

บทที่ 2

ผลงานวิจัยและงานเขียนอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง

เนื้อดิน (soil texture)

ในด้านปฐพีวิทยา เนื้อดินถูกจำแนกเป็นหลายประเภท สิ่งที่กำหนดประเภทของเนื้อดินคือ สัดส่วนโดยมวลของอนุภาคอินทรีย์ 3 กลุ่มขนาด (soil separates) คือ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548)

1. Sand หรืออนุภาคทราย จัดเป็นกลุ่มขนาดโตที่สุดในดิน
2. Silt หรืออนุภาคทรายตะกอนหรืออนุภาคทรายแป้ง จัดเป็นกลุ่มขนาดปานกลาง
3. Clay หรืออนุภาคดินเหนียว จัดเป็นกลุ่มขนาดเล็กที่สุดในดิน

ลักษณะจำเพาะของอนุภาคดินแต่ละกลุ่มขนาด

1. ทราย (Sand) มีลักษณะดังนี้

- 1.1 เป็นเม็ดเล็กๆ ของแร่ quartz และ feldspar ที่สลายตัวผุพังจากหินต้นกำเนิด
- 1.2 ขนาดโต มองเห็นด้วยตาเปล่า (ยกเว้นกลุ่มทรายละเอียดมาก หรือ very fine sand) สัมผัสระคายมือ
- 1.3 ร่วน ไม่เกาะกันเป็นเม็ดดิน (aggregate) ถ้าไม่มีอนุภาคกลุ่มขนาดอื่นๆ อยู่ด้วยจะปรากฏตัวเป็นอนุภาคเดี่ยว (single grain)
- 1.4 เม็ดทรายเมื่อเรียงตัวกันจะเกิดช่อง (pore) ขนาดใหญ่ การระบายน้ำและการระบายอากาศดี แต่มีความสามารถอุ้มน้ำ (water retention) ต่ำ
- 1.5 กลุ่มอนุภาคทรายมีเนื้อผิวจำเพาะน้อย จึงมีพื้นผิวสำหรับดูดซับ (adsorb) สารต่างๆ เช่นน้ำ และธาตุอาหารน้อย

2. ทรายแป้ง (Silt) มีลักษณะดังนี้

- 2.1 เป็นกลุ่มอนุภาคปานกลาง มีองค์ประกอบทางแร่เหมือนกลุ่มขนาดทราย
- 2.2 อนุภาคมีขนาดเล็กมองไม่เห็นด้วยตาเปล่า เหลี่ยมมุมของอนุภาคมีน้อย สัมผัสลื่นมือคล้ายแป้ง
- 2.3 ร่วนไม่เกาะกันเป็นเม็ดดิน เหมือน sand

2.4 ทรายแป้งเมื่อเรียงตัวกันเป็นก้อนดินจะเกิดช่องขนาดเหมาะสมที่จะอุ้มน้ำไว้ และพืชสามารถใช้ประโยชน์จากน้ำในช่องนี้ได้เป็นส่วนใหญ่

3. ดินเหนียว (Clay) มีลักษณะดังนี้

3.1 กลุ่มอนุภาค clay มักหมายถึง secondary minerals ที่สังเคราะห์ขึ้นจากแร่ดั้งเดิม ที่สลายตัวผุพังแล้วและทับถมอยู่ในดิน

3.2 เป็นกลุ่มอนุภาคขนาดเล็กที่สุด มองไม่เห็นด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดธรรมดา อนุภาคมีลักษณะเป็นแผ่นของสารประกอบ aluminosilicates ที่เรียงซ้อนกันเป็นชั้นๆ สัมผัสเมื่อแห้งจะแข็งกระด้าง สากมือคล้ายเม็ดทราย แต่ถ้าเปียกจะเหนียวลื่นและเกาะติดนิ้ว

3.3 อนุภาคดินเหนียวเกาะยึดกันเองหรือมีความเชื่อมแน่น (cohesion) ได้ดีเมื่อเกาะยึดสารอื่น (adhesion) ได้ดีเมื่อเปียก เนื่องจากมีเนื้อที่ผิวจำเพาะสูง เมื่อแห้งจึงเกาะกันเป็นก้อนแข็ง เมื่อขึ้นพองเหมาะสมสามารถปั้นเป็นรูปต่างๆ ได้ เมื่อดินเปียกน้ำจะเกาะยึดอุปกรณ์ไถพรวนได้แน่น ดินเหนียวไม่ปรากฏตัวเป็นอนุภาคเดี่ยว แต่จะเกาะกันเป็นกลุ่มก้อน ดินเหนียวบางชนิดสามารถพองตัว (swelling) เมื่อได้รับน้ำและหดตัว (shrinking) เมื่อสูญเสียน้ำ

3.4 อนุภาคดินเหนียวเมื่อเรียงตัวกันเป็นก้อนดินจะเกิดช่องระหว่างอนุภาคที่มีขนาดเล็กและมีปริมาตรรวมของช่องมาก มีความพรุนสูง จึงอุ้มน้ำได้มาก แต่รากพืชดูดน้ำจากช่องเหล่านั้นได้น้อยเนื่องจากมีแรงดึงน้ำสูง ดินเหนียวมีการระบายน้ำและระบายอากาศเลว

3.5 เนื่องจากดินเหนียวมีเนื้อที่ผิวมาก และอนุภาคไม่เป็นกลาง อนุภาคดินเหนียวจึงดูดซับสารต่างๆ ได้ดี เช่น น้ำ และธาตุอาหารพืช ดินเหนียวส่วนมากจึงเป็นดินอุดมสมบูรณ์

ชุดดินน้ำพอง (Nam Phong series: Ng)

ชุดดินน้ำพอง (Nam Phong series: Ng) จำแนกดินตามระบบอนุกรมวิธานดินเป็น Loamy, siliceous, isohyperthermic Grossarenic Haplustalfs การระบายน้ำดีถึงค่อนข้างมาก การไหลบ่าของน้ำบนผิวดิน เร็ว การซึมผ่านได้ของน้ำ เร็ว การแพร่กระจายพบมากทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือ การจัดเรียงชั้นหน้าตัดดินเป็นแบบ A-E-Bt ลักษณะและสมบัติดินเป็นดินลึก ดินบนเป็นดินทรายปนดินร่วนหรือดินทราย ดินล่างเป็นดินทรายปนดินร่วน พบชั้นสะสมดินเหนียวที่ความลึกต่ำกว่า 100 เซนติเมตร จากผิวดิน มีเนื้อดินเป็นดินร่วนปนทรายและเป็นดินร่วนเหนียวปนทรายในดินล่างลึกลงไป พบจุดประสีน้ำตาลแก เหลืองปนแดง หรือแดงปนเหลืองในดินชั้นล่างนี้ด้วย ปฏิกิริยาดิน เป็นกรดจัดมากถึงกรดปานกลาง (pH 5.0-6.0) ในดินบนและเป็นกรดจัดมากถึงกรด

เล็กน้อย (pH 4.5-6.5) ในดินล่าง ความลึก (เซนติเมตร) ข้อจำกัดในการใช้ประโยชน์ ดินเป็นทรายจัด มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ พืชมักแสดงอาการขาดน้ำอย่างเห็นได้ชัดเจนในช่วงฝนแล้งและเสี่ยงต่อการเกิดการชะล้างพังทลาย (ตารางที่ 2.1)

ตารางที่ 2.1

คุณสมบัติหน้าตัดดินของชุดดินน้ำพอง

ความลึก (เซนติเมตร)	อินทรีย์วัตถุ	ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน
0-25	ต่ำ	ต่ำ
25-50	ต่ำ	ต่ำ
50-100	ต่ำ	ต่ำ

ที่มา: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรมพัฒนาที่ดิน, 2548.

ชุดดินร้อยเอ็ด (Roi-et series: Re)

ชุดดินร้อยเอ็ด (Roi-et series: Re) จำแนกตามระบบอนุกรมวิธานดินเป็น Fine-loamy, mixed, subactive, isohyperthermic Aeric Kandiaquults การระบายน้ำ ค่อนข้างเร็ว การไหลบ่าของน้ำบนผิวดิน ช้า การซึมผ่านได้ของน้ำ ปานกลางถึงช้า การแพร่กระจาย ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ การจัดเรียงชั้น Apg-Btg ลักษณะและสมบัติ เป็นดินต้นถึงชั้นกรวดลูกรัง ดินบนเป็นดินร่วนปนทรายหรือดินร่วน ดินล่างตอนบน เป็นดินร่วนเหนียวปนทรายถัดไปเป็นดินร่วนเหนียวปนทรายปนกรวดหรือดินเหนียวปนกรวดมาก ส่วนดินล่างภายใน 50-100 เซนติเมตร เป็นดินร่วนเหนียวปนกรวดมากหรือดินเหนียวปนกรวดมากถัดไปจะเป็นชั้นดินเหนียวตลอด มีจุดประสีแดงของคิลาแลงอ่อนและน้ำตาลแก่หรือน้ำตาลปนเหลือง ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดมากถึงเป็นกรดเล็กน้อย (pH 5.0-6.5) ในดินบนและเป็นกรดจัดมากถึงเป็นกรดจัด (pH 4.5-5.5) ในดินล่าง ข้อจำกัดในการใช้ประโยชน์เป็นดินต้นถึงชั้นกรวดลูกรัง เนื้อดินบนค่อนข้างเป็นทราย (ตารางที่ 2.2)

ตารางที่ 2.2

คุณสมบัติหน้าตัดดินของชุดดินร้อยเอ็ด

ความลึก (เซนติเมตร)	อินทรีย์วัตถุ	ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน
0-25	ต่ำ	ต่ำ
25-50	ต่ำ	ต่ำ
50-100	ต่ำ	ปานกลาง

ที่มา: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรมพัฒนาที่ดิน, 2548.

