

องศา ประมาณร้อยละ 85 ของพื้นที่จังหวัดน่านส่วนลูกคลื่นลอนลาดตามลุ่มน้ำจะเป็นที่ราบแคบๆ ระหว่างหุบเขาตามแนวยาวของลุ่มน้ำ น่าน สา ว้า บัว และกอน จังหวัดน่านมีพื้นที่รวมทั้งสิ้น 11,472.07 ตารางกิโลเมตร ประกอบไปด้วยพื้นที่ป่าไม้และภูเขาคิดเป็นร้อยละ 47.94 ของพื้นที่ในจังหวัดน่านทั้งหมดพื้นที่ป่าเสื่อมโทรมคิดเป็นร้อยละ 39.24 ของพื้นที่ในจังหวัดน่านทั้งหมดพื้นที่ทำการเกษตรคิดเป็นร้อยละ 12.22 ของพื้นที่ในจังหวัดน่านทั้งหมดและพื้นที่อยู่อาศัยและอื่นๆ คิดเป็นร้อยละ 0.60 ของพื้นที่ในจังหวัดน่านทั้งหมด [2]

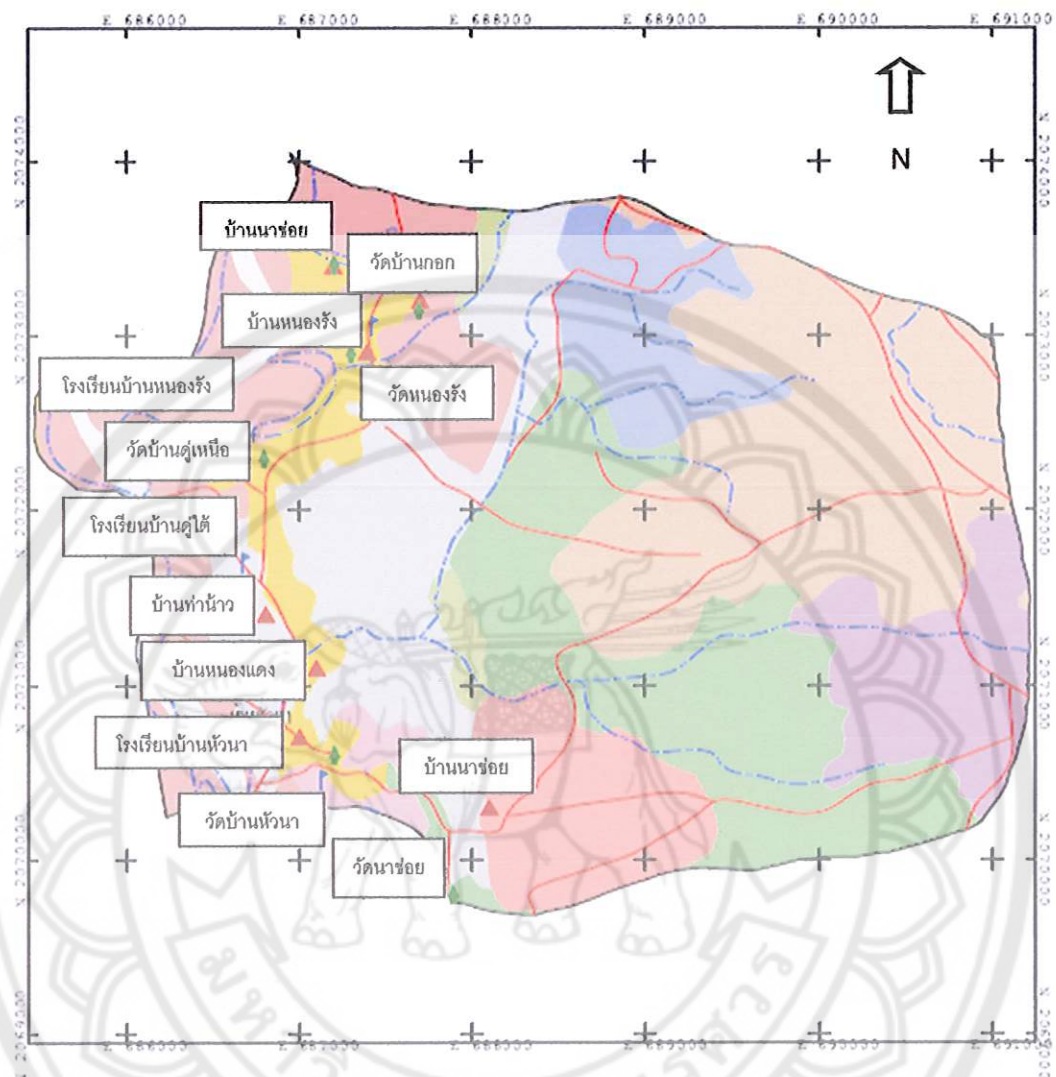
ลักษณะภูมิอากาศของจังหวัดน่าน

ลักษณะภูมิอากาศของจังหวัดน่านประกอบไปด้วยฤดูร้อน ฤดูฝนและฤดูหนาว ซึ่งฤดูฝนจะอยู่ในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนกันยายนโดยได้รับอิทธิพลมาจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้พัดพาความชุ่มชื้นมา ฤดูหนาวอยู่ในช่วงเดือนตุลาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ โดยได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือและฤดูร้อนอยู่ในช่วงเดือนมีนาคมถึงเดือนเมษายนซึ่งได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงใต้

