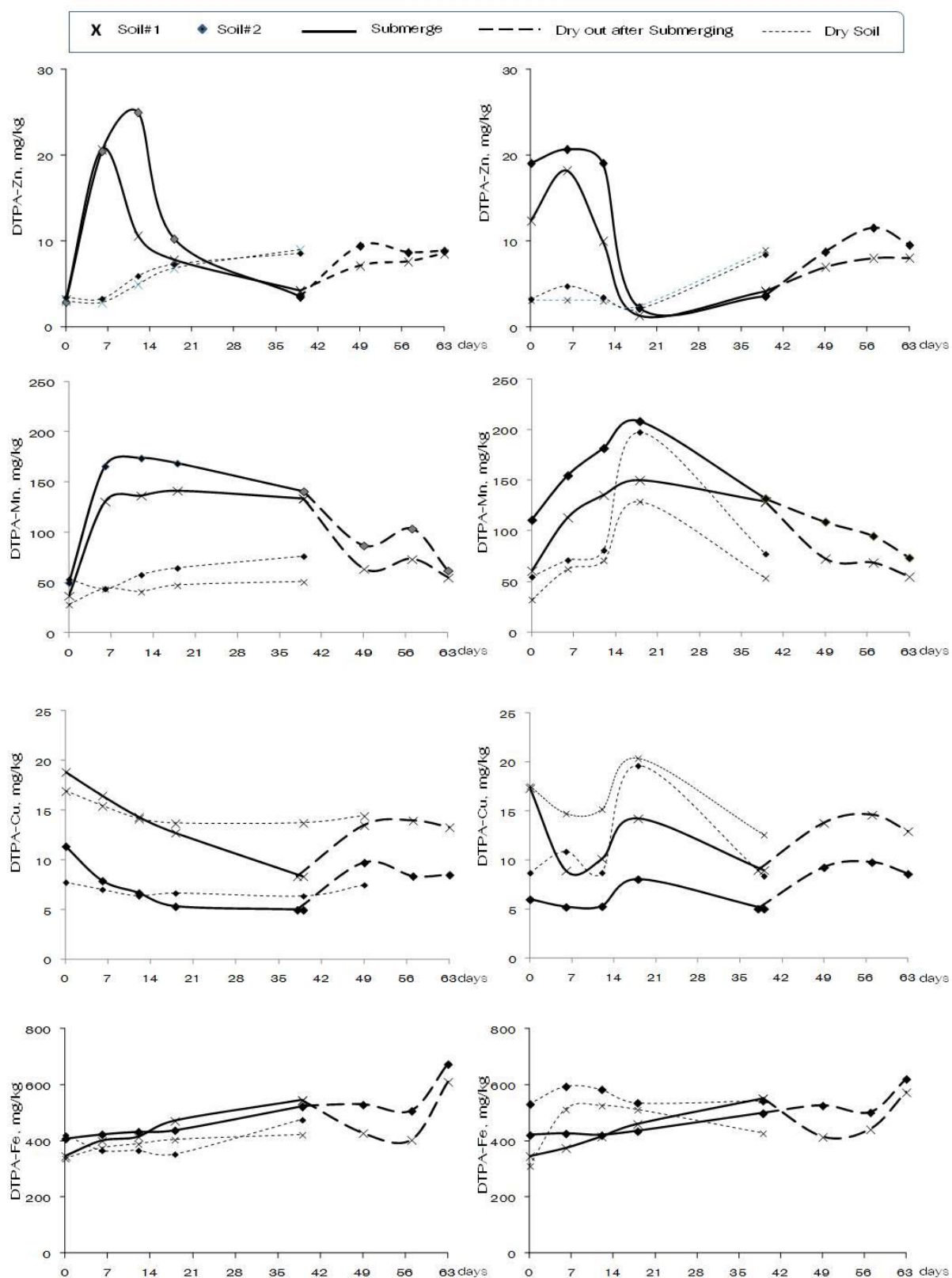
Day	Without paraquat			With paraquat			
	Dry	Submerge	Submerge, Drying	Dry	Dry then Submerg	Submerge	Submerge Drying,
DTPA-Mn extraction in soil, mg/kg							
0	28.34	37.15		31.78		60.32	
6	43.84	130.67		62.10		113.12	
12	41.02	136.71		70.60		135.37	
20	47.44	141.61		65.42		150.09	
40	50.88	133.90	133.90	53.26	98.81	128.89	128.89
50	51.15		63.82	55.27	143.59		72.43
60	73.65		73.51	66.17	165.86		68.46
65			55.12		161.37		54.55
DTPA-Zn extraction in soil, mg/kg							
0	2.98	3.17		3.08		12.35	
6	2.83	20.65		3.11		18.21	
12	4.94	10.60		3.01		10.00	
20	6.83	7.80		2.38		1.34	
40	9.00	4.20		8.95	7.62	4.15	
50	9.67		7.11	9.50	7.50		6.97
60	11.47		7.59	10.65	5.02		8.01
65			8.52		4.84		8.04
DTPA-Fe extraction in soil, mg/kg							
0	336.57	345.31		310.39		345.48	
6	407.71	400.08		511.27		374.16	
12	388.52	413.52		524.85		415.21	
20	403.84	458.74		510.55		459.75	
40	421.28	544.38		426.60	307.41	550.73	
50	263.79		427.29	259.60	336.22		413.63
60	445.33		403.30	426.60	399.76		440.67
65			609.86		417.94		572.34
DTPA-Cu extraction in soil, mg/kg							
0	16.92	18.85		17.54		17.34	
6	15.41	16.36		14.75		8.94	
12	14.14	14.50		15.18		10.12	
20	13.68	12.73		20.38		14.24	
40	13.69	8.35		12.59	10.45	8.98	
50	14.42		13.48	16.00	14.44		13.78
60	15.99		13.96	13.48	14.07		14.61
65			13.29		12.68		12.94

ตารางที่ 4.13 ปริมาณจุลธาตุในดินที่สกัดโดย DTPA ในตัวอย่างดิน Soil#2 ที่มีสภาพน้ำ ตาม
ระยะเวลาการทดลอง

Day	Without paraquat			With paraquat			
	Dry	Submerge	Submerge, Drying	Dry	Dry then Submerge	Submerge	Submerge Drying,
DTPA-Mn extraction in soil, mg/kg							
0	53.45	50.16		54.45		110.82	
6	44.11	165.99		70.97		154.73	
12	58.00	173.98		80.74		181.84	
20	64.74	168.85		92.82		208.37	
40	76.46	140.96	140.96	77.17	107.19	131.96	131.96
50	83.87		87.10	77.60	205.47		108.87
60	95.88		103.85	106.34	214.55		94.89
65			62.20		211.07		73.33
DTPA-Zn extraction in soil, mg/kg							
0	3.43	2.90		3.21		19.05	
6	3.28	20.46		4.74		20.68	
12	5.92	24.98		3.44		19.07	
20	7.28	10.25		2.04		2.26	
40	8.56	3.50		8.40	7.92	3.57	
50	10.01		9.43	9.67	9.71		8.73
60	11.06		8.66	11.69	6.23		11.54
65			8.83				9.54
DTPA-Fe extraction in soil, mg/kg							
0	420.27	393.00		531.05		420.51	
6	365.81	410.98		593.59		431.84	
12	365.81	430.43		582.63		419.98	
20	347.94	437.46		535.07		385.01	
40	474.67	509.32		542.42	431.98	498.03	
50	491.40		528.51	542.42	405.92		525.48
60	598.80		506.38	519.04	407.11		500.93
65			672.61		431.11		619.86
DTPA-Cu extraction in soil, mg/kg							
0	7.76	11.38		8.71		6.00	
6	7.01	7.91		10.88		5.22	
12	6.38	6.70		9.50		5.29	
20	6.67	5.33		19.63		8.06	
40	6.38	4.98		8.39	5.35	5.05	
50	7.49		9.73	7.16	10.60		9.27
60	7.25		8.37	6.84	8.46		9.79
65			8.50				8.60