ชุดดินสตึก (Satuk series: Suk)

ชุดดินสตึก (Satuk series: Suk) จำแนกตามระบบอนุกรมวิธานดิน Fine-loamy, siliceous, subactive, isohyperthermic Typic Paleustults การระบายน้ำ ดี การไหลบ่าของน้ำ บนผิวดิน ปานกลาง การซึมผ่านได้ของน้ำ ปานกลางถึงเร็ว การแพร่กระจาย ภาค ตะวันออกเฉียงเหนือ การจัดเรียงชั้นหน้าตัดดินเป็นแบบ A-Bt ลักษณะและสมบัติดิน เป็นดินลึกมาก ดินบนเป็นดินร่วนปนทรายหรือดินทรายปนดินร่วน ดินล่างเป็นดินร่วนปนทรายหรือดินร่วนเหนียวปนทราย ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดถึงเป็นกรดเล็กน้อย (pH 5.5-6.5) ในดินบนและเป็นกรดจัดมาก (pH 4.5-5.0) ในดินล่าง ข้อจำกัดการใช้ประโยชน์ ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ เสี่ยงต่อการขาดแคลนน้ำ (ตารางที่ 2.3)

ตารางที่ 2.3

คุณสมบัติหน้าตัดดินของชุดดินสตึก

ความลึก (เซนติเมตร)	อินทรีย์วัตถุ	ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน
0-25	ต่ำ	ต่ำ
25-50	ต่ำ	ต่ำ
50-100	ต่ำ	ต่ำ

ที่มา: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรมพัฒนาที่ดิน, 2548.

สารกำจัดศัตรูพืชเป็นสารที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน ซึ่งสารกำจัดศัตรูพืชสามารถแบ่งได้หลายชนิด โดยแบ่งได้ตามลักษณะดังนี้

1. แบ่งโดยสภาพการออกฤทธิ์ภายในและภายนอกเซลล์พืช จะมีได้ 2 ชนิด คือ

1.1 สารกำจัดศัตรูพืชประเภทสัมผัสผิวดูดซึม (contact pesticide) หรือประเภทไม่ดูดซึม (nonsystemic) สารประเภทนี้จะฉาบเคลือบอยู่ที่ผิวภายนอกเซลล์พืชออกฤทธิ์โดยการสัมผัสกับกลุ่มเป้าหมาย

1.2 สารกำจัดศัตรูพืชประเภทดูดซึม (systemic pesticide) ซึ่งจะออกฤทธิ์โดยการดูดซึมเข้าสู่เซลล์พืช สารจะถูกดูดซึมเข้าไปในพืช และมีกลไกในการออกฤทธิ์ทำลายหลังจากนั้น

2. แบ่งโดยอาศัยกลุ่มเป้าหมาย ได้แก่

2.1 สารฆ่าแมลง สารที่ใช้ยับยั้งการเจริญเติบโตหรือฆ่าแมลง

2.2 สารกำจัดเชื้อรา สารที่ใช้ป้องกัน ทำลาย หรือหยุดการเจริญเติบโตของเชื้อราในพืช

2.3 สารกำจัดวัชพืช สารที่ใช้ป้องกัน ยับยั้ง หรือฆ่าวัชพืช

2.4 อื่น ๆ เช่น สารฆ่าสัตว์ฟันแทะ สารฆ่าไส้เดือนฝอย เป็นต้น

3. แบ่งโดยโครงสร้างและองค์ประกอบทางเคมีของสาร

สารกำจัดวัชพืช (herbicide) หมายถึง สารเคมีชนิดใดๆ ที่นำมาใช้เพื่อฆ่าทำลายหรือยับยั้งการเจริญเติบโตของวัชพืช ไม่ว่าจะเป็นในขณะที่ยังกำลังเจริญเติบโตหรือยังเป็นเมล็ดอยู่ตลอดจนขึ้นส่วนต่างๆ ที่ขยายพันธุ์ได้ ทั้งที่อยู่ใต้ดินและบนดิน (ทศพล พรพรม, 2545) ในระบบพื้นฐานทั่วไปที่นำมาใช้ในการจำแนกประเภทของสารกำจัดวัชพืชออกเป็นกลุ่มๆ จะแบ่งตามลักษณะโครงสร้างพื้นฐานทางเคมี ซึ่งมีความเกี่ยวข้องและเป็นส่วนสำคัญในการอธิบายกลไกการทำปฏิกิริยาของสารกำจัดวัชพืชเมื่อเข้าสู่พืช การแบ่งสารกำจัดวัชพืชตามโครงสร้างพื้นฐานทางเคมี (basic chemical structure) โดยอาศัยลักษณะของโครงสร้างทางโมเลกุล และตำแหน่งของอะตอมของไฮดรอกซิลหรือฮาโลเจนในโมเลกุลที่คล้ายคลึงกัน สามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม ดังนี้

1) สารกำจัดวัชพืชที่เป็นสารอนินทรีย์ (inorganic herbicides) เป็นสารกำจัดวัชพืชที่ไม่มีอะตอมของธาตุคาร์บอนในโมเลกุล ได้แก่ ammonium sulfamate (AMS), copper sulfate, metaborate และ sodium chlorate เป็นต้น ส่วนใหญ่แล้วสารในกลุ่มนี้จะใช้ในการทำลายวัชพืชในพื้นที่ที่ไม่มีการปลูกพืช เช่น ริมถนน ป่าไม้ หรือวัชพืชน้ำพวกสาหร่าย

2) สารกำจัดวัชพืชที่เป็นสารอินทรีย์ (organic herbicides) เป็นสารที่มีอะตอมของคาร์บอนเป็นองค์ประกอบอย่างน้อย 1 อะตอมในโมเลกุล โดยทั่วไปโมเลกุลของสารอินทรีย์ประกอบด้วยธาตุต่างๆ 12 ชนิด ซึ่งธาตุที่พบบ่อยที่สุด ได้แก่ คาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) และออกซิเจน (O) ส่วนธาตุชนิดอื่นๆ ที่อาจจะพบบ้าง ได้แก่ ไนโตรเจน (N) กำมะถัน (S) ฟอสฟอรัส (P) และธาตุในกลุ่มฮาโลเจน เช่น ฟลูออรีน (F) คลอรีน (Cl) โบรมีน (Br) และไอโอดีน (I) เป็นต้น โครงสร้างหลักของสารกำจัดวัชพืชพวกสารประกอบอินทรีย์จะมีการเรียงตัวของอะตอมของคาร์บอนกับสารอื่นๆ แบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ โครงสร้างของโมเลกุลที่มีการจัดเรียงอะตอมของคาร์บอนเป็นลูกโซ่ เป็นเส้นตรงหรือมีการแตกกิ่งก้านสาขาจะเรียกว่า แบบอลิฟาติก (aliphatic hydrocarbons) ส่วนโครงสร้างโมเลกุลที่มีการเรียงตัวของอะตอมของคาร์บอนเป็นรูปวงแหวนจะเรียกว่า แบบอะโรมาติก (aromatic hydrocarbons หรือ benzene) (ทศพล พรพรม, 2545)

อัตราการนำเข้าสารกำจัดวัชพืชในแต่ละปี สารกำจัดวัชพืชได้มีการนำเข้าสูงที่สุดอันเนื่องมาจากการใช้ที่เกินความจำเป็น ในหลายๆ เหตุการณ์วัชพืชเจริญได้มีการเจริญเติบโตที่สูงมากและวัชพืชนี้เองที่เป็นตัวปัญหาหลักของผลผลิตทางการเกษตร ดังนั้นสารกำจัดวัชพืชจึงถูกใช้เป็นปริมาณมากเพื่อที่จะควบคุมผลกระทบนี้ การใช้สารกำจัดวัชพืชขึ้นอยู่กับชนิดของวัชพืช ปัจจัยของพืชและอื่นๆ (ดวงกมล ภิบุญ, 2548)

ตารางที่ 2.4
ปริมาณการนำสารกำจัดวัชพืชเข้า (กิโลกรัม) มูลค่า (บาท)
และสารสำคัญ (กิโลกรัม) ในพ.ศ. 2550

ชื่อสารกำจัดวัชพืช	ปริมาณการนำเข้า (กิโลกรัม)	มูลค่า (บาท)	สารสำคัญ (กิโลกรัม)
glyphosate isopropylammonium	34,983,316	3,028,154,446	20,356,228
paraquat dichloride	16,862,134	1,808,772,283	8,286,397
2,4-D sodium salt	4,038,400	316,680,139	3,835,970
ametryn	3,963,496	555,695,292	3,107,340
atrazine	3,686,650	356,932,390	3,049,135
2,4-D dimethyl ammonium	2,744,469	164,849,257	2,277,782
butachlor	2,006,775	246,377,133	1,798,551
diuron	1,788,253	258,748,869	1,430,602
alachlor	1,413,107	123,736,818	1,022,777
propanil	1,012,320	135,909,934	959,265

ที่มา: กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ 2551

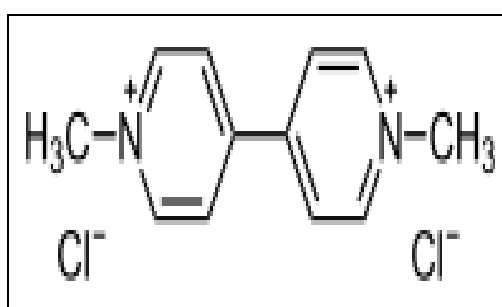
พาราควัท (paraquat)

