อภินันทนาการ

สำนักหอสมุด

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยนเรศวร
วันลงทะเบียน 29 ส.ค. 2554
เลขทะเบียน 156077111 c3
เลขเรียกหนังสือ 2 S 63 ว155ร 2553

งบประมาณประจำปี 2551

เรื่อง

"การประเมินผลผลิตทางดินในระยะยาวและการสูญเสียการกักเก็บธาตุอาหารจากผลกระทบของการใช้สารเคมีปราบวัชพืชและการลางเผาแบบเข้มข้นในระบบการเพาะปลูกบนที่ดอน ในเขตพื้นที่ภาคเหนือตอนล่างของประเทศไทย"

"Assessment of long-term soil productivity and loss of nutrient retention as affected by herbicide and intensified slash and burn practices under upland farming system in Lower Northern Thailand"

จรัณธร บุญญานุภาพและคณะ

คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

มหาวิทยาลัยนเรศวร

กรกฎาคม 2553

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยการประเมินผลผลิตทางดินในระยะยาวและการสูญเสียการกักเก็บธาตุอาหาร จากผลกระทบของการใช้สารเคมีปราบวัชพืชและการถางเผาแบบเข้มข้นในระบบการเพาะปลูกบนที่ดอนในเขตพื้นที่ภาคเหนือตอนล่างของประเทศไทยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยนเรศวร งบประมาณแผ่นดินประจำปี พ.ศ. 2551

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณเกษตรกรในพื้นที่หมู่บ้านร่มเกล้า ตำบลชมพู อำเภอเนินมะปราง จังหวัดพิษณุโลก ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์และเอื้อเฟื้อในการศึกษาข้อมูลทั้งในภาคสนามและข้อมูลอื่นๆ ที่เป็นประโยชน์ในการศึกษาวิจัยนี้เป็นอย่างยิ่ง

ขอขอบคุณ คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่และครุภัณฑ์ตลอดการดำเนินโครงการวิจัย

คณะผู้วิจัย

กรกฎาคม 2553

สารบัญเรื่อง

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย 3

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ 4

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย 5

2. วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย 7

3. ขอบเขตของโครงการวิจัย 7

4. ทฤษฎี สมมุติฐาน และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย 8

5. การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง 10

6. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับและหน่วยงานที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์ 27

7. แผนการถ่ายทอดเทคโนโลยีหรือผลการวิจัยสู่กลุ่มเป้าหมาย 27

8. วิธีดำเนินการวิจัย 28

9. ผลการวิจัย 30

    9.1 การใช้ที่ดินและการจัดการที่ดินด้านการเกษตร 30

    9.2 ผลกระทบของการใช้สารเคมีกำจัดวัชพืชและการถางเผาแบบเข้มข้นต่อการสะสมของสารพาราควอทในดิน 32

    9.3 การสะสมของสารพาราควอทที่สะสมและเคลื่อนย้ายในส่วนต่างๆของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ 35

สารบัญเรื่อง (ต่อ)

	หน้า
9.4 คุณสมบัติของดินในแปลงตัวอย่างปลูกข้าวโพดตลอดระยะเวลาเพาะปลูก	41
9.5 ตัวชี้วัดที่เหมาะสมในการประเมินศักยภาพในการผลิตด้านการเกษตรของดินในระยะยาว	47
9.5.1 การดูดยึดพาราควอทในดิน	47
9.5.2 การสะสมและการเคลื่อนย้ายพาราควอทตามส่วนต่าง ๆ ของข้าวโพด	50
10. บทสรุป	55
11. บรรณานุกรม	57

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 1	การสะสมของสารพาราควอทในดินชั้นพื้นผิวในช่วง 4 เดือนภายหลังการฉีดพ่นพาราควอทและก่อนการเก็บเกี่ยวช่วง 6 เดือนหลังการฉีดพ่นพาราควอท	33
รูปที่ 2	การสะสมของสารพาราควอทในดินชั้นล่างในช่วง 4 เดือนภายหลังการฉีดพ่นพาราควอทและก่อนการเก็บเกี่ยวช่วง 6 เดือนหลังการฉีดพ่นพาราควอท	35
รูปที่ 3	การสะสมของสารพาราควอทในฝักข้าวโพดในช่วง 4 เดือนภายหลังการฉีดพ่นพาราควอทและก่อนการเก็บเกี่ยวช่วง 6 เดือนหลังการฉีดพ่นพาราควอท	36
รูปที่ 4	การสะสมของสารพาราควอทในลำต้นข้าวโพดในช่วง 4 เดือนภายหลังการฉีดพ่นพาราควอทและก่อนการเก็บเกี่ยวช่วง 6 เดือนหลังการฉีดพ่นพาราควอท	38
รูปที่ 5	การสะสมของสารพาราควอทในใบข้าวโพดในช่วง 4 เดือนภายหลังการฉีดพ่นพาราควอทและก่อนการเก็บเกี่ยวช่วง 6 เดือนหลังการฉีดพ่นพาราควอท	39
รูปที่ 6	การสะสมของสารพาราควอทในรากข้าวโพดในช่วง 4 เดือนภายหลังการฉีดพ่นพาราควอทและก่อนการเก็บเกี่ยวช่วง 6 เดือนหลังการฉีดพ่นพาราควอท	40
รูปที่ 7	การสะสมสารพาราควอทในดินชั้นพื้นผิว (surface soil) และดินชั้นล่าง (subsurface soil) ของแปลงข้าวโพดตัวอย่างในช่วง 4 เดือนภายหลังการฉีดพ่นพาราควอท (A) และก่อนการเก็บเกี่ยวช่วง 6 เดือนหลังการฉีดพ่นพาราควอท (B)	49
รูปที่ 8	การเคลื่อนย้ายสารพาราควอทในส่วนต่าง ๆ ของข้าวโพดในช่วง 4 เดือนภายหลังการฉีดพ่นพาราควอท (A) และก่อนการเก็บเกี่ยวช่วง 6 เดือนหลังการฉีดพ่นพาราควอท (B)	57

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของดินในแปลงทดลองปลูกข้าวโพด ในช่วงการเตรียมและก่อนเผาแปลงปลูกข้าวโพด ในเดือน กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 42

ตารางที่ 2 คุณสมบัติของดินในแปลงทดลองปลูกข้าวโพด ในช่วงหลังเผาแปลงปลูกข้าวโพด ในเดือน มีนาคม พ.ศ. 2551 42

ตารางที่ 3 คุณสมบัติของดินในแปลงทดลองปลูกข้าวโพด ในช่วงหลังหยอดเมล็ดเพาะปลูกข้าวโพด ก่อนพ่นสารกำจัดวัชพืชพาราควอท ในเดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2551 43

ตารางที่ 4 คุณสมบัติของดินในแปลงทดลองปลูกข้าวโพด ในช่วงเพาะปลูกข้าวโพด หลังพ่นสารกำจัดวัชพืชพาราควอท ในเดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2551 43

ตารางที่ 5 คุณสมบัติของดินในแปลงทดลองปลูกข้าวโพด ในช่วงก่อนเก็บเกี่ยว ในเดือน พฤศจิกายน พ.ศ. 2551 44

ตารางที่ 6 การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติดินชั้น Surface ที่ความลึก 0-5 เซนติเมตร ของแปลงทดลองปลูกข้าวโพดในรอบฤดูกาลเพาะปลูก 45

ตารางที่ 7 การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติดินชั้น Subsurface ที่ความลึก 20-25 เซนติเมตร ของแปลงทดลองปลูกข้าวโพดในรอบฤดูกาลเพาะปลูก 46

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์
ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2551

ชื่อโครงการวิจัย (ไทย) การประเมินผลผลิตทางดินในระยะยาวและการสูญเสียการกักเก็บธาตุอาหาร จากผลกระทบของการใช้สารเคมีปราบวัชพืชและการถางเผาแบบเข้มข้นในระบบการเพาะปลูกบนที่ดอน ในเขตพื้นที่ภาคเหนือตอนล่างของประเทศไทย.

(อังกฤษ) Assessment of long-term soil productivity and loss of nutrient retention as affected by herbicide and intensified slash and burn practices under upland farming system in Lower Northern Thailand

หัวหน้าโครงการวิจัย: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จรัณธร บุญญานุภาพ

บทบาทในการทำวิจัย: จัดทำข้อเสนอโครงการวิจัยสำรวจพื้นที่ศึกษาและรวบรวมข้อมูล เก็บตัวอย่างดินและพืช วิเคราะห์และแปลตีความผลการวิเคราะห์ สรุปผลการวิเคราะห์ จัดทำรายงานการวิจัย และเผยแพร่ผลงานวิจัย

สัดส่วนที่ทำการวิจัย: 60 %

หน่วยงาน: ภาควิชาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม
คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยนเรศวร

ที่อยู่: มหาวิทยาลัยนเรศวร ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง
จังหวัดพิษณุโลก 65000

โทรศัพท์ : 055-261038 ต่อ 2732

โทรสาร : 055-261040

E-mail : charuntornb@nu.ac.th

ผู้ร่วมวิจัย: รศ.ดร.เสวียน เปรมประสิทธิ์

บทบาทในการทำวิจัย: สำรวจพื้นที่ศึกษา แปลตีความผลการวิเคราะห์ สรุปผลการวิเคราะห์ และเผยแพร่ผลงานวิจัย

สัดส่วนที่ทำการวิจัย:	20 %
หน่วยงาน:	ภาควิชาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร
ผู้ร่วมวิจัย:	**รศ.เดช วัฒนชัยยิ่งเจริญ**
บทบาทในการทำวิจัย:	สำรวจพื้นที่ศึกษา แปลตีความผลการวิเคราะห์ สรุปผลการวิเคราะห์และเผยแพร่ผลงานวิจัย
สัดส่วนที่ทำการวิจัย:	20 %
หน่วยงาน:	ภาควิชาวิทยาศาสตร์การเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัย ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2551 จำนวนเงิน 300,000 บาท
ระยะเวลาทำวิจัย 12 เดือน ตั้งแต่ 1 ตุลาคม 2550 ถึง 30 กันยายน 2551

บทคัดย่อ

การทำการเกษตรแบบไร่เลื่อนลอยในพื้นที่ภาคเหนือตอนล่างของประเทศไทย มีการเพาะปลูกอย่างต่อเนื่องรวมถึงมีการใช้สารเคมีการเกษตรอย่างเข้มข้น ส่งผลให้ดินมีสภาพความอุดมสมบูรณ์ลดลง ซึ่งสภาพดินเช่นนี้จะทำให้สารพาราควอท (N,N′-dimethyl-4,4′-bipyridinium dichloride) ซึ่งเป็นสารเคมีปราบวัชพืชที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายนั้นสามารถถูกดูดยึดกับอนุภาคดินเหนียวอย่างหลวม ๆ และมีผลให้เกิดการสะสมในดินและมีการเคลื่อนย้ายไปสู่ส่วนต่าง ๆ ของพืชได้ ดังนั้นการศึกษานี้จึงทำการรวบรวมตัวอย่างดินและพืชในแปลงปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ตัวอย่างในเขตอำเภอเนินมะปราง จังหวัดพิษณุโลก ที่มีระบบการเกษตรแบบไร่เลื่อนลอย และมีการฉีดพ่นสารพาราควอทก่อนการหยอดเมล็ดข้าวโพดเพื่อวิเคราะห์ปริมาณการสะสมของสารพาราควอทในตัวอย่างดินในชั้นพื้นผิวที่ระดับความลึก 0-5 เซนติเมตร และตัวอย่างดินชั้นล่างที่ระดับความลึก 20-25 เซนติเมตร และการสะสมในส่วนต่าง ๆ ของพืชได้แก่ ราก ลำต้น ใบ และฝักข้าวโพด ผลการทดลองพบว่าภายหลังการฉีดพ่นพาราควอทนาน 4 เดือนมีการสะสมของสารพาราควอทในดินชั้นล่าง (0.65-2.0 มิลลิกรัม/กิโลกรัม) มากกว่าในดินชั้นพื้นผิว (0.3-1.0 มิลลิกรัม/กิโลกรัม) แต่พบว่าปริมาณของการสะสมของพาราควอทในดินทั้งสองระดับความลึกมีค่าลดลงภายหลังการฉีดพ่นนาน 6 เดือน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการสลายตัวของพาราควอทจากการย่อยสลายของจุลินทรีย์ในดิน การสลายตัวด้วยแสงและการชะล้างรวมไปถึงการถูกดูดซับโดยพืช นอกจากนี้ผลการศึกษายังพบว่ามีการเคลื่อนย้ายของสารพาราควอทในดินไปตามส่วนต่าง ๆ ของข้าวโพด โดยพบการสะสมของสารพาราควอทในส่วนของรากมากที่สุดคือ 0.69 มิลลิกรัม/กิโลกรัม รองลงมาได้แก่ในส่วนของฝักข้าวโพด (0.3-0.7 มิลลิกรัม/กิโลกรัม) และพบในปริมาณน้อยกว่า 0.5 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ในส่วนของลำต้นและใบ อย่างไรก็ตามภายหลังการฉีดพ่นนาน 6 เดือนซึ่งเป็นระยะก่อนการเก็บเกี่ยวข้าวโพดพบว่าปริมาณการสะสมมีความเข้มข้นน้อยกว่า 0.2 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ในทุกส่วนของพืช ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าการทำการเกษตรแบบไร่เลื่อนลอยทำให้สภาพความอุดมสมบูรณ์ของดินลดลงและส่งผลให้เกิดการดูดยึดสารพาราควอทให้มีการสะสมอยู่ในดิน และมีการเคลื่อนย้ายจากดินไปสู่ส่วนต่าง ๆ ของพืชได้ และปริมาณการสะสมพาราควอทในดินและพืชจะลดลงขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นภายหลังการฉีดพ่นพาราควอท การสลายตัวด้วยกระบวนการทางเคมี ชีวเคมีและทางฟิสิกส์ เช่น แสงและการชะล้าง เป็นต้น

คำสำคัญ: การเกษตรแบบไร่เลื่อนลอย สารปราบวัชพืชพาราควอท ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ระบบการเพาะปลูกบนที่ดอน

Abstract

Shifting cultivation lands, which cultivated consecutively, in upland of the Lower Northern Thailand are found to have low level of soil fertility and high levels of agricultural chemical applications. Thus, Paraquat, the trade name for N,N′-dimethyl-4,4′-bipyridinium dichloride, one of the most widely used herbicides, can be loosely bound with this kionlin-type clays and probably results in transfer of Paraquat to be accumulated in some parts of the plant. In this study soil and plants samples for analysis of the Paraquat residues were collected from upland maize-based shifting cultivation in Nuen Maprang, Phitsanulok province, where Paraquat was applied before seeds sowing. The soil in surface (with the depth of 0-5 cm.) and subsurface (with the depth of 20-25 cm.) layers were sampled and the collecting parts of maize were leaves, stem, maize seeds, and roots. It was found that after four months period of Paraquat application, Paraquat could be detected in higher concentration in subsurface soil (0.65-2.0 mg/kg) than that in surface soil (0.3-1.0 mg/kg). However, there was reduction of Paraquat residues in both layers of soil samples after 6 months period of its application. This may due to decomposition by soil microorganisms, degradation by light and erosion, and absorption by plants. In addition, the results also revealed that there is transfer of Paraquat accumulated in soil to the parts of maize. It was found that the root parts showed the highest amount of residue (0.69 mg/kg), followed by in maize seeds (0.3-0.7 mg/kg), and less than 0.5 mg/kg obtained in stem and leaves. However, the Paraquat content of less than 0.2 mg/kg could only be detected in all sampling parts collected before maize harvesting (about 6 months period after Paraquat applying). This study brings to conclusion that soil fertility is decreased in shifting cultivation lands with long term application of herbicides such as Paraquat and results in accumulation of Paraquat residue in soil. Additionally, Paraquat can partially be transferred to some parts of the plants in different quantity and its residues would decreased according to the time period of application, and degradation by bio-, biochemical- and physical mechanisms such as light and erosion.

Keywords: shifting cultivation, Paraquat, maize, upland farming system

1. ความสำคัญ และที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ในหลายทศวรรษของการเปลี่ยนแปลงเพื่อพัฒนาประเทศให้เจริญทัดเทียมอารยประเทศนั้น ได้ใช้แนวคิดที่ได้รับอิทธิพลส่วนใหญ่จากวัฒนธรรมตะวันตก การพัฒนาโดยยึดวัตถุทำให้สายใยของความสมดุลระหว่างคนกับสิ่งแวดล้อมสะดุดลง การผลิตด้านเกษตรกรรมแบบพอเพียงกลายเป็นการผลิตเชิงเดี่ยวและเชิงปริมาณ เน้นเศรษฐกิจของประเทศเป็นองค์รวม เริ่มมีการแก่งแย่งทรัพยากรระหว่างสังคมเมืองและชนบทมากขึ้น ไม่ว่าจะเป็น ทรัพยากรน้ำ ที่ดิน และแรงงาน ความก้าวหน้าของเทคโนโลยีการเกษตรเพื่อผลิตผลทางการเกษตรได้ใช้ปัจจัยสำหรับการผลิตโดยอาศัยสารเคมีเข้ามามีบทบาทในการกำหนดเป้าหมายและความสำเร็จของผลิตผลทางการเกษตร (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2546) แต่สิ่งเหล่านี้ได้ทำลายสภาพธรรมชาติดั้งเดิมและวัฒนธรรมท้องถิ่น รวมทั้งการสืบต่อภูมิปัญญาพื้นบ้าน ในเกือบทุกที่ที่มีการทำเกษตรกรรม ทำให้ความสมดุลของห่วงโซ่ธรรมชาติเริ่มขาดหายไป เกิดความเสื่อมโทรมของสิ่งแวดล้อม สุขภาพของเกษตรกรและความปลอดภัยของผู้บริโภค

พื้นที่เกษตรกรรมในเขตภาคเหนือตอนล่างก็มีลักษณะไม่แตกต่างจากสังคมเกษตรกรรมในพื้นที่อื่นๆ ของประเทศไทย ซึ่งในอดีตที่ผ่านมาเป็นสังคมชนบทที่ถือการทำเกษตรกรรมเป็นอาชีพหลักในการดำรงเลี้ยงชีพ โดยดำเนินชีวิตที่ผูกพันกับธรรมชาติและวัฒนธรรมท้องถิ่น จึงเป็นสังคมที่มีความสมดุลในตัวเองและมีความยั่งยืน แต่จากการเปลี่ยนแปลงและพลวัตโลกดังที่กล่าวมาข้างต้น ทำให้การทำเกษตรกรรมแบบดั้งเดิม โดยเฉพาะการเกษตรแบบไร่เลื่อนลอยแบบดั้งเดิม (traditional shifting cultivation) กำลังเปลี่ยนสภาพไป ถึงแม้ว่าการทำไร่เลื่อนลอยแบบหมุนเวียน (rotational shifting cultivation) จะยังคงพบอยู่บ้างในเขตที่สูงของจังหวัดพิษณุโลกและเพชรบูรณ์ แต่ช่วงระยะเวลาของการทิ้งพื้นที่ให้รกร้าง (fallow period) เพื่อฟื้นฟูสภาพความอุดมสมบูรณ์ของดิน มักจะสั้นลงกว่าในอดีตมาก เนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของประชากรในการแก่งแย่งเพื่อใช้ประโยชน์พื้นที่ รวมถึงนโยบายของรัฐบาลในการอนุรักษ์ทรัพยากรป่าไม้ จึงส่งผลให้พื้นที่ไร่เลื่อนลอยแบบดั้งเดิมในหลายพื้นที่เปลี่ยนไปเป็นระบบการเกษตรแบบเข้มข้นอยู่กับที่ (sedentary agricultural system) ด้วยการปลูกพืชมากกว่าหนึ่งฤดูภายในรอบปี (Boonyanuphap *et al.*, 2006a) ในปัจจุบันระบบการเกษตรไร่เลื่อนลอยแบบเข้มข้น (intensified shifting cultivation) สามารถพบเห็นได้ทั่วไปในพื้นที่ภาคเหนือตอนล่าง โดยเฉพาะบนที่ดอนที่ติดกับพื้นที่ป่าไม้ โดยระบบการเกษตรแบบนี้ มีการถางเผาเพื่อเตรียมพื้นที่ก่อนการเพาะปลูกทุกปี ร่วมกับการใช้สารเคมีด้านการเกษตรในปริมาณมาก

สารเคมีกำจัดวัชพืชที่นิยมใช้กันกว้างขวางในหมู่เกษตรกรที่ทำการเกษตรบนที่ดินเขตภาคเหนือตอนล่าง คือ พาราควอท (paraquat) และไกลฟอเสท (glyphosate) (Boonyanuphap, 2006a) ซึ่งเป็นยาปราบวัชพืช (herbicide) ประเภทหนึ่งซึ่งเป็นสารเคมีที่มีประสิทธิภาพสูงในการกำจัดวัชพืชทั้งวัชพืชใบแคบและใบกว้าง ได้ทั้งพืชน้ำและพืชบก มีความเป็นพิษต่อวัชพืชสูง สำหรับพาราควอทนั้นนอกจากจะมีประสิทธิภาพสูงในการกำจัดวัชพืชแล้ว ก็มีพิษรุนแรงต่อคนมากเช่นกัน นอกจากนี้พาราควอทสามารถอยู่ในดินได้เป็นเวลานานหลายปี และบักเตรีในดินสามารถย่อยสลายได้แต่ช้ามาก ดังนั้นเมื่อพาราควอทมีพิษรุนแรงและคงทนอยู่ในสิ่งแวดล้อมได้นาน ถึงแม้ว่าจะอยู่ในสภาพที่หมดเสถียรภาพแล้วก็ตาม จึงควรมีการควบคุมการใช้อย่างระมัดระวังในการปลดปล่อยสารเหล่านี้เข้าสู่สิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะพื้นที่ทำการเกษตรและแหล่งน้ำสาธารณะ

แม้ว่า Willis (1990) รายงานว่า การใช้สารกำจัดวัชพืช เช่น พาราควอท ในปริมาณสูง จะไม่ส่งผลกระทบอย่างเห็นได้ชัดต่อ ค่าความเป็นกรดด่างของดิน ระดับธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ หรือการดูดใช้ธาตุอาหารของพืชจากดิน เนื่องจากพาราควอทจะถูกดูดซับกับอนุภาคดินเหนียวด้วยพันธะที่หนาแน่น (tightly bound) แต่อย่างไรก็ตามในพื้นที่ดอนของเขตภาคเหนือตอนล่างของประเทศไทย ซึ่งดินส่วนใหญ่ในพื้นที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำโดยธรรมชาติ (inherently infertile soil) เมื่อเปรียบเทียบกับสภาพดินภายใต้ระบบการเกษตรบนที่สูงในเขตภาคเหนือตอนบน (Boonyanuphap et al., 2006b; Funakawa et al., 1997a, b; Tanaka et al., 1997) อีกทั้งดินมีสภาพการผุพังอยู่กับที่ในระดับสูง (strongly weathering status) โดยดินส่วนใหญ่มีปริมาณแร่ดินเหนียวประเภท Kaolin minerals ในระดับสูงถึง 40-70% สำหรับทั้งดินชั้นพื้นผิวและดินชั้นล่าง (Boonyanuphap et al., 2006a) จึงทำให้สารเคมีกำจัดวัชพืช เช่น พาราควอท หรือ ไกลฟอเสท ถูกดูดยึดไว้กับอนุภาคของดินเหนียวประเภท Kaolinite ด้วยพันธะอย่างหลวมๆ (loosely bound) อาจส่งผลให้สารเคมีกำจัดวัชพืชเหล่านี้ที่ปนเปื้อนในดินและสามารถเคลื่อนย้ายเข้าสู่และสะสมในส่วนต่างๆ ของพืชได้

จากที่กล่าวมาข้างต้น พบว่ากิจกรรมต่างๆ ที่เกิดขึ้นภายใต้ระบบการเกษตรบนที่ดอนในพื้นที่ภาคเหนือตอนล่างของประเทศไทย เช่น การใช้สารเคมีเพื่อกำจัดวัชพืช ทำให้เกิดการสะสมความเป็นพิษในดินและผลิตผลทางการเกษตร หรือเปิดหน้าดินโดยการถางเผาเศษเหลือของวัสดุทางการเกษตรหลังจากการเก็บเกี่ยว โดยไม่มีการรักษาสภาพความสมดุลของปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินนั้น ได้มีส่วนทำให้ทรัพยากรดินด้านเกษตรกรรมเสื่อมโทรมลงอย่างรวมเร็วในช่วงระยะเวลาที่ผ่านมา นอกจากนี้ความเสื่อมโทรมของทรัพยากรดินที่เกิดจากการสูญเสียความสมดุลย์ของปริมาณธาตุอาหารในดินภายใต้การจัดการระบบการเกษตรที่ไม่เหมาะสม สามารถส่งผลให้ศักยภาพในการผลิตด้านการเกษตร

ของดินลดลงทั้งปริมาณและคุณภาพ ทำให้เกิดปัญหาความไม่เพียงพอต่อความต้องการในการใช้ที่ดินเพื่อเกษตรกรรมในปัจจุบัน ดังนั้นเมื่อเกิดปัญหามลพิษทางดินหรือดินเสื่อมโทรมขึ้น ย่อมส่งผลกระทบต่อทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมที่อยู่รอบข้าง นอกจากนี้ยังส่งผลต่อคุณภาพชีวิตของประชากรในประเทศ และก่อให้เกิดปัญหาตามมาเป็นลูกโซ่ไปถึงเศรษฐกิจของประเทศ

2. วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

2.1 เพื่อศึกษาผลกระทบของการใช้สารเคมีกำจัดวัชพืชและการถางเผาแบบเข้มข้นต่อสถานภาพการกักเก็บธาตุอาหารในดินและศักยภาพในการผลิตด้านด้านเกษตรของดินในระยะยาว

2.2 เพื่อตรวจสอบปริมาณการสะสมของสารเคมีกำจัดวัชพืชที่สะสมและเคลื่อนย้ายในส่วนต่างๆ ของพืช ภายใต้ระบบการเพาะปลูกในสภาพปัจจุบัน

2.3 เพื่อกำหนดตัวชี้วัดที่เหมาะสมในการประเมินศักยภาพในการผลิตด้านการเกษตรของดินในระยะยาว (Long-term soil productivity index)

3. ขอบเขตของโครงการวิจัย

พื้นที่ดำเนินโครงการวิจัย: หมู่บ้านร่มเกล้า ตำบลชมพู อำเภอเนินมะปราง จังหวัดพิษณุโลก

กลุ่มเป้าหมาย: เกษตรกรที่ทำการเกษตรไร่เลื่อนลอยแบบเข้มข้น และสวนผลไม้

ระบบการเกษตร: การเกษตรแบบไร่เลื่อนลอยที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

ตัวอย่างในการวิเคราะห์: เก็บตัวอย่างดินชั้นพื้นผิว (surface layer: ลึก 0-5 ซม.) และดินชั้นล่างพื้นผิว (subsurface layer: ลึก 20-25 ซม.) ในแปลงปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ตัวอย่าง ในช่วงระยะเวลาหลังฉีดสารเคมีปราบวัชพืชพาราควอท นาน 4 เดือน (เดือนกันยายน-ตุลาคม พ.ศ.2551) และก่อนการเก็บเกี่ยว (หลังฉีดสารพาราควอทนาน 6 เดือน ระหว่างเดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2551)