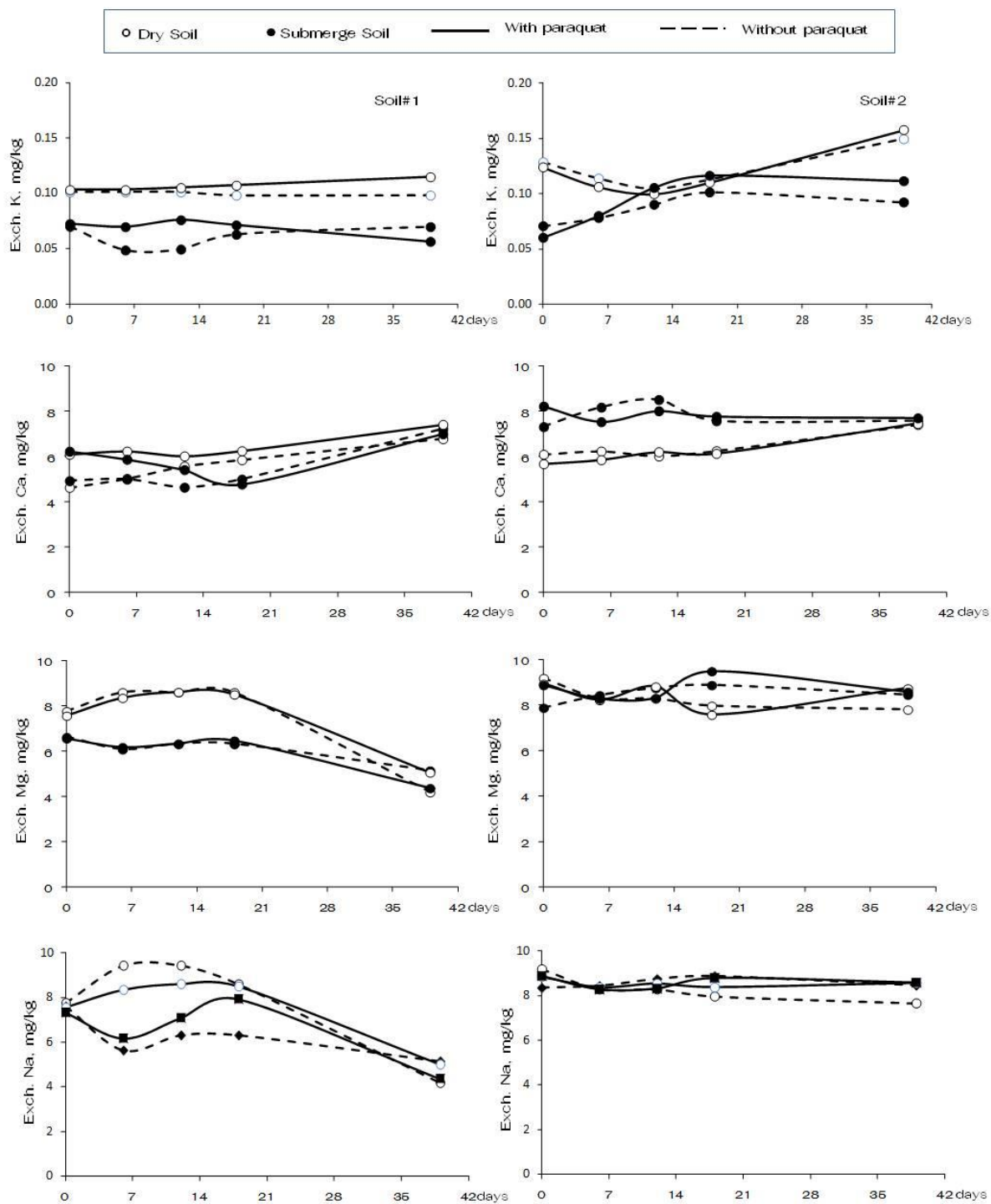
ภาพที่ 4.14 ปริมาณ Zn, Mn, Fe Cu ที่สกัดโดย DTPA ในดินแห้งและดินน้ำขังของตัวอย่างดิน Soil#1 และ Soil#2



ภาพที่ 4.15 ปริมาณจุลธาตุในดินที่มีสารพาราควอตที่มีสภาพน้ำแบบต่างๆ

4.5.6. ปริมาณธาตุต่างที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน

การศึกษาผลของสภาพน้ำท่วมขัง ผลของระยะเวลาการมีน้ำขังและการใส่สารพาราควอต ต่อปริมาณธาตุต่างที่แลกเปลี่ยนได้โดยการวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียมและ โซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exch.K, Exch.Ca, Exch.Mg, Exch.Na) ในตัวอย่างดินที่มีสภาพการขัง น้ำแบบต่างๆระยะเวลาได้ข้อมูลดังแสดงในตารางที่ 4.15 การเปรียบเทียบปริมาณธาตุต่างที่ แลกเปลี่ยนได้ระหว่างดินแห้งกับดินน้ำขังดังข้อมูลในภาพที่ b.b แสดงถึงอิทธิพลของการท่วมขังน้ำ ต่อปริมาณธาตุต่างที่แลกเปลี่ยนได้ต่างๆ คือ ปริมาณ Exch.K ของดินน้ำท่วมขังต่ำกว่าดินแห้งใน วันที่ 0, 6, 12, 20 และ 40 ในดิน Soil#1 และในวันที่ 0, 6 และ 40 ในดิน Soil#2 ปริมาณ Exch.Mg ในดิน Soil#1 ที่มีน้ำท่วมขังมีปริมาณต่ำกว่าดินแห้งในวันที่ 0, 6, 12, 20 และไม่แตกต่างกันในดิน Soil#2 ปริมาณ Exch.Na ในดิน Soil#1 ที่มีน้ำท่วมขังมีปริมาณต่ำกว่าดินแห้งในวันที่ 6,12 และไม่แตกต่างกันในดิน Soil#2 ปริมาณ Exch.Ca ในดิน Soil#1 ที่มีน้ำท่วมขังมีปริมาณต่ำกว่าดินแห้งในวันที่ 12 และวันที่ 0, 6, 12 และ 20 ในดิน Soil#2 การมีสารพาราควอตในดินไม่มี ผลต่อ exchangeable Alkaline



ภาพที่ 4.16 ปริมาณธาตุต่างในดินที่มีและไม่มีสารพาราควอตสภาพน้ำแบบต่างๆ

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษาและวิจารณ์

การศึกษาอิทธิพลของสภาพน้ำท่วมขังและสภาพน้ำท่วมขังสลับกับดินแห้ง ที่มีต่อพฤติกรรมของสารพาราควอทในดินและการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติต่างๆของดินเป็นการศึกษาในตัวอย่างดิน 2 ชนิดที่ได้คัดเลือกมาเพื่อเป็นตัวแทนของพื้นที่ที่ได้รับอิทธิพลของสภาพน้ำท่วมของภาคเหนือตอนล่าง คือ ตัวอย่างดินร่วนปนดินเหนียว (ตัวอย่างดิน Soil#1) และตัวอย่างดินเหนียว (ตัวอย่างดิน Soil#2) ปฏิกริยาของดินตามธรรมชาติทั้งสองชนิดเป็นดินกรดแก่ แต่มีปริมาณดินเหนียว ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ค่าความจุแลกเปลี่ยนไอออนแตกต่างกัน ทำการทดลองในสภาพเรือนทดลอง โดยใช้หน่วยทดลองตัวอย่างดินที่จำลองแบบการมีการปรับสภาพน้ำท่วมขังของดินเปรียบเทียบระหว่าง ดินไม่มีน้ำขังตลอดการทดลอง ดินมีน้ำขังอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 40 วัน และดินที่มีสภาพน้ำขังเป็นเวลา 40 วันแล้วปล่อยให้แห้งไปเป็นเวลา 25 วัน และทำการเก็บตัวอย่างตามระยะเวลาต่างๆมาวิเคราะห์ข้อมูล ประกอบด้วย คุณสมบัติทางไฟฟ้าเคมี คุณสมบัติทางเคมีและธาตุอาหารพืชในดิน ปริมาณสารพาราควอทตกค้างและการดูดซับสารพาราควอทในดิน ได้ผลการศึกษาวิจัยดังต่อไปนี้