Paraquat เป็นสารเคมีกำจัดวัชพืชในกลุ่มไบไพริดีเลียม (bipyridiliums) ใช้ฉีดพ่นหลังวัชพืชงอก จัดเป็นสารประเภทสัมผัสผิวดลายหรือทำลายเยื่อหุ้มเซลล์ (contacts-membrane disrupters) มีการใช้ที่ใบและในน้ำ ซึ่งมีใช้กันอย่างแพร่หลาย เป็นของเหลวมีสีน้ำเงินเข้ม พาราควัทยังมีชื่ออื่นที่เราอาจจะคุ้นเคยมากกว่าเป็นชื่อทางการค้า เช่น กรัสม็อกโซน ไตรควอท หรือ เดกซ์ซูรอน เป็นสารที่มีอันตรายร้ายแรงที่ใช้ป้องกันและกำจัดวัชพืช ละลายน้ำได้ดี นั่นหมายความว่า มันสามารถถูกน้ำพัดพาไปได้ถึงแหล่งน้ำต่างๆ ได้มีการนำพาราควัทมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตรครั้งแรกเมื่อปี พ.ศ. 2505 และได้แพร่หลายอย่างรวดเร็วไปยังประเทศต่างๆ กว่า 130 ประเทศ สำหรับประเทศไทย พาราควัทเป็นสารกำจัดวัชพืชที่มีการใช้มากที่สุด ในการกำจัดวัชพืชนั้น

โดยทั่วไปจะใช้กับวัชพืชที่ยังอ่อน และมักใช้ฉีดพ่นในพื้นที่ที่ไม่มีการปลูกพืช หรือในระหว่างแถวของแปลงผัก แปลงปลูกไม้ยืนต้น เช่น ยางพารา ปาล์มน้ำมัน และมีการใช้ก่อนการเก็บเกี่ยวผลผลิตเพื่อให้สะดวกในการเก็บเกี่ยวของพืชบางชนิด เช่น ฝ้าย ทานตะวัน ถั่วเหลือง และถั่วเขียว เป็นต้น โดยที่สารชนิดนี้มีโครงสร้างทางเคมีที่มีประจุบวก ทำให้มีการดูดยี้ดกับดินซึ่งมีประจุลบ โดยเฉพาะในดินเหนียวได้อย่างแข็งแรง ทำให้ไม่มีการเคลื่อนย้ายในดิน แต่มีการเคลื่อนย้ายในพืชได้โดยเคลื่อนที่ในท่อลำเลียงน้ำ (xylem) แบบ apoplast ส่วนของพืชที่สัมผัสสารจะเกิดจุดไหม้ โดยเฉพาะส่วนยอดของพืชที่ตอบสนองต่อสารกลุ่มนี้มากกว่าส่วนอื่น มีความเป็นพิษต่อสัตว์เลือดอุ่นสูง สารพาราควัทยังไม่มียารักษาโดยเฉพาะ (ทศพล พรพรหม, 2545)

ภาพที่ 2.1

โครงสร้างสารประกอบพาราควัท



ที่มา: <http://en.wikipedia.org/wiki/Paraquat>, January 5, 2011

ตารางที่ 2.5

คุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของพาราควัท

ชื่อสามัญ (ISO)	Paraquat
ชื่อทางเคมี (IUPAC and CA)	1,1'-dimethy-4,4'bipyridinium
สูตรโมเลกุล	$C_{12}H_{14}Cl_2N_2$
มวลโมเลกุล	Paraquat ion 186.25 กรัม Paraquat dichloride 257.2 กรัม Paraquat dimethylsulfate 408.4 กรัม
ลักษณะทางกายภาพ	ลักษณะเป็นแป้งผลึก สีขาว ไม่มีกลิ่น hygroscopic solid
ความหนาแน่นสัมพัทธ์	1.24 – 1.26 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ที่ 20 องศาเซลเซียส
ความหนาแน่นของก๊าซ	8.88
จุดเดือด	Paraquat dichloride สลายตัวที่ 340 องศาเซลเซียส
จุดหลอมเหลว	Paraquat dichloride สลายตัวที่ 340 องศาเซลเซียส
ความดันไอ	ต่ำมาก ($10^{-8} - 10^{-3}$ Pa ที่ 20 องศาเซลเซียส)
จุดวาบไฟ	(may be marketed in flammable mixtures)
Biological Concentration Factor (BCF)	0.3
ครึ่งชีวิต	16 เดือน – 13 ปี
Conversion factors	$1 \text{ ppm} = 10.7 \text{ mg m}^{-3}$ $1 \text{ mg m}^{-3} = 0.094 \text{ ppm}$

ที่มา : Amondham (2005)

สารพาราควัทถ้านำไปใช้อย่างไม่ระวัง ผิวน้ำและตาที่สัมผัสจะระคายเคือง เซลล์เนื้อเยื่อของผิวน้ำจะตายเป็นแผลพุพอง ตาบวมแดงอักเสบ ทำให้ประสิทธิภาพในการมองเห็นลดลง การฉีดพ่นจึงควรระมัดระวัง ทำตอนลมสงบและอยู่เหนือลม ใส่เสื้อผ้าปกปิดให้มิดชิด เสร็จแล้วรีบอาบน้ำทันที การกลืนกินจะเป็นพิษต่อบริเวณลำคอ หายใจไม่สะดวก เพราะปอดทำงานไม่ได้ตามปกติ อาจถึงขั้นล้มเหลวได้ และยังมีผลต่อการทำงานของตับอีกด้วย โดยทำให้เกิดสภาวะ

เป็นกรดมากกว่าปกติ เนื่องจากความเป็นพิษสูง จึงมีมาตรการควบคุมทางกฎหมาย เพื่อช่วยลดอันตรายอันอาจจะเกิดขึ้นได้ (<http://www.chemtrack.org>, 2552)

ความเป็นพิษของสารพาราควัท

พิษของสารพาราควัทมีความรุนแรงต่อสัตว์เมื่อเข้าทางปาก (acute oral) โดยมีค่า LD_{50} ต่ำมาก กล่าวคือ สารในรูป paraquat dichloride salt technical กับหนูตัวผู้ มีค่า LD_{50} 112 - 150 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Ahrens, 1994 อ้างใน ทศพล พรพรหม, 2545) มีค่า LC_{50} ต่อปลา rainbow trout 32 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในเวลา 96 ชั่วโมง และไม่เป็นพิษต่อผึ้ง (Hamishkidd and David, 1991 อ้างใน ทศพล พรพรหม, 2545) แต่จากรายงานของ (Panap, 2003 อ้างใน ทศพล พรพรหม, 2545) ได้กล่าวไว้ว่าสารพาราควัทเพียง 17 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ก็สามารถฆ่าชีวิตมนุษย์ได้ โดยจะทำลายตับ หัวใจ ไต ปอด ระบบประสาท ต่อมหมวกไต ม้าม กล้ามเนื้อ และทุกระบบในร่างกายให้ล้มเหลว ซึ่งสารพาราควัทนี้เป็นสารหนึ่งในไม่กี่ชนิดที่จัดว่าเป็นสารที่มีพิษอยู่ในระดับปานกลางของกลุ่มความเป็นพิษเฉียบพลัน (acute toxicity) ต่อมนุษย์ ซึ่งในประเทศไต้หวัน นิยมใช้สารพาราควัทกันอย่างกว้างขวาง จึงมีการพัฒนาแนวทางเพื่อป้องกันการปนเปื้อนสารนี้ลงในแหล่งน้ำดื่มและแหล่งน้ำตามธรรมชาติ โดยทางการไต้หวันได้กำหนดมาตรฐานน้ำดื่มให้มีปริมาณสารพาราควัทได้ไม่เกิน 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร (Tsai and Hsein, 2003 อ้างใน แรงราม พลจันทร์, 2549)

พฤติกรรมของสารพาราควัทในสิ่งแวดล้อม

พฤติกรรมของสารพาราควัทในสิ่งแวดล้อมสารพาราควัทมีความสามารถเคลื่อนย้ายในดินได้อย่างจำกัดเพราะถูกอนุภาคดินและอินทรีย์วัตถุจับยึดไว้ เนื่องจากตัวสารมีสมบัติเป็นประจุบวก จึงสามารถดูดยึดกับดินซึ่งมีประจุลบอย่างแข็งแรง โดยเฉพาะดินเหนียวหรือแร่ดินเหนียว (clay mineral) และอินทรีย์วัตถุ (ทศพล พรพรหม, 2545) โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับ (sorption coefficient; K_{oc}) เท่ากับ 106 ซึ่งการติดแน่นอยู่กับดินนี้เป็นขีดจำกัดความเป็นประโยชน์ของสารพาราควัทต่อการทำลายวัชพืชโดยที่สารพาราควัทนี้มีการสลายตัวทางชีวภาพ (biodegrade) ได้ช้ามาก และมีครึ่งชีวิต (half-life) ในดิน 1,000 วันหรือมากกว่านั้นขึ้นกับชนิดดิน (Vougue et.al., 1994 อ้างใน ทศพล พรพรหม, 2545) และในบางกรณีอาจใช้เวลาถึง 13 ปี (Exttoxnet, 1996 อ้างใน ทศพล พรพรหม, 2545) โดยสารนี้จะไม่ออกฤทธิ์ในดินและไม่เกิดการชะ