เก็บตัวอย่างส่วนต่าง ๆ ของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ได้แก่ราก ลำต้น ใบ และฝักข้าวโพด ในช่วงระยะเวลาหลังฉีดสารเคมีปราบวัชพืชพาราควอท นาน 4 เดือน (เดือนกันยายน-ตุลาคม พ.ศ.2551) และก่อนการเก็บเกี่ยว (หลังฉีดสารพาราควอทนาน 6 เดือน ระหว่างเดือนพฤศจิกายน

พ.ศ.2551) เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณการสะสมและการเคลื่อนย้ายของสารเคมีกำจัดวัชพืชพาราควอท

4. ทฤษฎี สมมุติฐาน และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

4.1 ทฤษฎี

มลพิษทางดินเป็นภาวะที่ดินใดๆ ได้รับมลสารมาแปดเปื้อนด้วยอัตราที่มากกว่าอัตราการสลายตัวหรือการเสื่อมฤทธิ์ของมลสารเหล่านั้น ทำให้เกิดการสะสมของสารพิษหรือเชื้อโรคต่างๆ ซึ่งอาจจะสะสมอยู่มากจนถึงจุดอันตรายต่อการเจริญเติบโตและเจริญพันธุ์ของสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศน์ และท้ายที่สุดสามารถสะสมจนถึงจุดอันตรายต่อสุขภาพทั้งทางกายและจิตใจของมนุษย์ ซึ่งย่อมจะมีผลกระทบต่อเนื่อง อันทำให้เกิดปัญหาทางเศรษฐกิจและสังคมได้

ในพื้นที่เกษตรกรรมแม้ว่าการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชจะเป็นสิ่งจำเป็น เพื่อป้องกันและกำจัดศัตรูพืชให้ผลิตผลทางการเกษตรปราศจากหรือได้รับการรบกวนจากศัตรูพืชให้น้อยที่สุด แต่ปัญหาที่เกิดตามมาก็คือ การใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชในปริมาณที่มาก ก่อให้เกิดการตกค้างของสารพิษเหล่านี้ในดิน นอกจากสารจะกำจัดศัตรูพืชอันเป็นกลุ่มเป้าหมายแล้ว ถ้าสารเหล่านี้คงอยู่ในดินโดยไม่เสื่อมฤทธิ์หรือเปลี่ยนรูปเป็นสารที่ปลอดภัย และเมื่อสารเคมีเหล่านี้เคลื่อนย้ายออกจากดินก็ย่อมแพร่กระจายสู่สิ่งแวดล้อม เกิดผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตที่เป็นกลุ่มนอกเป้าหมายในดินได้ในวงกว้าง และจะเคลื่อนย้ายเข้าสู่โซ่อาหารของทั้งสัตว์และมนุษย์ ด้วยกระบวนการต่างๆ ซึ่งอันตรายของสารพิษเหล่านี้ต่อระบบนิเวศน์ ขึ้นอยู่กับความคงทนของมันเมื่ออยู่ในดิน กล่าวคือ ถ้าคงทนมากก็เป็นอันตรายมาก และจะตกค้างในดินด้วย (ศุภมาศ, 2545)

4.2 สมมุติฐาน

เนื่องจากสารเคมีกำจัดวัชพืช เช่น พาราควอท หรือ ไกลฟอเสท ถูกดูดยึดไว้กับอินทรีย์วัตถุในดินและอนุภาคของดินเหนียว ซึ่งเป็นปัจจัยหลักในการควบคุมความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) และความสามารถในการอุ้มน้ำในดิน โดยเฉพาะพาราควอทจะถูกดูดยึดไว้กับอนุภาคของดินเหนียวอย่างรุนแรง (strongly bound) ทำให้พื้นที่ผิวของอนุภาคดินเหนียวลดความสามารถในการแลกเปลี่ยนธาตุอาหารแคตไอออนที่เป็นด่าง (basic cation) เช่น แคลเซียม แมกนีเซียม และโปแทสเซียมได้น้อยลง ดังนั้นการใช้สารกำจัดวัชพืชอย่างต่อเนื่องในระยะเวลาที่ยาวนาน อาจส่งผลถึงความสามารถในการกักเก็บธาตุอาหารและการปลดปล่อยธาตุอาหารจากอนุภาคดินเพื่อให้รากของพืช

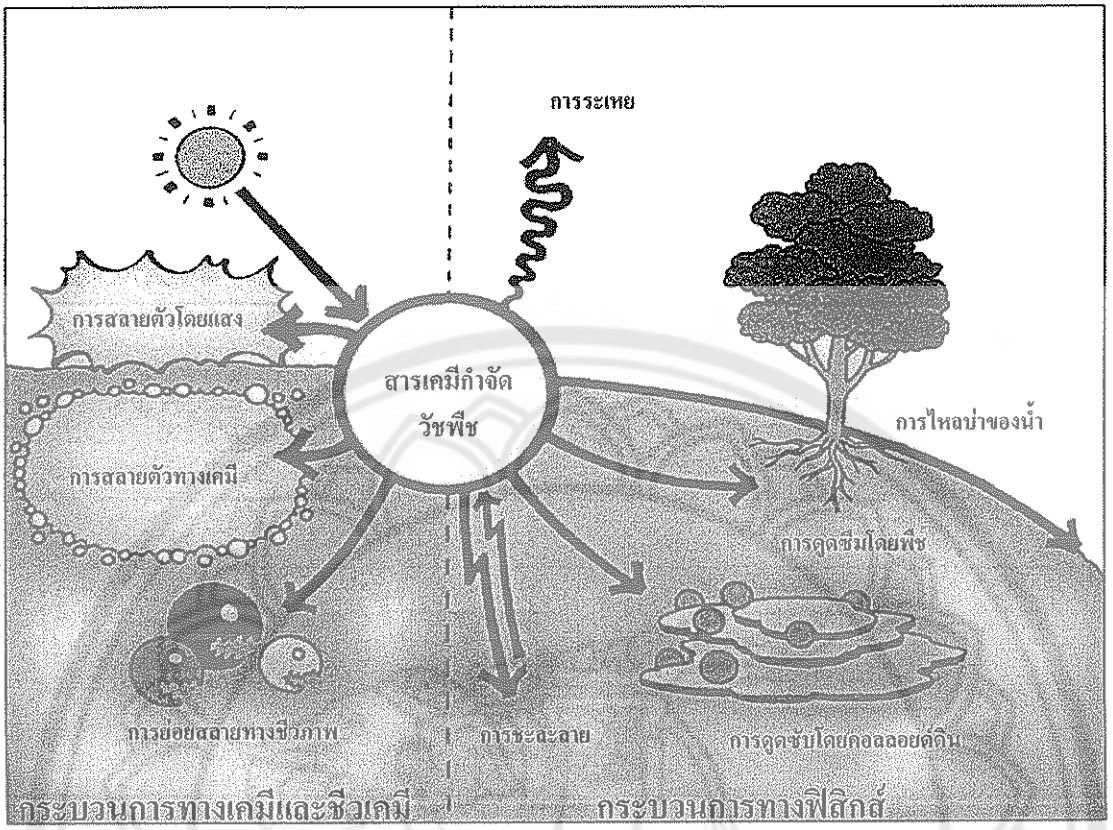
เศรษฐกิจนำไปใช้ประโยชน์ได้ และมีผลกระทบถึงศักยภาพด้านผลผลิตทางการเกษตรของดินในระยะยาวลดลงตามไปด้วย

นอกจากนี้บริเวณพื้นที่ที่มีสภาพการผุพังอยู่กับที่ของดินในระดับสูง ส่งผลให้ปริมาณของแร่ดินเหนียวชนิด kaolinite มีมาก จึงทำให้สารเคมีกำจัดวัชพืช เช่น พาราควอท หรือ ไกลฟอเสท ถูกดูดยึดไว้กับอนุภาคของดินเหนียวด้วยพันธะอย่างหลวมๆ (loosely bound) ซึ่งอาจส่งผลให้สารเคมีกำจัดวัชพืชเหล่านี้สามารถปนเปื้อนในดิน แล้วเคลื่อนย้ายเข้าสู่และสะสมในส่วนต่างๆ ของพืชได้ ดั้งนั้น สมมติฐานของโครงการศึกษามีดังต่อไปนี้

1. การใช้สารกำจัดวัชพืชและการถางเผาพื้นที่เพาะปลูกอย่างต่อเนื่องในระยะเวลาที่ยาวนาน ส่งผลให้ความสามารถในการกักเก็บธาตุอาหารและการปลดปล่อยธาตุอาหารในดินลดลง รวมทั้งทำให้ศักยภาพด้านผลผลิตทางการเกษตรของดินในระยะยาวลดลงตามไปด้วย
2. การใช้สารกำจัดวัชพืชอย่างต่อเนื่องในระยะเวลาที่ยาวนาน ทำให้เกิดความเป็นพิษตกค้างต่อพืชที่เพาะปลูก

4.3 กรอบแสดงแนวคิดของโครงการวิจัย

กรอบแสดงแนวคิดของโครงการเมื่อเกษตรกรใช้สารเคมีกำจัดวัชพืชดังแสดงในภาพด้านล่างนี้ โดยสารเคมีกำจัดวัชพืช เช่น พาราควอท หรือ ไกลฟอเสท เมื่ออยู่ในดินไม่ว่าจะโดยการใส่ลงไปในดิน หรือใส่ให้แก่พืชแต่ตกสะสมในดิน ย่อมมีกระบวนการต่างๆ เกิดขึ้น ทำให้สารเคมีกำจัดวัชพืชนั้นคงอยู่หรือสูญหายหรือเปลี่ยนรูปไป โดยมีปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องต่างๆ เกิดขึ้นในระบบเกษตรกรรม



แนวคิดปฏิกิริยาทางเคมี ฟิสิกส์ และชีวเคมีที่เกิดขึ้นกับสารเคมีกำจัดวัชพืชในดิน
(ดัดแปลงจาก ศุภมาศ, 2545)

5. การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

5.1 กิจกรรมการถางเผาในพื้นที่เกษตรกรรม

พื้นที่ทำการเกษตรมักมีเศษเหลือของวัสดุจากตอซังข้าว โพด หรือมันสำปะหลัง หลังจากการเก็บเกี่ยวผลผลิตไปแล้ว ซึ่งเศษเหลือของวัสดุทางการเกษตรเหล่านี้มีส่วนประกอบของธาตุอาหารพืชทั้งธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองในปริมาณมาก แต่เกษตรกรยังขาดการจัดการที่เหมาะสม มีการเผาทิ้งหลังการเก็บเกี่ยวเพื่อที่จะช่วยให้การไถพรวนทำได้ง่ายขึ้น การกระทำดังกล่าวทำให้ดินสูญเสียอินทรียวัตถุ ซึ่งถือว่าเป็นส่วนสำคัญที่สุดในการปรับปรุงบำรุงดินเพื่อการเกษตรอย่างยั่งยืน ทำให้ดินเสื่อมโทรมลง ต้องพึ่งพาการใช้ปุ๋ยเคมีและสารเคมีมากขึ้นทุกวัน กรมพัฒนาที่ดิน (2548) รายงานว่าในประเทศไทยมีพื้นที่ทำการเกษตร 131 ล้านไร่ ซึ่งมีเศษเหลือของวัสดุทางการเกษตรว่า 35 ล้านตันต่อปี เฉพาะการเผาทิ้งเศษเหลือจากตอซังและฟางข้าวเพียงอย่างเดียว ทำให้ดินต้องสูญเสียธาตุอาหารหลักที่เป็นไนโตรเจนถึง 90ล้านกิโลกรัม ฟอสฟอรัส 20 ล้านกิโลกรัม และโพแทสเซียม 260 ล้านกิโลกรัม ยัง

ไม่นักการสูญเสียธาตุอาการรอง เช่น แคลเซียม แมกนีเซียม และซัลเฟอร์ อีกว่า 150 ล้านกิโลกรมต่อปี คิดเป็นมูลค่ากว่าห้าพันล้านบาท ซึ่งเกษตรกรต้องจ่ายเงินซื้อปุ๋ยเคมีเพื่อใส่ในไร่นาทดแทนการสูญเสียที่หายไปจากการเผาตอซัง เพื่อที่จะทำให้ได้ผลผลิตคงเดิม

5.2 ธาตุอาหารในดินภายใต้การเกษตรแบบไร่เลื่อนลอย

ระบบการเกษตรแบบไร่เลื่อนลอยในประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นระบบที่เกี่ยวข้องกับกระบวน การถางเผา จำนวนปีที่เพาะปลูก และระยะเวลาในการทิ้งร้างของรอบหมุนเวียน โดยทั่วไปหลังจากที่มีการเพาะปลูกแล้ว ความสามารถในการผลิตของดินจะลดลงอย่างมาก ดังนั้นช่วงระยะเวลาในการทิ้งร้างพื้นที่เพาะปลูกเพื่อให้ดินมี การฟื้นตัว จึงเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับระบบการเกษตรแบบไร่เลื่อนลอย Boonyanuphap (2006) ได้ศึกษาคุณลักษณะของดินภายใต้การเกษตรไร่เลื่อนลอยแบบเข้มข้น (intensified shifting cultivation) บนที่ดอนในเขตอุทยานแห่งชาติทุ่งแสลงหลวง พบว่า ดินส่วนใหญ่ถูกจำแนกอยู่ในอันดับ Ultisols กลุ่มย่อย Typic Paleustults พื้นที่ไร่เลื่อนลอยจะมีการถางและเผาทุกปี ในช่วงการเตรียมพื้นที่ก่อนการเพาะปลูก เถ้าจากกระบวนการถางเผาส่งผลกระทบต่อระดับธาตุอาหารในดิน โดยปรับสภาพให้ระดับความเป็นกรดของดินลดลงให้เหมาะสมต่อการปลูกพืช และเพิ่มปริมาณเบสที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ (exchangeable bases) เช่น แคลเซียม แมกนีเซียม และโปแทสเซียม เข้าสู่ระบบ อย่างไรก็ตามผลกระทบจากเถ้าที่ได้หลังจากการเตรียมพื้นที่แบบถางและเผาแปลงจะปรากฏเพียงช่วงระยะเวลาสั้นๆ ภายในหนึ่งรอบเพาะปลูกเท่านั้น เท่านั้น โดยระหว่างช่วงของการเพาะปลูกปริมาณธาตุอาหารเหล่านั้นจะลดลงอย่างรวดเร็ว (Boonyanuphap, 2005) สำหรับการเปลี่ยนแปลงสถานภาพของธาตุอาหารในดินพบว่า ในกรณีที่สภาพพื้นที่มีปริมาณเบสที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ในระดับสูง ระบบการเกษตรไร่เลื่อนลอยแบบเข้มข้นสามารถดำเนินการได้ แต่หลังจากการเพาะปลูกแล้ว ปริมาณของ ธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพรแทสเซียม จะสูญเสียไปในปริมาณมาก ทำให้สถานภาพของธาตุอาหารในดินภายใต้การจัดการระบบการเกษตรไร่เลื่อนลอยในปัจจุบันแตกต่างไปจากการเกษตรไร่เลื่อนลอยแบบดั้งเดิม ดังนั้นการรักษาความสมดุลของปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน และการใส่ปุ๋ยในอัตราที่เหมาะสมโดยคำนึงถึงการอนุรักษ์สภาพแวดล้อมถือเป็นที่สิ่งจำเป็นสำหรับระบบการเกษตรประเภทนี้ (Boonyanuphap, 2006)

5.3 ประจุบนผิวและการดูดซับไอออนของอนุภาคดิน

อนุภาคของแข็งทั้งที่เป็นอนินทรีย์และอินทรียวัตถุในดิน สามารถมีประจุไฟฟ้าได้ในตัวเอง ดังนั้นอนุภาคดินจึงสามารถดูดยึดหรือดูดซับไอออนต่างๆ ที่มีประจุตรงกันข้ามไว้บนพื้นผิวโครงแบบและลักษณะของการดูดซับไอออนดังกล่าว มีบทบาทสำคัญต่อปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยนไอออน (ion

exchang) และเสถียรภาพของคอลลอยด์ (colloidal stability) เช่นการแพร่กระจาย (dispersion) และการรวมตัวเกาะสุ่ม (flocculation) ของอนุภาคดิน

ประจุและการดูดซับไอออนรวมทั้งปฏิกิริยาอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องในดิน มีความสำคัญและเกิดขึ้นมากที่สุดบนผิวของอนุภาคที่มีขนาดเล็ก อนุภาคดังกล่าวจะมีพื้นที่ผิวจำเพาะ (specific surface) ที่สูงมากในการทำปฏิกิริยา อนุภาคที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางในช่างประมาณ 0.01-1 μm โดยทั่วไปถือว่ามีอนุภาคของคอลลอยด์ (colloid) โดยสามารถอยู่ในสภาพแขวนลอยในน้ำหรือสารละลายดิน หรือที่เรียกว่า อยู่ในสถานะคอลลอยด์ (colloid state) คอลลอยด์ดินแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ อนินทรีย์คอลลอยด์ (inorganic colloid) ที่สำคัญได้แก่ แร่ฟิลโลซิลิเกต (phyllosilicate) หรือเลเยอร์ซิลิเกต (layer silicate) พวกออกไซด์ (oxide) ออกซีไฮดรอกไซด์ (oxyhydroxide) และไฮดรอไซด์ (hydroxide) ของเหล็กและอะลูมินัม หรือที่รวมเรียกว่า เซสควิออกไซด์ (sesquioxides) ส่วนแอลโลเฟนและอิมอกโกไลต์เป็นอนินทรียคอลลอยด์ที่สำคัญในดินที่สลายตัวผุพังมาจากเถ้าภูเขาไฟ สำหรับอินทรียคออลอยด์ (organic colloid) ที่สำคัญได้แก่สารฮิวมิก (humic substances) ซึ่งได้จากการย่อยสลายของอินทรียวัตถุในดิน

5.4 การดูดซับไอออน

นอกจากการรับและปลดปล่อยโปรตอนแล้ว อนุภาคดินสามารถดูดซับโมเลกุลหรือไอออนที่มีประจุตรงกันข้าม (counter ion) ในสารละลายไว้บนพื้นผิว ไอออนที่ถูกดูดซับนี้เรียกว่า แอดซอร์เบท (adsorbate) ส่วนผิวของอนุภาคที่เป็นตัวดูดซับเรียกว่า แอดซอร์เบนท์ (adsorbent) ตำแหน่งของแอดซอร์เบนท์ที่ถูกดูดซับแอดซอร์เบทที่สำคัญได้แก่หมู่ฟังก์ชันนัล –OH บนผิวอนุภาค การดูดซับจะเหนียวแน่นเพียงไรขึ้นอยู่กับธรรมชาติและลักษณะของแรงดูดยึดระหว่างแอดซอร์เบทและแอดซอร์เบนท์

5.5 การจำแนกประเภทของสารกำจัดวัชพืช

วิธีการจำแนกสารกำจัดวัชพืชออกเป็นหลายแบบขึ้นอยู่กับจะใช้หลักการอะไรเป็นตัวพิจารณาจำแนกดังนี้

- การจำแนกตามขอบเขตของวัชพืชที่ถูกควบคุม
- การจำแนกตามการเคลื่อนย้ายของสารเคมีในวัชพืช
- การจำแนกตามช่วงเวลาใช้
- การจำแนกตามองค์ประกอบโครงสร้างทางเคมี
- การจำแนกตามลักษณะการทำลาย

ก. การจำแนกตามขอบเขตของวัชพืชที่ถูกควบคุม จำแนกออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ได้แก่

- สารกำจัดวัชพืชประเภทเลือกทำลาย
- สารกำจัดวัชพืชประเภทไม่เลือกทำลาย

(1) สารกำจัดวัชพืชประเภทเลือกทำลาย

สารกำจัดวัชพืช ประเภทเลือกทำลาย (selective herbicide) เป็นสารกำจัดวัชพืชที่มีคุณสมบัติในการทำลายวัชพืชบางชนิด แต่จะไม่ทำลายวัชพืช หรือพืชปลูกบางชนิด ซึ่งโดยทั่วไปแล้วสารกำจัดวัชพืชประเภทเลือกทำลาย นี้สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ สารกำจัดวัชพืชประเภทเลือกทำลายใบแคบ และสารกำจัดวัชพืชประเภทเลือกทำลายใบกว้าง

(2) สารกำจัดวัชพืชประเภทไม่เลือกทำลาย

สารกำจัดวัชพืชประเภทไม่เลือกทำลาย (non selective herbicide) เป็นสารเคมีที่คุณสมบัติในการทำลายวัชพืชกว้างหลายชนิด หรืออาจกล่าวได้ว่าทำลาย และควบคุมวัชพืชทุกชนิด ทั้งวัชพืชใบแคบและใบกว้าง สารเคมีประเภทนี้ถูกนำมาใช้ในสภาพที่ไม่มีการเพาะปลูกพืช เช่น ริมถนน ริมทางรถไฟ และการใช้ก่อนปลูกพืช (per planting) การใช้สารกำจัดวัชพืชประเภทไม่เลือกทำลายในพืชปลูกนั้นสามารถกระทำได้ถ้าหากปลูกพืชยืนต้นที่มีขนาดโตแล้ว จะมีการพ่นโดยที่ไม่ให้ละอองสารเคมีปลิวไปสัมผัสกับพืชยืนต้นนั้น หรือในพืชปลูกล้มลุก อาจพ่นโดยใช้แผงกั้น หรือฝาครอบ หรือพ่นแบบประณีต โดยใช้หัวพ่นที่มีขนาดรูเล็ก กดหัวพ่นให้ต่ำปั๊มลมเบาๆ

ชนิดของสารกำจัดวัชพืชพวกนี้ได้แก่ glyphosate, paraquat, และ glufosinate-ammonium

ข. การจำแนกตามการเคลื่อนย้ายของสารเคมีในวัชพืช จำแนกได้ 2 พวกได้แก่

- สารกำจัดวัชพืชประเภทสัมผัสตาย
- สารกำจัดวัชพืชประเภทดูดซับ

(1) สารกำจัดวัชพืชประเภทสัมผัสตาย

สารกำจัดวัชพืชประเภทสัมผัสตาย (contact herbicide) เป็นสารเคมีที่เมื่อถูกดูดซึม (absorption)หรือเข้าทำลายวัชพืชแล้ว โมเลกุลของสารเคมีจะไม่มีการเคลื่อนย้ายไปไหน โดยจะทำลายเซลล์ของวัชพืชบริเวณนั้นทันทีดังนั้นวัชพืชจะมีอาการตายเฉพาะส่วนที่ได้รับสารเคมีโดยตรงเท่านั้น ส่วนของวัชพืชที่ไม่ได้รับสารเคมีจะไม่ตาย เช่น ส่วนขยายพันธุ์ใต้ดินพวกหัว เหง้า ไหล และ ลำต้นใต้ดิน ซึ่งถ้าหากสภาพแวดล้อมเหมาะสมส่วนต่างๆ เหล่านี้จะงอกขึ้นใหม่ (regrowth)ได้ การใช้สารกำจัดวัชพืช ประเภทสัมผัสตายนี้จะใช้ได้ดีเฉพาะวัชพืชล้มลุก (annual weed) เท่านั้นเพราะวัชพืชพวกนี้ไม่มีส่วนขยายพันธุ์ใต้ดิน โดยที่พยายามพ่นให้ทั่วต้น และใบของวัชพืชมากที่สุดเท่าที่มากได้ ส่วนการพ่น

สารกำจัดวัชพืชประเภทสัมผัสตายในวัชพืชยืนต้น (perennial weed) นั้นสามารถทำได้ถ้าหากมีการพ่นซ้ำหลายๆครั้ง

ฤทธิ์ของสารเคมีประเภทนี้ส่วนใหญ่จะสามารถทำลายส่วนต่างๆ ของวัชพืชค่อนข้างเร็ว โดยที่จะเห็นผลในเวลาอันสั้น (1-2 วัน) ภายหลังการพ่นลงไป จึงสามารถนำมาใช้เพื่อที่จะกำจัดวัชพืชให้ทันเวลาในการใส่ปุ๋ยหรือให้น้ำ หรือเตรียมดินปลูกพืช

ชนิดของสารกำจัดวัชพืชพวกนี้ได้แก่ paraquat, fomesafen, lactofer,และ dinoseb

สารกำจัดวัชพืชประเภทสัมผัสตายนี้ ถ้าหากมีการพิจารณาในหลักการจำแนก แบบ การจำแนกตามขอบเขตของวัชพืชที่ถูกควบคุม จะสามารถจำแนกสารกำจัดวัชพืชออกเป็น 2 พวกดังนี้

- สารกำจัดวัชพืชประเภทสัมผัสตาย – ไม่เลือกทำลาย
- สารกำจัดวัชพืชประเภทสัมผัสตาย – เลือกทำลาย

(2) สารกำจัดวัชพืชประเภทสัมผัสตาย – ไม่เลือกทำลาย

สารกำจัดวัชพืชประเภทสัมผัสตาย – ไม่เลือกทำลาย (contact- non selective herbicide) เป็นสารเคมีที่เมื่อถูกใช้ไปแล้วออกฤทธิ์ทำลายวัชพืชเฉพาะส่วนไม่มีการเคลื่อนย้าย โดยที่จะสามารถควบคุมวัชพืชได้มากมายหลายชนิด เช่น ใบแคบตระกูลหญ้า (grass weed) และใบกว้าง (broadleaf weed) ซึ่งก็คือเมื่อพ่นไปแล้ววัชพืชเกือบทุกชนิดจะถูกทำลายโดยเป็นการทำลายแบบไม่เคลื่อนย้ายในวัชพืชซึ่งจะเห็นผลรวดเร็วภายหลังการพ่นสารกำจัดวัชพืชนี้ได้แก่ paraquat และ glufosinate - ammoniuum

(3) สารกำจัดวัชพืชประเภทสัมผัสตาย – เลือกทำลาย

สารกำจัดวัชพืชประเภทสัมผัสตาย – เลือกทำลาย (contact- selective herbicide) เป็นสารเคมีที่เมื่อถูกใช้ไปแล้วออกฤทธิ์ทำลายเฉพาะส่วนของวัชพืชที่สัมผัสสารเคมีโดยตรง โดยที่จะควบคุมวัชพืชบางชนิดเท่านั้น ในขณะที่วัชพืช หรือพืชปลูกบางชนิด (ประเภท) ไม่เป็นอันตราย ชนิดของสารกำจัดวัชพืชพวกนี้ได้แก่ acifluorfen, fomesafen และ lactofen ซึ่งเป็นสารกำจัดวัชพืชที่ถูกนำมาใช้กำจัดวัชพืชประเภทเลือกทำลายใบกว้าง (broadleaf weed)ในพืชปลูกใบกว้างพวกถั่วเหลือง ซึ่งจะมีผลต่อถั่วเหลืองเล็กน้อย ถ้าหากใช้ในอัตราส่วนที่กำหนดและไม่มีผลต่อวัชพืชใบแคบแต่อย่างใด

(4) สารกำจัดวัชพืชประเภทดูดซึม

สารกำจัดวัชพืชประเภทดูดซึม หรือเคลื่อนย้าย (systemic หรือ translocated herbicide) เป็นสารเคมีที่เมื่อพ่นไปยังส่วนใดส่วนหนึ่งของวัชพืช หรือการพ่นแบบทางดินแล้ว โมเลกุลของสารเคมีจะมีการเคลื่อนย้ายไปทำลายส่วนต่างๆ ของวัชพืชได้ เช่น ส่วนของราก เหง้า หัว ไหล และลำต้นใต้ดิน ดังนั้นจึงสามารถทำการควบคุมวัชพืชแบบสิ้นซาก หรือถอนรากถอนโคน