ความเข้มข้นสารพาราควอทในดินมีค่าลดลงตามระยะเวลาการทดลอง ปริมาณสารพาราควอทตกค้างในดินที่มีสภาพความชื้นรูปแบบต่างๆไม่แตกต่างกันเมื่อสิ้นสุดวงจรในวันที่ 40 และ 65 แต่เมื่อสิ้นสุดการทดลองปริมาณสารพาราควอทตกค้างในดินทั้งสองชนิดมีแนวโน้มไปทางเดียวกันคือ มีค่าต่ำที่สุดในดินที่ในดินน้ำขังที่ถูกระบายน้ำ และมีค่าสูงที่สุดในดินแห้ง และปริมาณสารพาราควอทตกค้างในดิน Soil#2 มีค่าต่ำกว่าในดิน Soil#1 อธิบายได้ว่าอินทรีย์วัตถุในดินมีผลทำให้มีการสลายตัวของสารพาราควอทมากขึ้นและส่งผลกระทบต่อการสลายตัวในดินน้ำขังมากกว่าดินแห้ง

สภาพการขังน้ำของดินไม่มีผลต่อพฤติกรรมการดูดซับของสารพาราควอท เนื่องจากคุณสมบัติของสารพาราควอทมีการแตกตัวได้อย่างสมบูรณ์ จึงไม่มีลักษณะ “surface acidity” ที่สัมพันธ์กับค่าพีเอชซึ่งพบในสารที่มีลักษณะเป็นกรดอ่อนหรือด่างอ่อน (Swoboda and Kunze, 1968) จึงไม่มีการแตกตัวเพิ่มเติมตามการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในดินน้ำขัง อย่างไรก็ตาม ดินที่ผ่านการท่วมขังน้ำมาเป็นเวลา 40 วันและมีการระบายน้ำออกมีปริมาณการดูดซับลดน้อยลงอาจเนื่องมาจากการแร่เหล็กอิสระที่ผ่านสภาพรีดิวซ์และมีเนื้อที่ผิวเพิ่มขึ้นในสภาพน้ำท่วมขัง (Brickman, 1985) ได้มีพื้นที่ผิวในการดูดซับลดน้อยลงในสภาพออกซิเดชัน

สภาพน้ำท่วมขังมีผลทำให้ดินทั้งสองชนิดเปลี่ยนแปลงสภาพจากออกซิเดชันเป็นสภาพรีดักชันอย่างรวดเร็ว ค่าศักย์รีดอกซ์ของดินทั้งสองชนิดลดต่ำลงถึงศูนย์ ในเวลา 7-10 วัน ค่าศักย์รีดอกซ์ของดินทั้งสองชนิดลดลงจนถึงระดับต่ำสุดซึ่งเป็นระดับรีดิวซ์อย่างรุนแรงในระยะเวลา 34 วัน ซึ่งดินมีค่าศักย์รีดอกซ์ -230 และ -210 mV ในดิน Soil#1 และ Soil#2 ตามลำดับ ตัวอย่างดิน Soil#2 ซึ่งปริมาณอนุภาคดินเหนียวและอินทรีย์วัตถุสูงมีการปรับลดของค่าศักย์รีดอกซ์เกิดช้ากว่าดินที่มีอนุภาคคอลลอยด์ต่ำกว่า เมื่อดินที่ผ่านการขังน้ำเป็นระยะเวลานานถูกปล่อยให้แห้งมีผลทำให้ค่าศักย์รีดอกซ์ของดินปรับระดับเพิ่มขึ้น การปรับค่าศักย์รีดอกซ์มีความสัมพันธ์กับระดับความชื้นที่คงเหลืออยู่ในดินโดยเมื่อดินมีความชื้นคงเหลือ 40% จะเริ่มมีการเพิ่มขึ้นของค่าศักย์รีดอกซ์และเมื่อความชื้นต่ำกว่า 25-30% ค่าศักย์รีดอกซ์ของดินมีค่าสูงกว่า 0 mV เมื่อสิ้นสุดการทดลองความชื้นอยู่ในระดับ 5-9% ดินปรับไปสู่สภาพรีดิวซ์ปานกลางที่มีค่าศักย์รีดอกซ์ในช่วง 100 mV

การใส่สารพาราควอตในดินไม่มีผลทำให้แนวโน้มการลดของค่าศักย์รีดอกซ์ของดินทั้งสองชนิดแตกต่างกัน รวมทั้งไม่มีผลต่อการปรับเปลี่ยนจากสภาพรีดักชันไปเป็นสภาพออกซิเดชันหลังจากหยุดการให้น้ำ โดยค่าศักย์รีดอกซ์ของดินที่มีการใส่สารพาราควอตมีการปรับเพิ่มขึ้นที่ระดับและระยะเวลาใกล้เคียงกันการไม่ใส่สารพาราควอต

สภาพน้ำท่วมขังอย่างต่อเนื่องทำให้ระดับความเป็นกรด-ด่างของดินเปลี่ยนแปลงจากดินกรดแก่ไปเป็นดินที่เป็นกลาง การเปลี่ยนแปลงระดับพีเอชของตัวอย่างดิน Soil#1 เกิดขึ้นได้เร็วกว่า Soil#2 เมื่อสภาพความชื้นของดินเปลี่ยนจากสภาพน้ำขังไปเป็นดินแห้ง ค่าพีเอชของดินจะมีค่าต่ำลง โดยดินที่ปรับเปลี่ยนมาเป็นดินเป็นกลางมีการเปลี่ยนกลับไปเป็นดินกรดแก่ การมีพาราควอตในดินไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่างของดินทั้งสองชนิด โดยค่าพีเอชดินที่มีการใส่สารพาราควอตมีการปรับเพิ่มขึ้นที่ระดับและระยะเวลาใกล้เคียงกันการไม่ใส่สารพาราควอต

สภาพน้ำท่วมขังมีผลต่อปริมาณไนโตรเจนในดิน โดยทำให้ปริมาณไนเตรทลดลงอย่างชัดเจนในดินทั้งสองชนิดทั้งดินที่มีการท่วมขังตั้งแต่เริ่มต้นการทดลองและการท่วมขังหลังจากใส่สารพาราควอตไปแล้วเป็นระยะเวลาหนึ่ง เนื่องจากไนเตรทในดินจะถูกรีดิวซ์ไปเป็น N_2 และ NH_4 โดย Reddy and DeLaune (2008) อธิบายถึงกลไกการเกิดปฏิกิริยารีดักชันสองกลไก คือ การใช้ไนเตรทเป็นตัวรีดิวซ์ตัวแรกหลังจากดินขาดออกซิเจนซึ่งทำให้ไนเตรทถูกรีดิวซ์ไปเป็นก๊าซไนโตรเจน ในช่วงเริ่มต้นโดยปฏิกิริยา denitrification ที่ช่วงค่าศักย์รีดอกซ์ 200-300 mV และ ปฏิกิริยาการรีดิวซ์ไนเตรทเป็นแอมโมเนียม (dissimilatory nitrate reduction to ammonium, DNRA) ซึ่งเกิดในสภาพที่มีค่าศักย์รีดอกซ์ต่ำกว่าค่า 0 mV การลดลงของปริมาณไนเตรทมีความสัมพันธ์กับระยะเวลาการขังน้ำ โดยปริมาณไนเตรทจะลดต่ำลงเรื่อยๆเมื่อระยะเวลาขังน้ำเพิ่มขึ้นและดินมีสภาพรีดักชันเพิ่มขึ้นจนคงที่เมื่อค่าศักย์รีดอกซ์ถึงจุดต่ำสุดในวันที่ 40 เมื่อดินแห้งลงปริมาณไนเตรทจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนมีค่าใกล้เคียงกับดินเริ่มต้น แสดงให้เห็นว่าไนเตรทที่ถูกรีดิวซ์ส่วนใหญ่ไม่สูญหายไปในรูปแบบก๊าซเนื่องจากการรีดิวซ์เป็นแอมโมเนียม ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณแอมโมเนียมที่สูงขึ้นเมื่อดินน้ำขัง เป็นการยืนยันได้ว่าปฏิกิริยารีดักชันของไนเตรทไปเป็นแอมโมเนียมสามารถเกิดขึ้นได้ตั้งแต่ช่วงแรกที่มีศักย์รีดอกซ์ในช่วง 0 mV ลงไป