จากสภาพภูมิประเทศของจังหวัดน่านที่โดยรอบประกอบไปด้วยภูเขาและหุบเขาสูงชัน ทิวเขาวางตัวในแนวเหนือใต้ ทำให้บริเวณยอดเขาสามารถรับความกดอากาศสูงที่แผ่มาจากประเทศจีนในฤดูหนาว และจากการวางตัวของทิวเขาวางตัวในแนวทิศเหนือใต้สามารถปิดกั้นลมมรสุมจากทางทิศตะวันออก รวมถึงมีระดับความสูงเฉลี่ยบนยอดเขาและความสูงเฉลี่ยที่พื้นดินแตกต่างกันมากอีกทั้งระดับความสูงเหนือระดับน้ำทะเลปานกลางเป็นปัจจัยที่ส่งผลให้ในเวลากลางวันจังหวัดน่านมีอากาศร้อนมากและในเวลากลางคืนได้รับอิทธิพลจากลมภูเขาพัดลงสู่หุบเขาทำให้อากาศเย็นในเวลากลางคืน [2]

กลุ่มชุดดินในจังหวัดน่าน

จากข้อมูลกลุ่มชุดดินในประเทศไทยตามข้อมูลของสำนักงานพัฒนาที่ดินพบว่า ในประเทศไทยมีจำนวนกลุ่มชุดดินทั้งหมด 62 กลุ่มชุดดิน และกลุ่มชุดดินในจังหวัดน่านอ้างอิงตามสำนักงานพัฒนาที่ดินจังหวัดน่าน พบว่ากลุ่มชุดดินทั้งหมดในจังหวัดน่านมีจำนวน 24 ชุดดิน แสดงดังอย่างดังภาพ 1



ภาพ 1 แสดงแผนที่ชุดดินในตำบลท่าน้ำว อำเภอกู่เพียง จังหวัดน่าน [3]

สำหรับภาพ 1 เป็นตัวอย่างของแผนที่แสดงชุดดินในตำบลท่าน้ำว อำเภอกู่เพียง จังหวัดน่านซึ่งประกอบไปด้วย 10 กลุ่มชุดดินได้แก่ กลุ่มชุดดินที่ 5, 7, 15, 18, 29, 29B, 33, 35, 35B และ 46C ซึ่งตัวอย่างรายละเอียดกลุ่มชุดดินเช่น กลุ่มชุดดินที่ 29 มีลักษณะทั่วไปของเนื้อดินคือ ดินเหนียว มีสีน้ำตาลเหลืองหรือแดงเกิดจากวัตถุต้นกำเนิดคือ ดินพวกตะกอนลำนํ้าหรือเกิดจากการสลายตัวผุพังของหินหลายชนิดซึ่งเป็นดินที่มีเนื้อละเอียดสามารถพบดินประเภทนี้ได้ในบริเวณที่ดอนที่เป็นลูกคลื่นจนถึงเนินเขา ซึ่งกลุ่มชุดดินนี้มีความลาดชันประมาณ 3-25% เป็นดินลึกและมีการระบายน้ำดี มีความอุดมสมบูรณ์ตามธรรมชาติค่อนข้างต่ำ โดยมีสาเหตุมาจากดินมีความพรุนสูง น้ำซึมผ่านได้ปานกลาง มีการอุ้มน้ำต่ำถึงปานกลาง น้ำใต้ดินอยู่ในระดับลึกดินบริเวณนี้มีค่า

ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ประมาณ 4.5-5.5 ซึ่งบริเวณดังกล่าวใช้ในการเพาะปลูกพืชไร่และไม้ผลต่างๆ มีส่วนน้อยที่ยังคงสภาพเป็นป่าธรรมชาติ เป็นต้น สำหรับกลุ่มชุดดินนี้ประกอบไปด้วยชุดดินต่างๆ ได้แก่ ชุดดินบ้านจ้อง ปากช่อง หนองมด เขียงของ แม่แดง เขาใหญ่ ห้างฉัตร และโชคชัยสูงเนิน [3]

คลอริไพริฟอส (chlorpyrifos)

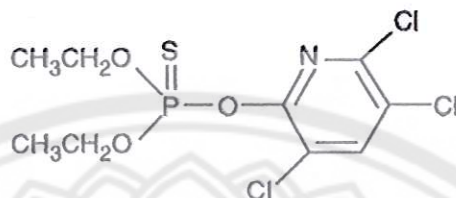
คลอริไพริฟอสเป็นวัสดุที่มีพิษทางการเกษตรเป็นสารฆ่าแมลงที่นิยมใช้ในการกำจัดแมลง ซึ่งสารคลอริไพริฟอสเป็นสารฆ่าแมลงที่อยู่ในกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต (organophosphate insecticide) ซึ่งสารฆ่าแมลงในกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตเป็นสารฆ่าแมลงที่มีประสิทธิภาพเป็นอย่างมาก