การเคลื่อนย้ายของสารเคมีในวัชพืชนี้อาจอาศัยกระบวนการคายน้ำ และสังเคราะห์แสง ซึ่งถ้าหากเป็นการพ่นทางใบ จะมีการเคลื่อนย้ายลงข้างล่างโดยอาศัยมากับกระบวนการสังเคราะห์แสง ส่วนการพ่นทางดินจะเคลื่อนย้ายโดยอาศัยการคายน้ำในวัชพืชอย่างไรก็ตามการพ่นสารกำจัดวัชพืชประเภทนี้ลงไปจะพบว่าวัชพืชจะมีอาการตาย ต้องใช้เวลานานกว่าพวกสัมผัสตาย ซึ่งอาจเป็น 1 - 2 สัปดาห์จึงจะเห็นผล

ชนิดของสารกำจัดวัชพืชประเภทดูดซึมได้แก่ glyphosate, 2,4 dicamba, fluroxypyr,dalapon,diclofop–methyl,fluazifop-butyl,picloram,quizalofop-p-tefuryl,fenoxaprop-p-ethyl,clethodim และ haloxyfop-R-methyl ester

สารกำจัดวัชพืชประเภทดูดซึม หรือเคลื่อนย้ายนี้ ถ้าหากมีการพิจารณาในหลักการจำแนก แบบ การจำแนกตามขอบเขตของวัชพืชที่ถูกควบคุม จะสามารถจำแนกสารกำจัดวัชพืชออกเป็น 2 พวกดังนี้

- สารกำจัดวัชพืชประเภทดูดซึม – ไม่เลือกทำลาย
- สารกำจัดวัชพืชประเภทดูดซึม –เลือกทำลาย

ค. การจำแนกตามช่วงเวลาใช้ จำแนกออกเป็น 3 แบบ ได้แก่

- สารกำจัดวัชพืชประเภทก่อนปลูก
- สารกำจัดวัชพืชประเภทก่อนงอก
- สารกำจัดวัชพืชประเภทหลังงอก

สารกำจัดวัชพืชประเภทก่อนปลูกถ้าหากมีการพิจารณาในหลักการจำแนกตามแบบการจำแนกตามขอบเขตของวัชพืชที่ถูกควบคุม และ การจำแนกตามการเคลื่อนย้ายของสารเคมีในวัชพืช จะสามารถจำแนกสารกำจัดวัชพืชออกเป็น 4 แบบดังนี้

- สารกำจัดวัชพืชประเภทก่อนปลูก – ไม่เลือกทำลาย – สัมผัสตาย
- สารกำจัดวัชพืชประเภทก่อนปลูก – เลือกทำลาย – สัมผัสตาย
- สารกำจัดวัชพืชประเภทก่อนปลูก – ไม่เลือกทำลาย – ดูดซึม
- สารกำจัดวัชพืชประเภทก่อนปลูก – ไม่เลือกทำลาย – ดูดซึม

(1) สารกำจัดวัชพืชประเภทก่อนปลูก – ไม่เลือกทำลาย – สัมผัสตาย

สารกำจัดวัชพืชประเภทก่อนปลูก – ไม่เลือกทำลาย – สัมผัสตาย (pre planting - nonselective –contact herbicide) เป็นสารเคมีที่พ่นแบบก่อนปลูก ซึ่งทำลายวัชพืชทุกชนิดและไม่มีการ

เคลื่อนย้ายในวัชพืช ดังนั้นสารเคมีที่ออกฤทธิ์ทำลายวัชพืชที่รวดเร็ว โดยที่จะสามารถเตรียมดินปลูกพืชได้ภายในเวลา 1-2 วัน หลังการพ่นไม่ต้องเสียเวลานาน ชนิดของสารกำจัดวัชพืชพวกนี้ได้แก่ สาร paraquat และ glufosinate – ammonium

(2) สารกำจัดวัชพืชประเภทหลังงอก

สารกำจัดวัชพืช ประเภทหลังงอก (postemergence herbicide)จัดเป็นสารกำจัดวัชพืชประเภทที่ใช้แบบหลังงอก เป็นสารกำจัดวัชพืชที่ส่วนใหญ่เข้าทำลายวัชพืชทางส่วนเหนือดินคือ ใบและลำต้นของวัชพืช สารกำจัดวัชพืชประเภทหลังงอกนี้ จึงถูกพ่นเมื่อมีวัชพืชงอกขึ้นมาแล้ว โดยอาจพ่นแบบหลังวัชพืชงอกมานานแล้ว หรือพ่นแบบวัชพืชเริ่มงอกใหม่ๆ (early – postemergence application)

ชนิดของสารกำจัดวัชพืชประเภทหลังงอก ได้แก่ glyphosate, paraquat, glufosinate – ammonium,fluazifop-butyl, clethodim,dalapon และ fluroxypyr

สารกำจัดวัชพืชประเภทก่อนปลูกถ้าหากมีการพิจารณาในหลักการจำแนกตามแบบการจำแนกตามขอบเขตของวัชพืชที่ถูกควบคุม และ การจำแนกตามการเคลื่อนย้ายของสารเคมีในวัชพืช จะสามารถจำแนกสารกำจัดวัชพืชประเภทนี้ออกเป็นกลุ่มต่างๆ คือ

- สารกำจัดวัชพืชประเภทหลังงอก – เลือกทำลาย – สัมผัสตาย
- สารกำจัดวัชพืชประเภทหลังงอก – เลือกทำลาย – ดูดซึม
- สารกำจัดวัชพืชประเภทหลังงอก – ไม่เลือกทำลาย – สัมผัสตาย
- สารกำจัดวัชพืชประเภทหลังงอก – ไม่เลือกทำลาย – ดูดซึม

ในส่วนของสารกำจัดวัชพืชประเภทหลังงอก – ไม่เลือกทำลาย – สัมผัสตาย (postemergence nonselective – contact herbicide) เป็นสารกำจัดวัชพืชที่ใช้พ่นแบบหลังงอก ซึ่งสามารถควบคุมวัชพืชเกือบทุกชนิด โดยเป็นการทำลายเฉพาะส่วนที่ได้รับสารเคมีโดยตรงเท่านั้น

ชนิดของสารกำจัดวัชพืชพวกนี้ได้แก่ paraquat, และ glyphosate

ง. การจำแนกตามลักษณะการใช้ สามารถจำแนกได้ 2 กลุ่ม ได้แก่

- สารกำจัดวัชพืชที่พ่นทางใบ
- สารกำจัดวัชพืชที่พ่นทางดิน

(1) สารกำจัดวัชพืชที่พ่นทางใบ

สารกำจัดวัชพืช ประเภทพ่นทางใบของวัชพืช (foliar applied herbicide) เป็นสารเคมีที่โมเลกุลจะเข้าทำลายวัชพืชในส่วน ที่อยู่เหนือดินโดยเฉพาะส่วนใบของวัชพืช ซึ่งก็เท่ากับว่าต้องมีการ

พ่นแบบหลังงอก (postemergence application)การใช้สารเคมีประเภทนี้ต้องพ่นให้สารเคมีมีโอกาสสัมผัสกับส่วนเหนือดิน ของวัชพืชมากที่สุด โดยที่เมื่อสารเคมีไหลลงสู่ดินแล้วจะไม่สามารถเข้าทำลายวัชพืชได้เลย

ชนิดของสารกำจัดวัชพืชพวกนี้ได้แก่ glyphosate,paraquat, glufosinate – ammonium,fluazifop-butyl, haloxyfop – R-methyl ester, propaquizafop, quizalofop-p – tefuryl, clethodimและdalapon

สารกำจัดวัชพืชประเภทก่อนปลูกถ้าหากมีการพิจารณาในหลักการจำแนกตามแบบการจำแนกตามขอบเขตของวัชพืชที่ถูกควบคุม และ การจำแนกตามการเคลื่อนย้ายของสารเคมีในวัชพืช จะสามารถจำแนกสารกำจัดวัชพืชออกเป็น 4 แบบดังนี้

- สารกำจัดวัชพืชประเภทพ่นทางใบ – เลือกทำลาย- สัมผัสตาย
- สารกำจัดวัชพืชประเภทพ่นทางใบ – เลือกทำลาย- ดูดซึม
- สารกำจัดวัชพืชประเภทพ่นทางใบ –ไม่เลือกทำลาย- สัมผัสตาย
- สารกำจัดวัชพืชประเภทพ่นทางใบ – ไม่เลือกทำลาย- ดูดซึม

ในส่วนของ สารกำจัดวัชพืชประเภทพ่นทางใบ –ไม่เลือกทำลาย- สัมผัสตาย (foliar applied-nonselective-contact herbicide)เป็นสารเคมีที่ใช้พ่นแบบหลังงอกโดยพ่นไปที่ใบของวัชพืช และเมื่อสารเคมีถูกดูดซึม (absorption)เข้าไปในวัชพืชแล้วจะทำลายเฉพาะส่วน (ที่รับสารเคมี) เท่านั้น โดยที่วัชพืชจะถูกทำลายหลายชนิด ซึ่งชนิดของสารกำจัดวัชพืชพวกนี้ได้แก่ paraquat และ glufosinate – ammonium

จ. การจำแนกตามลักษณะการทำลาย

การทำลายของสารกำจัดวัชพืช (mode of action) เป็นกระบวนการชีวเคมีที่สารกำจัดวัชพืชจะออกฤทธิ์ทำลายวัชพืช ให้มีอาการผิดปกติ หรือตายได้ ปฏิกิริยาทางชีวเคมีที่เกิดจากสารกำจัดวัชพืชจะแตกต่างกันไป การจำแนกโดยอาศัยหลักการที่ว่าสารกำจัดวัชพืชจะมีลักษณะการทำลายวัชพืชใดนี้ ก็เพื่อเป็นตัวช่วยให้เกิดความสะดวกเข้าใจในการตัดสินใจเลือกใช้ประเภท (ชนิด) ของสารเคมีเพื่อกำจัดวัชพืชครั้งนั้น โดยทั่วไปแล้วสามารถจำแนกออกเป็น 3 กลุ่มคือ

- สารกำจัดวัชพืชประเภทยับยั้งจุดเจริญ
- สารกำจัดวัชพืชประเภทยับยั้งการสังเคราะห์แสง
- **สารกำจัดวัชพืชประเภทฮอร์โมน**

ส่วนของสารกำจัดวัชพืชประเภทยับยั้งการสังเคราะห์แสง เป็นสารกำจัดวัชพืช ที่มีกลไกการทำลาย เกิดจากการยับยั้งขัดขวางกระบวนการสังเคราะห์แสง ในวัชพืช (photosynthetic inhibitor) ซึ่งโดยทั่วไปอาจแบ่งออกเป็น 2 พวก

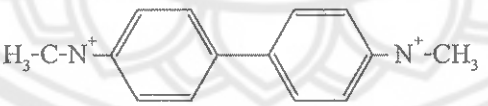
- สารกำจัดวัชพืชประเภทยับยั้งการสังเคราะห์แสงที่ใช้ทางใบ
- สารกำจัดวัชพืชประเภทยับยั้งการสังเคราะห์แสงที่ใช้ทางดิน และใบ

เนื่องจากสารกำจัดวัชพืชประเภทยับยั้งการสังเคราะห์แสงที่ใช้ทางใบ (photosynthetic-inhibitor foliar applied herbicide)เป็นพวกที่ใช้พ่นแบบหลังงอกโดยโมเลกุลของสารเคมีจะทำลายวัชพืชในกระบวนการสังเคราะห์แสงชนิดของสารเคมีพวกนี้ได้แก่ bentazon,propanil,paraquat,diquat, buctril,acifluorfen,fomesafen,lactofen,oxyfluorfen และ endothall

5.6 คุณสมบัติของพาราควอท (paraquat)

พาราควอท (paraquat) เป็นสารปราบวัชพืชชนิดหนึ่งที่อยู่ในกลุ่มไบไพริดิเลียม (bipyridilium) เป็นสารที่ไม่เลือกทำลาย มีความสามารถในการทำลายพืชได้อย่างรวดเร็ว โดยพืชจะมีอาการแห้งตายในช่วงระยะเวลาอันสั้น เมื่อลงสู่ดินแล้วถือว่าเป็นสารที่ไม่มีผลตกค้างในดิน เนื่องจากถูกดูดยึดไว้กับดินอย่างรวดเร็ว (รังสิต, 2533)

พาราควอทเป็นประจุบวกและอยู่ในรูปเกลือคลอไรด์ ซึ่งสามารถสังเคราะห์ได้จากสารไพริดิน (pyridine) โดยกระบวนการไดเมอไรเซชัน (dimerization) แล้วดึงเอาไฮโดรเจนออก หลังจากนั้นให้ทำปฏิกิริยากับคลอไรด์ (methyl chloride) ดังนั้นจึงอยู่ในรูปของเกลือไดคลอไรด์ ($C_{12}H_{14}C_{l2}N_2$ น้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 256.2) พาราควอทก่อให้เกิดปฏิกิริยารีดักชัน (redox-indicator) เมื่อรับอิเล็กตรอนแล้วจะกลายเป็นอนุมูลอิสระ จึงมีชื่อทางเคมีว่า เมธิลไวโอโลเจน (Methyl Viologen) หรือ 1,1′–dimethyl-4, 4′-bipyridinium โดยมีสูตรโมเลกุล คือ $C_{12}H_{14}N_2$ น้ำหนักโมเลกุล 186.3 และมีสูตรโครงสร้างทางเคมีดังภาพที่ 2



สูตรโครงสร้าง 1,1′–dimethyl-4, 4′-bipyridinium

พาราควอทจะเสถียรภาพหรือมีความคงตัวสูงในสารละลายกรดและสารละลายที่เป็นกลาง แม้จะนำไปต้มในกรดกำมะถัน (sulfuric acid) ที่ความเข้มข้นสูง ซึ่งเป็นวิธีการที่สะกัดสารนี้ออกจากอนุภาคของดิน อย่างไรก็ตามพาราควอทไม่คงตัวในสารละลายที่เป็นด่างหรืออัลคาไล (alkali) และจะ

เสื่อมฤทธิ์เมื่อจับกับอนุภาคดินเหนียวหรืออนุภาคที่เป็นประจุลบ นอกจากนี้ยังสลายตัวเมื่อถูกแสงรังสีเหนือม่วง (ultraviolet) และสามารถถูกย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ในดินแต่ช้ามาก พาราควอทอยู่ในรูปที่เป็นของเหลวเรียกว่า aqueous concentrate เนื่องจากมันถูกรีดิวซ์ได้ง่าย โดยอาจจะเกิดปฏิกิริยากับโลหะ เช่น เหล็กหรืออลูมิเนียม ดังนั้นรูปที่จำหน่าย จึงมีสารที่ป้องกันการกัดกร่อนของโลหะ (corrosion inhibitor) รวมอยู่ด้วย (รังสิต, 2533)

5.6.1 การสังเคราะห์

พาราควอทสังเคราะห์ได้จากสารไพริดีน (pyridine) โดยกระบวนการไดเมอ-ไรเซชัน (dimerization) แล้วดึงเอาไฮโดรเจนออกมา หลังจากนั้นให้ทำปฏิกิริยากับเมธิลคลอไรด์ (methyl chloride) ซึ่งอยู่ในรูปเกลือคลอไรด์

5.6.2 ปฏิกิริยาเคมีต่างๆ

คุณสมบัติพาราควอทที่ทราบกันมานานแล้วตั้งแต่ปี ค.ศ. 1933 คือ ก่อให้เกิดปฏิกิริยารีดักชันเมื่อรับอิเล็กตรอนแล้วจะกลายเป็นอนุมูลอิสระ จึงมีชื่อเรียกว่า ไวโอโลเจน (viologen) เป็นสารที่ใช้ในการศึกษาปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชัน ซึ่งเกี่ยวข้องกับตัวพาอิเล็กตรอนในปฏิกิริยาชีวเคมีต่างๆ จากคุณสมบัติที่พาราควอทเป็นตัวรีดิวซ์นี่เอง จึงทำให้มันสามารถทำปฏิกิริยากับโลหะต่างๆ ได้ เมื่อเป็นอนุมูลอิสระจะมีความคงตัวในสารละลายในระยะเวลาอันสั้น และสามารถดูดคลื่นแสงในช่วงคลื่น 396 nm แต่เมื่ออยู่ในรูปที่ไม่ถูกรีดิวซ์ จะดูดกลืนแสงที่ช่วงคลื่น 256 nm พาราควอทมีความคงตัวสูงในกรดหรือสารละลายที่เป็นกลาง แม้จะนำไปต้มในกรดกำมะถัน (sulfuric acid) ที่ความเข้มข้นสูง ซึ่งเป็นวิธีการที่สกัดสารนี้ออกจากอนุภาคของดินอย่างไรก็ตามพาราควอทไม่คงตัวในสารละลายที่เป็นอัลคาไล (alkali)

5.6.3 รูปของสาร

พาราควอทอยู่ในรูปที่เป็นของเหลวเรียกว่า aqueous concentrate เนื่องจากมันถูกรีดิวซ์ได้ง่าย ซึ่งได้กล่าวไปแล้วว่าอาจจะเกิดปฏิกิริยากับโลหะ เช่น เหล็กหรืออลูมิเนียม ดังนั้นในรูปที่จำหน่าย จึงมีสารที่ป้องกันการกัดกร่อนของโลหะ(corrosion inhibitor) รวมอยู่ด้วยสารจับใบ (surfactant) ปกติจะเพิ่มประสิทธิภาพของสาร อาจจะมีหรือไม่มีผสมอยู่ถ้ามีจะเป็นพวก nonionic หรือ cationic สำหรับ anionic นั้นไม่สามารถใช้ได้ พาราควอทที่ใช้เฉพาะการกำจัดวัชพืชน้ำจะไม่มีสารจับใบผสมอยู่

5.7 การสลายตัวของพาราควอท

5.7.1 สลายตัวโดยแสงแดด

พาราควอทสามารถถูกทำให้สลายตัวโดยแสงแดดเมื่อผสมพาราควอทกับน้ำแล้วให้ผ่านแสงอุลตราไวโอเลต จะทำให้พาราควอทสลายตัวเป็น 4-carboxyl-1-methyl pyridinium ion และ methylamine ซึ่งสารชนิดหลังนี้มาจากชนิดแรก โดยในสภาพที่ไม่มีออกซิเจนจะมีสารที่ได้จากการสลายตัวเป็นจำนวนมากชนิด อย่างไรก็ตามการสลายตัวของพาราควอทโดยแสงแดดนั้น เชื่อว่าเกิดขึ้นได้น้อย ทั้งนี้เพราะช่วงคลื่นที่พาราควอทดูดแสงได้อยู่ที่ 257 nm เท่านั้น แต่แสงแดดมีช่วงคลื่นต่ำสุดแค่ 290 nm ซึ่งมีน่าจะทำให้เกิดการสายตัวขึ้น แต่ในสภาพธรรมชาติ พาราควอทถูกดูดยึดไว้กับผิวหน้าดิน และการดูดแสงจะเปลี่ยนไปอยู่ในช่วงคลื่น 275 nm ซึ่งอาจจะทำให้เกิดการสลายตัวด้วยแสงแดดได้บ้าง การสลายตัวของพาราควอทจะเกิดขึ้นเมื่อสารตกค้างอยู่ที่ผิวใบพืช และสารนี้จะไม่เคลื่อนย้ายในต้นพืช

5.7.2 การสลายตัวในดิน

การสลายตัวในดินสำหรับการสลายตัวของพาราควอทในดินสามารถเกิดขึ้นได้ 3 กรณี คือ เกิดขึ้นเมื่อพาราควอทอยู่ที่ผิวดิน เกิดเมื่อพาราควอทยึดกับสารอินทรีย์ในดิน และเกิดขึ้นได้โดยจุลินทรีย์ในดิน โดยทั่วไปในดินเขตหนาวจะมีผลตกค้างของพราราควอทอยู่ในดินเป็นเวานานหลายปี และปริมาณที่พบจะน้อยมาก พาราควอทถูกทำให้สลายตัวในดิน จะได้สาร 2 ชนิด คือ 1-methyl-4,4-bipyridylium ion และ 4-carboxyl-1-methylpyridinium ion จุลินทรีย์พวก *Aerobacter aerogenes*, *Agrobacterium tumefaciens*, *Pseudomonas flurescens* และ *Bacillus cereus* เจริญเติบโตได้ในอาหารที่มีพาราควอทเข้นข้น 10 ppm โดยใช้พาราควอทเป็นแหล่งอาหารไนโตรเจน แต่เมื่อใช้พาราควอทเป็นแหล่งอาหารคาร์บอนแล้ว *Bacillus cereus* จะเจริญเติบโตได้ดีที่สุด นอกจากนี้ Corynebacterium fascians และ Clostridium pasteurianum สามารถทำให้พาราควอทสลายตัวได้ 20-40% แต่ yeast Lipomyces starkeyi สามารถย่อยสลายได้ถึง 95% โดยย่อยได้ทั้งในส่วนเมธิลและริงของโมเลกุล แต่การย่อยสลายจะไม่เกิดขึ้นถ้าไม่มีแหล่งอาหารที่จะให้พลังงานอยู่ด้วย โดยเชื่อว่ามีเอ็นไซม์เข้ามาเกี่ยวข้องด้วย (รังสิต, 2533)

5.7.3 การย่อยสลายของสารเคมีในพืช

พฤติกรรมอีกอย่างหนึ่งของสารเคมีในพืช หรือวัชพืช ที่เมื่อสารเคมีนั้นถูกดูดซึมเข้าไปแล้ว นอกจากจะมีการเคลื่อนย้าย (translocation) หรือการทำลาย (mode of action) แล้วก็คือสารเคมีนั้นอาจถูกย่อยสลาย (degradation)ทำให้โมเลกุลใหม่ไม่มีโครงสร้างของสารกำจัดวัชพืชอีกต่อไป ทำ

ให้พืชหรือวัชพืชนั้นทนทานต่อสารเคมีนั้นได้ หรือเป็นกระบวนการที่ทำให้เกิดการเลือกทำลาย (selectivity) ขึ้นได้ กระบวนการย่อยสลายของสารเคมีที่ทำให้สารกำจัดวัชพืชมีฤทธิ์ กลายเป็นสารเคมีที่ไม่มีฤทธิ์ในพืชอาจเกิดขึ้นได้ดังนี้ (Anderson,1983)

Oxidation – reduction

การ Oxidation – reduction เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นโดยเกี่ยวข้องกับการถูก Oxidise หรือ reduce ในพืชซึ่งเป็นการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอน (electron) ของโมเลกุลของสารเคมี

กระบวนการ Oxidation เป็นกระบวนการที่โมเลกุลของสารกำจัดวัชพืชถูก Oxidise โดยการเพิ่มออกซิเจน (Oxygen) ซึ่งก็คือการแลกเปลี่ยนไฮโดรเจน (hydrogen) ทำให้เกิดพลังงานขึ้นมา ตัวอย่างเช่น การเกิด Oxidation ของสารเคมีในกลุ่ม Phenoxy โดยเอ็นไซม์ในพืชจะเป็นตัวทำลายให้คาร์บอน (carbon) ที่ side chain ขาดออก (Ashton and Crafts, 1973)

กระบวนการ reduction เป็นการเพิ่มอิเล็กตรอน (electron) เป็นการลดจำนวนออกซิเจน (Oxygen) หรือ เพิ่มไฮโดรเจน (hydrogen)

การสลายตัวในต้นพืชการสลายตัวในต้นพืชได้มีการศึกษาการสลายตัวของสารกลุ่มนี้ในต้นพืชเพื่อดูว่ามีผลตกค้างหรือไม่ จากการศึกษาในวัชพืชและปลูกพืช เช่น ผักเป็ด มะเขือเทศ ถั่ว ข้าวโพด และนำพืชเหล่านั้นไปไว้ในที่มืดปรากฏว่าไม่มีการสลายตัวเกิดขึ้น แต่การสลายตัวเกิดขึ้นเมื่อสารตกค้างอยู่ที่ผิวดินในพืช (ส่วนที่ไม่เข้าอยู่ภายในใบพืช) สำหรับการใช้สารในพืชปลูกนั้น ปกติไม่ให้ละอองสารสัมผัสพืชปลูกได้ จึงไม่น่าจะมีผลตกค้างในพืชปลูก แต่บางกรณีพืชปลูกจะได้รับสาร แต่สารไม่เคลื่อนย้ายในต้นพืช สิ่งที่ต้องระมัดระวังก็คือ ขณะเก็บเกี่ยวไม่ควรใช้สาร เช่น ใช้พาราควอทฉีดพ่นให้ใบมันฝรั่งแห้งก่อนการเก็บเกี่ยว พบว่ามีพาราควอทในหัวมันฝรั่ง แต่ไม่พบสารที่ระจาการสลายตัวของพาราควอท

5.7.4 การสลายตัวในสัตว์

- ไส้เดือน มีรายงานว่าการใช้พาราควอทในอัตราที่แนะนำ จะไม่ลดจำนวนไส้เดือนในดินลงและสารเคมีไม่ได้สะสมในตัวไส้เดือน ยกเว้นการใช้ในอัตราที่สูงมากๆ (17.9 กก. (ai)/ไร่) จะมีสารสะสมอยู่ในส่วนต่างๆ ทั้งนี้ในอัตราที่ใช้ปกติ พาราควอทถูกดูดยึดไว้ได้หมดโดยอนุภาคของดิน
- **แมลง** เมื่อใช้พาราควอทออัตราปกติ คือ (80 กรัม (ai)/ไร่) จะไม่ทำให้แมลงต่างๆ ต่อไปนี้คือ ไร ซึ่งเป็นแมลงในวงศ์ Rhodacaridae แมลงหางดีด (Collembola) ชนิดต่างๆ ซึ่งอยู่ในวงศ์

Onychiaridae, Isotomiae, Entomobryidae และ Smunthuridae ลดจำนวนลงหลังจากใช้ไปแล้ว 2, 6 และ 12 เดือน

- **ปลา** การเลี้ยงปลา rainbow trout ในน้ำที่มีพาราควอท 1 ppm นาน16 วัน จะพบสารในตัวปลา 0.5-0.6 ppm โดยสารจะอยู่ที่ผิวหนัง เหงือก กระเพาะอาหาร และอวัยวะส่วนอื่นๆ แต่ไม่พบที่เนื้อปลา เมื่อนำปลานั้นมาเลี้ยงในน้ำที่ไม่มีพาราควอทนาน 10 วัน ก็ไม่พบสารในตัวปลา ค่า LC_{50} ของ พาราควอทต่อปลา rainbow trout ที่ 24 48 และ 96 ชั่วโมง เท่ากับ 10, 62, 32 มก./กก. ตามลำดับ

- **สัตว์ใหญ่** มีรายงานว่าพาราควอทจำนวนน้อยมากที่จะถูกดูดซึมจากลำไส้สัตว์ที่เคี้ยวเอื้องเมื่อใช้พาราควอทเข้มข้น 150 ppm ผสมอาหารแล้วใช้เลี้ยงวัวเป็นเวลาหลายสัปดาห์ ไม่พบว่ามีพาราควอทในน้ำนม ส่วนในเนื้อพบน้อยกว่า 0.01 ppm พาราควอทถูกย่อยสลายในตัวสัตว์ต่างๆ เช่น หมู สุนัข หนูตะเภา และไก่น้อยมาก