การใส่สารพาราควอตในดินมีผลต่อปริมาณไนเตรทในดิน ทำให้ปริมาณไนเตรทในดินลดลงอย่างชัดเจนในตัวอย่างดิน Soil#2 และมีแนวโน้มลดลงในตัวอย่างดิน Soil#1 อธิบายได้ว่า อิทธิพลที่สำคัญของการมีสารพาราควอตในดินอาจเป็นการยับยั้งกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่ต่างๆในดินมากกว่าเป็นอิทธิพลของสารผลลัพท์ที่ได้จากการแตกตัวหรือหลายตัวของสารพาราควอต

สภาพการท่วมขังน้ำมีผลต่อพฤติกรรมของจุลธาตุต่างๆดิน ดินมีน้ำขังทำให้ปริมาณแมงกานีส สังกะสีและเหล็กที่เป็นประโยชน์เพิ่มขึ้นในระยะแรกและลดลงเมื่อระยะเวลาน้ำท่วมขังยาวนานขึ้น การเปลี่ยนแปลงความเป็นประโยชน์ของจุลธาตุแต่ละชนิดในดินมีระยะเวลาแตกต่างกันขึ้นกับความสัมพันธ์ของค่าศักย์รีดอกซ์และพีเอชดินตาม Eh-pH stability diagram ของจุลธาตุแต่ละชนิด (Reddy and DeLaune, 2008) โดยช่วงแรกของการขังน้ำปริมาณธาตุแมงกานีสและสังกะสีที่สกัดได้มีค่าสูงขึ้น เนื่องจากธาตุแมงกานีสและสังกะสีอยู่ในสภาพรีดิวซ์ที่มีการละลายได้มากขึ้น เมื่อดินมีค่าศักย์รีดอกซ์ลดลงและค่าพีเอชป่วนสูงขึ้นเข้าใกล้ความเป็นกลางปริมาณสังกะสีและแมงกานีสที่เป็นประโยชน์ได้ลดน้อยลงเนื่องจากการตกตะกอนเป็น $MnCO_3$ และ ZnS ระยะเวลาการเปลี่ยนแปลงปริมาณจุลธาตุที่เป็นประโยชน์ได้มีความแตกต่างระหว่างชนิดดินและการใส่สารพาราควอต โดยสารพาราควอตมีผลทำให้การตกตะกอนของสังกะสีในดินที่มีปริมาณดินเหนียวและอินทรีย์วัตถุสูงเกิดเร็วขึ้นคือมีค่าลดลงในวันที่ 20

สำหรับธาตุเหล็กและทองแดง ในสภาพน้ำท่วมขังการธาตุเหล็กและทองแดงที่ถูกกรดกัดกร่อนได้ในหลายรูปแบบในช่วงที่มีสภาพกรดเพียงเล็กน้อย ได้แก่ FeCO_3 FeS Cu_2S CuS เป็นต้น ปริมาณที่สกัดได้ในดินน้ำขังจึงไม่แตกต่างจากในดินแห้ง ส่วนในดินที่มีสารพาราควอต ปริมาณเหล็กในดินแห้งมีค่าสูงกว่าในดินน้ำท่วมขัง

การปรับเปลี่ยนสภาพความชื้นดินจากสภาพน้ำขังไปเป็นดินแห้งมีผลต่อปริมาณธาตุต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ทำให้ปริมาณแมงกานีสลดลงเนื่องจากสังกะสีถูกออกซิไดซ์ไปเป็นรูปที่ไม่ละลาย ส่วนปริมาณสังกะสี เหล็กและทองแดงมีค่ามากขึ้นเมื่อเทียบกับดินน้ำขังเนื่องจากการละลายของตะกอน ZnS Fe_2CO_3 FeCO_3 FeS_2 FeCO_3 CuS Cu_2S ในสภาพดินที่เป็นกรดเนื่องจากการลดลงของค่าพีเอชเมื่อค่าศักย์รีดอกซ์เพิ่มขึ้น

สารพาราควอตมีผลทำให้ปริมาณแมงกานีส เหล็กและทองแดงที่เป็นประโยชน์เพิ่มสูงกว่าดินที่ไม่มีสารพาราควอต แต่ไม่มีผลต่อสังกะสี ในดินที่มีน้ำท่วมขัง ในวันที่ 6, 12, 20 สำหรับดิน Soil#1 และในวันที่ 12 และ 20 ในดิน Soil#2 การมีสารพาราควอตทำให้ปริมาณ DTPA-Fe ของดินเพิ่มสูงขึ้นกว่าดินที่ไม่มีสารพาราควอตในวันที่ 6, 12, 20 ในดิน Soil#1 และ ในดิน 0, 6, 12 และ 20 ในดิน Soil#2 และทำให้ปริมาณ DTPA-Cu เพิ่มขึ้นในวันที่ 20 ในตัวอย่างดินทั้งสองชนิด ส่วนปริมาณ DTPA-Zn ในดินที่มีและไม่มีพาราควอตมีความใกล้เคียงกันในวันที่ 0, 12, และ 20 ดินที่มีพาราควอตมีปริมาณ DTPA-Zn สูงกว่าดินที่ไม่มีพาราควอตในวันที่ 20 สำหรับดินที่มีน้ำท่วมขัง การใส่สารพาราควอตลงในดินไม่มีผลต่อ DTPA-Mn, Fe Cu แต่มีผลทำให้ DTPA-Zn ในดินลดลงในวันที่ 20

การใส่สารพาราควอตลงในดินที่ไม่มีน้ำท่วมขังมีผลต่อปริมาณแมงกานีส เหล็ก ทองแดงที่เป็นประโยชน์โดยทำให้มีค่าสูงขึ้นในระยะเวลาแตกต่างกัน การใส่สารพาราควอตในดินที่มีน้ำท่วมขังไม่มีผลต่อแมงกานีส เหล็กและทองแดงที่เป็นประโยชน์แต่มีผลทำให้ปริมาณเหล็กที่เป็นประโยชน์ลดลงในวันที่ 20

สภาพการมีน้ำท่วมขังมีผลต่อปริมาณธาตุต่างๆ ที่แลกเปลี่ยนได้โดยทำให้ธาตุโพแทสเซียม แมกนีเซียม โซเดียมและแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ลดลงในระยะเวลาต่างๆ การมีสารพาราควอตในดินไม่มีผลต่อธาตุต่างๆ ที่แลกเปลี่ยนได้