ล้างลงสู่ด้านล่าง (leaching) หรือเกิดน้อยมาก จึงไม่เกิดการปนเปื้อนในแหล่งน้ำใต้ดิน (Hazardous Substances Data Bank [HSDB], 2000 อ้างใน ทศพล พรพรม, 2545) การดูดซับของสารพาราควัทในดินไม่เกี่ยวข้องกับอุณหภูมิและความชื้นดินไม่แสดงความเป็นพิษและไม่มีการเคลื่อนย้ายในพืช มีการทดลองหาอัตราการดูดซับของสารพาราควัทกับชนิดแร่ดินเหนียวพบว่าแร่ดินเหนียวในกลุ่ม montmorillonite จะมีการดูดซับสารได้สูงกว่าแร่ดินเหนียวชนิดอื่นๆ ซึ่ง Tsai and Hsein, 2003 อ้างใน แกรวม พลจันทร์, 2549 ได้ทดสอบขนาดของอนุภาคดินที่มีแร่ดินเหนียว montmorillonite ต่อการดูดซับสารพาราควัทพบว่าเมื่ออนุภาคดินมีขนาดใหญ่ขึ้นการดูดซับสารจะลดลง การตกค้างของสารพาราควัทในแหล่งน้ำนั้นตัวสารจะถูกดูดซับอยู่กับอนุภาคแขวนลอย (suspended matter) และตะกอนดิน (sediment) ในน้ำ โดยมีรายงานว่าครึ่งชีวิต (half-life) ในน้ำจะมีค่าตั้งแต่ 1.5 วัน จนถึง 23 สัปดาห์ (HSDB, 2000 อ้างใน ทศพล พรพรม, 2545) ซึ่งสารนี้จะสลายตัวเองภายใน 35 สัปดาห์ จนไม่สามารถตรวจพบในน้ำที่ปราศจากตะกอนดินหรือพีชน้ำภายใน 6 – 8 สัปดาห์ ในแหล่งน้ำที่มีตะกอนดิน และ 3 – 4 สัปดาห์ในแหล่งน้ำที่มีทั้งตะกอนดินและพีชน้ำ (Arnold and Kevin, 1990, Eisler, 1990 อ้างใน แกรวม พลจันทร์, 2549)

ปัจจุบันในการเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร การจัดการป่าไม้ และการสาธารณสุขมีความจำเป็นต้องใช้สารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ (pesticide) กลุ่มต่างๆ อย่างมากทั่วโลก ทั้งในประเทศที่พัฒนาแล้ว เช่น สหรัฐอเมริกา ประเทศต่างๆ ในทวีปยุโรป และประเทศญี่ปุ่น เป็นต้น ซึ่งมีการใช้สารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ในปริมาณที่สูงประมาณสองในสามของการใช้ทั่วโลก ส่วนอีกหนึ่งในสามนั้นใช้ในหมู่ประเทศกำลังพัฒนา ซึ่งอยู่ในทวีปแอฟริกา และเอเชีย (สุกัญญา จันทร์เจ็ก, 2550)

สารกำจัดวัชพืชที่ใช้ในปัจจุบันส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์ เนื่องจากสารกำจัดวัชพืชที่เป็นอินทรีย์สามารถสลายตัวในสิ่งแวดล้อมได้ง่ายกว่าสารอนินทรีย์ นอกจากนี้แล้วการใช้สารกำจัดวัชพืชที่เป็นสารประกอบสารอนินทรีย์ ต้องใช้ในอัตราที่ค่อนข้างสูงและเป็นอันตรายต่อมนุษย์และสัตว์เลี้ยงได้

กลไกการดูดซับ

การเกาะหรือดูดซับประกอบไปด้วย 3 กลไกได้แก่ กลไกทางไฟฟ้าสถิต (electrostatic mechanism) กลไกทางเคมี (chemical) และกลไกทางกายภาพ (physical) กลไกการดูดซับสามารถแบ่งได้เป็น 3 ขั้นตอนดังนี้ (นิพนธ์ ตั้งธรรม, 2550)

ขั้นตอนที่ 1 การแพร่ภายนอก (external diffusion) การแพร่ภายนอกเป็นกลไกที่โมเลกุลของตัวดูดซับเข้าถึงตัวดูดซับ ซึ่งพื้นที่ผิวของตัวดูดซับมีของเหลวห่อหุ้มโดยโมเลกุลแทรกผ่านชั้นของของเหลวเข้าถึงผิวหน้าของตัวดูดซับ

ขั้นตอนที่ 2 การแพร่ภายใน (internal diffusion) เป็นกลไกที่โมเลกุลของตัวถูกดูดซับแพร่กระจายเข้าสู่พื้นที่ผิวภายในโพรงตัวดูดซับเพื่อให้เกิดการดูดซับ

ขั้นตอนที่ 3 ปฏิกิริยาพื้นผิว (surface reaction) ปฏิกิริยาพื้นผิวเป็นกลไกที่โมเลกุลของตัวถูกดูดซับติดที่ผิวของตัวดูดซับซึ่งเป็นกระบวนการที่รวดเร็วมาก เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการแพร่ ดังนั้นควรคำนึงถึงการต้านทานจากปฏิกิริยาพื้นผิวด้วย

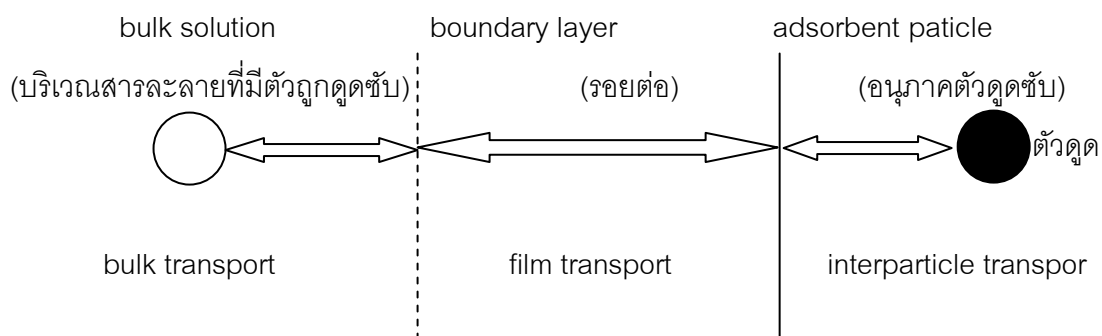
อัตราการเคลื่อนย้ายโมเลกุลของตัวถูกดูดซับ

อัตราการดูดซับมีความสำคัญมาก อัตราการดูดซับที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วจะทำให้ระบบเข้าสู่สภาวะสมดุลได้เร็ว อัตราการดูดซับจะถูกควบคุมโดยขั้นตอนที่มีการต้านทานมากที่สุดในการเคลื่อนย้ายโมเลกุลซึ่งขั้นตอนที่ช้าที่สุดจะเป็นขั้นตอนกำหนดอัตราการดูดซับ ขั้นตอนในการดูดซับแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนย่อยดังนี้

1. การขนส่งอนุภาค (bulk transport) เป็นขั้นตอนที่เกิดขึ้นเร็วที่สุด โมเลกุลของตัวถูกดูดซับในของเหลวจะถูกส่งไปที่ผิวหน้าของชั้นของของเหลวบางๆ หรือผิวสัมผัสน้ำที่ห่อหุ้มตัวดูดซับ
2. การขนส่งชั้นฟิล์ม (film transport) เป็นขั้นตอนที่โมเลกุลที่ผิวหน้าของชั้นของเหลวบางๆ แทรกตัวเข้าสู่ผิวหน้าของสารดูดซับ การขนส่งชั้นฟิล์มเป็นกระบวนการที่ตัวถูกดูดซับแพร่ผ่านฟิล์มน้ำไปยังผิวของตัวดูดซับ จัดเป็นขั้นตอนที่กำหนดอัตราการดูดซับขั้นตอนหนึ่ง
3. การขนส่งภายในอนุภาค (interparticle transport) เป็นการแพร่ของโมเลกุลตัวถูกละลายเข้าสู่โพรงหรือรูพรุนของสารดูดซับ เรียกว่าการแพร่เข้าสู่โพรง (pore diffusion) และทำให้เกิดการดูดซับขึ้นภายใน ขั้นตอนนี้จัดเป็นขั้นตอนที่กำหนดอัตราการดูดซับเช่นเดียวกัน

ภาพที่ 2.2

ขั้นตอนการเคลื่อนย้ายโมเลกุลของตัวถูกดูดซับไปยังตัวดูดซับ



ที่มา: นิพนธ์ ตั้งคณานุรักษ์, 2550

การยึดติดของตัวดูดซับบนพื้นที่ผิวของตัวดูดซับจะมีแรงยึดเหนี่ยวเกิดขึ้น ซึ่งอาจเป็นแรงยึดเหนี่ยวทางกายภาพหรือทางเคมีหรือทั้งสองแบบ

ตัวดูดซับ

ตัวดูดซับ คือ สารที่มีความสามารถในการดูดซับมีหลายชนิด อาจแบ่งได้เป็น 5 ประเภท

1. สารอนินทรีย์ เช่นดินเหนียวชนิดต่างๆ แมกนีเซียมออกไซด์ ซิลิกาแกมมันต์ อะลูมิเนียมแกมมันต์ ถ่านกระดุก สีนแร่จำพวกอะลูมิเนียมซิลิเกต เช่น kaolinite เป็นต้น ตัวดูดซับสารอนินทรีย์จะมีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 50-200 ตารางเมตรต่อกรัม และดูดซับโมเลกุลสารเพียงไม่กี่ชนิด ทำให้การใช้ประโยชน์จากสารดูดซับสารอนินทรีย์มีขีดจำกัด

2. ถ่านแกมมันต์ มีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 500 – 1400 ตารางเมตรต่อกรัม เป็นตัวดูดซับที่มีประสิทธิภาพ และมีการนำไปใช้งานอย่างกว้างขวางในด้านต่างๆ เช่น ฟอกสี ใช้ในการกำจัดกลิ่นและรส ใช้ในการกำจัดตะกอนในโรงงานเบียร์ เป็นต้น