อย่างไรก็ตามอีกรายงายหนึ่งกล่าวว่า เมื่อวัวกินพาราควอทเข้าไป 8 มก./กก. จะพบสารเคมีถูกขับออในอุจจาระ 96% ในปัสสาวะ 0.7% และพบเพียง 0.0032% ในน้ำนม พรารควอทที่พบจะอยู่ในรูปเดิมคือ ไม่ถูกย่อยสลาย เชื่อว่าจุลินทรีย์ในกระเพราะของสัตว์ไม่สามารถย่อยสลายพาราควอทได้

- **คน** อ่อนแอต่อพาราควอทมาก จากการสังเกตคนที่กินพาราควอทโดยบังเอิญ หรือฆ่าตัวตาย ค่า LD_{50} จะมีเพียง 20 มก./กก. ในขณะที่หนู มีค่า LD_{50} 120 มก./กก. นอกจากนี้การสัมผัสระหว่างสารพาราควอทกับผิวหนังของผู้ใช้จะเกิดอาการคัดและเป็นแผล และควรจะป้องกันไม่ให้ละอองของพาราควอทปลิวเข้าสู่จมูกขณะที่ทำการฉีดพ่น เพราะสารเคมีเป็นพิษรุนแรงต่อปอด ทั้งนี้เพราะถ้าเมื่อพาราควอทรับอิเล็กตรอน ในกระบวนการถ่ายเทอิเล็กตรอนในไมโทคอนเดรีย แล้วจะอยู่ในอนุมูลอิสระ ซึ่งอนุมูลอิสระนี้จะถ่ายทอดอิเล็กตรอนแก่ออกซิเจน ซึ่งจะได้ H_2O_2 OH^+ และ O_2^+ (ซูเปอร์ออกไซด์เรดิคัล) ซึ่งชนิดหลังสุดนี้เป็นตัวทำลายเมมเบรนอย่างรุนแรง

5.8 การถูกดูดยึดในดินของพาราควอท

พาราควอทเป็นสารที่ถูกดูดยึดไว้กับอนุภาคดินอย่างรุนแรง เมื่อถูกดูดยึดแล้วรากพืชไม่สามารถดูดเอาไปใช้ได้ อนุภาคดินที่เป็นแร่ดินเหนียว (clay minerals) ทำหน้าที่เป็นตัวดูดยึด ซึ่งแร่ดินเหนียวเหล่านั้นมีหลายประเภท เช่น แร่ดินเหนียวที่มีลักษณะโครงสร้างแบบ 2:1 (Silica sheet : Alumina sheet) ได้แก่ chlorite, illite, hydroxy-interlayered vermiculite (HIV), montmorillonite, และ bentonite เป็นต้น หรือแร่ดินเหนียวที่มีโครงสร้างแบบ 1:1 ได้แก่ kaolin minerals โดยทั่วไปนั้นปริมาณและประเภทของแร่ดินเหนียวมีบทบาทสำคัญ ในการดูดยึดระหว่างพาราควอทกับดิน มีผู้คำนวณว่า ในดินลึก 15 เซนติเมตร ในพื้นที่ 2.5 ไร่ มี montmorillionite 1% จะต้องใช้พาราควอทถึง

1013.5 กิโลกรัม จึงจะทำให้พาราควอทอิ่มตัว และเมื่อใช้เกิดอัตรานี้ไปรากพืชอาจจะดูดเอาพาราควอทมาใช้ได้และอาจจะเป็นพิษต่อพืชได้ ในการทดสอบความรุนแรงของการดูดยึดพาราควอทในแร่ดินเหนียวนั้น ได้ใช้แอมโมเนียมไอออนจากแอมโมเนียมคลอไรด์เป็นตัวไล่ที่พาราควอทที่ถูกยึดไว้กับ montmorillonite, bentonite และ kaolinite พบว่าแอมโมเนียมไอออนสามารถไล่ที่พาราควอทที่ถูกดูดยึดไว้กับ kaolinite ได้เท่านั้น ซึ่งเป็นพวกที่ยึดเกาะกับอนุภาคดินอย่างหลวมๆ (loosly bound) แต่แอมโมเนียมไอออนไม่สามารถไล่ที่พาราควอทที่ถูกดูดยึดโดย montmorillonite และ bentonite สำหรับพาราควอทที่ถูกดูดยึดไว้อย่างหนาแน่น (tightly bound) นั้น เมื่อต้องการแยกออกจากดินจะต้องใช้ H_2SO_4 เข้มข้น 18 N เป็นตัวสะกัดและต้องนำไปต้มนานถึง 5 ชั่วโมง (รังสิต, 2533) นอกจากจะถูกดูดยึดไว้กับแร่ดินเหนียวแล้ว พาราควอทยังถูกดูดยึดไว้กับอินทรีย์วัตถุในดิน แต่ว่าไม่มีความรุนแรง นอกจากนี้อินทรีย์วัตถุจะสลายตัวอยู่ตลอดเวลา และเมื่อพาราควอทถูกปลดปล่อยออกมาจากอินทรีย์วัตถุแล้วก็จะถูกดูดยึดโดยอนุภาคดินเหนียว (Willis,1990) รายงานว่า พาราควอทที่ตกค้างและถูกดูดยึดติดกับอนุภาคดินเหนียวอย่างหนาแน่น จะไม่ถูกปลดปล่อยหรือถูกแทนที่โดยการใส่ปุ๋ย ปูนขาว และสารเคมีด้านการเกษตรอื่นๆ อีกทั้งไม่เกิดการเคลื่อนย้ายจากการชะล้างตามแนวดิ่ง (leaching) และการไหลบ่าหน้าดิน (run off) อย่างไรก็ตามความคงทน (persistemce) ของสารกำจัดศัตรูพืชชนิดหนึ่งในดินมิใช่ค่าคงที่ ทั้งนี้เนื่องจากความคงทนของสารขึ้นอยู่กันปัจจัยหลัก 2 ประการ คือ คุณสมบัติของดิน และชนิดและคุณสมบัติของสารเคมีเหล่านั้น โดยปัจจัยทั้งสองนี้มีผลร่วมต่อกันมิใช่ปัจจัยแยกอิสระ ดังนั้นค่าความคงทนของสารเคมีจึงสามารถผันแปรได้ในช่วงเวลาหนึ่งได้เสมอ (ศุภมาศ, 2545)

5.8.1 ความคงทนของสารกำจัดวัชพืชในดิน

สารกำจัดวัชพืชที่ดูดใช้ทั้งแบบที่ใช้พ่นทางดิน (soil applied herbicide) และพวกที่ใช้พ่นทางใบ (foliar applied herbicide) เมื่อตกลงสู่ดินอาจเกิดพฤติกรรมขึ้นอย่างหนึ่งคือความคงทน (persistent) หรือการมีฤทธิ์ตกค้าง (residue) ในดิน ซึ่งความคงทน และฤทธิ์ตกค้างของสารกำจัดวัชพืชในดินนี้ อาจมองได้ในลักษณะของการมีฤทธิ์ความยาวนานในการควบคุมวัชพืชแบบก่อนงอก หรืออาจมองในแง่ของการมีพิษตกค้างในดิน ซึ่งอาจมีผลเสียต่อพืชปลูกในฤดูถัดไปได้

ความคงทน หรือฤทธิ์ตกค้างของสารกำจัดวัชพืชในดิน ความจริงแล้วก็คือส่วนของโมเลกุลสารเคมีที่เหลือจากปฏิกิริยาต่างๆ ของสารเคมี อันได้แก่ กระบวนการดูดยึดโดยอนุภาคดิน การสบายตัวโดยแสง การเกิดปฏิกิริยาทางเคมี การถูกดูดซึมโดยพืชปลูก การถูกดูดซึมโดยวัชพืช การเกิดการกัดกร่อนโดยน้ำ การเกิดการชะล้าง การเกิดการระเหย การย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ในดิน โดยสารกำจัดวัชพืชพวก paraquat จะมีความคงทนในดินในเวลานาน 1 เดือน (ศุภมาศ, 2545)

5.9 ความเป็นพิษของพาราควอท

5.9.1 ความเป็นพิษของพาราควอทในน้ำ

พาราควอทสามารถใช้ควบคุมวัชพืชในน้ำ อาจจะใช้ผสมน้ำฉีดที่ผิวหรือไม่ผสม หรือใช้ฉีดพ่นใต้น้ำลึก 2-3 เมตร เนื่องจากสารละลายน้ำได้ดีมาก มันจึงกระจายตัวในน้ำได้อย่างรวดเร็ว และควบคุมวัชพืชที่อยู่ใต้น้ำ ลอยผิวน้ำ หรือโผล่พ้นน้ำ สารจะเข้าสู่ต้นพืชได้รวดเร็วมาก ความเข้มข้น 0.1 -1.5 ppm ในน้ำสามารถทำลายวัชพืชได้ ผลตกค้างของพาราควอทในน้ำจะลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากถูกวัชพืชดูดเข้าไปในต้นและถูกดูดยึดไว้กับตะกอนดินและโคลนใต้น้ำ นอกจากนี้ที่ลอยอยู่บนผิวน้ำ อาจจะมีการสลายตัวโดยแสงแดด อัตราการลดปริมาณของสารกำจัดวัชพืชชนิดนี้ในน้ำจะแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น การเคลื่อนย้ายของน้ำ ความหนาแน่นของวัชพืช การมีโคลนหรือ silt แขวนลอยอยู่และแสงแดด ปกติความเข้มข้นที่ใช้อยู่ตามปกติ (0.1 -1.5 ppm) จะลดลงสู่ 0.01 ppm ภายใน 4 ถึง 14 วันหลังการใช้

5.9.2 ความเป็นพิษของพาราควอทในต้นวัชพืช

เศษต้นวัชพืชที่ตายแล้วจะเน่าสลายอย่างรวดเร็ว พาราควอทที่ตกค้างอยู่อาจจะยึดอนุภาคดินที่แขวนลอยอยู่รวมทั้งโคลนใต้ดิน ซึ่งจะมีการดูดยึดไว้อย่างหนาแน่น และยึดติดอยู่เป็นเวลานาน ซึ่งคาดกันว่าจะไม่ถูกปลดปล่อย เนื่องจากมีรายงานว่าหลังจากการใช้สารไปแล้ว 3 เดือนสารยังถูกปลดปล่อยจากดิน ส่วนในพืช พาราควอทออกฤทธิ์เมื่อเกิดขบวนการ photosynthesis และมี oxygen ซึ่งเกิดขบวนการต่อเนื่องเป็น superoxide และเกิดพิษต่อมนุษย์ในลักษณะเดียวกัน เมื่อ oxygen เป็นสิ่งสำคัญในกระบวนการต่างๆ ของร่างกาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเกิดพยาธิสภาพของปอดซึ่งทำหน้าที่นำ oxygen เข้าสู่ร่างกาย แต่การเกิดพยาธิสภาพต่อปอดหรืออวัยวะอื่นใดจะขึ้นอยู่กับปริมาณหรือระดับของ พาราควอทในเลือด และกลไกอื่นๆ ของร่างกาย

5.9.3 ความเป็นพิษของพาราควอทต่อสัตว์น้ำ

ในการศึกษาความเป็นพิษของสารต่างๆต่อสัตว์น้ำนั้น ได้มีการจัดประเภทความเป็นพิษไว้ 3 ประเภทคือ สารที่มีความเป็นพิษมาก ปานกลาง และน้อย โดยอาศัยหลักการของ TL_m สารพาราควอทจัดว่าเป็นสารที่มีพิษปานกลางสำหรับสัตว์น้ำ ทั้งนี้เพราะความเป็นพิษเริ่มตรวจสอบได้ในระดับที่สูงกว่า 1 ppm อย่างไรก็ดี ถึงแม้ว่าสารพาราควอทจะมีความเป็นพิษปานกลางสำหรับสัตว์น้ำ แต่ก็อาจจะมีผลกระทบทางอ้อมต่อสัตว์น้ำได้ เช่น ถ้ามีปริมาณสารพาราควอทละลายอยู่ในน้ำมากเกินไป สารดังกล่าวอาจรวมตัวกับตะกอนอินทรีย์สารแล้วตกตะกอน ทำให้อาหารธรรมชาติของสัตว์น้ำวัยอ่อน

15607711 c3

29 ส.ค. 2554

9
ร
633
จ155ร
2553

ลดลง และเมื่อมีผลกระทบต่อระบบนิเวศวิทยา ดังนั้น เราจึงควรพึงสังวรในเรื่องนี้ด้วย ทั้งนี้เพื่อให้สำนักหอสมุดการควบคุมการใช้สารพาราควอทเฉพาะแต่จำเป็นและถูกหลักวิชาการ

5.9.4 ความเป็นพิษของพาราควอทต่อมนุษย์

พาราควอทเป็นสารเคมีชนิดหนึ่งซึ่งจัดเป็นสารพิษ เช่นเดียวกับสารเคมีจำนวนมากที่นำมาใช้ประโยชน์ทั้งด้านการเกษตรและอุตสาหกรรม ความเป็นพิษของสารเคมีต่างๆ ต่อมนุษย์ไม่อาจกำหนดได้แน่ชัด การประมาณความเป็นพิษต่อมนุษย์โดยอาศัยผลทดสอบในสัตว์ทดลอง เป็นเพียงการคาดคะเน เนื่องจากระบบต่างๆในการลดอันตรายจากสารพิษของคนและสัตว์หลายชนิดมีความแตกต่างกันมาก นอกจากนี้การเกิดพิษในคนยังมีปัจจัยอีกหลายอย่างที่มีอิทธิพลอยู่เป็นอันมาก เช่น ทางที่รับเข้าสู่ร่างกาย (Route) ปริมาณและความเข้มข้น (amount & concentration) นอกเหนือจากปัจจัยที่เกี่ยวกับอายุ เพศ ยังพบว่าภาวะของร่างกายที่เกี่ยวกับระบบการป้องกันตน (protective mechanism) ของแต่ละคนหรือแต่ละภาวะ จะเป็นผลให้ความรุนแรงของการเกิดพิษเปลี่ยนแปลงไปได้ สำหรับ พาราควอทเป็นสารเคมีที่มีคุณสมบัติพิเศษที่ถูกดูดซับได้โดยดิน และเป็นสารเคมีในกลุ่ม quaternary ammonium compounds ซึ่งละลายน้ำได้ดี ไม่ระเหยในอุณหภูมิปกติ (ศุภมาศ, 2545)

5.10 กลไกการทำลายพืช

พาราครอทเข้าสู่ต้นพืชได้ทั้งทางรากและทางใบ แต่การเข้าสู่ทางรากนั้นในทางปฏิบัติเป็นไปไม่ได้เพราะสารถูกดูดยึดไว้กับอนุภาคของดิน นอกจากนี้การเคลื่อนย้ายในไซเลม (xylem) ของพาราควอทในพืชบางชนิดไม่เกิดขึ้น เมื่อฉีดพ่นแบบหลังงอกหรือฉีดไปที่ใบพืช สารจะเข้าสู่ต้นพืชในระยะเวลาอันสั้น ฝนตกในระยะเวลา 15 นาทีหลังฉีด ไม่มีผลกระทบต่อการทำลายของพาราควอท ในสภาพที่มีแสงแดดจัดจะทำงายพืชภายในเวลา 1 ชั่วโมง และใบจะแห้งตายภายหลัง การทำงายพืชเป็นประเภทสัมผัสตาย มีการเคลื่อนย้ายภายในต้นพืชจำกัดและจะทำลายต้นพืชส่วนที่อยู่เหนือดินเป็นส่วนใหญ่ เมื่อใช้สารในที่มืด การเข้าสู่ต้นพืชจะมีมากกว่า และเคลื่อนย้ายได้มากกว่าด้วย อย่างไรก็ตามการเคลื่อนย้ายจะจำกัดเฉพาะในท่อลำเลียงที่เป็นไซเลมเท่านั้น แต่การทำลายพืชอาจจะไม่เกี่ยวข้องกับปริมาณที่เข้าสู่ต้นพืช การเข้าสู่ต้นพืชจะมีมากขึ้นเมื่อมีความชื้นในดินและในอากาศสูง แต่ความชื้นในดินมีผลกระทบน้อยกว่า ในสภาพที่มีอุณหภูมิต่ำ พืชจะถูกทำลายได้น้อยเพราะมีการเจริญเติบโตน้อย การหายใจเกิดขึ้นได้น้อย มีกระบวนการเมตาบอลิซึมลดน้อยลง แต่ในสภาพไร่ ไม่สามารถแยกปัจจัยต่างๆ เหล่านี้ออกจากกันได้

การผสมพาราควอทกับไดยูรอน (diuron) หรือกลุ่มไทรอาซีน (triazines) หรือ โบรมาซิล(bromacil) ทำให้มีการทำลายวัชพืชมากยิ่งขึ้น อาจจะเนื่องจากสารเหล่านี้ยับยั้งการขนส่งอิเล็กตรอน

ในคลอโรพลาสท์ ดังนั้นการทำลายพืชที่เป็นผลของพาราควอทจะเกิดขึ้นช้าลง เมื่อเป็นดังนี้จึงเปิดโอกาสให้พาราควอทเคลื่อนที่ได้บ้างเล็กน้อย แต่มีการทำลายมากยิ่งขึ้นในระยะเวลาต่อมาเนื่องจากพาราควอทเข้าสู่ภายในใบพืชโดยผ่านคิวทิเคิล (cuticle) มากกว่าทางปากใบ ดังนั้นวัชพืชที่มีไขที่ผิวหนาจึงอาจจะต้านทานสารนี้ได้

5.11 ผลกระทบต่อกระบวนการชีวเคมีในต้นพืช

สารกลุ่มไบไพริดิล ที่เรียกว่า quaternary salt of isomeric bipyridyl นั้นมีหลายชนิด ชนิดที่ทำปฏิกิริยากับผงสังกะสี (zinc dust) ในสารละลายแล้วเกิดสีเท่านั้น จึงจะมีคุณสมบัติเป็นสารกำจัดวัชพืช นอกจากนี้สารที่มีคุณสมบัติเป็นสารกำจัดวัชพืชจะต้องมี redoxpotential values อยู่ในช่วง -300 และ -500 mV สำหรับพาราควอทมีค่า redoxpotential values -450 mV ซึ่งเมื่อได้รับอิเล็กตรอนแล้วจะเปลี่ยนเป็นอนุมูลอิสระ ซึ่งมีผลในการทำลายพืช (ศุภมาศ, 2545)

พาราครอทเป็นสารที่รับเอาอิเล็กตรอนในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง โดยป้องกันไม่ให้เกิดการรีดักชันแก่ NADP แต่การยับยั้งการขนส่งอิเล็กตรอนไม่ได้เป็นสาเหตุให้พืชตายเพียงอย่างเดียว ปฏิกิริยารีออกซิเดชันของพาราควอทเมื่ออยู่ในรูปรีดิวซ์ นั้นถือว่ามีความสำคัญที่ก่อให้เกิดการเลือกทำลายเพราะมีการถ่ายทอดอิเล็กตรอนให้ออกซิเจนได้ H_2O_2 , OH^+ และ O_2^+ ทั้ง 3 ชนิดเป็นพิษต่อพืช แต่ O_2^+ เป็นพิษมากกว่าสารอื่นๆ ในสภาพที่ไม่มีออกซิเจนในอากาศพบว่า H_2O_2 , OH^+ และ O_2^+ ไม่ถูกสร้างขึ้นแม้จะมีแสงแดดจัดก็ตาม ดังนั้นออกซิเจนจึงมีความสำคัญที่ก่อให้เกิดการทำลาย (ศุภมาศ, 2545)

O_2 ทำให้เกิดปฏิกิริยา liqid per oxidation กับเมนเบรน โดยจะมีกรดไขมัน และ malondialdehide เกิดขึ้น ซึ่งเป็นผลจากการทำลายตัวของเมมเบรน หลังจากพืชได้รับสารแล้ว นอกจากนี้ tonoplast ซึ่งห่อหุ้ม vacuole ถูกทำลาย hydrolytic enzyme ที่อยู่ภายในก็จะออกมาสู่ส่วนต่างๆ ของเซลล์ จึงมีการทำลายเซลล์เกิดขึ้น

แม้ว่าพาราควอทจะทำให้พืชตายอย่างรวดเร็วในที่มีแสง แต่ในที่มืดพาราควอทก็ทำให้พืชตายเช่นกันแต่ช้ากว่าเพราะพาราควอทถูกรีดิวซ์ได้โดยอิเล็กตรอนในไมโทคอนเดรียแต่อัตราการเกิดปฏิกิริยารีดักชันจะช้ามากเมื่อเปรียบเทียบกับคลอโรพลาสท์

พาราควอทเป็นสารที่มีผลในการทำลายพืชที่มีสีเขียวทุกชนิด การเลือกทำลายเกิดขึ้นโดยวิธีการป้องกันไม่ให้สารสัมผัสกับใบพืชปลูกอย่างไรก็ตามมีรายงานว่า วัชพืชบางชนิดเช่น annual bluegrass (poa annua) ซึ่งวัชพืชชนิดนี้มีเอ็นไซม์ catalase และ dismutase สูงกว่าปกติ จึงสามารถทำให้ H2 O2 , O2 + สลายตัวไปอย่างรวดเร็ว ในประเทศไทยพบว่ามีวัชพืชที่ชื่อ ผักม่วง หรือ ผักเขมรเล็ก

(Borreria laevis) ต้านทานพาราควอท และยังไม่เป็นที่ทราบกันว่า การต้านทานนั้นเป็นผลจากอัตราการเข้าสู่ต้นพืชน้อยหรือการมีเอ็นไซม์ catalase และ dismutase สูง การใช้เทคโนโลยีชีวภาพ หรือ การถ่ายทอดยีน (gene) จากพืชที่ต้านทานพาราควอทไปสู่พืชประทาน น่าจะเป็นแนวทางหนึ่งที่จะได้พืชปลูกที่ต้านทานสารนี้ (ศุภมาศ, 2545)

6. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ และหน่วยงานที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

1. องค์ความรู้ที่อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างการถูกดูดซับของสารกำจัดวัชพืชโดยคอลลอยด์ดิน (อินทรีย์วัตถุ) และความสามารถในการกักเก็บและปลดปล่อยธาตุอาหารในดิน
2. เกษตรกร เจ้าหน้าที่ด้านการเกษตร เจ้าหน้าที่ป่าไม้ ตระหนักและเข้าใจถึงผลกระทบที่จะเกิดขึ้นสิ่งแวดล้อมทางดิน จากการใช้สารเคมีกำจัดวัชพืชและการถางเผาแบบเข้มข้นเป็นระยะเวลายาวนาน
3. ชุมชนท้องถิ่นและเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องในพื้นที่ มีฐานข้อมูลและความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับคุณภาพสิ่งแวดล้อมทางดิน ภายใต้การเกษตรบนที่ดอน ที่ใช้สารเคมีกำจัดวัชพืชและการถางเผาแบบเข้มข้นเป็นระยะเวลายาวนาน
4. มีการผลิตบัณฑิตในระดับปริญญาโท สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม หรือสาขาการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม จำนวน 1 คน
5. การตีพิมพ์ผลงานวิจัยลงในวารสารระดับชาติหรือระดับนานาชาติจำนวน 1 เรื่อง
6. หน่วยงานที่ได้รับประโยชน์ ได้แก่ สำนักงานเกษตรในส่วนภูมิภาค สำนักงานพัฒนาที่ดินจังหวัด สำนักงานอุทยานแห่งชาติทุ่งแสลงหลวง มหาวิทยาลัยนเรศวร และองค์กรต่างๆ ที่ทำงานเกี่ยวข้องทางด้านการเกษตร

7. แผนการถ่ายทอดเทคโนโลยีหรือผลการวิจัยสู่กลุ่มเป้าหมาย

1. จัดทำโปสเตอร์แสดงผลงานวิจัยในการประชุมวิชาการระดับชาติ จำนวน 1 เรื่อง
2. ตีพิมพ์ผลการวิจัยในวารสารระดับชาติ จำนวน 1 เรื่อง
3. นำข้อมูลที่ได้ถ่ายทอดสู่เกษตรกรเจ้าของแปลงตัวอย่าง และ หน่วยงานที่ได้รับประโยชน์ เพื่อให้ทราบถึงผลกระทบของการใช้สารเคมีกำจัดวัชพืชและการถางเผาแบบเข้มข้นต่อสถานภาพการกักเก็บธาตุอาหารในดินและศักยภาพในการผลิตด้านด้านเกษตรของดินในระยะยาว อันนำไปสู่การมีส่วนร่วมในการเสนอแนวทางการจัดการทรัพยากรดินและสิ่งแวดล้อมด้านการเกษตรอย่างยั่งยืน

8. วิธีการดำเนินการวิจัย

8.1 การออกแบบการทดลองในสภาพพื้นที่เพาะปลูกจริง

โครงการวิจัยจะเริ่มสำรวจพื้นที่ศึกษาและเลือกแปลงตัวอย่าง โดยการสัมภาษณ์เกษตรกรเกี่ยวกับประวัติการใช้ที่ดินและการจัดการที่ดินด้านการเกษตร รวมทั้งปริมาณการใช้สารเคมีด้านการเกษตรในรอบปีเพาะปลูกที่ผ่านมา ในช่วงเดือนตุลาคม พ.ศ. 2550 ที่หมู่บ้านร่มเกล้า ตำบลชมพู อำเภอวังทอง จังหวัดพิษณุโลก การใช้ที่ดินของแปลงตัวอย่างที่จะถูกเลือกจากแปลงเพาะปลูกที่มีการการเกษตรไร่เลื่อนลอยแบบเข้มข้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ แปลงตัวอย่างที่ถูกเลือกจะไม่มีการควบคุมปัจจัยสภาพแวดล้อมต่างๆ โดยให้เป็นไปตามสภาพความเป็นจริงของพื้นที่นั้นๆ มากที่สุด และใช้การบันทึกประวัติด้านการจัดการที่ดินดังที่กล่าวข้างต้นมาพิจารณาเพื่อแปลตีความผลการวิเคราะห์ข้อมูล ทำการวางแผนการทดลองให้การใช้ที่ดิน มี 3 ซ้ำ และเตรียมแปลงตัวอย่างย่อย (subplot) ขนาด 10 x 10 เมตร สำหรับแต่ละแปลงตัวอย่าง โดยแปลงตัวอย่างย่อยจะถูกเลือกแบบสุ่ม และให้มีระยะห่างจากกันอย่างน้อยประมาณ 10 เมตร เพื่อลดผลกระทบของปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่อยู่ติดกัน

แปลงตัวอย่างไร่ข้าวโพด จะเริ่มถูกทิ้งให้รกร้างหลังจากการเก็บเกี่ยวตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2550 จนถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 หลังจากนั้นจะทำการถางแปลงและปล่อยให้วัสดุที่เหลือนั้น แห้งลงในแปลงเพื่อเป็นเชื้อเพลิง แปลงตัวอย่างไร่ข้าวโพดจะถูกเผาในช่วงต้นเดือนเมษายน พ.ศ. 2551 หลังจากนั้นจะพ่นสารกำจัดวัชพืช paraquat ก่อนทำการหยอดเมล็ดข้าวโพด จากนั้นประมาณ 1 สัปดาห์จะเริ่มปลูกข้าวโพดในช่วงที่ฝนแรกมาถึงในช่วงเดือนพฤษภาคม หรือมิถุนายน พ.ศ. 2551 ไกลฟอเสท (Glyphosate isopropylammonium) จะถูกพ่นสองครั้งจนกระทั่งถึงฤดูเก็บเกี่ยวในช่วงเดือนสิงหาคมหรือกันยายน ปี พ.ศ. 2551