เอกสารอ้างอิง

- กองวัดภูมิพิษการเกษตร. 2543ก. รายงานประจำปี. กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ. น.43-44.
- กองวัดภูมิพิษการเกษตร. 2543ข. การประชุมวิชาการประจำปีกรมวิชาการเกษตรในงาน Agro-expo 2000. 8-12 พฤษภาคม 2543. ณ ศูนย์ประชุมอิมแพคเมืองทองธานี, นนทบุรี. น. 42.
- สำนักงานควบคุมพืชและวัตถุการเกษตร. 2547. รายงานการนำเข้าสารกำจัดศัตรูพืชประจำปี 2547. กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ. (file)
- สำนักงานควบคุมพืชและวัตถุการเกษตร. 2548. รายงานการนำเข้าสารกำจัดศัตรูพืชประจำปี 2548. กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ. (file)
- Ainsworth, C. C., Zachara, J. M. and Schmidt, R. L. 1987. Quinoline Sorption on Na-montmorillonite: Contributions of the Protonated and Neutral Species. *Clays Clay Miner.* 35: 121-128.
- Amondham, W. 2006. Paraquat Adsorption and Distribution in Soils of Yom River Basin. Doctoral Dissertation. Asian Institute of Technology, Phathumthani. Thailand.
- Bandara, J. M. R.S. and Kearney, P. C. Paraquat Residues in Lowland Rice Filed., Department of Agric. Biology, University of Peradeniya, Sri Lanka.
- Brinkman, R., 1985. Mineralogy and surface properties of the clay fraction affecting soil behaviour and management. *Soil Physics and Rice*, International Rice Research Institute, Laguna, Philippines pp. 161-182.
- Brownawell, B. J., Chen, H., Collier, J. M. and Westall, J. C. 1990. Adsorption of Organic Cations to Natural Materials. *Environ, Sci, Technol.* 24(8):1234-1241.
- Bullock, D. J. W. 1980. Plant Protection Division Residue analytical Method No. 14: The Determination of Residues of Paraquat in Crops. ICI plant Protection Division.
- Burns, R. G. and Audus, L. J. 1970. Distribution and Breakdown of Paraquat in Soil. *Weed Res.* 10:49-58.
- Burns, R. G. and Audus, L. J. 1970. Distribution and Breakdown of Paraquat in Soil. *Weed Res.* 10:49-58.
- Camper, N.D., Stralka, K., Skipper, H.D. (1980) Aerobic and anaerobic degradation of profluralin and trifluralin. *J Environ Sci Health B.* 1980 ;15 (5):457-73 7430552
- Chapman, H. D. 1965. Cation Exchange Capacity. *In*. Black, C. A., Evan, D. D., Ensminger, L. E., White, J. L., Clark, F. E. and Dinauer, R. C. (eds.) *Method of Soil Analysis, Part 2: Chemical and Microbiological Properties*. American Society of Agronomy, Inc., Publisher. Madison, Wisconsin, USA. p.891-901.
- Cresser, M. and Edwards, T. 1993. *Soil Chemistry and Its Application*. Cambridge University Press, Cambridge. 192p.
- Gonzalez-Pradas, E., Sanchez, M. V., Rey-Bueno, F. D., Urena-Amate, M. D. and Fernandez-Perez, M. 2000. Removal of Paraquat and Atrazine from Water by Montmorillonite-(Ce or Zr) Phosphate Cross-linked Compounds. *Pest Management Science.* 56: 565-570.

- Gustafson, D. I. 1993. Pesticides in Drinking Water, Van Nostrand Reinhold, New York, USA. p. 241.
- Kennedy, S. H. 1986. Plant Protection Division Residue Analytical Method No.2B: The Determination of Residues of Paraquat in Soil, A Spectrophotometer method. ICI plant Protection Division.
- Khan, S. U. 1980. Pesticides in Soil Environment. Elsevier Scientific Publishing Company, New York. 240 p.
- Konopka, A. 1994. Anaerobic degradation of chloroacetanilide herbicides. *Appl Microbiol Biotechnol*, 42:440-445
- Lanyon, L. E. and Heald, W. R. Magnesium, Calcium, Strontium and Barium. *In* Page, A. I., Miller, R. H. and Keeney, D. R. (eds.) 1982. *Method of Soil Analysis, Part 2: Chemical and Microbiological Properties*. 2ed. American. Society of Agronomy, Inc., Publisher. Madison, Wisconsin, USA. p.247-262.
- OECD. 1993. OECD Guideline for testing of Chemicals. 106. OECD Publication Service, France.
- Olsen, R. V. and Ellis, R. *In*. Black, C. A., Evan, D. D., Ensminger, L. E., White, J. L., Clark, F. E. and Dinauer, R. C. (eds.) *Method of Soil Analysis, Part 2: Chemical and Microbiological Properties*. American. Society of Agronomy, Inc., Publisher. Madison, Wisconsin, USA. p.301-312.
- Ranst, E. V. and Conick, F. D. 1996. Evaluation of ferrollysis in soil formation. *European Journal of Soil Science*, 53(4): 513-520.
- Ramesh Reddy, K. R and R. D. DeLaune. 2008. *Biogeochemistry of wetlands: science and applications*. CRC Press. 780 p.
- Rytwo, G. Nir, S. and Margulies. 1996. Adsorption and Interaction of Diquat and Paraquat with Montmorillonite. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 601-610.
- Schaefer, C.E.R., Ker, J. C. and Gilkes, R. J. 2000. Pedogenesis on the uplands of the Diamantina Plateau, Minas Gerais, Brazil: a chemical and micropedological study. *Geoderma*, 107:243-269.
- Sojo, L. E., Gamble, D. S., Langford, C. H. and Zienius, R. H. 1989. The Reactions of Paraquat and Divalent Metal Ions with Humic Acid: Factors Influencing Stoichiometry. *J. Environ. Sci. Health. B24(6)*: 619-646.
- Smith, E. A. and Mayfield, C. I. 1978. Paraquat: Determination, Degradation, and Mobility in Soil. *Water, Air, and Soil Pollution* 9:439-452.
- Swoboda, A. R., and Kunze, G. W. 1968. Reactivity of Montmorillonite Surfaces with Weak Organic Bases. *Soil. Sci. Soc. Amer.* 32: 806-811.
- Thomas, V.M., and Holt, C.L. (1980) The Degradation of [14C]Molinate in Soil under Flooded and Nonflooded conditions. *J Environ Sci Health B15*: 475-484.
- Weber, J. B. 1993. Ionization and Sorption of Fomesafen and Atrazine by Soils and Soil Constituents. *Pestic. Sci.* 39: 31-38.

- Graham, D. W., Miley, M. K., Denoyelles, F., Smith², V. H., Thurman, E. M. And Carter, R. 2000. Alachlor Transformation Patterns in Aquatic Field Mesocosms under Variable Oxygen and Nutrient Conditions, *Wat. Res.* 34(16) :4054±4062
- Walkley, A. and Black, I. A. 1934. An Examination of the Degtijereff Method for Determination of Soil Organic Matter and Proposed Modification of the Chromic Acid Titration Methods. *Soil Sci.* 37: 29-38
- Zuberer, D. A. 1994. Recovery and Enumeration of Viable Bacteria, Ch8. In Weaver, R. W. *Method of Soil Analysis, Part A. Microbiological and Biochemical Properties.* Soil Science Society of America, Inc., Wisconsin. pp.119-144.