3. สารอินทรีย์สังเคราะห์ ได้แก่ สารแลกเปลี่ยนไอออน (เรซิน) ชนิดพิเศษที่สังเคราะห์ขึ้นเพื่อกำจัดสารอินทรีย์ต่างๆ สารเรซินเหล่านี้มีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 300 – 500 ตารางเมตรต่อกรัม

4. วัสดุชีวภาพ (biomaterials) ส่วนใหญ่เป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เช่น ชี้อัลไย ไคโตซาน กากกาแฟ กากชา กากถั่วเหลือง ฟางข้าวเปลือกไม้ แถ่กลบดำ เป็นต้น

5. สารดูดซับชีวภาพ (biosorbent) ได้แก่ เซลล์จุลินทรีย์ เช่น เซลล์ของแบคทีเรีย ยีสต์ ราสายพันธุ์ต่างๆ และสาหร่าย

ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ (Factors Influencing Adsorption)

1. ขนาดและพื้นที่ผิวของสารดูดซับ (size and surface area) เนื่องจากปฏิกิริยาที่พื้นที่ผิวเปลี่ยนแปลงไปตามขนาดของพื้นที่ผิว ความสามารถในการดูดซับของสารดูดซับจึงมีความสัมพันธ์โดยตรงกับพื้นที่ผิวจำเพาะ และอัตราการดูดซับเป็นอัตราส่วนผกผันกับขนาดสารดูดซับ เมื่อสารดูดซับนั้นไม่มีรูพรุนอัตราการดูดซับจะเป็นอัตราส่วนผกผันกับเส้นผ่านศูนย์กลางของสารดูดซับ แต่สำหรับสารดูดซับที่มีรูพรุนอัตราการเคลื่อนที่เข้าสู่พื้นที่ผิวภายในรูพรุนถูกควบคุมโดยขั้นตอน การขนส่งชั้นฟิล์ม (film transport) ดังนั้นอัตราการดูดซับจึงเป็นอัตราส่วนกับเส้นผ่านศูนย์กลางของสารดูดซับ และในทางตรงข้ามถ้าการเคลื่อนที่ภายในอนุภาคเป็นตัวควบคุมอัตราการดูดซับ การดูดซับจะเป็นอัตราส่วนผกผันกับเส้นผ่านศูนย์กลางของสารดูดซับ

2. ลักษณะของสารดูดซับ (nature of adsorbate) การดูดซับจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อความสามารถในการละลายน้ำของตัวถูกละลายมีค่าลดลงเนื่องจากในกระบวนการดูดซับตัวถูกละลายหรือตัวถูกละลายจะถูกดึงออกจากตัวทำละลายนอกจากนี้ถ้าอัตราการดูดซับถูกควบคุมด้วยอัตราการเคลื่อนที่ภายในโพรง ขนาดของโมเลกุลของตัวถูกละลายยังมีผลต่ออัตราการดูดซับอีกด้วย และขนาดของโมเลกุลของตัวถูกละลายจะแปรผกผันกับอัตราการดูดซับ

3. ความเป็นกรด-เบส (pH) มีอิทธิพลต่อการแตกตัวของไอออนและการละลายน้ำของสารต่างๆ ดังนั้นจึงมีผลต่อการดูดซับด้วย นอกจากนี้ไฮโดรเจนไอออนและไฮดรอกไซด์ไอออนก็เป็นไอออนที่สามารถดูดซับได้ดี โดยทั่วไปแล้วการดูดซับของสารอินทรีย์เพิ่มขึ้นเมื่อค่าความเป็นกรด-เบสลดลง

4. อุณหภูมิ (temperature) อุณหภูมิมีอิทธิพลต่ออัตราเร็วและขีดความสามารถในการดูดซับ กล่าวคือ อัตราเร็วเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ และลดลงตามการลดของอุณหภูมิ แต่ขีดความสามารถในการดูดซับจะมีค่าลดลงที่อุณหภูมิสูง และจะมีค่าเพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิต่ำทั้งนี้เพราะการดูดซับเป็นแบบปฏิกิริยาคายความร้อน (exothermic)

5. ความปั่นป่วน (mixing speed) อัตราดูดซับอาจขึ้นอยู่กับขั้นตอนการขนส่งผ่านฟิล์ม (film transport) และการแพร่เข้าสู่โพรง (pore diffusion) ซึ่งในระบบที่มีความปั่นป่วนตาฟิล์มของของเหลวที่อยู่ล้อมรอบสารดูดซับจะมีความหนามาก และก่อให้เกิดอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลเข้าไปหาสารดูดซับทำให้ film transport เป็นตัวควบคุมการดูดซับ ในทางตรง

ข้ามถ้ามีความปั่นป่วนสูง ความหนาของชั้นฟิล์มจะลดลงทำให้โมเลกุลเคลื่อนเข้าสู่สารดูดซับได้เร็วขึ้น ดังนั้นการแพร่เข้าสู่โพรงจะเป็นตัวกำหนดอัตราเร็วในการดูดซับ (มันสิน ตันกุลเวศม์, 2538)

6. เวลาสัมผัส (Contact time) เวลาสัมผัสในกระบวนการดูดซับเป็นพารามิเตอร์สำคัญอย่างหนึ่งที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการดูดซับ และอายุการใช้งานของการดูดซับแบบต่อเนื่อง (มันสิน ตันกุลเวศม์, 2538)

พฤติกรรมและความคงทนของสารกำจัดวัชพืชในดิน

เมื่อมีการใช้สารกำจัดวัชพืชโดยเฉพาะสารที่ใช้ทางดินนั้นมีความสัมพันธ์กันอย่างมากกับดินแต่สารที่ใช้ทางใบก็จะมีบางส่วนที่สัมผัสกับดินได้เช่นกัน ปัจจัยที่มีผลต่อการสูญเสียสารกำจัดวัชพืชได้แก่ อุณหภูมิ การเคลื่อนย้ายของน้ำขึ้นลงตามหน้าตัดดิน สารละลายที่มีอยู่ในน้ำ การเคลื่อนย้ายของอากาศ และการดูดยืดยึดสารโดยอนุภาคดิน กระบวนการสำคัญที่เกี่ยวข้องหลังฉีดพ่นสารกำจัดวัชพืช มีดังนี้ (ทศพล พรพรม, 2545)

1. กระบวนการทางฟิสิกส์ ได้แก่

การระเหย (volatility) โดยจะเกิดมากในสภาพอากาศที่ร้อน แสงแดดจัด และลมแรง การชะล้างน้ำพาโมเลกุลของสาร โดยได้รับอิทธิพลจากน้ำไหลบ่าหน้าดิน ทั้งในแนวดิ่งและแนวข้าง ซึ่งอาจมีการสะสมโมเลกุลของสารในดินชั้นล่างและน้ำใต้ดิน ปัจจัยที่มีผลต่อการชะล้าง ได้แก่ โครงสร้างดิน ความสามารถในการซาบซึมน้ำ ปริมาณน้ำไหลบ่าหน้าดินความสามารถในการดูดซับของอนุภาคดินและความสามารถในการละลายของสาร

2. กระบวนการทางเคมี ได้แก่

การสลายตัวโดยแสงแดด ในสภาพที่มีแสงแดดจัด สารจะทำปฏิกิริยากับแสงซึ่งสามารถป้องกันการสลายตัวของสารกำจัดวัชพืชได้โดยการคลุมดิน การดูดซับประจุไอออนหรือโมเลกุลของสารกำจัดวัชพืช ซึ่งกรด-เบส (pH) เป็นปัจจัยสำคัญต่อการดูดซับสารกำจัดวัชพืช และมีผลทางอ้อมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ดินและพืช การดูดซับสารในสภาพดินแห้งจะมากกว่าในดินชื้น และสารที่มีประจุบวกจะดูดซับกับดินเหนียวได้ดีกว่าอิวมัสโดยเฉพาะแร่ดินเหนียวพวกมอนต์มอริลโลไนต์ (montmorillonite) ดูดซับสารได้มากกว่าแร่ดินเหนียวพวกแคลิไนต์ (kaolinite) ปฏิกิริยาทางเคมีในดินต่างๆ เช่น ออกซิเดชัน (oxidation) รีดักชัน (reduction) ไฮโดรไลซิส

(hydrolysis) หรือไฮเดรชัน (hydration) ทำให้เกิดสารเคมีที่มีโครงสร้างซับซ้อน ซึ่งปฏิกิริยาต่างๆ นี้จะขึ้นอยู่กับสภาพความเป็นกรด-เบสของดิน (ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, 2540)

3. กระบวนการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ในดิน ได้แก่

พวกแบคทีเรีย เชื้อรา และแอคติโนมัยสิต ซึ่งจุลินทรีย์จะใช้พลังงานจากโมเลกุลของสารเพื่อนำไปใช้ในกระบวนการหายใจ การสร้างโปรตีน และการขยายพันธุ์ แล้วปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา การสลายตัวของสารกำจัดวัชพืชในดินโดยจุลินทรีย์มากกว่าหนึ่งชนิดทำการย่อยสลายสาร เช่น พวกการย่อยสลายสารโดยกระบวนการ dealkylation ส่วนพวกแบคทีเรียจะย่อยสลายสารโดยกระบวนการ hydrolysis และ dehalogenation รวมกระบวนการทั้งหมดนี้เรียกว่า การสลายตัวร่วม (cometabolism) (รังสิต สุวรรณเขตนิกม, 2547)