8.2 การเก็บตัวอย่างดินและพืชและการวิเคราะห์การสะสมของสารพาราควอท

ตัวอย่างดินจะถูกเก็บรวบรวมเก็บตัวอย่างดินชั้นพื้นผิว (surface layer: ลึก 0-5 ซม.) และดินชั้นล่างพื้นผิว (subsurface layer: ลึก 20-25 ซม.) ในแปลงปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ตัวอย่าง จำนวน 5 ตำแหน่งของแต่ละแปลงย่อย (subplot) ที่อยู่ภายในแปลงตัวอย่าง (main plot) แล้วนำมาผสมคลุกเคล้ากัน (composite sample) เพื่อเป็นตัวอย่างดินสำหรับแต่ละแปลงย่อย ทำการเก็บตัวอย่างดิน 2 ครั้ง ในช่วงระยะเวลาหลังฉีดสารเคมีปราบวัชพืชพาราควอท นาน 4 เดือน (เดือนกันยายน-ตุลาคม พ.ศ.2551) และก่อนการเก็บเกี่ยว (หลังฉีดสารพาราควอทนาน 6 เดือน ระหว่างเดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2551) ตัวอย่างดินถูกทำให้แห้งและบดโดยผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร และนำมาวิเคราะห์

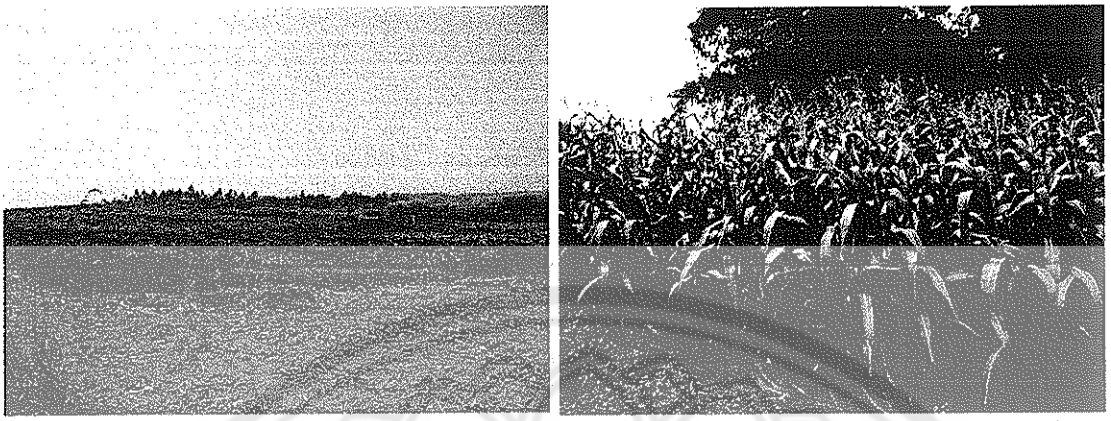
ปริมาณของสารกำจัดวัชพืชพาราควอทที่สะสมหรือตกค้างอยู่ในดิน ด้วยการวัดการดูดกลืนคลื่นแสงที่ช่วงความยาวคลื่น 360-420 นาโนเมตรด้วย UV-Vis Spectrophotometer

ตัวอย่างพืชจะถูกเก็บรวบรวมภายในแต่ละแปลงย่อยเช่นกัน โดยทำเก็บตัวอย่างส่วนต่าง ๆ ของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ได้แก่ราก ลำต้น ใบ และฝักข้าวโพด ในช่วงระยะเวลาหลังฉีดสารเคมีปราบวัชพืชพาราควอท นาน 4 เดือน (เดือนกันยายน-ตุลาคม พ.ศ.2551) และก่อนการเก็บเกี่ยว (หลังฉีดสารพาราควอทนาน 6 เดือน ระหว่างเดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2551) ตัวอย่างพืชจะถูกนำมาอบแห้งด้วยเครื่องอบที่อุณหภูมิ 60–80°C ประมาณ 24–48 ชั่วโมง แล้วชั่งน้ำหนัก หลังจากนั้นนำมาบดแล้วผ่านด้วยตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร แล้วสกัดสารละลายออกมาด้วยวิธี wet digestion เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณการสะสมและการเคลื่อนย้ายของสารเคมีกำจัดวัชพืชพาราควอทด้วยการวัดการดูดกลืนคลื่นแสงที่ช่วงความยาวคลื่น 360-420 นาโนเมตรด้วย UV-Vis Spectrophotometer

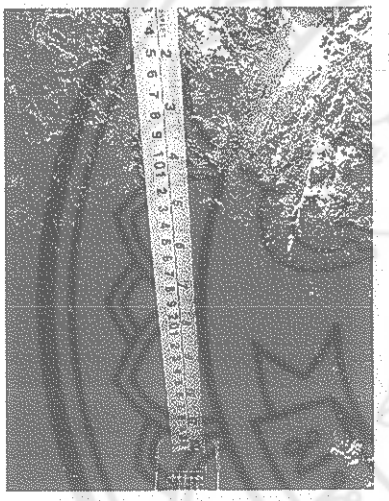
9. ผลการวิจัย

9.1 การใช้ที่ดินและการจัดการที่ดินด้านการเกษตร

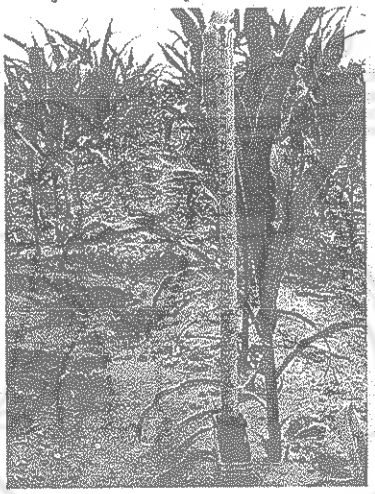
จากการศึกษาประวัติการใช้ที่ดินและการจัดการที่ดินของเกษตรกรที่ทำการเกษตรแบบไร่เลื่อนลอยที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ในระบบการเพาะปลูกบนที่ดอน หมู่บ้านร่มเกล้า ตำบลชมพู อำเภอเนินมะปราง จังหวัดพิษณุโลก โดยการสำรวจและการสัมภาษณ์ พบว่ามีการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ด้วยระบบการเกษตรในรูแบบการทำไร่เลื่อนลอยแบบหมุนเวียน โดยมีช่วงระยะเวลาของการทิ้งพื้นที่ให้รกร้าง (fallow period) เพื่อฟื้นฟูสภาพความอุดมสมบูรณ์ของดิน จากนั้นจะกลับมาใช้พื้นที่เดิมในการเพาะปลูกอีกครั้ง แต่ในบางพื้นที่ได้เปลี่ยนไปเป็นระบบการเกษตรแบบเข้มข้นอยู่กับที่ (sedentary agricultural system) ด้วยการปลูกพืชมากกว่าหนึ่งฤดูภายในรอบปี (Boonyanuphap *et al.*, 2006a) โดยเฉพาะบนที่ดอนที่ติดกับพื้นที่ป่าไม้ จะใช้ระบบการเกษตรไร่เลื่อนลอยแบบเข้มข้น (intensified shifting cultivation) ที่มีการถางเผาเพื่อเตรียมพื้นที่ก่อนการเพาะปลูกทุกปี ร่วมกับการใช้สารเคมีด้านการเกษตรในปริมาณมาก ในแปลงตัวอย่างไร่ข้าวโพด จะเริ่มถูกทิ้งให้รกร้างหลังจากการเก็บเกี่ยวตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2550 จนถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 หลังจากนั้นจะทำการถางแปลงและปล่อยให้วัสดุที่เหลือนั้น แห้งลงในแปลงเพื่อเป็นเชื้อเพลิง แปลงตัวอย่างไร่ข้าวโพดจะถูกเผาในช่วงต้นเดือนเมษายน พ.ศ. 2551 หลังจากนั้นจะพ่นสารกำจัดวัชพืช paraquat ก่อนทำการหยอดเมล็ดข้าวโพด จากนั้นประมาณ 1 สัปดาห์จะเริ่มปลูกข้าวโพดในช่วงที่ฝนแรกมาถึงในช่วงเดือนพฤษภาคม หรือมิถุนายน พ.ศ. 2551 ไกลฟอเสท (Glyphosate isopropylammonium) จะถูกพ่นสองครั้งจนกระทั่งถึงฤดูเก็บเกี่ยวในช่วงเดือนสิงหาคมหรือกันยายน ปี พ.ศ. 2551



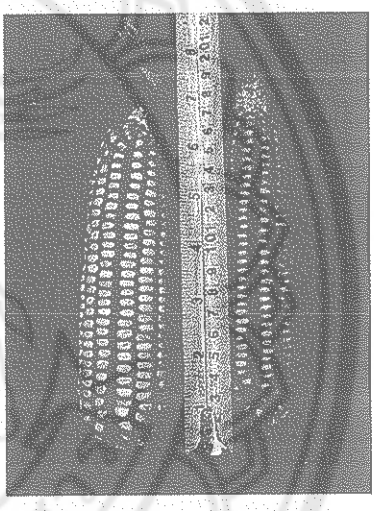
สภาพแปลงปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่มีการถางเผาเพื่อเตรียมพื้นที่ก่อนการเพาะปลูก และสภาพหลังการฉีดพ่นสารพาราควอทในช่วงระหว่างฤดูกาลเพาะปลูก



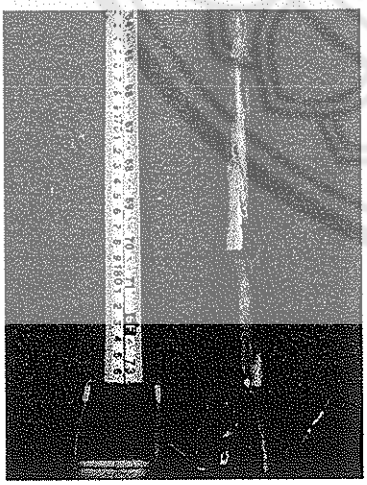
ชั้นดินในแปลงปลูกข้าวโพด



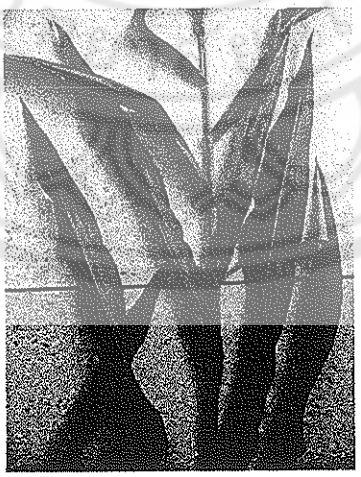
แสดงขนาดของข้าวโพด



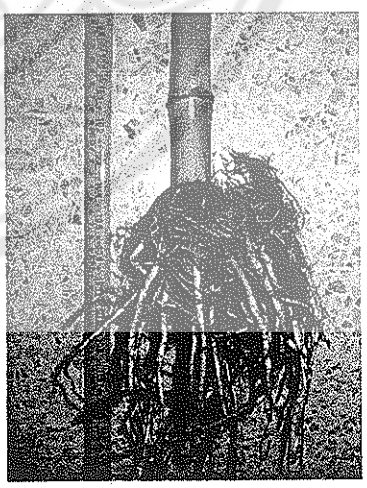
แสดงขนาดของฝักข้าวโพด



แสดงความยาวของรากข้าวโพด



ชั้นดินในแปลงปลูกข้าวโพด



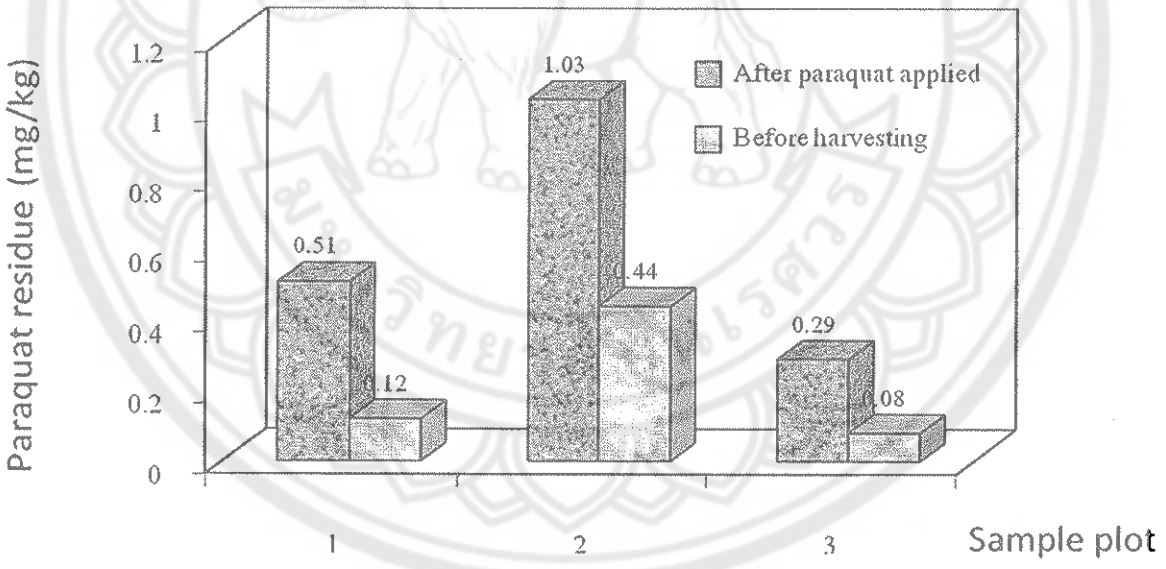
แสดงขนาดของฝักข้าวโพด

9.2 ผลกระทบของการใช้สารเคมีกำจัดวัชพืชและการฉางเผาแบบเข้มข้นต่อการสะสมของสารพาราควอทในดิน

พื้นที่แปลงปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ตัวอย่างอยู่ในเขตหมู่บ้านร่มเกล้า ตำบลชมพู อำเภอวังทอง จังหวัดพิษณุโลก เป็นพื้นที่ที่เคยมีการทำเกษตรไร่เลื่อนลอยแบบเข้มข้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ในรอบปีที่ผ่านมา โดยมีการใช้สารเคมีกำจัดวัชพืช 2 ชนิด คือ สารพาราควอท และไกลฟอเสท และมีการฉางเผาเศษเหลือของข้าวโพดภายหลังการเก็บเกี่ยว โดยมีแปลงตัวอย่าง 3 แปลง และแปลงตัวอย่างย่อย (subplot) มีขนาด 10 x 10 เมตร โดยแปลงตัวอย่างย่อยจะถูกเลือกแบบสุ่ม และให้มีระยะห่างจากกันอย่างน้อยประมาณ 10 เมตร ตัวอย่างดินจะถูกเก็บรวบรวมเก็บตัวอย่างดินชั้นพื้นผิว (surface layer: ลึก 0-5 ซม.) และดินชั้นล่างพื้นผิว (subsurface layer: ลึก 20-25 ซม.) ในแปลงปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ตัวอย่าง จำนวน 5 ตำแหน่งของแต่ละแปลงย่อย (subplot) ที่อยู่ภายในแปลงตัวอย่าง (main plot) แล้วนำมาผสมคลุกเคล้ากัน (composite sample) เพื่อเป็นตัวอย่างดินสำหรับแต่ละแปลงย่อย ทำการเก็บตัวอย่างดิน 2 ครั้ง ในช่วงระยะเวลาหลังฉีดสารเคมีปราบวัชพืชพาราควอท นาน 4 เดือน (เดือนกันยายน-ตุลาคม พ.ศ.2551) และก่อนการเก็บเกี่ยว (หลังฉีดสารพาราควอทนาน 6 เดือน ระหว่างเดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2551) ตัวอย่างดินถูกทำนำมาวิเคราะห์ปริมาณของสารกำจัดวัชพืชพาราควอทที่สะสมหรือตกค้างอยู่ในดิน ผลการศึกษาพบว่าแปลงตัวอย่างแต่ละแปลงจะมีการสะสมของสารพาราควอททั้งในชั้นดินพื้นผิว และดินชั้นล่าง โดยหลังจากฉีดพ่นสารพาราควอทนาน 4 เดือน ในดินชั้นพื้นผิวจะมีการสะสมพาราควอทในแปลงตัวอย่างที่ 2 มากที่สุด (1.03 mg/kg) รองลงมาได้แก่การสะสมในแปลงตัวอย่างที่ 1 (0.51 mg/kg) และ แปลงตัวอย่างที่ 3 (0.29 mg/kg) (รูปที่ 1) ทั้งนี้สารพาราควอทที่ทำการฉีดพ่นในแต่ละแปลงนั้นมีปริมาณเริ่มต้นเท่ากัน แต่การสะสมที่เกิดขึ้นในดินชั้นพื้นผิวที่ต่างกันในแต่ละแปลงนั้นอาจขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ 1) ปริมาณของสารพาราควอทที่มีการสะสมอยู่ในดินต่างกันในรอบปีที่ผ่านมาของการเพาะปลูก เนื่องด้วยแปลงตัวอย่างเป็นแปลงที่เกษตรกรมีการทำการเพาะปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์แบบเข้มข้นมีการฉีดพ่นสารพาราควอทในปริมาณมากก่อนการเพาะปลูกในรอบปีถัดไป 2) สภาพของดินในแปลงตัวอย่าง โดยในแปลงที่มีดินเหนียวอยู่ในปริมาณในบริเวณดินชั้นพื้นผิว จะทำให้พาราควอทสามารถถูกดูดยึดไว้กับอนุภาคของดินเหนียวได้อย่างแน่นหนา และความเป็นไปได้ในการสลายตัวของพาราควอทด้วยแสง การระเหย การถูกชะล้าง หรือการถูกดูดไปตามส่วนต่าง ๆ ของพืชจึงมีน้อย 3) ในแปลงตัวอย่างที่มีการใช้สารเคมีในปริมาณสูงอย่างต่อเนื่องทำให้มีสภาพการผุพังของดินในระดับสูง ส่งผลให้ปริมาณของแร่ดินเหนียวชนิด kaolinite มีมาก จึงทำให้สารเคมีกำจัดวัชพืช พาราควอท ถูกดูดยึดไว้กับอนุภาคของดินเหนียวด้วยพันธะอย่างหลวมๆ (loosely bound) ซึ่งอาจส่งผลให้เกิดการสะสมอยู่ในดินในชั้นพื้นผิวได้ ซึ่งจากผลการทดลองจะเห็นว่าในแปลงตัวอย่าง

ที่ 2 สภาพของดินอาจมีการสะสมของพาราควอทเริ่มต้นอยู่ในปริมาณที่สูงอยู่แล้ว ประกอบกับสภาพของดินมีความเสื่อมโทรมมากกว่าแปลงตัวอย่างแปลงอื่น ทำให้มีปริมาณแร่ธาตุดินเหนียวสูงกว่าในแปลงอื่น และสามารถดูดซับพาราควอทภายหลังการฉีดพ่นได้แข็งแรงกว่าดินในแปลงตัวอย่างอื่น

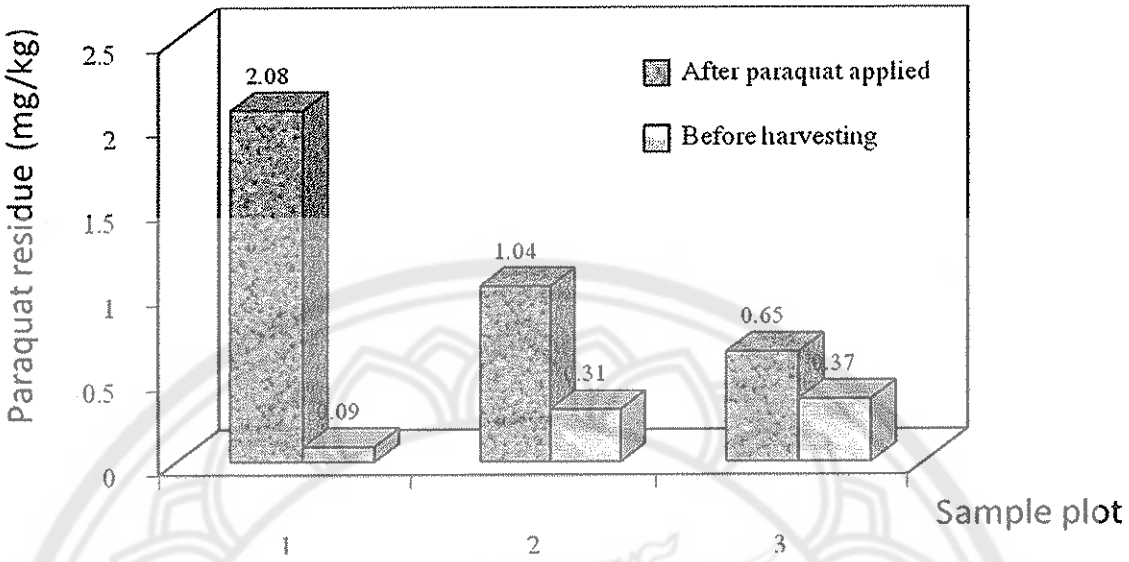
เมื่อพิจารณาผลการสะสมของพาราควอทในชั้นพื้นผิวภายหลังการฉีดพ่นนาน 6 เดือน และเป็นระยะก่อนการเก็บเกี่ยวข้าวโพด (รูปที่ 1) จะเห็นได้ว่าในทุกแปลงตัวอย่างปริมาณการสะสมของพาราควอทจะมีค่าลดลง อย่างไรก็ตามแปลงตัวอย่างที่ 2 ยังคงพบปริมาณการสะสมของพาราควอทสูงสุด (0.44 mg/kg) เมื่อเทียบกับแปลงตัวอย่างที่ 1 (0.12 mg/kg) และแปลงตัวอย่างที่ 3 (0.08 mg/kg) จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า ในช่วงระยะเวลา 2 เดือนปริมาณของสารพาราควอทในดินชั้นพื้นผิวมีค่าลดลงมากกว่าร้อยละ 50 ซึ่งสามารถอธิบายได้จากการสลายตัวของพาราควอทด้วยกระบวนการทางเคมีและชีวเคมี ได้แก่การสลายตัวของพาราควอทโดยการย่อยสลายทางชีวภาพโดยเชื้อจุลินทรีย์ในดิน การสลายตัวทางเคมี และหรือการสลายตัวโดยแสง และการสลายตัวด้วยกระบวนการทางฟิสิกส์ซึ่งอาจเกิดจากการถูกชะล้างในช่วงเวลาฝนตก การดูดซับด้วยคอลลอยด์ดิน หรือสารพาราควอทอาจถูกดูดซับโดยพืช



รูปที่ 1 การสะสมของสารพาราควอทในดินชั้นพื้นผิวในช่วง 4 เดือนภายหลังการฉีดพ่นพาราควอทและก่อนการเก็บเกี่ยวช่วง 6 เดือนหลังการฉีดพ่นพาราควอท

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณการสะสมของสารพาราควอทในดินชั้นล่าง (subsurface) ซึ่งแสดงในรูปที่ 2 พบว่าปริมาณของพาราควอทสะสมภายหลังการฉีดพ่นนาน 4 เดือน ในดินชั้นล่างของแต่ละแปลงตัวอย่างมีค่าต่างกัน โดยแปลงตัวอย่างที่ 1มีปริมาณการสะสมสูงสุดคือ 2.08 mg/kg รองลงมาได้แก่ดินชั้นล่างในแปลงตัวอย่างที่ 2 และ 3 ตามลำดับ (1.04 และ 0.65 mg/kg) ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณพาราควอทในดินชั้นพื้นผิวที่พบได้สูงสุดในแปลงตัวอย่างที่ 2 จากผลการทดลองดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าคุณภาพของดิน ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน และปริมาณของอนุภาคแร่ธาตุดินเหนียวที่สามารถดูดซับพาราควอทไว้ในดินในชั้นพื้นผิวและในดินชั้นล่างของแต่ละแปลงตัวอย่างมีความแตกต่างกัน โดยในแปลงตัวอย่างที่ 1 อาจมีปริมาณของแร่ธาตุดินเหนียวในบริเวณดินชั้นล่างมากกว่าดินชั้นพื้นผิว ทำให้มีปริมาณของพาราควอทสะสมที่มากกว่าในดินชั้นพื้นผิว และมีมากกว่าเมื่อเทียบกับดินชั้นล่างในแปลงตัวอย่างที่ 2 หรืออาจเนื่องมาจากการเผาถางแปลงตัวอย่างทำให้มีการเปิดหน้าดิน ซึ่งมีผลกระทบต่อปริมาณของแร่ธาตุอาหารในดิน และปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินในบริเวณดินชั้นล่าง ร่วมกับการใช้สารเคมีฉีดพ่นในการเตรียมการเพาะปลูกในรอบปีถัดไปมีการใช้ในปริมาณมากทำให้สภาพความอุดมสมบูรณ์ของดินชั้นล่างมีการเสื่อมสภาพ และเกิดแร่อนุภาคดินเหนียวมากขึ้นจึงดูดยึดสารพาราควอทในดินชั้นนี้ได้มากในแปลงตัวอย่างที่ 1

อย่างไรก็ตามเมื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณของสารพาราควอทสะสมในดินชั้นล่างภายหลังการฉีดพ่นนาน 6 เดือน หรือก่อนระยะการเก็บเกี่ยวข้าวโพด (รูปที่ 2) จะพบว่าปริมาณพาราควอทมีการสะสมน้อยลงในทุกแปลงตัวอย่าง โดยเฉพาะแปลงตัวอย่างที่ 1 ปริมาณของสารพาราควอทสะสมลดลงเกือบถึง 0.1 mg/kg และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับปริมาณพาราควอทสะสมในดินชั้นพื้นผิวในแปลงตัวอย่างเดียวกัน จะพบว่าปริมาณพาราควอทในดินชั้นล่าง มีค่าน้อยกว่าปริมาณพาราควอทในดินชั้นพื้นผิวของแปลงตัวอย่างที่ 1 และ 2 แต่ในแปลงตัวอย่างที่ 3 พาราควอทในดินชั้นพื้นผิวมีค่าน้อยกว่าในดินชั้นล่าง ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ในแปลงตัวอย่างที่ 1 และ 2 นั้น ปัจจัยที่สำคัญในการสลายตัวของพาราควอทภายหลังการฉีดพ่นนาน 4 เดือน และ 6 เดือน อาจเนื่องมาจากการที่พาราควอทถูกชะออกจากดินชั้นล่างและไปสะสมอยู่ในดินชั้นพื้นผิว ซึ่งปริมาณที่สะสมของพาราควอทในดินชั้นพื้นผิวจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับสภาพของดินและปริมาณแร่ธาตุอนุภาคดินเหนียวในดินชั้นพื้นผิวนั่นเอง