ภาคผนวก

ตารางผนวกที่ 1 ค่าศักย์รีดอกซ์ อุณหภูมิและพีเอชของดิน Soil#1 ที่วัดได้จาก
Combined Pt electrode ในสภาพการทดลอง

Day	Without paraquat						With Paraquat					
	Rep#1			Rep#2			Rep#1			Rep#2		
	Temp	pH	Redox	Temp	pH	Redox	Temp	pH	Redox	Temp	pH	Redox
0	32.7	5.31	275	32.9	5.44	244	33.3	5.41	249	32.5	5.3	238
1	36.9	5.39	133	37.1	5.53	94	37.6	5.49	116	37.3	5.44	85
4	27.7	5.53	119	28.2	5.58	43	28	5.61	79	28.6	5.68	84
5	25.9	5.66	78	25.8	5.8	52	26	5.9	64	28	5.9	59
6	26.3	5.78	50	26.5	5.94	24	26.7	5.84	33	27.1	5.99	0
7	31.4	5.82	4	31.9	5.92	-36	32.2	5.85	7	32.8	5.92	-15
8	31.9	6.02	-10	32.1	6.1	-21	31.7	5.99	-10	33.1	6.14	-22
9	35.9	6.01	-28	36.3	6.1	-58	36.8	5.99	-74	38.2	6.02	-63
10	36.3	6.09	-70	36.2	6.16	-78	36.5	6.13	-82	37.3	6.18	-81
11	32.6	6.16	-80	31.9	6.33	-96	32.5	6.25	-90	34	6.26	-103
12	31.1	6.3	-95	31.3	6.35	-102	31.6	6.26	-109	32.3	6.41	-115
13	36.9	6.4	-98	36.8	6.34	-126	37.1	6.34	-135	37.9	6.38	-127
14	30	6.42	-96	30.5	6.51	-122	30.2	6.46	-131	31.3	6.44	-146
15	32.2	6.49	-131	33.2	6.47	-142	32.9	6.49	-143	34	6.48	-158
16	30.7	6.49	-125	31.9	6.57	-160	32.2	6.51	-159	33.1	6.53	-164
17	32.2	6.49	-134	32.9	6.59	-162	32.9	6.5	-148	34.1	6.52	-170
18	35.2	6.5	-162	35.3	6.54	-189	36	6.57	-201	36.4	6.56	-205
19	39.6	6.47	-175	39.5	6.49	-189	40.7	6.49	-195	42.7	6.44	-207
20	35.7	6.59	-168	35.7	6.6	-183	36.2	6.68	-176	37.4	6.58	-191
21	36.1	6.59	-160	37.7	6.58	-186	37.9	6.71	-181	39	6.66	-210
22	34.6	6.7	-173	36.9	6.67	-204	37.2	6.66	-210	38.5	6.63	-222
23	35.3	6.66	-172	37.8	6.67	-190	37.2	6.56	-196	37.8	6.64	-217
24	31.8	6.65	-163	32.6	6.75	-192	32.9	6.68	-199	33.7	6.72	-212
25	29.4	6.74	-205	29.9	6.82	-204	31.2	6.74	-219	32	6.86	-226
26	34.8	6.74	-207	35	6.75	-215	35.1	6.84	-221	36.6	6.73	-224
27	31.9	6.74	-172	30.5	6.82	-205	34.4	6.79	-218	34.3	6.74	-231
28	37.3	6.65	-190	38.3	6.69	-215	39.8	6.67	-222	40.3	6.65	-224
29	40.5	6.65	-203	39.9	6.67	-220	42	6.7	-226	43.2	6.57	-240
30	37.3	6.76	-192	36.7	6.76	-220	38.7	6.73	-225	39.8	6.59	-231
31	37.3	6.69	-199	39.3	6.67	-215	40.6	6.71	-226	41.5	6.65	-232
32	31.5	6.82	-208	30.3	6.82	-224	32.3	6.86	-234	33.3	6.84	-241
33	35.4	6.81	-222	36.9	6.8	-257	38.3	6.81	-243	40.9	6.75	-254
34	34.6	6.86	-214	36.1	6.84	-229	36.7	6.83	-228	37.6	6.8	-230
35	29.7	6.9	-202	29.8	6.94	-215	29.9	6.9	-217	30.3	6.88	-226
36	37.5	6.74	-218	38.2	6.75	-230	39.1	6.77	-235	40.2	6.74	-245
37	37.9	6.74	-215	38.5	6.76	-233	38.5	6.75	-235	40	6.75	-246
38	32	6.81	-214	33	6.79	-231	32.9	6.77	-235	33.3	6.8	-245
39	34.6	6.74	-224	35.5	6.71	-222	35.4	6.69	-244	36.5	6.73	-244

ตารางผนวกที่ 2 ค่าศักย์รีดอกซ์ อุณหภูมิและพีเอชของดิน Soil#2 ที่วัดได้จาก
Combined Pt electrode ในสภาพการทดลอง

Day	Without paraquat						With paraquat					
	Rep#1			Rep#2			Rep#1			Rep#2		
	Temp	pH	Redox	Temp	pH	Redox	Temp	pH	Redox	Temp	pH	Redox
0	32.8	5.39	228	34	5.13	265	31.5	5.43	237	32	5.29	241
1	36.7	5.63	127	37.8	5.38	164	34.3	5.41	154	35.2	5.37	195
4	28.2	5.72	105	28	5.57	151	28	5.49	149	28.2	5.44	187
5	25.8	5.9	68	25.9	5.59	112	25.5	5.51	121	25.7	5.44	146
6	26.4	5.93	32	26.5	5.73	91	26.5	5.63	88	26.6	5.62	88
7	31.7	5.93	21	26.5	5.63	88	30.5	5.62	90	30.9	5.68	90
8	31.5	6.1	2	32.2	5.79	51	30.4	5.8	66	30.7	5.74	79
9	35.6	6.08	-46	35.8	5.87	10	33.9	5.87	14	34.5	5.85	14
10	36.1	6.12	-60	36.7	5.94	-13	34.7	5.93	-22	34.6	5.88	-9
11	32.1	6.21	-68	31.5	6.08	-39	31.4	6.03	-37	32.1	6.01	-27
12	31	6.24	-68	31.4	6.1	-40	30.7	6.11	-32	31.6	6.08	-26
13	36.8	6.29	-90	38.5	6.1	-58	34.4	6.17	-50	35	6.14	-47
14	30.1	6.38	-89	30.3	6.25	-64	29.2	6.26	-84	30.5	6.22	-89
15	33	6.46	-103	33.5	6.3	-75	31.6	6.28	-87	32.4	6.29	-88
16	31.3	6.48	-139	33	6.34	-114	30	6.33	-120	30.8	6.28	-95
17	33.9	6.45	-127	34	6.36	-114	31.6	6.39	-113	33.7	6.36	-110
18	35.2	6.41	-162	35.6	6.31	-140	33.8	6.45	-153	37	6.37	-155
19	39.7	6.38	-164	40.1	6.32	-148	37.9	6.35	-144	40	6.38	-158
20	35.8	6.52	-152	35.8	6.49	-137	33.6	6.52	-137	34.2	6.51	-140
21	37.5	6.55	-167	39.1	6.5	-144	34.7	6.53	-154	35.4	6.53	-152
22	36.4	6.62	-190	37.6	6.5	-179	33.8	6.6	-196	34.1	6.59	-189
23	37.3	6.6	-191	40.1	6.58	-156	34	6.66	-191	33.9	6.62	-181
24	32.7	6.69	-175	32.8	6.61	-171	31.8	6.65	-179	32	6.65	-171
25	30	6.77	-187	30.5	6.69	-176	27.4	6.73	-178	29.8	6.75	-172
26	34.8	6.76	-182	35.6	6.64	-181	33.7	6.67	-183	33.9	6.65	-180
27	30.1	6.72	-188	30.5	6.71	-184	31.3	6.74	-196	34	6.72	-193
28	37	6.6	-188	39.9	6.56	-182	34.7	6.66	-187	35.3	6.66	-185
29	41.4	6.69	-194	51.5	6.57	-185	38.9	6.61	-195	39.2	6.64	-191
30	36.8	6.7	-211	38.5	6.64	-183	34.7	6.66	-200	35.2	6.73	-202
31	39.1	6.65	-199	43.4	6.62	-199	36.2	6.66	-206	36.6	6.66	-190
32	30.5	6.85	-212	31.4	6.81	-209	30.2	6.78	-210	30.7	6.82	-202
33	36.4	6.77	-238	38.2	6.92	-224	37.1	6.74	-210	35.9	6.76	-210
34	35.5	6.74	-207	37.2	6.73	-205	33.6	6.72	-197	34	6.75	-197
35	29.9	6.8	-201	30.3	6.8	-187	28.6	6.82	-194	29.1	6.86	-194
36	38.2	6.83	-210	38.9	6.65	-207	34.7	6.68	-209	36.7	6.72	-199
37	39.4	6.7	-190	39.5	6.68	-188	36.6	6.68	-227	36.9	6.7	-218
38	32.7	6.75	-209	33.9	6.74	-205	31.6	6.7	-223	31.6	6.76	-219
39	34.8	6.65	-205	37.1	6.69	-206	33	6.63	-215	33.7	6.74	-222