ระยะเวลาที่สารกำจัดวัชพืชมีฤทธิ์อยู่ในดินเรียกว่า ความคงทนของสารในดิน (soil persistence) ส่วนอายุของสารที่ตกค้างในดิน เรียกว่า ผลตกค้างของสารในดิน (soil residue) ซึ่งสมบัติที่เกี่ยวข้องกับพฤติกรรมสารกำจัดศัตรูพืชในดิน คือ สภาพการละลายได้ ความดันไอ สภาพการมีประจุไฟฟ้า และความเป็นกรด-เบสของสารละลาย โดยที่ความคงทนของสารในดินเป็นส่วนที่หลีกเลี่ยงจากพฤติกรรมต่างๆ ที่ทำให้เกิดการสูญเสียสารกำจัดวัชพืชไป (ทศพล พรพรหม, 2545)

ไอโซเทอร์มของการดูดซับ (Adsorption Isotherm)

ไอโซเทอร์มของการดูดซับ คือกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของสารที่ถูกดูดซับกับความเข้มข้นของสาร ณ จุดสมดุลที่อุณหภูมิหนึ่ง ดังนั้น แนวทางในการศึกษาไอโซเทอร์ม จึงต้องทำการทดลอง เพื่อนำค่าที่ได้จากการทดลองนี้ไปเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของสารที่ถูกดูดซับกับความเข้มข้นที่จุดสมดุลของสารที่อุณหภูมิคงที่อุณหภูมิหนึ่ง ไอโซเทอร์มการดูดซับเป็นการแสดงปริมาณของตัวถูกละลายที่ถูกดูดติด ต่อหน่วยของสารดูดซับ ซึ่งสัมพันธ์กับความเข้มข้นที่จุดสมดุลในสารละลายที่อุณหภูมิคงที่ ไอโซเทอร์มการดูดซับมีหลายรูปแบบ โดยการดูดซับที่นิยมใช้กันมากคือวิธีของ Freundlich isotherm และ Langmiur isotherm รูปแบบสมการเป็นดังต่อไปนี้

วิธี Freundlich isotherm

ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบ Freundlich (Freundlich Adsorption Isotherm) สมการของ Freundlich สำหรับระบบดูดซับซึ่งสมการนี้เป็นที่นิยมใช้กันมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งใช้กับสารละลายที่ค่อนข้างเจือจางและมีความเข้มข้นค่อนข้างต่ำ การดูดซับจะยังดำเนินต่อไปเรื่อยๆ เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารดูดซับ รูปแบบสมการเป็นดังนี้

$$q = K_F C^{\frac{1}{n}}$$

เมื่อ q = ปริมาณตัวถูกดูดซับที่ถูกดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับต่อมวลตัวดูดซับ เช่น

โมลต่อกิโลกรัม โมลต่อกรัม มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

K_F = สัมประสิทธิ์การดูดซับของ Freundlich

C = ความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับที่เหลืออยู่ในสารละลาย หน่วยเป็นความ

เข้มข้น เช่น โมลต่อลิตร

n = ค่าสัมประสิทธิ์จากการทดลอง

สมการการดูดซับแบบฟรุนดลิช มวลของสารที่ถูกดูดซับเป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นเฟสของน้ำ (aqueous phase) ที่ความเข้มข้นของสารถูกดูดซับ (sorbate) ต่ำๆ และลดลงเมื่อสารถูกดูดซับ (sorbate) สะสมบนผิวของสารดูดซับ (sorbent) การดูดซับยังคงดำเนินต่อไปเมื่อความเข้มข้นของสารถูกดูดซับ (sorbate) ในเฟสของน้ำ (aqueous phase) เพิ่มขึ้นแต่จะเพิ่มในสัดส่วนที่น้อยลง

จากสมการสามารถเขียนในรูปลอการิทึมได้ดังนี้

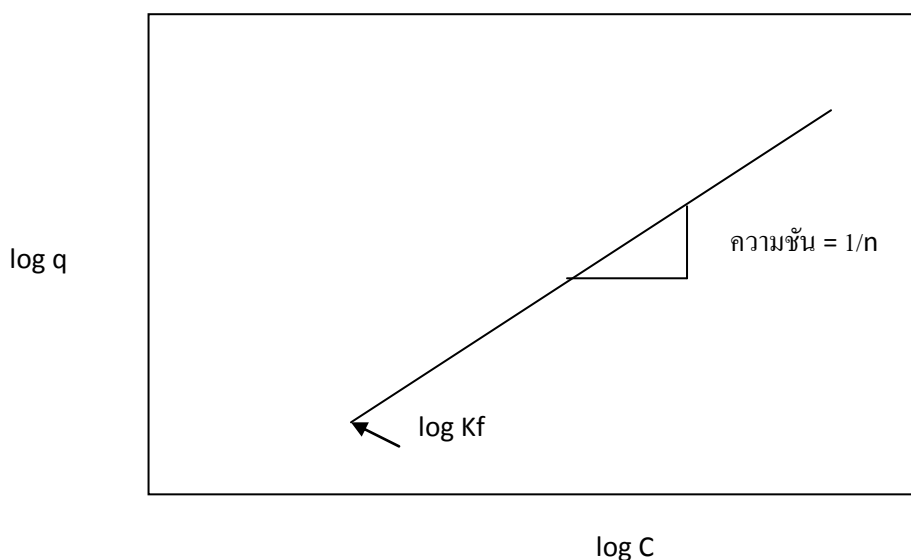
$$\log q = \log K_F + 1/n \log C$$

เมื่อสร้างกราฟระหว่าง q และ C จะได้กราฟเส้นตรง โดยหาค่า K_F ได้จาก $K_F = 10^{\text{y-intercept}}$

และ $1/n$ = ความชัน

ภาพที่ 2.3

กราฟเชิงเส้นของ Freundlich isotherm



วิธี Langmiur isotherm

สมการการดูดซับแบบแลงเมียร์ คือ ที่ผิวของของแข็งมีสารถูกดูดซับสะสมอยู่เพียงชั้นเดียวโดยเฟสของเหลว(liquid phase) เมื่อความเข้มข้นของสารถูกดูดซับ (sorbate) เพิ่มขึ้น แสดงว่าผิวของสารดูดซับ (sorbent) ถูกปกคลุมด้วยสารถูกดูดซับในสัดส่วนที่มากขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารในเฟสของสารละลาย (solution phase) สูงขึ้น สารดูดซับจะอิ่มตัวอย่างสมบูรณ์ จุดที่ความเข้มข้นสูงกว่านี้จะไม่เกิดการดูดซับสารใดๆ อีก ทำให้ความเข้มข้นของสารถูกดูดซับในเฟสของน้ำ (aqueous phase) จนถึงจุดหนึ่งจะไม่มี การดูดซับเกิดขึ้นอีก

ใช้สมการของ Langmiur isotherm

$$q = \frac{q_m KC}{1 + KC}$$

เมื่อ q = ปริมาณตัวถูกดูดซับที่ถูกดูดซับต่อปริมาณตัวดูดซับ (กรัม/กรัม)

C = ความเข้มข้นของสารปนเปื้อนที่เหลือยู่ในสารละลาย ณ สภาวะสมดุล (ก./ลบ. ม.)

q_m = ปริมาณตัวถูกดูดซับที่ถูกดูดซับไว้มากที่สุดต่อปริมาณตัวดูดซับ

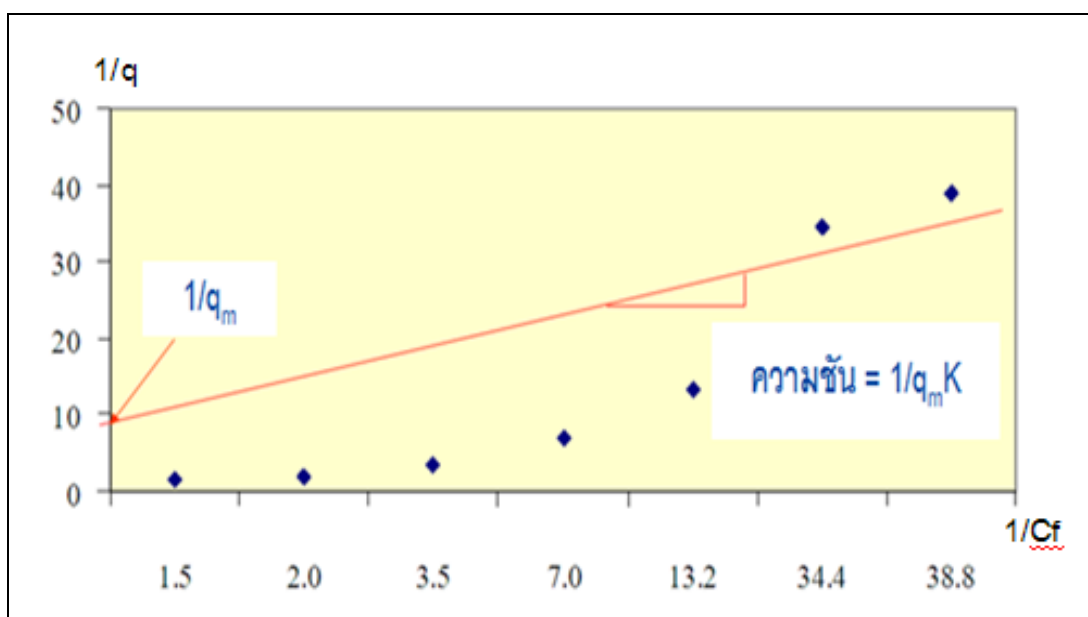
สามารถเขียนสมการของ Langmiur ในรูปเชิงเส้นได้ดังนี้

$$\frac{1}{q} = \frac{1}{q_m K} \left(\frac{1}{C} \right) + \frac{1}{q_m}$$

เมื่อพล็อตกราฟระหว่าง $1/q$ กับ $1/C$ จะได้ความชันของกราฟ = $1/q_m K$ และค่าตัดแกน y คือ $1/q_m$