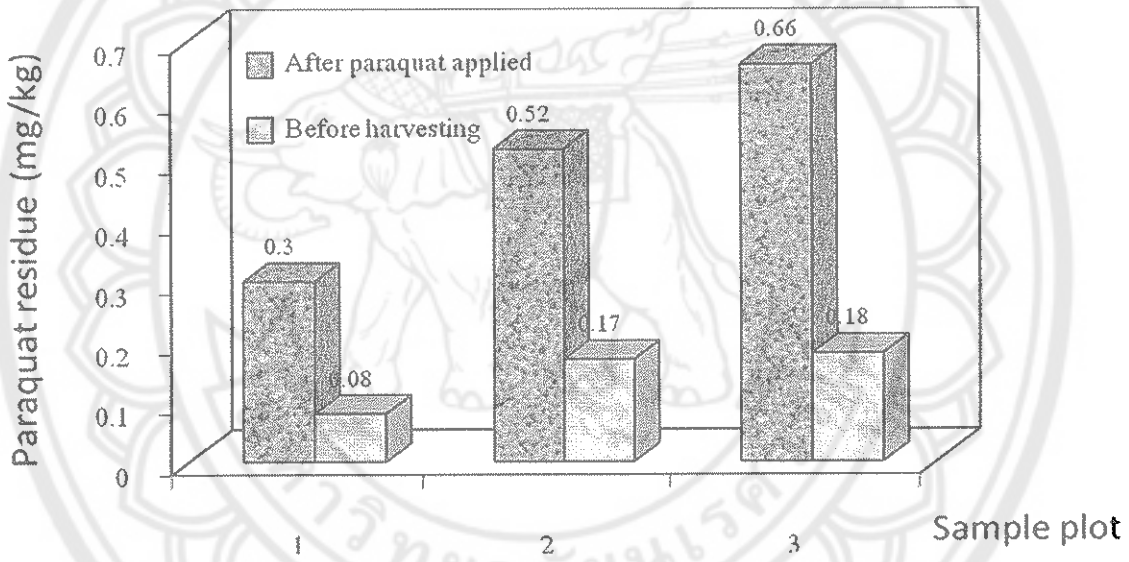
รูปที่ 2 การสะสมของสารพาราควอทในดินชั้นล่างในช่วง 4 เดือนภายหลังการฉีดพ่นพาราควอท และก่อนการเก็บเกี่ยวช่วง 6 เดือนหลังการฉีดพ่นพาราควอท

9.3 การสะสมของสารพาราควอทที่สะสมและเคลื่อนย้ายในส่วนต่างๆ ของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

การเตรียมแปลงข้าวโพดตัวอย่างทำโดยแปลงไร่ข้าวโพด จะถูกถางแปลงและปล่อยให้วัสดุที่เหลือนั้นแห้งลงในแปลงเพื่อเป็นเชื้อเพลิง หลังจากนั้นจะถูกเผา พ่นสารกำจัดวัชพืช paraquat ก่อนทำการหยอดเมล็ดข้าวโพด จากนั้นประมาณ 1 สัปดาห์จะเริ่มปลูกข้าวโพด ไกลฟอเสท (Glyphosate isopropylammonium) จะถูกพ่นสองครั้งจนกระทั้งถึงฤดูเก็บเกี่ยว ทำการเก็บตัวอย่างส่วนต่าง ๆ ของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ได้แก่ราก ลำต้น ใบ และฝักข้าวโพด ในแปลงตัวอย่างทั้ง 3 แปลงในช่วงระยะเวลาหลังฉีดสารเคมีปราบวัชพืชพาราควอท นาน 4 เดือน (เดือนกันยายน-ตุลาคม พ.ศ.2551) และก่อนการเก็บเกี่ยว (หลังฉีดสารพาราควอทนาน 6 เดือน ระหว่างเดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2551) ตัวอย่างพืชจะถูกนำมาวิเคราะห์หาปริมาณการสะสมและการเคลื่อนย้ายของสารเคมีกำจัดวัชพืชพาราควอทด้วยการวัดการดูดกลืนคลื่นแสงที่ช่วงความยาวคลื่น 360-420 นาโนเมตรด้วย UV-Vis Spectrophotometer ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 3-6

จากผลการทดลองพบว่ามีการสะสมของพาราควอทในส่วนต่าง ๆ ของพืชทั้งในตัวอย่างที่เก็บภายหลังการฉีดพ่นพาราควอทนาน 4 เดือนและตัวอย่างในระยะก่อนการเก็บเกี่ยวภายหลังการฉีดพ่นนาน 6 เดือน โดยในส่วนของฝักข้าวโพดพบว่าภายหลังการฉีดพ่นพาราควอทนาน 4 เดือน ตัวอย่าง

ข้าวโพดในแปลงตัวอย่างที่ 3 มีปริมาณการสะสมของพาราควอทสูงสุด คือ 0.66 mg/kg รองลงมาได้แก่ ฝักข้าวโพดในแปลงตัวอย่างที่ 2 (0.52 mg/kg) และ แปลงตัวอย่างที่ 1 (0.3 mg/kg) ตามลำดับ ซึ่งเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับปริมาณของพาราควอทในดินชั้นล่างซึ่งมีปริมาณการสะสมพาราควอทภายหลังการฉีดพ่นนาน 4 เดือน พบได้สูงสุดในแปลงตัวอย่างที่ 1 แปลงตัวอย่างที่ 2 และ 3 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าสารพาราควอทอาจมีการถูดดูดซึมโดยข้าวโพดและไปสะสมอยู่ที่ส่วนของฝัก โดยยิ่งมีการดูดซึมโดยพืชมาก ปริมาณการสลายตัวในดินชั้นล่างจะมีมากตามไปด้วย จึงทำให้ปริมาณพาราควอทที่วิเคราะห์ได้ในดินชั้นล่างของแปลงตัวอย่างที่ 3 มีค่าน้อยที่สุด และมากขึ้นในแปลงตัวอย่างที่ 2 และมากที่สุดในแปลงตัวอย่างที่ 3

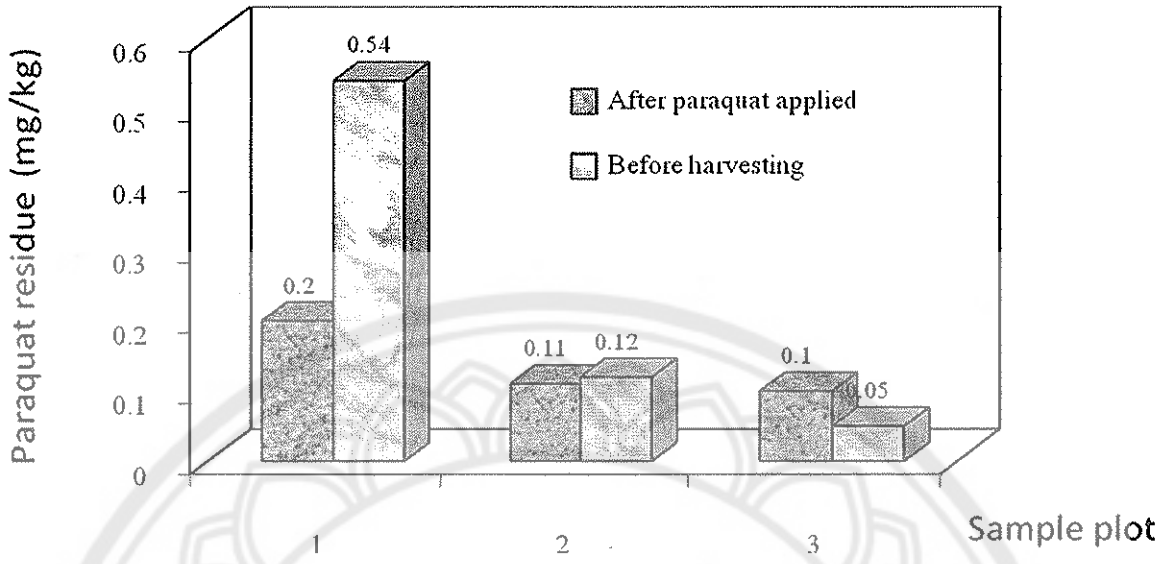


รูปที่ 3 การสะสมของสารพาราควอทในฝักข้าวโพดในช่วง 4 เดือนภายหลังการฉีดพ่นพาราควอท และก่อนการเก็บเกี่ยวช่วง 6 เดือนหลังการฉีดพ่นพาราควอท

อย่างไรก็ตามภายหลังการฉีดพ่นนาน 6 เดือนในช่วงระยะก่อนการเก็บเกี่ยวข้าวโพด พบว่าปริมาณการสะสมของพาราควอทในฝักข้าวโพดในแปลงตัวอย่างทั้ง 3 แปลงมีค่าลดลงมากกว่าร้อยละ 50 โดยปริมาณพาราควอทน้อยที่สุดพบในแปลงตัวอย่างที่ 1 (0.08 mg/kg) และพบได้มากในแปลงตัวอย่างที่ 2 (0.17 mg/kg) และพบได้ปริมาณมากที่สุดในแปลงตัวอย่างที่ 3 (0.18 mg/kg) (รูปที่ 3)

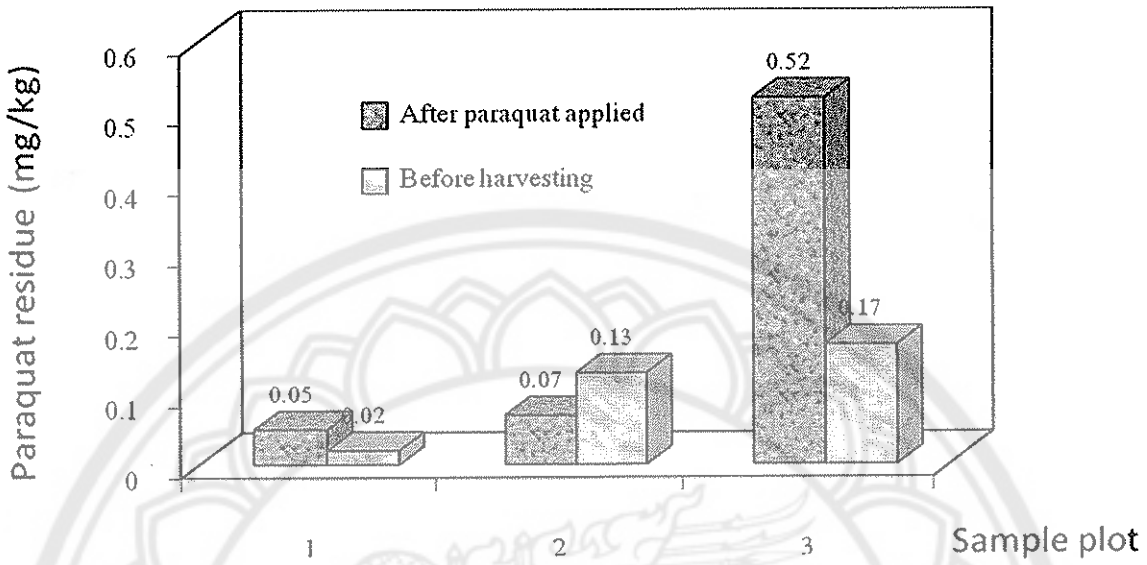
ดังนั้นการสลายตัวของพาราควอทในระยะเวลา 6 เดือนภายหลังการฉีดพ่นอาจเนื่องมาจากการสลายตัวด้วยแสงแดด การชะด้วยน้ำฝน หรืออาจมีการเคลื่อนย้ายพาราควอทไปสู่ส่วนอื่น ๆ ของข้าวโพด

ผลการวิเคราะห์ปริมาณของสารพาราควอทที่สะสมในส่วนของลำต้นของข้าวโพดพบว่าภายหลังการฉีดพ่นนาน 4 เดือน ข้าวโพดในแปลงตัวอย่างที่ 1 มีการสะสมของสารพาราควอทสูงสุด คือ 0.2 mg/kg และข้าวโพดในแปลงตัวอย่างที่ 2 และ 3 มีปริมาณการสะสมที่ใกล้เคียงกันคือประมาณ 0.1 mg/kg (รูปที่ 4) ซึ่งจะเห็นได้ว่าปริมาณการสะสมของสารพาราควอทในลำต้นของข้าวโพดในช่วงเวลาหลังการฉีดพ่นนาน 4 เดือน ในแต่ละแปลงตัวอย่างมีค่าน้อยกว่าปริมาณการสะสมของสารพาราควอทในส่วนฝักข้าวโพด (รูปที่ 3) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากมีการเคลื่อนย้ายของพาราควอทไปตามส่วนต่าง ๆ ของพืชในอัตราที่แตกต่างกันแต่ละช่วงเวลาภายหลังการฉีดพ่น ซึ่งสามารถยืนยันได้จากผลการวิเคราะห์ปริมาณการสะสมของพาราควอทในลำต้นภายหลังการฉีดพ่นนาน 6 เดือน ซึ่งแสดงในรูปที่ 4 พบว่า ในแปลงตัวอย่างที่ 1 มีปริมาณการสะสมของพาราควอทสูงขึ้นมากกว่า 2 เท่า (0.54 mg/kg) ส่วนในแปลงตัวอย่างที่ 2 มีปริมาณการสะสมพาราควอทในลำต้นสูงขึ้นเล็กน้อย (0.12 mg/kg) แต่ในแปลงตัวอย่างที่ 3 ปริมาณของสารพาราควอทในลำต้นกลับมีค่าลดลง (0.05 mg/kg) จากผลการวิเคราะห์ที่ได้ทำให้สามารถพิจารณาได้ว่า สารพาราควอทมีการเคลื่อนย้ายไปตามส่วนต่าง ๆ ของลำต้นอยู่ตลอดเวลา โดยอาจมีการเคลื่อนย้ายจากส่วนอื่นของพืชเช่นจากฝักข้าวโพดมาที่ลำต้น และในขณะเดียวกันมีการเคลื่อนย้ายการสะสมจากลำต้นไปที่ส่วนอื่นของลำต้น ทั้งนี้อาจขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่น ๆ ร่วมด้วย เช่น สภาพภูมิอากาศ ปริมาณน้ำที่ได้รับ สภาพการเจริญเติบโตซึ่งเกี่ยวเนื่องกับสภาพความอุดมสมบูรณ์ของดิน



รูปที่ 4 การสะสมของสารพาราควอทในลำต้นของข้าวโพดในช่วง 4 เดือนภายหลังการฉีดพ่นพาราควอท และก่อนการเก็บเกี่ยวช่วง 6 เดือนหลังการฉีดพ่นพาราควอท

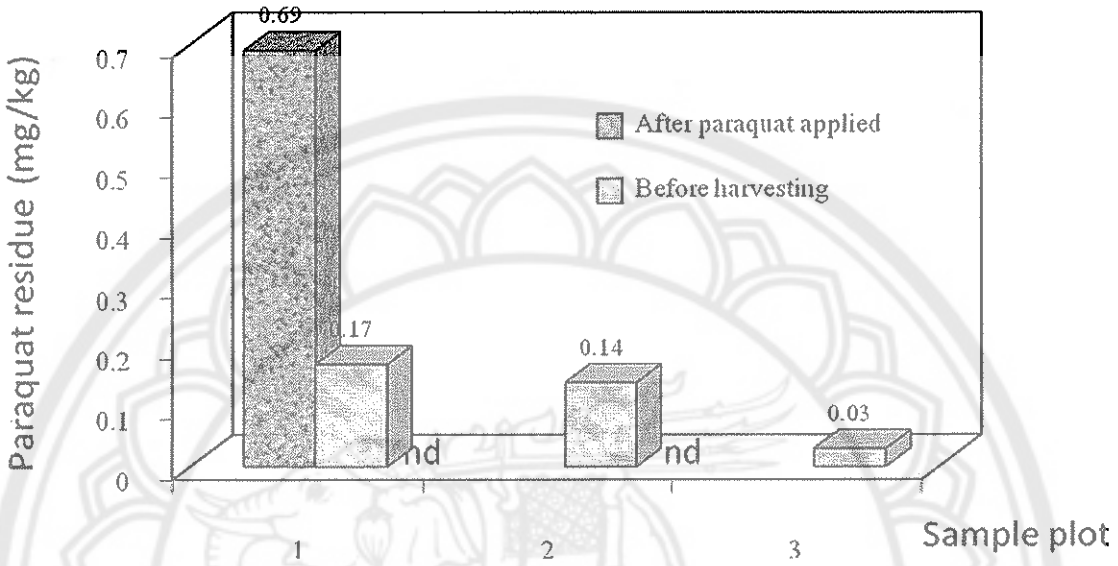
จากผลการวิเคราะห์ปริมาณการสะสมของสารพาราควอทในส่วนของใบข้าวโพดพบว่าในช่วงระยะเวลาหลังการฉีดพ่นนาน 4 เดือนให้ผลการสะสมเช่นเดียวกับการสะสมพาราควอทในส่วนของฝักข้าวโพด โดยแปลงตัวอย่างที่ 1 มีการสะสมของสารพาราควอทน้อยมากคือ 0.05 mg/kg และการสะสมมีมากขึ้นเล็กน้อยในใบข้าวโพดในแปลงตัวอย่างที่ 2 คือ 0.07 mg/kg และพบว่าสารพาราควอทมีการสะสมสูงสุดในใบข้าวโพดในแปลงตัวอย่างที่ 3 คือ 0.52 mg/kg (รูปที่ 5) ซึ่งสามารถอธิบายในทำนองเดียวกันกับการสะสมของพาราควอทในส่วนอื่น ๆ ของพืช กล่าวคือ มีการเคลื่อนย้ายของพาราควอทในดินไปตามส่วนต่าง ๆ ของพืช และปริมาณที่สะสมในส่วนของใบนี้จะขึ้นอยู่กับปริมาณเริ่มต้นของพาราควอทที่มีอยู่ในดิน การสูญเสียการดูดซับของพาราควอทโดยอนุภาคในดิน และอัตราการเคลื่อนย้ายไปตามส่วนต่าง ๆ ของพืช และเมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์ปริมาณที่เปลี่ยนแปลงไปของสารพาราควอทในส่วนของใบภายหลังการฉีดพ่นพาราควอทนาน 6 เดือน หรือระยะก่อนการเก็บเกี่ยว (รูปที่ 5) พบว่าในแปลงตัวอย่างที่ 1 และ 3 ปริมาณของพาราควอทในใบข้าวโพดมีค่าลดลงอยู่ที่ 0.02 และ 0.17 mg/kg ตามลำดับ แต่ในแปลงตัวอย่างที่ 2 พบว่าปริมาณการสะสมของพาราควอทในใบมีค่าเพิ่มมากขึ้นเกือบร้อยละ 50 (0.13 mg/kg) ซึ่งผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าในแปลงตัวอย่างแต่ละแปลงมีอัตราการสลายตัวของพาราควอทในใบต่างกันทั้งนี้อาจเนื่องมาจากอัตราในเคลื่อนย้ายไปสู่ส่วนต่าง ๆ ของพืชที่ปลูกในสภาพดินที่ต่างกันในแต่ละแปลงตัวอย่าง



รูปที่ 5 การสะสมของสารพาราควอทในใบต้นข้าวโพดในช่วง 4 เดือนภายหลังการฉีดพ่นพาราควอท และก่อนการเก็บเกี่ยวช่วง 6 เดือนหลังการฉีดพ่นพาราควอท

การสะสมของพาราควอทในส่วนของรากข้าวโพดภายหลังการฉีดพ่นพาราควอทนาน 4 เดือนพบว่าในแปลงตัวอย่างที่ 1 มีการสะสมของพาราควอทในรากมากที่สุด (0.69 mg/kg) แต่ไม่พบการสะสมในรากข้าวโพดที่ปลูกในแปลงตัวอย่างที่ 2 และ 3 (รูปที่ 6) และเมื่อพิจารณาปริมาณพาราควอทที่พบในดินชั้นล่างของแปลงตัวอย่างที่ 1 ในช่วงเวลาเดียวกันนี้จะพบว่ามีการสะสมของพาราควอทสูงสุด (รูปที่ 2) และพบการสะสมของพาราควอทน้อยในดินชั้นล่างของแปลงตัวอย่างที่ 2 และ 3 ดังนั้นอาจอธิบายได้ว่าปริมาณการสะสมของพาราควอทในรากขึ้นอยู่กับปริมาณเริ่มต้นของสารพาราควอทในดินชั้นล่าง ส่วนการที่ไม่พบปริมาณการสะสมของพาราควอทในรากของข้าวโพดในแปลงตัวอย่างที่ 2 และ 3 นั้นอาจเนื่องมาจากอัตราการสลายตัวของพาราควอทในดินชั้นล่างมีค่าต่ำ ทำให้ปริมาณของสารพาราควอทส่วนมากยังคงถูกดูดซับอยู่กับอนุภาคของดินและอินทรีย์วัตถุอื่น ๆ ซึ่งเมื่อเวลาผ่านไปอีก 2 เดือน คือภายหลังการฉีดพ่นพาราควอทนาน 6 เดือน จะพบว่าปริมาณของพาราควอทในรากข้าวโพดในแปลงตัวอย่างที่ 2 และ 3 มีค่าเพิ่มขึ้น เป็น 0.14 mg/kg และ 0.03 mg/kg ตามลำดับ (รูปที่ 6) ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีการสลายตัวของพาราควอทและเคลื่อนย้ายจากดินชั้นล่างไปที่รากเพิ่มมากขึ้นตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น ส่วนในแปลงตัวอย่างที่ 1 จะพบว่าปริมาณสะสมของพาราควอทในรากภายหลังการฉีดพ่นนาน 6 เดือนกลับมีค่าลดลง ทั้งนี้เนื่องจากพาราควอทเกิดการเคลื่อนย้ายจากส่วนรากไปตามส่วน

อื่น ๆ ของพืช หรือเกิดการสลายตัวทางเคมี การสลายตัวด้วยแสง การถูกชะล้างด้วยฝน และมีอัตราการสลายตัวที่เร็วกว่าข้าวโพดในแปลงตัวอย่างอื่น ซึ่งมีความเกี่ยวเนื่องกับสภาพความอุดมสมบูรณ์ของดินและอัตราการเจริญเติบโตของต้นข้าวโพดแต่ละแปลงตัวอย่างด้วย



รูปที่ 6 การสะสมของสารพาราควอทในรากต้นข้าวโพดในช่วง 4 เดือนภายหลังการฉีดพ่นพาราควอท และก่อนการเก็บเกี่ยวช่วง 6 เดือนหลังการฉีดพ่นพาราควอท

9.4 คุณสมบัติของดินในแปลงตัวอย่างปลูกข้าวโพดตลอดระยะเวลาเพาะปลูก

จากการศึกษาของ Boonyanuphap *et al.* (2006b) พบว่าดินส่วนใหญ่ในพื้นที่ศึกษาได้ถูกจำแนกอยู่ในอันดับ Ultisols กลุ่มย่อย Typic Paleustults ดินในพื้นที่ศึกษาพบแร่ดินเหนียวชนิด weatherable minerals เช่น chlorite illite และ hydroxy-interlayered vermiculite และมีค่า residual charge at the point of zero salt effect (σ_0) ในระดับสูง ซึ่งชี้ให้เห็นว่าระดับการผุพังอยู่กับที่ของดินในพื้นที่ศึกษายังไม่รุนแรงมากนักเมื่อเปรียบเทียบกับดิน Ultisols ในบริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย การเผาแปลงก่อนการเพาะปลูกทุกปีและการใส่ปุ๋ยเคมี มีผลกระทบต่อระดับธาตุอาหารในดิน ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีกายภาพของดินและปริมาณธาตุอาหารในดินของแปลงตัวอย่างปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (*Zea mays* Linn.) พบว่า กระบวนการถางเผาส่งผลต่อปริมาณธาตุอาหารในดินและคุณสมบัติบางประการของดินอย่างชัดเจน โดยมีค่าความเป็นกรดด่างของดินชั้น Surface layer (0-5 เซนติเมตร) เพิ่มขึ้น ซึ่งส่งผลให้ระดับความเป็นกรดของดินลดลง อีกทั้งหลังการเผาแปลงตัวอย่างพบว่าปริมาณเบสที่สามารถแลกเปลี่ยนเพิ่มขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 1 ถึง ตารางที่ 7 แม้ว่าเถ้าจากกระบวนการถางเผาได้เพิ่มธาตุอาหารเข้าสู่ระบบนิเวศของดินและปรับสภาพของดินให้เหมาะสมต่อการปลูกพืช อย่างไรก็ตามผลที่ได้จากเถ้าหลังจากการเตรียมพื้นที่แบบถางและเผาแปลงจะปรากฏเพียงช่วงระยะเวลาสั้นๆ เท่านั้น ซึ่งผลจากการศึกษาพบว่าการเกษตรแบบไร่เลื่อนลอยสามารถดำเนินการได้เนื่องจากดินในแปลงศึกษามีปริมาณเบสที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ในระดับสูง แต่หลังจากการเพาะปลูกแล้วพบว่าปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมในดินได้สูญเสียในปริมาณมาก ภายใต้ลักษณะการจัดการระบบการเกษตรไร่เลื่อนลอยในสภาพปัจจุบันของพื้นที่แห่งนี้ส่งผลให้สถานภาพของธาตุอาหารในดินแตกต่างไปจากการเกษตรไร่เลื่อนลอยแบบดั้งเดิม การใส่ปุ๋ยในอัตราที่เหมาะสมโดยคำนึงถึงการอนุรักษ์สภาพแวดล้อมถือเป็นที่สิ่งจำเป็นสำหรับระบบการเกษตรในพื้นที่แห่งนี้

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของดินในแปลงทดลองปลูกข้าวโพด ในช่วงการเตรียมและก่อนเผาแปลงปลูกข้าวโพด ในเดือน กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551

รายละเอียดตัวอย่างดิน		pH_{H_2O} (1:2.5)	EC (1:5) (dS/m)	OM (%)	Total N (%)	CEC (c mol(+)/kg)	Extr.P (ppm)	Exch.K (ppm)	Exch.Na (ppm)	Exch.Ca (ppm)	Exch.Mg (ppm)	Total acidity (me/100g)	Exch. Al (me/100g)
A01	Surface	4.90	0.061	1.46	0.074	8.60	2	56	9	184	38	2.05	1.29
	Subsurface	4.60	0.061	1.48	0.064	8.55	14	147	17	207	34	1.15	0.84
B01	Surface	4.70	0.040	1.34	0.083	5.80	4	67	9	166	23	1.50	1.19
	Subsurface	4.50	0.045	1.01	0.057	5.40	2	55	8	104	17	1.33	0.97
C01	Surface	4.65	0.070	1.34	0.067	6.70	17	248	29	313	56	0.83	0.62
	Subsurface	5.05	0.068	1.53	0.074	7.10	18	307	32	878	63	0.25	0.13

ตารางที่ 2 คุณสมบัติของดินในแปลงทดลองปลูกข้าวโพด ในช่วงหลังเผาแปลงปลูกข้าวโพด ในเดือน มีนาคม พ.ศ. 2551

รายละเอียดตัวอย่างดิน		pH_{H_2O} (1:2.5)	EC (1:5) (dS/m)	OM (%)	Total N (%)	CEC (c mol(+)/kg)	Extr.P (ppm)	Exch.K (ppm)	Exch.Na (ppm)	Exch.Ca (ppm)	Exch.Mg (ppm)	Total acidity (me/100g)	Exch. Al (me/100g)
A02	Surface	5.50	0.040	1.60	0.079	9.65	4	277	23	1349	102	0.09	0.05
	Subsurface	4.70	0.056	1.44	0.081	8.50	3	168	13	262	52	1.56	1.14
B02	Surface	5.40	0.032	1.30	0.067	5.95	8	119	10	164	28	0.93	0.65
	Subsurface	4.90	0.020	1.02	0.057	6.00	2	307	6	127	19	1.45	1.01
C02	Surface	5.50	0.055	1.67	0.093	8.05	15	248	23	486	69	0.14	0.06
	Subsurface	4.60	0.130	1.43	0.093	7.60	33	188	15	174	30	1.51	1.00