ตารางผนวกที่ 3 ปริมาณสารพาราควอตที่วิเคราะห์ได้จากตัวอย่างดิน Soil#1, mg/kg

Day	Dry			Dry to Submerge			Submerge			Submerge, dry out		
	#1	#2	average	#1	#2	average	#1	#2	average	#1	#2	average
0	3.35	4.44	3.89				3.35	4.44	3.89			
6	3.00	3.00	3.00				3.35	3.35	3.35			
12	2.86	2.96	2.91				3.02	3.32	3.17			
40	2.95	2.77	2.86ns1	2.51	2.85	2.68ns1	3.01	2.61	2.81ns1	3.01	2.61	2.81ns1
60	2.70	2.32	2.51	2.93	2.58	2.75				2.25	2.25	2.25
65	2.32	2.32	2.32a2	2.01	2.35	2.18ab2				2.15	2.2	2.17b2

ตารางผนวกที่ 4 ปริมาณสารพาราควอตที่วิเคราะห์ได้จากตัวอย่างดิน Soil#2, mg/kg

Day	Dry			Dry to Submerge			Submerge			Submerge, dry out		
	#1	#2	average	#1	#2	average	#1	#2	average	#1	#2	average
0	3.89	3.35	3.62				3.89	3.35	3.62			
6	3.32	2.87	3.09				2.79	2.6	2.69			
12	2	3.02	2.51				2.52	2.65	2.59			
40	2.25	2.5	2.37	2.43	2.25	2.34	2.23	2.36	2.29	2.29	2.21	2.25
60	2.25	1.76	2	2.01	1.46	1.74				1.3	1.85	1.57
65	1.54	1.76	1.65	1.48	1.41	1.45				1.3	1.41	1.35

ตารางผนวกที่ 5 ปริมาณไนเตรทในดิน Soil#1 และ Soil#2, mg/kg

Day	Dry				Dry to Submerge				Submerge				Submerge and Dry out			
	#1	#2	#3	mean	#1	#2	#3	mean	#1	#2	#3	mean	#1	#2	#3	mean
Soil#1 without paraquat																
0	0.280	0.210		0.210						0.220	0.200	0.210				
6	0.140	0.140	0.350	0.210					0.105	0.150	0.190	0.150				
12		0.250	0.210	0.230						0.149	0.150	0.150				
20		0.250	0.210	0.230					0.228	0.110	0.110	0.149				
40	0.210	0.210		0.210						0.110	0.110	0.011				
50	0.210	0.280	0.210	0.233									0.306	0.579		0.443
60	0.210		0.280	0.280									0.490	0.350	0.560	0.467
Soil#1 with paraquat																
0	0.210	0.210		0.210						0.210	0.210	0.210				
6	0.350	0.140	0.140	0.210					0.105	0.218		0.162				
12	0.140	0.210	0.210	0.187						0.162	0.114	0.138				
20		0.180	0.180	0.180						0.114		0.114				
40	0.140	0.140		0.140	0.000	0.000					0.114	0.114				
50		0.210	0.210	0.210	0.150	0.190		0.170					0.438	0.423		0.431
60	0.280	0.280	0.280	0.280	0.072	0.125		0.099					0.420	0.350	0.420	0.397
65					0.068	0.068		0.068								
Soil#2 without paraquat																
0	0.350	0.420	0.350	0.373					0.573	0.551	0.140	0.421				
6	0.210	0.420	0.420	0.350					0.242	0.260	0.240	0.242				
12		0.350		0.350					0.200	0.262		0.200				
20			0.370	0.370					0.241	0.119		0.180				
40	0.280	0.420		0.350												
50	0.175	0.560		0.368									0.287	0.284		0.286
60	0.280	0.630		0.455									0.420	0.210	0.420	0.350
Soil#2 with paraquat																
0	0.420	0.280	0.350	0.350					0.408	0.317		0.363				
6	0.350	0.350	0.200	0.300					0.218	0.122		0.170				
12	0.280	0.280		0.280						0.117		0.117				
20		0.280	0.290	0.280						0.110	0.110	0.110				
40	0.280	0.350		0.315	0.000	0.000			0.000	0.000						
50	0.700	0.140	0.350	0.397	0.294	0.301		0.298					0.421	0.379		0.400
60	0.420	0.420	0.560	0.467	0.138	0.144		0.141					0.140	0.210		0.175
65					0.138			0.138								

ตารางผนวกที่ 6 ปริมาณแมงกานีสในดินที่สกัดโดย DTPA ในดินทั้งสองชนิด, mg/kg

	Dry			Dry to Submerge			Submerge			Submerge and Dry out		
	#1	#2	Mean	#1	#2	Mean	#1	#2	Mean	#1	#2	Mean
Soil#1 without paraquat												
0	27.71	28.98	28.34				37.49	36.80	37.15			
6	50.52	37.15	43.84				129.84	131.49	130.67			
12			41.02				135.21	138.21	136.71			
20			47.44				113.11	170.11	141.61			
40	49.04	52.73	50.88				139.61	128.18	133.90			133.90
50	49.16	46.03	51.15							63.75	63.88	63.82
60	75.38	71.92	73.65							77.58	69.43	73.51
65										56.83	53.41	55.12
Soil#1 with paraquat												
	#1	#2	Mean	#1	#2	Mean	#1	#2	Mean	#1	#2	Mean
0	33.25	30.31	31.78				83.38	37.25	60.32			
6	59.59	64.61	62.10				112.58	113.67	113.12			
12	48.74	92.45	70.60				134.51	136.22	135.37			
20	63.82	67.01	65.42				156.05	144.13	150.09			
40	54.19	52.33	53.26	101.34	96.28	98.81	133.85	123.94	128.89			128.89
50	53.70	56.43	55.27	116.38	164.03	143.59				77.96	66.89	72.43
60	65.78	66.56	66.17	161.74	169.98	165.86				65.40	71.53	68.46
65				161.03	161.71	161.37				56.10	53.00	54.55
Soil#2 without paraquat												
	#1	#2	Mean	#1	#2	Mean	#1	#2	Mean	#1	#2	Mean
0	54.52	52.37	53.45				56.66	43.65	50.16			
6	39.30	48.92	44.11				163.37	168.61	165.99			
12	58.21	57.80	58.00				171.62	176.35	173.98			
20	67.99	61.50	64.74				166.08	171.63	168.85			
40	80.80	72.11	76.46				143.62	138.30	140.96	0.00	0.00	140.96
50	83.87	63.47	83.87							83.20	91.01	87.10
60	108.45	83.31	95.88							98.78	108.91	103.85
65										54.55	69.85	62.20
Soil#2 with paraquat												
	#1	#2	Mean	#1	#2	Mean	#1	#2	Mean	#1	#2	Mean
0	56.85	52.06	54.45				118.01	103.63	110.82			
6	63.22	78.73	70.97				146.64	162.82	154.73			
12	78.10	83.38	80.74				182.67	181.00	181.84			
20	93.97	91.67	92.82				206.57	210.18	208.37			
40	80.08	74.25	77.17	104.71	109.67	107.19	135.93	127.99	131.96	0.00	0.00	131.96
50	79.50	62.32	77.60	200.79	207.99	205.47				105.50	112.24	108.87
60	112.55	100.13	106.34	210.21	218.88	214.55				84.38	105.40	94.89
65				205.41	216.73	211.07				70.37	76.29	73.33