ภาพที่ 2.4

กราฟเชิงเส้นของ Langmiur isotherm



ค่าความเป็นกรด – เบส (pH)

ปฏิกิริยาของดิน หมายถึง ความเป็นกรด (acidity) หรือความเป็นด่าง (alkalinity) ของดิน การที่ดินมีสภาพเป็นกรดหรือเป็นด่าง เป็นเพราะ hydrogen ion (H^+) ในสารละลายดิน ถ้าในสารละลายดินมี $H^+ > OH^-$ ดินมีปฏิกิริยาเป็นกรด ถ้า $H^+ < OH^-$ ดินมีปฏิกิริยาเป็นด่าง และถ้า $H^+ = OH^-$ ดินมีปฏิกิริยาเป็นกลาง

ความเป็นกรด-เบสมีผลต่อปฏิกิริยาในดิน ต่อสมบัติการแลกเปลี่ยนแคตไอออนของตัวดูดซับ และต่อสภาพการละลายน้ำได้ของธาตุหลายชนิดในดิน จนถึงได้ว่าค่าความเป็นกรด-เบส

ของดินมีอิทธิพลต่อกระบวนการดูดซับ ทั้งต่อสมบัติของตัวดูดซับและสมบัติของตัวถูกดูดซับ (ศุภมาส พนิชศักดิ์พัฒนา, 2540)

ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน (Organic Matter: OM)

อินทรีย์วัตถุในดิน หมายถึง อินทรีย์สารทุกชนิดที่มีอยู่ในดิน ซึ่งได้จากซากพืช ซากสัตว์ และสิ่งมีชีวิตต่างๆ ที่อาศัยอยู่ในดิน สิ่งขับถ่ายของมนุษย์และสัตว์ สลายตัวทับถมอยู่ในดิน รวมถึงอินทรีย์สารที่รากพืชปลดปล่อยออกมา และที่จุลินทรีย์สังเคราะห์ อินทรีย์วัตถุในดินประกอบด้วยอินทรีย์สารหลายชนิด คือ พวกละเอียดอินทรีย์ในโตรเจน สารประกอบอินทรีย์ฟอสฟอรัส สารประกอบอินทรีย์กำมะถัน เป็นต้น

อินทรีย์วัตถุในดิน (soil organic matter) หรือที่เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ฮิวมัส (humus) นั้น มีความหมายครอบคลุมตั้งแต่ส่วนของรากพืชหรือสัตว์ที่กำลังสลายตัว เซลล์ จุลินทรีย์ทั้งที่ยังมีชีวิตอยู่และที่ตายแล้ว ตลอดจนสารอินทรีย์ที่ได้จากการย่อยสลาย หรือส่วนที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นมาใหม่ แต่ไม่รวมถึงรากพืชหรือเศษซากพืชหรือสัตว์ที่ยังไม่ย่อยสลาย ฉะนั้นอาจกล่าวได้ว่าอินทรีย์วัตถุในดินประกอบด้วยสารอินทรีย์แทบทุกชนิดที่สามารถเกิดขึ้นได้ตามธรรมชาติ จากการวิเคราะห์สารประกอบส่วนที่เป็นคาร์บอนพบว่าโดยทั่วไปอินทรีย์วัตถุประกอบด้วย

1. สารประกอบพวกคาร์โบไฮเดรตประมาณร้อยละ 10-20
2. สารที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบเช่น กรดอะมิโน และน้ำตาลอะมิโน ประมาณร้อยละ 20
3. สารประกอบ aliphatic fatty acid, alkane ประมาณร้อยละ 10-20
4. ที่เหลือก็เป็นสารประกอบพวก aromatic compound

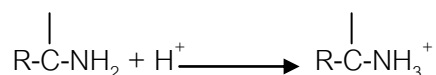
ความสามารถในการดูดซับไอออนของอินทรีย์วัตถุในดินนั้นสูงมาก โดยทั่วไปการดูดซับโดยอินทรีย์วัตถุจะสูงกว่าคอลลอยอื่นๆ ตั้งแต่ 2-30 เท่า ในดินโดยทั่วไปปริมาณของแคตไอออนที่ถูกดูดซับโดยอินทรีย์วัตถุในดินจะอยู่ในช่วงประมาณร้อยละ 30-90 ของปริมาณที่ดินดูดซับได้ทั้งหมด (กองวิเคราะห์ดิน, 2544)

ความสามารถในการดูดซับนี้มาจากประจุลบที่มีอยู่เป็นจำนวนมากของอินทรีย์วัตถุ ซึ่งส่วนใหญ่เกิดจาก dissociation ของสารประกอบบางกลุ่มโดยเฉพาะอย่างยิ่ง carboxylic group และ phenolic OH group ดังนี้

Carboxylic group



นอกจากความสามารถในการดูดซับแคตไอออนแล้ว โมเลกุลของอินทรีย์วัตถุในดินยังมีประจุบวกอยู่บางส่วน ทำให้มีความสามารถในการดูดซับแอนไอออนด้วย ส่วนที่เป็นประจุบวกดังกล่าวมักเกิดขึ้นจากกระบวนการเติมโปรตอน (protonation) ของ amine group บนอนุภาคอินทรีย์วัตถุดังนี้



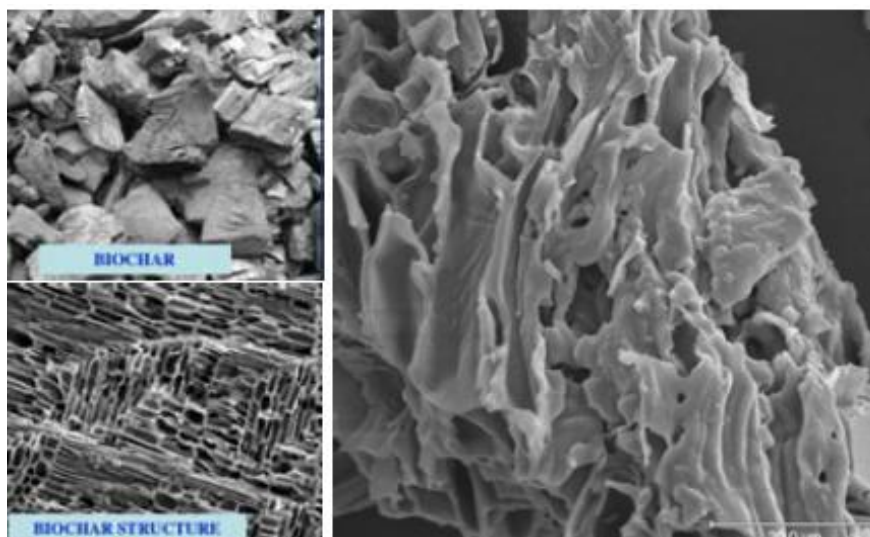
ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (Cation Exchange Capacity: CEC)

ความจุในการแลกเปลี่ยนแคตไอออน คือ ผลรวมของแคตไอออนที่แลกเปลี่ยนได้ซึ่งดินหรือดินเหนียวหรือวัสดุอื่นๆ ดูดซับไว้ได้ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) ปัจจุบันนี้ใช้หน่วย เซนติโมลต่อกิโลกรัม (cmol/kg) ของดิน สารคอลลอยด์ในดินมีทั้งประจุลบและประจุบวก แต่ปกติแล้วจะมีประจุลบมากกว่าประจุบวก ดังนั้นดินทั่วไปคอลลอยด์ในดินจึงเป็นประจุลบ และสามารถดูดประจุบวกได้มากกว่า ประจุบวกที่ถูกยึดเกาะไว้นั้นถูกดูดยึดไม่แข็งแรงนักจะเคลื่อนไหวตลอดเวลา และสามารถแลกเปลี่ยนกับประจุที่อยู่ในสารละลายชั้นนอกได้ (กองวิเคราะห้ดิน, 2544)

ถ่านชีวภาพ (Biochar)

ถ่านชีวภาพ หรือ Biochar คือวัสดุที่อุดมด้วยคาร์บอน ผลิตจากมวลชีวภาพ (biomass) ผ่านกระบวนการแยกสลายด้วยความร้อนโดยไม่ใช้ออกซิเจน (pyrolysis) หรือใช้น้อยมาก ที่อุณหภูมิเกิน 300 องศาเซลเซียส เรียกกระบวนการนี้ว่าการแยกสลายด้วยความร้อน ถ่านชีวภาพ ไม่ใช่ถ่านบริสุทธิ ประกอบด้วย คาร์บอน, ไฮโดรเจน, ออกซิเจน, ไนโตรเจน, ซัลเฟอร์ และฟอสฟอรัส โครงสร้างจะเปลี่ยนไปตามประเภทของ Biomass Biochar มีความหมายแตกต่างจากถ่านทั่วไป ตรงจุดมุ่งหมายของการใช้ประโยชน์ คือเมื่อกล่าวถึง Charcoal จะหมายถึงถ่านที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงขณะที่ Biochar คือถ่านที่ใช้ประโยชน์เพื่อกักเก็บคาร์บอนลงดินและปรับปรุงดิน (อรสา สุขสว่าง, 2552)

ภาพที่ 2.5
ภาพของถ่านชีวภาพ



ที่มา : อรสา สุภสว่ง (2552) อ้างจาก Brown, R. (2008)

คุณสมบัติ

- ขณะเปลี่ยนเป็นถ่าน จะเป็นผลึกพอรุน จะดูดซับน้ำมัน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส สารอาหารอื่นๆ จากมวลชีวภาพไว้
- พื้นผิวกว้าง
- เมื่ออยู่ในดินจะไม่ย่อยสลาย
- เป็นที่อยู่ของพวกจุลินทรีย์