ตารางที่ 3 คุณสมบัติของดินในแปลงทดลองปลูกข้าวโพด ในช่วงหลังหยอดเมล็ดเพาะปลูกข้าวโพด-ก่อนพ่นสารกำจัดวัชพืชพาราควอท ในเดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2551

รายละเอียดตัวอย่างดิน		pH_{H2O} (1:2.5)	EC (1:5) (dS/m)	OM (%)	Total N (%)	CEC (c mol(+)/kg)	Extr.P (ppm)	Exch.K (ppm)	Exch.Na (ppm)	Exch.Ca (ppm)	Exch.Mg (ppm)	Total acidity (me/100g)	Exch. Al (me/100g)
A03	Surface	4.90	0.060	1.36	0.076	6.80	12	168	21	126	17	2.15	0.91
	Subsurface	4.50	0.041	1.26	0.083	8.70	2	129	8	197	26	2.43	1.65
B03	Surface	4.95	0.038	0.87	0.064	5.60	3	310	18	200	34	0.78	0.50
	Subsurface	4.80	0.029	1.11	0.060	4.95	5	210	13	195	27	1.20	0.76
C03	Surface	4.60	0.060	1.56	0.078	7.45	8	440	14	167	20	1.78	1.08
	Subsurface	4.50	0.066	1.29	0.074	7.60	2	170	11	226	59	1.53	0.94

ตารางที่ 4 คุณสมบัติของดินในแปลงทดลองปลูกข้าวโพด ในช่วงเพาะปลูกข้าวโพด-หลังพ่นสารกำจัดวัชพืชพาราควอท ในเดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2551

รายละเอียดตัวอย่างดิน		pH_{H2O} (1:2.5)	EC (1:5) (dS/m)	OM (%)	Total N (%)	CEC (c mol(+)/kg)	Extr.P (ppm)	Exch.K (ppm)	Exch.Na (ppm)	Exch.Ca (ppm)	Exch.Mg (ppm)	Total acidity (me/100g)	Exch. Al (me/100g)
A04	Surface	4.50	0.029	1.14	0.062	4.15	7	45	7	101	7	1.30	1.03
	Subsurface	4.90	0.024	0.86	0.046	5.55	2	68	9	592	16	1.28	1.01
B04	Surface	5.05	0.022	2.02	0.099	8.80	10	178	18	324	44	0.88	0.68
	Subsurface	5.45	0.028	1.32	0.067	7.00	4	94	13	477	65	0.10	0.06
C04	Surface	5.60	0.040	1.57	0.078	8.10	2	188	17	129	85	0.05	nd
	Subsurface	4.90	0.020	1.61	0.081	7.20	15	73	10	81	12	1.70	1.29

ตารางที่ 5 คุณสมบัติของดินในแปลงทดลองปลูกข้าวโพด ในช่วงก่อนเก็บเกี่ยว ในเดือน พฤศจิกายน พ.ศ. 2551

รายละเอียดตัวอย่างดิน		pH_{H2O} (1:2.5)	EC (1:5) (dS/m)	OM (%)	Total N (%)	CEC (c mol(+)/kg)	Extr.P (ppm)	Exch.K (ppm)	Exch.Na (ppm)	Exch.Ca (ppm)	Exch.Mg (ppm)	Total acidity (me/100g)	Exch. Al (me/100g)
A05	Surface	4.95	0.009	0.29	0.051	5.25	2	210	11	58	7	1.13	0.80
	Subsurface	4.90	0.007	0.20	0.040	5.35	1	160	10	219	30	1.05	0.79
B05	Surface	5.15	0.014	1.34	0.103	10.75	12	530	21	945	92	1.05	0.74
	Subsurface	6.30	0.015	1.01	0.086	11.10	6	510	20	1806	52	0.08	nd
C05	Surface	4.90	0.011	0.68	0.068	5.95	6	270	12	160	14	1.70	1.21
	Subsurface	5.00	0.010	0.91	0.072	7.60	3	290	14	328	46	1.78	1.25

ตารางที่ 6 การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติดินชั้น Surface ที่ความลึก 0-5 เซนติเมตร ของแปลงทดลองปลูกข้าวโพดในรอบฤดูกาลเพาะปลูก

แปลง	เดือนที่เก็บตัวอย่าง	pH_{H_2O} (1:2.5)	EC (1:5) (dS/m)	OM (%)	Total N (%)	CEC (c mol(+)/kg)	Extr.P (ppm)	Exch.K (ppm)	Exch.Na (ppm)	Exch.Ca (ppm)	Exch.Mg (ppm)	Total acidity (me/100g)	Exch. Al (me/100g)
A	กุมภาพันธ์	4.90	0.061	1.46	0.074	8.60	2	56	9	184	38	2.05	1.29
	มีนาคม	5.50	0.040	1.60	0.079	9.65	4	277	23	1349	102	0.09	0.05
	พฤษภาคม	4.90	0.060	1.36	0.076	6.80	12	168	21	126	17	2.15	0.91
	กรกฎาคม	4.50	0.029	1.14	0.062	4.15	7	45	7	101	7	1.30	1.03
	พฤศจิกายน	4.95	0.009	0.29	0.051	5.25	2	210	11	58	7	1.13	0.80
B	กุมภาพันธ์	4.70	0.040	1.34	0.083	5.80	4	67	9	166	23	1.50	1.19
	มีนาคม	5.40	0.032	1.30	0.067	5.95	8	119	10	164	28	0.93	0.65
	พฤษภาคม	4.95	0.038	0.87	0.064	5.60	3	310	18	200	34	0.78	0.50
	กรกฎาคม	5.05	0.022	2.02	0.099	8.80	10	178	18	324	44	0.88	0.68
	พฤศจิกายน	5.15	0.014	1.34	0.103	10.75	12	530	21	945	92	1.05	0.74
C	กุมภาพันธ์	4.65	0.070	1.34	0.067	6.70	17	248	29	313	56	0.83	0.62
	มีนาคม	5.50	0.055	1.67	0.093	8.05	15	248	23	486	69	0.14	0.06
	พฤษภาคม	4.60	0.060	1.56	0.078	7.45	8	440	14	167	20	1.78	1.08
	กรกฎาคม	5.60	0.040	1.57	0.078	8.10	2	188	17	1297	85	0.05	nd
	พฤศจิกายน	4.90	0.011	0.68	0.068	5.95	6	270	12	160	14	1.70	1.21

ตารางที่ 7 การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติดินชั้น Subsurface ที่ความลึก 20-25 เซนติเมตร ของแปลงทดลองปลูกข้าวโพดในรอบฤดูกาลเพาะปลูก

แปลง	ครั้งที่ เก็บตัวอย่าง	pH_{H2O} (1:2.5)	EC (1:5) (dS/m)	OM (%)	Total N (%)	CEC (c mol(+)/kg)	Extr.P (ppm)	Exch.K (ppm)	Exch.Na (ppm)	Exch.Ca (ppm)	Exch.Mg (ppm)	Total acidity (me/100g)	Exch. Al (me/100g)
A	กุมภาพันธ์	4.60	0.061	1.48	0.064	8.55	14	147	17	207	34	1.15	0.84
	มีนาคม	4.70	0.056	1.44	0.081	8.50	3	168	13	262	52	1.56	1.14
	พฤษภาคม	4.50	0.041	1.26	0.083	8.70	2	129	8	197	26	2.43	1.65
	กรกฎาคม	4.90	0.024	0.86	0.046	5.55	2	68	9	592	16	1.28	1.01
	พฤศจิกายน	4.90	0.007	0.20	0.040	5.35	1	160	10	219	30	1.05	0.79
B	กุมภาพันธ์	4.50	0.045	1.01	0.057	5.40	2	55	8	104	17	1.33	0.97
	มีนาคม	4.90	0.020	1.02	0.057	6.00	2	307	6	127	19	1.45	1.01
	พฤษภาคม	4.80	0.029	1.11	0.060	4.95	5	210	13	195	27	1.20	0.76
	กรกฎาคม	5.45	0.028	1.32	0.067	7.00	4	94	13	477	65	0.10	0.06
	พฤศจิกายน	6.30	0.015	1.01	0.086	11.10	6	510	20	1806	52	0.08	nd
C	กุมภาพันธ์	5.05	0.068	1.53	0.074	7.10	18	307	32	878	63	0.25	0.13
	มีนาคม	4.60	0.130	1.43	0.093	7.60	33	188	15	174	30	1.51	1.00
	พฤษภาคม	4.50	0.066	1.29	0.074	7.60	2	170	11	226	59	1.53	0.94
	กรกฎาคม	4.90	0.020	1.61	0.081	7.20	15	73	10	81	12	1.70	1.29
	พฤศจิกายน	5.00	0.010	0.91	0.072	7.60	3	290	14	328	46	1.78	1.25

9.5 ตัวชี้วัดที่เหมาะสมในการประเมินศักยภาพในการผลิตด้านการเกษตรของดินในระยะยาว (Long-term soil productivity index)

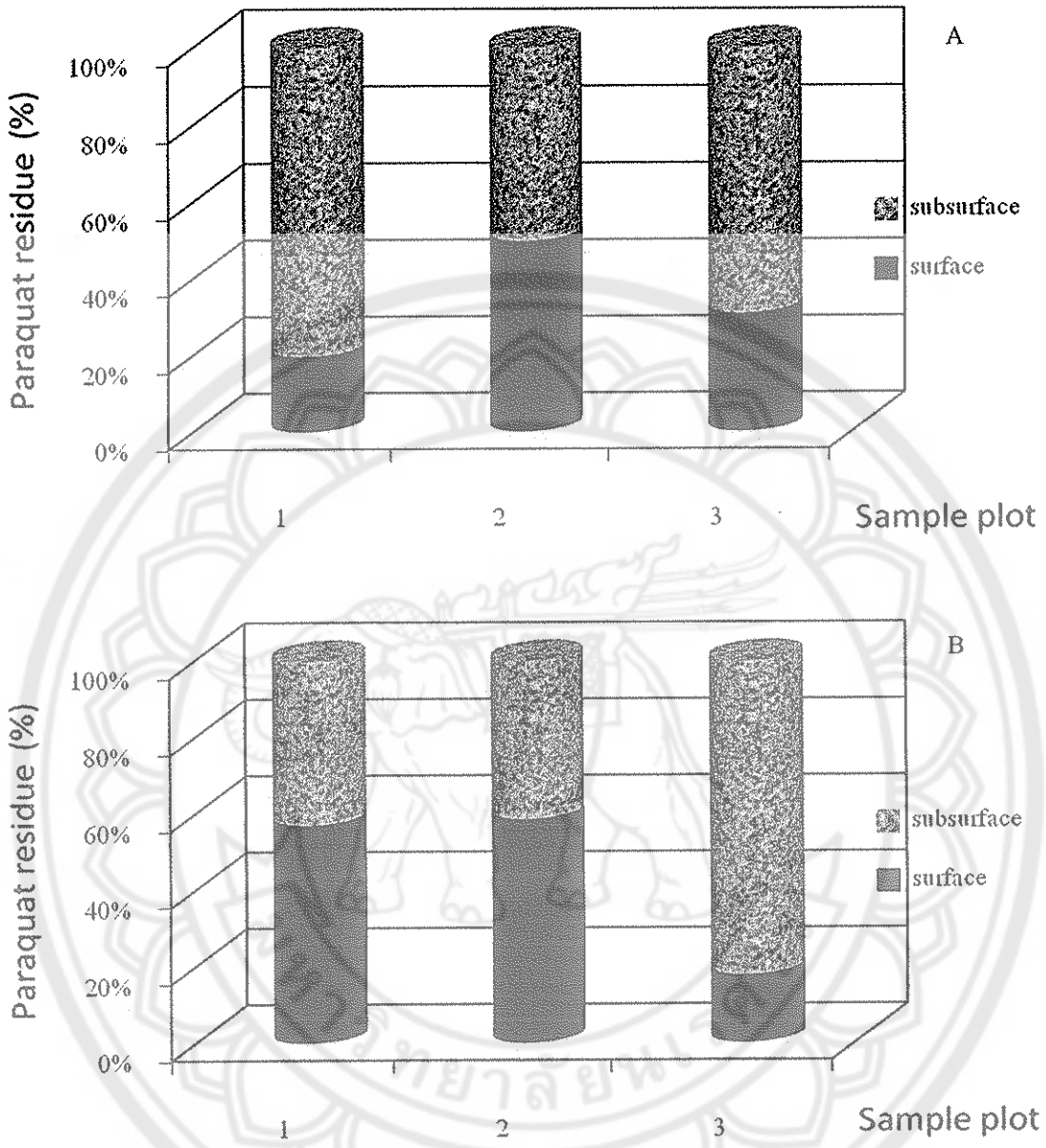
9.5.1 การดูดยึดพาราควอทในดิน

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณการสะสมของพาราควอทในดินภายหลังการฉีดพ่นในช่วงเวลาหลัง 4 เดือน และ 6 เดือนในระยะก่อนการเก็บเกี่ยวเพื่อศึกษาการถูกดูดยึดไว้กับอินทรีย์วัตถุในดินและอนุภาคของดินเหนียวในดินชั้นพื้นผิว และดินชั้นล่าง พบว่าในแต่ละแปลงตัวอย่างมีปริมาณการสะสมของพาราควอทในดินชั้นต่าง ๆ อยู่ที่ระดับต่างกันทั้ง 2 ช่วงเวลาหลังการฉีดพ่น และเมื่อนำมาคำนวณเป็นสัดส่วนของพาราควอทที่ถูกสะสมอยู่ในดินชั้นพื้นผิว และดินชั้นล่าง จะสามารถทำให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของปริมาณที่พาราควอทจะถูกดูดยึดได้ และปริมาณของพาราควอทที่มีการสลายตัวตามช่วงเวลาที่เพิ่มขึ้น โดยในแปลงตัวอย่างที่ 1 จะเห็นได้ว่าภายหลังการฉีดพ่นนาน 4 เดือน ปริมาณการสะสมของพาราควอทในดินชั้นล่างมีค่าสูงกว่าดินชั้นพื้นผิวมากคิดเป็น 90% ของปริมาณพาราควอทสะสมรวมทั้งหมด (รูปที่ 7A) และเมื่อเวลาผ่านไปอีก 2 เดือน คือภายหลังการฉีดพ่นนาน 6 เดือน พบว่า ปริมาณพาราควอทที่สะสมในดินชั้นล่างลดลงเหลือปริมาณร้อยละ 50% และพบเพิ่มขึ้นในดินชั้นพื้นผิวจาก 10% เป็น 50% (รูปที่ 7B) ผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่ามีการเปลี่ยนแปลงปริมาณของพาราควอทที่สะสมในดินชั้นล่าง โดยเกิดการสลายตัวของพาราควอทซึ่งอาจเนื่องมาจากการชะล้างของพาราควอทด้วยน้ำทำให้สูญเสียการดูดยึดด้วยพันธะของอนุภาพดินและเกิดการเคลื่อนตัวมาสะสมอยู่ที่ดินชั้นพื้นผิวแทน ในขณะเดียวกันเนื่องด้วยระบบเกษตรของแปลงข้าวโพดตัวอย่างเคยมีการถางเผาในรอบการเพาะปลูกที่ผ่านมา ทำให้มีการเปิดหน้าดิน มีการเสื่อมโทรมของความอุดมสมบูรณ์ของดิน ทำให้สารพาราควอทถูกดูดยึดไว้ด้วยอินทรียวัตถุในดินได้อย่างหลวม ๆ และอาจเกิดการเคลื่อนย้ายจากดินชั้นล่าง และดินชั้นพื้นผิวไปสู่ส่วนต่าง ๆ ของพืชได้ จึงทำให้ปริมาณของพาราควอทบางส่วนในดินทั้ง 2 ระดับความลึกมีค่าลดลง

ในดินตัวอย่างจากแปลงตัวอย่างที่ 2 พบว่าภายหลังการฉีดพ่นนาน 4 เดือน มีการสะสมของพาราควอทในดินชั้นล่างคิดเป็นร้อยละ 60 และปริมาณที่สะสมในดินชั้นพื้นผิวคิดเป็นร้อยละ 40 ของปริมาณพาราควอทที่ตรวจพบทั้งหมด (รูปที่ 7A) ซึ่งเมื่อเทียบกับผลการวิเคราะห์ตัวอย่างดินในแปลงตัวอย่างที่ 1 ในช่วงเวลาเดียวกันจะพบว่าปริมาณการสะสมพาราควอทในดินชั้นล่างมีมากกว่าในดินชั้นพื้นผิว ซึ่งอาจเนื่องมาจากปริมาณอินทรียวัตถุ และปริมาณของแร่ธาตุดินเหนียวในดินชั้นล่างมีค่ามากกว่าในดินชั้นพื้นผิว จึงทำให้มีความสามารถในการดูดยึดพาราควอทไว้กับอนุภาคของดินได้ดีกว่า เกิดการสลายตัวในอัตราที่ต่ำกว่า อย่างไรก็ตามปริมาณการสะสมของพาราควอทในดินแต่ละชั้น

จะขึ้นอยู่กับสภาพความอุดมสมบูรณ์ของดินในแปลงตัวอย่างแต่ละแปลงร่วมกับปริมาณของพาราควอทที่มีการตกค้างสะสมจากการใช้เพื่อเตรียมการเพาะปลูกข้าวโพดในรอบการเพาะปลูกที่ผ่าน ๆ มาอีกด้วย ซึ่งจากผลการวิเคราะห์จะเห็นได้ว่าแปลงตัวอย่างที่ 1 นั้นมีสัดส่วนการสะสมของพาราควอทในดินชั้นล่างมากกว่าในดินจากแปลงตัวอย่างที่ 2 (รูป 7A) นอกจากนี้ผลการวิเคราะห์ยังชี้ให้เห็นว่าภายหลังการฉีดพ่นพาราควอทนาน 6 เดือน การสะสมของพาราควอทในดินชั้นล่างคิดเป็นสัดส่วนที่น้อยลงคือเหลือร้อยละ 50 และมีการสะสมของพาราควอทในดินชั้นพื้นผิวเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 40 เป็นร้อยละ 50 (รูป 7B) ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับดินตัวอย่างในแปลงตัวอย่างที่ 1 ที่แสดงให้เห็นว่ามีการสูญเสียการดูดยึดกับอนุภาคของดิน หรืออินทรียวัตถุในดินชั้นล่าง และเกิดการเคลื่อนย้ายไปสู่ดินชั้นพื้นผิวหรืออาจมีการเคลื่อนย้ายไปสู่ส่วนต่าง ๆ ของพืช

นอกจากนี้ผลการศึกษาการดูดยึดและการสลายตัวของสารพาราควอทในดินในแปลงตัวอย่างที่ 3 พบว่า ภายหลังการฉีดพ่นพาราควอทนาน 4 เดือน มีการสะสมของพาราควอทในดินชั้นล่างในสัดส่วนร้อยละ 80 และมีการสะสมในดินชั้นพื้นผิวในสัดส่วนเพียงร้อยละ 20 ของปริมาณพาราควอทสะสมที่วิเคราะห์ได้ทั้งหมด (รูปที่ 7A) ซึ่งจะเห็นว่าให้ผลเช่นเดียวกับดินในแปลงตัวอย่างที่ 1 และ 2 ซึ่งพบการสะสมพาราควอทได้มากกว่าในดินชั้นล่าง จากผลการทดลองดังกล่าวชี้ให้เห็นว่าในแปลงตัวอย่างทั้ง 3 แปลงนั้น ดินชั้นล่างมีความสามารถในการดูดยึดพาราควอทได้ดีกว่าในดินชั้นพื้นผิว และเมื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณของพาราควอทสะสมในดินภายหลังการฉีดพ่นนาน 6 เดือน พบว่าให้ผลการทดลองที่ตรงกันข้ามกับแปลงตัวอย่างที่ 1 และ 2 โดยปริมาณของพาราควอทสะสมในดินชั้นล่างมีสัดส่วนเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 90 และปริมาณของพาราควอทในดินชั้นพื้นผิวมีค่าลดลงจากร้อยละ 20 เป็นร้อยละ 10 (รูปที่ 7B) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสภาพของดินชั้นล่างในแปลงตัวอย่างที่ 3 มีอนุภาคของดินเหนียวและหรืออินทรีย์วัตถุที่สามารถดูดยึดสารพาราควอทได้ดีกว่าอนุภาคของดินชั้นพื้นผิว แต่อย่างไรก็ตามจะเห็นได้ว่าสัดส่วนการเพิ่มขึ้นของพาราควอทในดินชั้นล่างมีการเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย และการสลายตัวของพาราควอทในดินชั้นพื้นผิวอาจมีปัจจัยร่วมอื่น ๆ มาเกี่ยวข้อง เช่นการสลายตัวของพาราควอททางเคมี การสลายตัวด้วยแสง หรือการสลายตัวโดยการเคลื่อนย้ายไปตามส่วนต่าง ๆ ของพืช



รูปที่ 7 การสะสมสารพาราควอทในดินชั้นพื้นผิว (surface soil) และดินชั้นล่าง (subsurface soil) ของแปลงข้าวโพดตัวอย่างในช่วง 4 เดือนภายหลังการฉีดพ่นพาราควอท (A) และก่อนการเก็บเกี่ยวช่วง 6 เดือนหลังการฉีดพ่นพาราควอท (B)

จากผลการวิเคราะห์ดังกล่าวข้างต้นทำให้สามารถสรุปได้ว่าปริมาณการสะสมของพาราควอทในดินชั้นล่างและในดินชั้นพื้นผิวจะมีค่าแตกต่างกันขึ้นอยู่กับความอุดมสมบูรณ์ของดินในแปลงตัวอย่างแต่ละแปลง ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากการปริมาณการใช้สารเคมีกำจัดวัชพืช และความถี่ในการใช้ที่ดินเพื่อการเพาะปลูกในรอบการปลูกที่ผ่านมา โดยแปลงตัวอย่างที่มีความเข้มข้นของการใช้สารเคมีมากจะทำให้มีแนวโน้มที่ความอุดมสมบูรณ์ของดินจะลดลง และส่งผลให้เพิ่มความสามารถในการดูดยึดสารพาราควอทด้วยอนุภาคในดินมากขึ้น หรือเกิดการสะสมและสามารถเคลื่อนย้ายไปตามส่วนต่างๆ ของพืชได้ นอกจากนี้ยังพบว่าดินชั้นล่างมีอนุภาคของดินและอินทรียวัตถุที่สามารถดูดยึดสารพาราควอทได้มากกว่าในดินชั้นพื้นผิวในทุกแปลงตัวอย่าง ในขณะที่เมื่อเวลาผ่านไปความสามารถในการดูดยึดพาราควอทในดินชั้นล่างจะลดลง และมีการเคลื่อนย้ายของพาราควอทไปอยู่ในชั้นพื้นผิว อย่างไรก็ตามปริมาณของพาราควอทในชั้นพื้นผิวอาจมีการสลายตัวเนื่องด้วยกระบวนการทางชีววิทยาด้วยการย่อยสลายของจุลินทรีย์ในดิน หรือกระบวนการทางฟิสิกส์ด้วยการสลายตัวไปตามส่วนต่าง ๆ ของพืช หรือเกิดการสลายตัวอันเนื่องมาจากการถูกชะล้าง ดังนั้นจะเห็นได้ว่าปริมาณของพาราควอทที่สะสมอยู่ในดินชั้นล่างสามารถใช้เป็นดัชนีชี้วัดถึงความอุดมสมบูรณ์ของดินได้ดีกว่าในดินชั้นพื้นผิว อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าปริมาณของพาราควอทที่สะสมมากในดินชั้นล่างจะชี้บ่งถึงความเสื่อมโทรมของดินที่มากกว่า ปัจจัยอื่น ๆ ได้แก่ปริมาณพาราควอทที่สะสมในส่วนอื่นๆ ของพืช รวมไปถึงสภาพการเจริญเติบโตของพืชควรจะต้องนำมาพิจารณาประกอบในการประเมินศักยภาพในการผลิตด้านการเกษตรของดินในระยะยาวอีกด้วย

9.5.2 การสะสมและการเคลื่อนย้ายพาราควอทตามส่วนต่าง ๆ ของข้าวโพด

เมื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณของพาราควอทที่มีการสะสมในส่วนต่าง ๆ ของพืชเพื่อทำการศึกษาการเคลื่อนย้ายของพาราควอทที่ถูกดูดยึดด้วยอนุภาพดินไปสู่ส่วนต่าง ๆ ของพืช เมื่อมีการใช้สารกำจัดวัชพืชอย่างต่อเนื่องในระยะเวลาที่ยาวนาน พบว่าในแปลงตัวอย่างแต่ละแปลงมีการสะสมสารพาราควอทในส่วนต่าง ๆ ของพืชต่างกันภายหลังการฉีดพ่นพาราควอทนาน 4 เดือน และมีอัตราในการสลายตัว และการเคลื่อนย้ายไปสู่ส่วนอื่นของพืชภายหลังการฉีดพ่นนาน 6 เดือน ในช่วงก่อนระยะการเก็บเกี่ยวต่างกันในแต่ละแปลงตัวอย่างอีกด้วย ทั้งนี้ปริมาณการสะสม การสลายตัวและการเคลื่อนย้ายที่ต่างกันดังกล่าวมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณของพาราควอทที่มีการสะสมในดินชั้นล่าง และในดินชั้นพื้นผิวที่ต่างกันในแต่ละแปลงตัวอย่าง ซึ่งเป็นผลมาจากสภาพความอุดมสมบูรณ์ของดิน ปริมาณและความเข้มข้นในการใช้สารเคมี รวมไปถึงระยะเวลาที่มีการใช้สารเคมีในแต่ละแปลงตัวอย่างอีกด้วย