ตารางผนวกที่ 7 ปริมาณสังกะสีในดินที่สกัดโดย DTPA ในดินทั้งสองชนิดม mg/kg

	Dry			Dry to Submerge			Submerge			Submerge and Dry out		
	#1	#2	mean	#1	#2	mean	#1	#2	mean	#1	#2	mean
Soil#1 without paraquat												
0	2.98	2.98	2.98				3.15	3.20	3.17			
6	2.80	2.86	2.83				20.17	21.13	20.65			
12	4.88	5.00	4.94				2.90	18.31	10.60			
20	6.86	6.81	6.83				14.18	1.42	7.80			
40	8.86	9.15	9.00				3.78	4.62	4.20			
50	9.69	9.65	9.67							7.40	6.82	7.11
60	11.55	11.39	11.47							7.14	8.04	7.59
65										9.33	7.70	8.52
Soil#1 with paraquat												
0	3.17	2.99	3.08				21.67	3.03	12.35			
6	3.02	3.20	3.11				17.67	18.76	18.21			
12	2.93	3.09	3.01				3.26	16.74	10.00			
20	1.32	3.44	2.38				1.41	1.26	1.34			
40	9.04	8.85	8.95	6.93	8.31	7.62	4.17	4.14	4.15			
50	10.19	8.81	9.50	8.24	6.75	7.50				7.10	6.85	6.97
60	10.40	10.89	10.65	4.73	5.31	5.02				8.17	7.85	8.01
65				4.91	4.77	4.84				8.29	7.79	8.04
Soil#2 without paraquat												
0	3.45	3.41	3.43				3.15	2.65	2.90			
6	3.43	3.12	3.28				20.63	20.29	20.46			
12	5.99	5.84	5.92				19.53	30.42	24.98			
20	7.24	7.32	7.28				17.92	2.59	10.25			
40	8.55	8.57	8.56				3.34	3.65	3.50			
50	10.12	9.91	10.01							9.64	9.22	9.43
60	11.32	10.79	11.06							8.43	8.89	8.66
65										8.05	9.61	8.83
Soil#2 with paraquat												
0	3.22	3.21	3.21				19.40	18.70	19.05			
6	5.22	4.26	4.74				20.40	20.96	20.68			
12	3.43	3.46	3.44				19.76	18.38	19.07			
20	1.99	2.08	2.04				2.19	2.33	2.26			
40	8.57	8.24	8.40	7.80	8.04	7.92	3.59	3.55	3.57			
50	9.72	9.63	9.67	9.55	9.86	9.71				8.99	8.47	8.73
60	11.44	11.95	11.69	6.52	5.93	6.23				12.61	10.46	11.54
65				5.71						9.49	9.58	9.54

ตารางผนวกที่ 8 ปริมาณเหล็กในดินที่สกัดโดย DTPA ในดินทั้งสองชนิด, mg/kg

	Dry			Dry to Submerge			Submerge			Submerge and Dry out		
	#1	#2	mean	#1	#2	mean	#1	#2	mean	#1	#2	mean
Soil#1 without paraquat												
0	339.98	333.17	336.57				346.54	344.08	345.31			
6	511.59	303.84	407.71				394.03	406.13	400.08			
12	423.93	353.12	388.52				411.87	415.16	413.52			
20	402.95	404.72	403.84				494.89	422.58	458.74			
40	420.21	422.34	421.28				546.19	542.58	544.38			
50	279.71	247.87	263.79							424.89	429.70	427.29
60	451.77	438.88	445.33							418.35	388.24	403.30
65										683.71	536.01	609.86
Soil#1 with paraquat												
0	307.05	313.74	310.39				350.58	340.39	345.48			
6	507.91	514.63	511.27				377.74	370.59	374.16			
12	524.09	525.62	524.85				413.31	417.12	415.21			
20	660.85	360.26	510.55				460.37	459.13	459.75			
40	417.49	435.72	426.60	300.93	313.90	307.41	559.46	541.99	550.73			
50	255.71	263.48	259.60	371.44	301.01	336.22				422.75	404.51	413.63
60	417.49	435.72	426.60	400.02	399.50	399.76				432.35	448.98	440.67
65				416.55	419.34	417.94				532.76	611.92	572.34
Soil#2 without paraquat												
0	421.43	419.12	420.27				440.24	345.75	393.00			
6	327.66	403.96	365.81				437.52	384.44	410.98			
12	327.66	403.96	365.81				436.00	424.87	430.43			
20	327.66	368.23	347.94				455.45	419.47	437.46			
40	464.25	485.08	474.67				496.18	522.46	509.32			
50	486.24	496.55	491.40							542.46	514.57	528.51
60	607.70	589.89	598.80							519.23	493.53	506.38
65										646.41	698.82	672.61
Soil#2 with paraquat												
0	522.51	539.59	531.05				389.46	451.55	420.51			
6	606.12	581.05	593.59				447.36	416.32	431.84			
12	572.64	592.61	582.63				437.00	402.96	419.98			
20	537.19	532.96	535.07				377.64	392.38	385.01			
40	552.20	532.64	542.42	429.35	434.61	431.98	517.58	478.49	498.03			
50	539.18	545.66	542.42	391.27	420.57	405.92				521.07	529.90	525.48
60	517.24	520.83	519.04	408.91	405.31	407.11				484.84	517.02	500.93
65				432.24	429.98	431.11				618.25	621.48	619.86

ตารางผนวกที่ 9 ปริมาณทองแดงในดินที่สกัดโดย DTPA ในดินทั้งสองชนิด, mg/kg

	Dry			Dry to Submerge			Submerge			Submerge and Dry out		
	#1	#2	mean	#1	#2	mean	#1	#2	mean	#1	#2	mean
Soil#1 without paraquat												
0	17.15	16.69	16.92				19.20	18.50	18.85			
6	14.10	16.72	15.41				16.82	15.90	16.36			
12	14.14	14.14	14.14				15.69	13.30	14.50			
20	11.80	15.57	13.68				13.16	12.30	12.73			
40	13.27	14.11	13.69				7.56	9.15	8.35			
50	11.72	17.11	14.42							15.22	11.74	13.48
60	16.45	15.53	15.99							13.37	14.54	13.96
65										15.00	11.58	13.29
Soil#1 with paraquat												
0	16.87	18.21	17.54				15.85	18.83	17.34			
6	14.25	15.25	14.75				10.62	7.26	8.94			
12	12.96	17.41	15.18				7.61	12.64	10.12			
20	20.51	20.26	20.38				15.25	13.23	14.24			
40	12.79	12.38	12.59	8.88	12.03	10.45	7.62	10.33	8.98			
50	17.04	14.96	16.00	12.20	16.69	14.44				14.45	13.10	13.78
60	15.04	11.92	13.48	14.64	13.50	14.07				14.59	14.62	14.61
65				13.12	12.24	12.68				14.60	11.29	12.94
Soil#2 without paraquat												
0	7.98	7.55	7.76				9.37	13.38	11.38			
6	7.08	6.95	7.01				7.91	7.91	7.91			
12	6.42	6.35	6.38				6.79	6.61	6.70			
20	6.82	6.52	6.67				5.09	5.56	5.33			
40	6.42	6.35	6.38				4.88	5.07	4.98			
50	7.50	7.49	7.49							9.29	10.17	9.73
60	7.64	6.86	7.25							8.02	8.73	8.37
65										8.66	8.35	8.50
Soil#2 with paraquat												
0	8.65	8.76	8.71				7.39	4.61	6.00			
6	11.87	9.90	10.88				5.42	5.03	5.22			
12	9.26	9.74	9.50				4.81	5.78	5.29			
20	18.52	20.74	19.63				8.06	8.06	8.06			
40	8.45	8.33	8.39	5.28	5.42	5.35	5.03	5.07	5.05			
50	7.13	7.18	7.16	10.12	11.08	10.60				9.28	9.25	9.27
60	7.20	6.48	6.84	8.47	8.46	8.46				9.37	10.20	9.79
65										8.44	8.76	8.60