ข้อดีของการใช้ถ่านชีวภาพ

ผลผลิตทางการเกษตรและดิน

- เพิ่มผลผลิตการเกษตร
- ปรับปรุงดิน ลดการไถดิน เพิ่มความสมบูรณ์ให้ดิน ช่วยกักเก็บน้ำในดิน
- ลดการกัดเซาะของดิน
- ลดความต้องการใช้ปุ๋ยเคมี

ก๊าซเรือนกระจก

- ลดการแพร่กระจายของไนตรัสออกไซด์ร้อยละ 50-80 จากดินที่มีการเพาะปลูก
- ช่วยขจัดก๊าซมีเทน (suppression)
- สามารถกักเก็บคาร์บอนในดินได้เป็นเวลานาน

คุณภาพน้ำ

- ช่วยดูดซับฟอสเฟส
- ลดการสูญเสียไนโตรเจนและฟอสฟอรัส

(อรสา สุกสว่าง, 2552)

พระมหาธรรณัฐ สายสอน (2553) ศึกษาความสามารถในการดูดซับสารพาราควัทของดิน และตะกอนดินลุ่มน้ำย่อยน้ำมวบ โดยมีปัจจัยของความเป็นกรด-เบส อินทรีย์วัตถุ และปริมาณผงถ่านในดิน ปรับปัจจัยทั้งหมดเป็น 3 ระดับ โดยทำการเปรียบเทียบ 4 ชุดดิน ได้แก่ ดินชุดดินบ้านจ้อง ชุดดินแมริม ชุดดินหางดงและหน่วยพื้นที่ลาดชันเชิงซ้อน ในเดือนมีนาคม ถึง ธันวาคม พ.ศ. 2552 ผลการศึกษา พบว่า สมการการดูดซับแบบฟรุนดิชของดินชุดดินแมริมมีความสามารถในการดูดซับ (K_F) สูงสุด เท่ากับ 0.6792 ค่า R^2 เท่ากับ 0.985 ดินชุดดินบ้านจ้องมีค่า K_F ต่ำสุด เท่ากับ 0.6180 ค่า R^2 เท่ากับ 0.960 ดินที่มีค่าความเป็นกรด-เบส 3-4, 5-6 และ 7-8 ดินหน่วยพื้นที่ลาดชันเชิงซ้อนมีค่า K_F สูงสุด เท่ากับ 0.5861, 0.7691 และ 0.8974 ตามลำดับ ดินชุดดินบ้านจ้องมีค่า K_F ต่ำสุด เท่ากับ 0.5662, 0.6561 และ 0.7691 ตามลำดับ ที่ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน ร้อยละ 3, 4 และ 5 ดินชุดดินแมริมมีค่า K_F สูงสุด เท่ากับ 0.7047, 0.8110 และ 0.9977 ตามลำดับ ดินชุดดินบ้านจ้องมีค่า K_F ต่ำสุด เท่ากับ 0.6353, 0.6607 และ 0.7762 ตามลำดับ ที่ปริมาณผงถ่านในดินร้อยละ 1, 5 และ 10 ดินชุดดินแมริมมีค่า K_F สูงสุด เท่ากับ 0.8670, 0.9441 และ 1.0544 ตามลำดับ ดินชุดดินบ้านจ้องมีค่า K_F ต่ำสุด เท่ากับ 0.8453, 0.9376 และ 0.9863 ตามลำดับ ความสามารถในการดูดซับสารพาราควัทของดิน (K_F) จะมีค่าสูงขึ้น เมื่อค่าความเป็นกรด-เบส ปริมาณอินทรีย์วัตถุ และปริมาณผงถ่านในดินสูงขึ้น

แรงรวม พลจันทร์ (2549) ศึกษาผลของมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำแบบต่างๆ ต่อปริมาณสารพาราควัทที่ตกค้างในน้ำไหลบ่าหน้าดินและตะกอนดิน จากการปลูกกะหล่ำปลีของสถานีวิจัยพัฒนาที่ดินบนพื้นที่สูง อำเภอสะเมิง จังหวัดเชียงใหม่ ในสองฤดูเพราะปลูกกะหล่ำปลีคือ ปี พ.ศ. 2546 ตั้งแต่เดือนกรกฎาคมถึงตุลาคม และปี พ.ศ. 2547 ตั้งแต่เดือนมิถุนายนถึงตุลาคม โดยผลการทดลอง พบว่า ตลอดฤดูเพราะปลูกกะหล่ำปลีทั้ง 2 ปีการศึกษา แปลงทดลองที่มีการอนุรักษ์ดินและน้ำแบบคูรับน้ำขอบเขา มีปริมาณน้ำไหลบ่า ปริมาณตะกอนดิน และปริมาณสารพาราควัทในตะกอนดินน้อยที่สุด นอกจากนี้เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบข้อมูลทั้ง 2 ปี พบว่า ในปี ที่ 2 ของการศึกษานี้ แปลงทดลองที่มีมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำแบบแถบหญ้าแฝกแถวเดี่ยวสามารถลดปริมาณน้ำไหลบ่าได้มากที่สุดถึงร้อยละ 79 ของปีแรก แปลงทดลองที่มีมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำแบบแถบหญ้าธรรมชาติสามารถลดปริมาณตะกอนดินได้มากที่สุดถึงร้อยละ 92

ของปีแรก และแปลงทดลองที่มีมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำแบบคูรับน้ำขอบเขาสามารถลดปริมาณสารพาราควัทในตะกอนดินได้มากที่สุดถึงร้อยละ 66 ของปีแรก

Hongtong (2005) ศึกษาเพื่อที่จะเข้าใจการย่อยสลายของสารพาราควัททั้งในสภาพที่อยู่ในพื้นที่สนามและห้องทดลอง วิธีการ spectrophotometric ถูกใช้ในการหาและวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของสารพาราควัทในสิ่งแวดล้อม (ดิน น้ำ และผลผลิตของข้าวโพดหวาน) การดูดซึมสารพาราควัทในดินเหนียวที่ทำมั่งสูงกว่าดินร่วนปนทรายที่พนมทวน และมีแนวโน้มที่จะลดลงโดยการย่อยสลายโดยแสง หลังจากวันที่มีการใช้สารพาราควัททั้งสองที่ ค่าครึ่งชีวิต (DT_{50}) ของพาราควัทที่ที่มั่ง (28 วัน) ยาวกว่าที่พนมทวน (7 วัน) เพราะว่าการดูดซับของดินเหนียวดีกว่าการดูดซับของดินร่วนปนทราย

Xiang-Yang, Guang-Guo and Rai (2009) ศึกษาประสิทธิภาพของถ่านไบโอชาร์สองชนิดเพื่อลดวัสดุทางธรรมชาติที่หาได้ง่ายโดยใช้ดินสองชนิดที่มีการใช้ยาฆ่าแมลงคลอไพริฟอสและคาร์โบฟูรานในระหว่างการปลูกหัวหอม ในการเตรียมถ่านไบโอชาร์มากจากกระบวนการเผาไม้ในตระกูลยูคาลิปตัสที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส และ 850 องศาเซลเซียส ในสภาวะไร้อากาศ หลังจากนั้นนำมาผสมกับดินร้อยละ 0, 0.1, 0.5 และ 1 ตามลำดับ โดยน้ำหนักดิน หัวหอมถูกปลูก 5 สัปดาห์ ในดินที่มีไบโอชาร์อยู่ 50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของสารเคมีแต่ละชนิด การสูญเสียของสารเคมีทั้งสองชนิดอันเนื่องมาจากการเสื่อมสภาพของดินกับการเพิ่มปริมาณไบโอชาร์ในดินมากกว่า 35 วัน ร้อยละ 86-88 ของสารเคมีสูญเสียการควบคุมดิน ในขณะที่มีเพียงร้อยละ 51 ของคาร์โบฟูราน และร้อยละ 44 ของคลอไพริฟอส จากดินที่ผ่านการดัดแปลงจากกระบวนการเผาไม้ยูคาลิปตัสที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส และ 850 องศาเซลเซียส ในสภาวะไร้อากาศ การตกค้างของสารเคมีในไบโอชาร์ที่ผสมกับดิน พืชจะสามารถดูดสารเคมีได้น้อยลง เมื่อมีการเพิ่มปริมาณไบโอชาร์ลงไปในดิน กระบวนการเผาไม้ยูคาลิปตัสที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส และ 850 องศาเซลเซียส ในสภาวะไร้อากาศร้อยละ 1 ทำให้มีพืชทั้งหมดเหลือสำหรับคลอไพริฟอสและคาร์โบฟูรานลดลงถึงร้อยละ 10 และร้อยละ 25 ในการรักษาควบคุมตามลำดับ จากกระบวนการเผาไม้ยูคาลิปตัสที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส และ 850 องศาเซลเซียส ส่วนมากจะได้ผลในการลดแสงที่มีของสารเคมีทั้งสองชนิดจากดิน เนื่องจากมีแรงดึงดูดที่สูงและมีความสามารถที่จะแยกยาฆ่าแมลงที่ตกค้างอยู่ออกไป

Duangpaseuth (2008) ศึกษาภาพรวมของการจัดการสารกำจัดวัชพืชในประเทศลาวโดยใช้ข้อมูลทุติยภูมิ เพื่อสังเกตการณ์แพร่กระจายของสารกำจัดวัชพืชในพื้นที่ที่เลือกทำการศึกษา โดยใช้วิธีการวัดสารพาราควัทที่ตกค้างในน้ำ ตะกอน และดิน