ในแปลงตัวอย่างที่ 1 พบว่าภาคหลังการฉีดพ่นพาราควอทนาน 4 เดือน มีพาราควอทสะสมในส่วนของรากในสัดส่วนมากที่สุด คิดเป็นร้อยละประมาณ 50 รองลงมาได้แก่การสะสมในส่วนของฝักข้าวโพด คิดเป็นร้อยละ 30 การสะสมในส่วนของลำต้นประมาณร้อยละ 15 และมีการสะสมน้อยที่สุดในส่วนของใบ คิดเป็นร้อยละ 5 ของปริมาณพาราควอทสะสมที่ตรวจพบทั้งหมด (รูปที่ 8A) ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีความสัมพันธ์กับปริมาณของพาราควอทที่สะสมอยู่ในดินชั้นล่างของแปลงตัวอย่างที่ 1 ซึ่งมีค่าสูง และเมื่อทิ้งไว้นาน 6 เดือน จะพบว่าปริมาณการสะสมของพาราควอทในตัวอย่างพืชในแปลงที่ 1 มีสัดส่วนของการสะสมในส่วนต่าง ๆ เปลี่ยนแปลงไป โดยจะเห็นได้ว่าปริมาณการสะสมพาราควอทสูงสุดพบมากในส่วนของลำต้นร้อยละ 60 รองลงมาคือ ราก และใบ ร้อยละ 15 และมีการสะสมในใบน้อยที่สุดคือประมาณร้อยละ 10 (รูปที่ 8B) จากผลการวิเคราะห์ดังกล่าวจะเห็นได้ว่าพาราควอทมีการเคลื่อนย้ายจากส่วนรากไปสู่ส่วนของลำต้นมากที่สุดภายในระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นประมาณ 2 เดือน ทำให้ปริมาณของพาราควอทในส่วนรากมีค่าลดลง ในขณะเดียวกันก็เกิดการเคลื่อนย้ายการสะสมของพาราควอทจากรากไปสู่ส่วนอื่นของข้าวโพดด้วย คือ ใบ และฝักข้าวโพด จากผลการวิเคราะห์นี้จะเห็นได้ว่ามีความสัมพันธ์กับปริมาณของพาราควอทในดินชั้นล่างที่มีค่าลดลงภายหลังการฉีดพ่นนาน 6 เดือน (รูปที่ 7B) ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า นอกจากการสลายตัวของพาราควอทในดินชั้นล่าง และมีการเคลื่อนย้ายไปสู่ดินชั้นพื้นผิวซึ่งทำให้ปริมาณที่ตรวจพบมีค่าสูงขึ้นในดินชั้นพื้นผิวภายหลังการฉีดพ่นนาน 6 เดือน (รูป 7B) พาราควอทยังมีการเคลื่อนย้ายจากดินชั้นล่างไปสู่ส่วนรากและเคลื่อนย้ายไปสู่ส่วนลำต้น และส่วนอื่น ๆ ของพืชตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามเมื่อศึกษาปริมาณของพาราควอทที่มีการสะสมในส่วนของฝักที่มีค่าลดลงภายหลังการฉีดพ่นนาน 6 เดือน อาจเกิดขึ้นเนื่องจากการสลายตัวของพาราควอททางเคมี การสลายตัวด้วยแสง หรืออาจเกิดการสลายตัวที่มาจากการชะล้าง

ปริมาณพาราควอทสะสมที่พบในตัวอย่างข้าวโพดในแปลงตัวอย่างที่ 2 ภายหลังการฉีดพ่นนาน 4 เดือนพบว่าสัดส่วนของการสะสมสูงสุดพบในส่วนของฝักคิดเป็นร้อยละประมาณ 75 และพบในส่วนของลำต้นร้อยละ 15 และพบในส่วนของใบเพียงร้อยละ 10 แต่ไม่พบในส่วนของราก (ดูรูปที่ 8A) และเมื่อดูความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของพาราควอทสะสมที่ตรวจพบในดินชั้นล่างพบว่ามีปริมาณน้อย และใกล้เคียงกับปริมาณพาราควอทสะสมที่พบในดินชั้นพื้นผิว (รูปที่ 7A) ดังนั้นจึงอาจสรุปได้ว่าเนื่องจากปริมาณการสะสมในดินชั้นล่างมีปริมาณน้อย จึงมีโอกาสในการเคลื่อนย้ายมาสู่ส่วนของรากได้น้อยมาก และอาจเนื่องมาจากอนุภาคในดินชั้นล่างอาจมีการดูดยึดสารพาราควอทด้วยพันธะที่แข็งแรง ทำให้ยากแก่การเคลื่อนย้ายไปสู่ส่วนรากของพืช และเนื่องจากปริมาณของพาราควอทที่มีการสะสมมากในส่วนของดินชั้นพื้นผิว ซึ่งง่ายต่อการสลายตัวและถูดดูดซับโดยส่วนต่าง ๆ ของพืช ทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายของพาราควอทไปที่ฝักข้าวโพดด้วยอัตราที่เร็วกว่าเคลื่อนย้ายพาราควอทไปที่

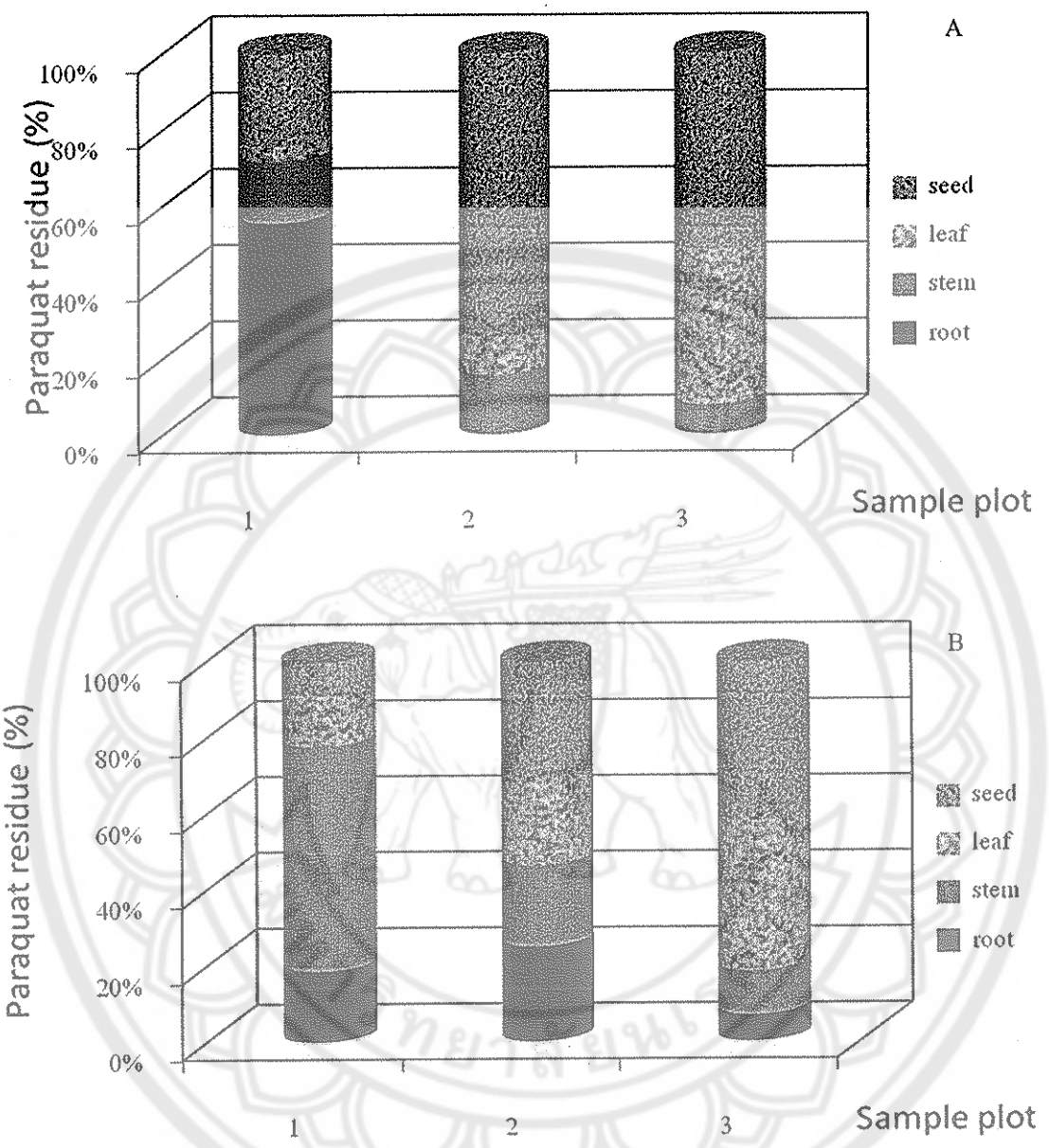
ส่วนอื่น ๆ ของพืช อย่างไรก็ตามอัตราการเคลื่อนย้ายของพาราควอทไปที่ส่วนอื่นของพืชนั้นอาจขึ้นอยู่กับความอุดมสมบูรณ์ของต้นข้าวโพดด้วย นอกจากนี้เมื่อทำการวิเคราะห์การเคลื่อนย้ายของพาราควอทจากส่วนต่าง ๆ ของพืชภายหลังการฉีดพ่นนาน 6 เดือน พบว่า ในแปลงตัวอย่างที่ 2 มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณของการสะสมพาราควอทในส่วนของฝักข้าวโพดลดลงจากเดิมร้อยละ 75 เหลือเพียง ร้อยละ 40 และมีปริมาณการสะสมในส่วนของใบและลำต้นเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 20 และพบการสะสมในส่วนของรากเกือบร้อยละ 20 (รูปที่ 8B) จากผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่ามีการเคลื่อนย้ายของพาราควอทจากส่วนฝักไปสู่ส่วนอื่นของพืช และมีการเคลื่อนย้ายพาราควอทจากดินชั้นล่าง และชั้นพื้นผิวไปสู่ส่วนของลำต้น ใบ และราก และนอกจากนี้อาจมีการสลายตัวของพาราควอทในส่วนของฝักข้าวโพดร่วมด้วย และเมื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของปริมาณพาราควอทในดินภายหลังการฉีดพ่นนาน 6 เดือน (รูปที่ 7B) จะพบว่าปริมาณการสะสมพาราควอทในดินชั้นล่างมีค่าลดลง โดยส่วนหนึ่งมีการเคลื่อนย้ายไปสู่ส่วนของรากพืช จึงทำให้ปริมาณพาราควอทที่ตรวจพบในรากภายหลังการฉีดพ่นนาน 6 เดือนมีค่าเพิ่มขึ้น

ผลการวิเคราะห์ปริมาณการสะสมพาราควอทในส่วนต่าง ๆ ของพืชในแปลงตัวอย่างที่ 3 ให้ผลเช่นเดียวกับตัวอย่างพืชในแปลงตัวอย่างที่ 2 โดยภายหลังการฉีดพ่นพาราควอทนาน 4 เดือนพบการสะสมของพาราควอทในส่วนของฝักในสัดส่วนสูงสุดคิดเป็นร้อยละประมาณ 60 รองลงมาได้แก่ส่วนของใบ ร้อยละ 35 และในส่วนของลำต้น ร้อยละประมาณ 5 ของปริมาณพาราควอทสะสมที่ตรวจพบได้ทั้งหมด และไม่พบพาราควอทสะสมในส่วนของราก (รูปที่ 8A) ซึ่งเมื่อพิจารณาปริมาณพาราควอทสะสมในส่วนของดินชั้นล่างถึงแม้จะมีสัดส่วนสูงเมื่อเทียบกับดินชั้นพื้นผิว (รูปที่ 7A) แต่ยังไม่พบการเคลื่อนย้ายของพาราควอทไปสู่ส่วนรากของพืช ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากพันธะระหว่างอนุภาคดินและสารพาราควอทมีความแข็งแรงจึงสามารถดูดยึดพาราควอทในดินชั้นล่างได้ ส่วนสารพาราควอทที่ตรวจพบในส่วนของฝักข้าวโพดมากที่สุดรวมไปถึงส่วนอื่นของพืชอาจมาจากการเคลื่อนย้ายสารพาราควอทจากดินชั้นพื้นผิวเป็นส่วนใหญ่ โดยอัตราการเคลื่อนย้ายจากดินไปสู่ส่วนต่าง ๆ มีค่าต่างกันทั้งนี้อาจขึ้นอยู่กับสภาพการเจริญเติบโตและความแข็งแรงของต้นข้าวโพด และเมื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณการสะสมของพาราควอทภายหลังการฉีดพ่นนาน 6 เดือน ซึ่งเป็นระยะก่อนการเก็บเกี่ยวพบว่าการสะสมของพาราควอทในส่วนของฝักข้าวโพดมีสัดส่วนลดลง โดยพบเพียงร้อยละ 45 และมีการสะสมในส่วนของใบเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเป็นร้อยละ 40 การสะสมของพาราควอทในส่วนของลำต้นเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละประมาณ 10 และมีการสะสมในส่วนของรากคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 5 จากปริมาณพาราควอทสะสมทั้งหมดที่ตรวจพบได้ (รูปที่ 8B) ซึ่งจะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงของพาราควอทสะสมภายหลังการฉีดพ่นนาน 6 เดือนให้ผลเช่นเดียวกับตัวอย่างพืชในแปลงตัวอย่างที่ 2 และสามารถอธิบายได้ในทำนอง

เดียวกันคือพาราควอทสะสมในส่วนของฝักข้าวโพดมีการเคลื่อนย้ายไปสู่ส่วนอื่นของพืช และมีการสลายตัวด้วยปัจจัยอื่น ๆ เช่น แสง การสลายตัวทางเคมี และการชะล้าง และปริมาณพาราควอทที่เพิ่มขึ้นในส่วนอื่นเป็นผลมาจากการเคลื่อนย้ายของพาราควอทจากส่วนของฝัก และส่วนอื่น ๆ ของพืช รวมไปถึงการเคลื่อนย้ายจากดินทั้งในชั้นพื้นผิวและในดินชั้นล่าง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในส่วนรากของข้าวโพด ซึ่งพาราควอทที่ตรวจพบได้ภายหลังการฉีดพ่นนาน 6 เดือนนี้อาจมาจากการที่พาราควอทถูกดูดยึดไว้อย่างหลวม ๆ กับอนุภาคดินเหนียวและอินทรียวัตถุอื่น ๆ ในดินชั้นล่าง ทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายไปสู่ส่วนรากได้มากขึ้น

ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าการสะสมพาราควอทในดินชั้นล่างและชั้นพื้นผิวจะสามารถถูกดูดซับไปตามส่วนต่าง ๆ ของพืชได้ โดยพาราควอทในดินชั้นล่างจะถูกดูดซับไปตามส่วนของรากได้มากที่สุด และเมื่อเวลาผ่านไปจะมีการเคลื่อนย้ายไปตามส่วนต่าง ๆ ของพืชในอัตราส่วนที่ต่างกันขึ้นอยู่กับสภาพการเจริญเติบโตของต้นพืช นอกจากนี้พาราควอทในส่วนของดินชั้นพื้นผิวจะสามารถถูกดูดซับไปตามส่วนต่าง ๆ ของพืชได้เช่นเดียวกัน และมีอัตราการเคลื่อนย้ายไปตามส่วนต่างๆ ของพืชต่างกันด้วย นอกจากนี้ยังสามารถสรุปได้ว่าปริมาณการสะสมของพาราควอทในส่วนต่าง ๆ ของพืชจะมีการเปลี่ยนแปลงโดยอาจเพิ่มขึ้นจากเคลื่อนย้ายของพาราควอทมาจากส่วนอื่น ๆ ของพืช และอาจมีค่าลดลงเนื่องมาจากการเคลื่อนย้ายไปส่วนอื่นของพืช และการสลายตัวของพาราควอทอันเนื่องมาจากกระบวนการทางชีวเคมีเช่นการสลายตัวของพาราควอทเอง การสลายตัวด้วยแสง และกระบวนการทางฟิสิกส์เช่นการสลายตัวอันเนื่องมาจากการถูกชะล้างเป็นต้น

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าดัชนีบ่งชี้ความสมบูรณ์ของสภาพดินเพื่อการเพาะปลูกข้าวโพดในระยะยาวที่สำคัญอีกดัชนีหนึ่งคือปริมาณการสะสมของพาราควอทในส่วนต่าง ๆ พืช โดยสภาพดินที่มีความอุดมสมบูรณ์น้อยจะมีโอกาสที่มีการดูดยึดพาราควอทในชั้นของดินชั้นล่างได้มากและมีโอกาสที่มีการเคลื่อนย้ายไปตามส่วนต่าง ๆ ของพืช โดยเฉพาะในส่วนของราก และนอกจากนี้สภาพดินที่ขาดอินทรีย์วัตถุ และจุลินทรีย์ที่จะย่อยสลายพาราควอทในดิน จะทำให้เกิดการสะสมของพาราควอทในส่วนของดินชั้นพื้นผิว และทำให้เกิดการดูดซับของพาราควอทไปตามส่วนต่าง ๆ ของพืชได้มาก โดยเฉพาะในส่วนของฝักข้าวโพด



รูปที่ 8 การเคลื่อนย้ายสารพาราควอทในส่วนต่าง ๆ ของข้าวโพดในช่วง 4 เดือนภายหลังการฉีดพ่นพาราควอท (A) และก่อนการเก็บเกี่ยวช่วง 6 เดือนหลังการฉีดพ่นพาราควอท (B)

10. บทสรุป

เกษตรกรในหมู่บ้านร่มเกล้า ตำบลชมพู อำเภอเนินมะปราง จังหวัดพิษณุโลก มีการใช้ที่ดินในการเพาะปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์โดยมีการจัดการเกษตรโดยใช้ระบบไร่เลื่อนลอยบนที่ดอน ระบบไร่เลื่อนลอยดังกล่าวเป็นแบบหมุนเวียน และมีช่วงระยะเวลาของการทิ้งพื้นที่ให้รกร้าง (fallow period) เพื่อฟื้นฟูสภาพความอุดมสมบูรณ์ของดิน จากนั้นจะกลับมาใช้พื้นที่เดิมในการเพาะปลูกอีกครั้ง แต่มีระยะเวลาในการทิ้งร้างที่สั้นกว่าในการเกษตรแบบไร่เลื่อนลอยในอดีตมาก และในบางพื้นที่โดยเฉพาะพื้นที่บนที่ดอนที่ติดกับพื้นที่ป่าไม้ จะใช้ระบบการเกษตรไร่เลื่อนลอยแบบเข้มข้น (intensified shifting cultivation) และเป็นการเกษตรที่อยู่กับที่ (sedentary agricultural system) โดยมีการปลูกพืชมากกว่าหนึ่งฤดูภายในรอบปี (Boonyanuphap *et al.*, 2006a) นอกจากนี้ยังมีการถางเผาเพื่อเตรียมพื้นที่ก่อนการเพาะปลูกทุกปี และพบว่ามีการใช้สารเคมีด้านการเกษตรในปริมาณมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารเคมีกำจัดวัชพืชพาราควอท และไกลฟอเสท ซึ่งการใช้สารกำจัดวัชพืชอย่างต่อเนื่องในระยะเวลาที่ยาวนานอาจส่งผลถึงความสามารถในการกักเก็บธาตุอาหารและการปลดปล่อยธาตุอาหารจากอนุภาคดินเพื่อให้รากของพืชนำไปใช้ประโยชน์ได้ และมีผลกระทบถึงศักยภาพด้านผลผลิตทางการเกษตรของดินในระยะยาวลดลงตามไปด้วย

จากผลการศึกษาการสะสมของสารพาราควอทในดินที่ระดับความลึก 2 ระดับในแปลงตัวอย่างข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่มีการใช้สารเคมีในการเกษตรเป็นระยะเวลานานอย่างต่อเนื่องร่วมกับการถางเผาแบบเข้มข้นในการเตรียมแปลงเพื่อการเพาะปลูกพืชนั้น สามารถสรุปได้ว่า พาราควอทสามารถถูกดูดยึดด้วยอนุภาพของดินเหนียวและอินทรีย์วัตถุในดิน โดยความสามารถในการถูกดูดยึดจะขึ้นอยู่กับระดับความลึกของชั้นดิน โดยดินชั้นล่างจะมีการดูดยึดพาราควอทในปริมาณที่มากกว่าดินชั้นพื้นผิว เนื่องจากอนุภาคของดินชั้นล่างจะสามารถดูดยึดพาราควอทด้วยพันธะที่แข็งแรงกว่าและประกอบกับพาราควอทในดินชั้นพื้นผิวจะสามารถสลายตัวด้วยกระบวนการทางเคมีและชีวเคมี รวมไปถึงกระบวนการทางฟิสิกส์ได้ง่ายกว่า เนื่องจากการถางเผาจะทำให้หน้าดินเปิด ทำให้พาราควอทสามารถสลายตัวได้ด้วยแสง การถูกชะล้าง และการถูกดูดซับไปตามส่วนต่าง ๆ ของพืชในอัตราที่เร็วกว่า นอกจากนี้ปริมาณการสะสมของพาราควอทในดินชั้นต่าง ๆ ยังขึ้นอยู่กับสภาพความอุดมสมบูรณ์ของดิน ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน ปริมาณจุลินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายพาราควอทในดิน ซึ่งสภาพดินที่มีความเสื่อมโทรมมากจะมีผลทำให้ปริมาณแร่ธาตุดินเหนียวมีมากขึ้นและสามารถดูดยึดพาราควอทและ

สะสมไว้ในดินได้มาก และมีโอกาสที่จะมีการถูกดูดซับและเคลื่อนย้ายไปตามส่วนต่าง ๆ ของพืชได้มากตามไปด้วย

นอกจากนี้ผลการศึกษาการดูดซับของสารพาราควอทโดยพืชและการเคลื่อนย้ายของพาราควอทไปตามส่วนต่าง ๆ ของพืช พบว่าสารพาราควอทที่มีการสะสมอยู่ในดินชั้นล่างและดินชั้นพื้นผิวสามารถถูกดูดซับไปตามส่วนต่าง ๆ ของพืชได้ โดยพาราควอทในดินชั้นล่างจะสามารถถูกดูดซับไปอยู่ในส่วนรากของข้าวโพดได้มากที่สุด และพาราควอทในรากพืชสามารถเกิดการเคลื่อนย้ายไปตามส่วนต่าง ๆ ของพืชตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น ส่วนพาราควอทที่อยู่ในส่วนของดินชั้นพื้นผิวจะสามารถถูกดูดซับไปตามส่วนต่าง ๆ ของพืชได้เช่นเดียวกัน แต่อัตราการเคลื่อนย้ายและสัดส่วนของการสะสมพาราควอทในส่วนต่าง ๆ ของพืชนั้นจะมีค่าแตกต่างกัน ทั้งนี้อาจขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ความสัมพันธ์ของปริมาณพาราควอทในดิน สภาพการเจริญเติบโตของพืช และการสลายตัวของพาราควอทในดินชั้นพื้นผิวอันเนื่องมาจากการสลายทางเคมี การสลายด้วยแสง และการชะล้าง เป็นต้น นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณของพาราควอทในส่วนต่าง ๆ ของพืชสามารถมีการเคลื่อนย้ายไปตามส่วนต่าง ๆ ได้ตลอดเวลา และอาจมีปริมาณลดลงในบางส่วนต่าง ๆ ของพืชอันเนื่องมาจากการสลายตัวทางเคมีของสารพาราควอทเอง การสลายด้วยแสง และการสลายด้วยการชะล้างเช่นเดียวกัน

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าตัวชี้วัดที่เหมาะสมในการประเมินศักยภาพในการผลิตด้านการเกษตรของดินในระยะยาวอาจพิจารณาได้จากปริมาณการสะสมของสารพาราควอทในดินที่ระดับความลึกต่าง ๆ ร่วมกับการดูดซับและเคลื่อนย้ายการสะสมของพาราควอทไปตามส่วนต่าง ๆ ของพืช โดยการสะสมของพาราควอทในปริมาณมากในดินจะสามารถบ่งชี้ได้ว่าสภาพของดินมีความอุดมสมบูรณ์น้อยกว่าพื้นที่ที่มีการสะสมของพาราควอทในปริมาณน้อย และปริมาณการสะสมในรากมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณพาราควอทที่ถูกดูดยึดในดินชั้นล่าง ส่วนการสะสมพาราควอทในส่วนต่าง ๆ ของพืชสามารถบ่งชี้ถึงสภาพการเจริญเติบโตของข้าวโพดอันเนื่องมาจากความอุดมสมบูรณ์ของดินได้ด้วย

11. บรรณานุกรม

กรมพัฒนาที่ดิน. 2548. คู่มือ งดเผาตอซัง สร้างดินยั่งยืน ฟื้นสิ่งแวดล้อม. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ. 20 หน้า.

กิตติภัต สุภรพัฒน์. 2540. ผลของแอดจูแวนท์และรูปของสารต่อประสิทธิภาพของไกลฟอเสทในการควบคุมหญ้าคา (*Imperata cylindrical* (L.) Raeusch.). วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 148 หน้า.

พรชัย เหลืองอาภาพงศ์. 2540. วัชพืชศาสตร์ (WEED SCIENCE). ภาควิชาพืชไร่ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 585 หน้า.

ไพบูลย์ วิวัฒน์วงศ์วนา. (2546). เคมีดิน (SOIL CHEMISTRY). คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 273 หน้า.

รังสิต สุวรรณเขตนิยม. 2533. คุณสมบัติของพาราควอท. *ใน* การสัมมนาทางวิชาการเรื่อง พาราควอทกับสิ่งแวดล้อม. วันที่ 27 กันยายน พ.ศ. 2533 โรงแรมรามาการ์เด้นส์. สมาคมวิทยาการวัชพืชแห่งประเทศไทย กรุงเทพฯ. หน้า 1-10.

สุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา. 2545. ภาวะมลพิษของดินจากการใช้สารเคมี. สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 327 หน้า.

สันติไมตรี ก้อนคำดี. 2545. ผลของแอดจูแวนท์ รูปของสาร และความชื้นในดินต่อประสิทธิภาพของไกลฟอเสทในการควบคุมหญ้าชันกาด (*Panicum repens* L.). วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 120 หน้า.

สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. 2546. เทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อลดความยากจน. กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. กรุงเทพฯ. 118 หน้า.

Boonyanuphap, J. 2005. Soil Nutrient Status Affected by Burning Practice and Fallow Period in Lower Northern Thailand. *In Proceeding of 31st Congress on Science and Technology of Thailand (STT 2005): "Science and Technology for Sustainable Development"*, 18-20 October 2005 at Technopolis, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand. pp. 263.

Boonyanuphap, J. 2006a. Soil fertility status and land suitability assessment under upland farming system in Lower Northern Thailand. Doctoral Thesis. (unpublished). Ehime University. 145 p.

Boonyanuphap, J. 2006b. Characteristics of Ultisols under maize-based shifting cultivation in upland of Lower Northern Thailand with reference to soil nutrient change. *In Proceeding of 32st Congress on Science and Technology of Thailand: "Science and Technologu for Sufficiency Economy to celebrate the 60th Anniversary of His Majestry the King's Accession to the Throne"*, 10-12 October 2006 at Queen Sirikit National Convention Center, Bangkok, Thailand. pp. 257.

Boonyanuphap, J., Sakurai, K. and Tanaka, S. 2006a. Soil nutrient status under upland farming practice in the Lower Northern Thailand. *Tropics*: 16(3): 251-275.

Boonyanuphap, J., Sakurai, K. and Tanaka, S. 2006b. Ultisols under upland farming practices in Lower Northern Thailand with special reference to long-term productivity. Pedologist: 50 (3): 68-80.

Funakawa, S., Tanaka, S., Kaewkhogkha, T., Hattori, T. and Yonebayashi, K. 1997a. Physicochemical properties of the soils associated with shifting cultivation in Northern Thailand with special reference to factors determining soil fertility. *Soil. Sci. Plant Nutr.*, 43: 665-679.

Funakawa, S., Tanaka, S., Kaewkhogkha, T., Hattori, T. and Yonebayashi, K. 1997b. Ecological study on the dynamics of soil organic matter and its properties in shifting cultivation systems of Northern Thailand with special reference to factors determining soil fertility. *Soil. Sci. Plant Nutr.*, 43: 681-693.

Tanaka, S., Funakawa, S., Kaewkhogkha, T., Hattori, T. and Yonebayashi, K. 1997. Soil ecological study on dynamics of K, Mg, and Ca, and soil acidity in shifting cultivation in Northern Thailand. *Soil. Sci. Plant Nutr.*, 43: 695-708.

Willis A.G. 1990. Paraquat and the environment. ใน การสัมมนาทางวิชาการเรื่อง พาราควอทกับสิ่งแวดล้อม. วันที่ 27 กันยายน พ.ศ. 2533 โรงแรมรามาการ์เด้นส์. สมาคมวิทยาการวัชพืชแห่งประเทศไทย กรุงเทพฯ. หน้า 33-40.