คลอริไพริฟอสมีชื่อทางเคมีคือ โอ, โอ-ไดเอทิล โอ-(3,5,6-ไตรคลอโร-2-ไพริดีล) ฟอสฟอโรไทโอเอท (O,O-diethyl O-(3,5,6-trichloro-2-pyridyl) phosphorothioate) ซึ่งมีสูตรทางเคมีได้แก่ $C_{9}H_{11}Cl_3NO_3PS$ และมีสูตรโครงสร้างดังภาพ 2 [4]

คลอริไพริฟอสมีลักษณะทางกายภาพและทางเคมีคือ มีลักษณะเป็นผลึกของแข็งสีขาวมีมวลโมเลกุลเท่ากับ 350.57 และมีจุดหลอมเหลวเท่ากับ 41-42 องศาเซลเซียสและมีจุดเดือดประมาณ 160 องศาเซลเซียสมีค่าความหนาแน่นที่อุณหภูมิ 43.5 องศาเซลเซียสเท่ากับ 1.398 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรมีค่าความสามารถในการละลายน้ำที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสเท่ากับ 0.7 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าความสามารถในการละลายน้ำที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสเท่ากับ 2 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าสัมประสิทธิ์การแยกหรือพาร์ทิชัน (partition coefficients) คือ $\log K_{ow}$ และ $\log K_{oc}$ ของคลอริไพริฟอสเท่ากับ 4.82 และ 3.73 ตามลำดับ มีค่าความดันไอที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสเท่ากับ 1.87×10^{-5} มิลลิเมตรปรอท และมีค่าคงที่ของเฮนรี (Henry's law constant) ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสเท่ากับ 1.23×10^{-5} เฮท์เอ็ม-ลูกบาศก์เมตรต่อโมลแสดงดังตาราง 2 [4]

จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า เมื่อแมลงได้รับสารฆ่าแมลงในกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตซึ่งสารคลอริไพริฟอสเป็นสารที่อยู่ในกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตซึ่งสารกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต (organophosphate) ซึ่งสารในกลุ่มนี้ออกฤทธิ์ทำลายระบบประสาทของแมลงโดยไปรบกวนการทำงานของเอนไซม์ที่ใช้ในการทำลายสารสื่อประสาทคือ อะซีทิลโคลีน (acetylcholine) ทำให้แมลงเป็นอัมพาต กินอาหารไม่ได้และตายในที่สุด ซึ่งเมื่อสารในกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตเข้าสู่ร่างกายมนุษย์ในปริมาณมากจะก่อให้เกิดการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์โคลีนเอสเทอเรส (cholinesterase, ChE) และเอนไซม์อะซีทิลโคลีนเอสเทอเรส (acetylcholine esterase, AChE) ซึ่ง

เมื่อเอนไซม์โคลีนเอสเทอเรสและเอนไซม์อะซีทิลโคลีนเอสเทอเรส ถูกยับยั้งจะก่อให้เกิดโรคที่เกี่ยวกับกล้ามเนื้อ เช่น โรคอัมพาต การหดตัวของกล้ามเนื้อเรียบ เป็นต้น [5]



ภาพ 2 แสดงสูตรโครงสร้างของคลอร์ไพริฟอส [4]

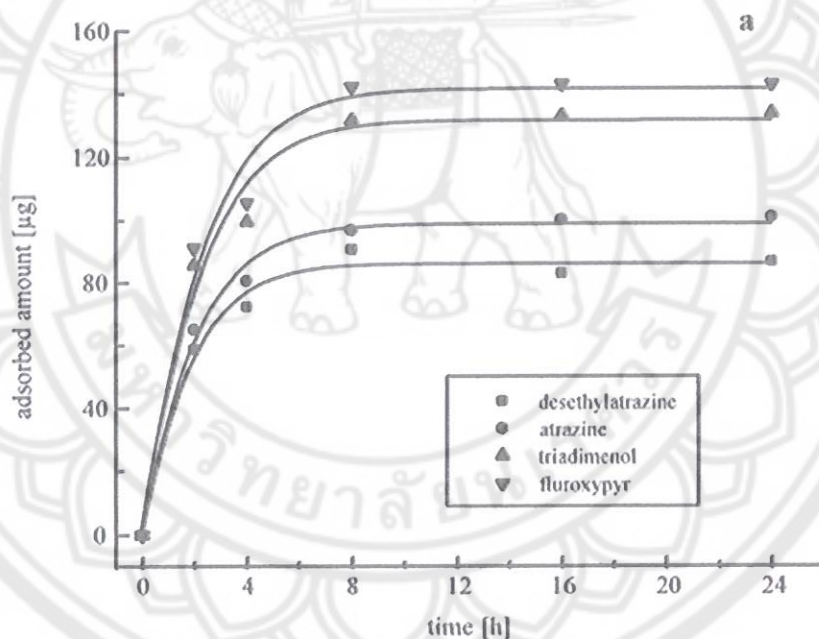
ตาราง 2 แสดงลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของคลอร์ไพริฟอส [4]

คุณสมบัติ	รายละเอียด
มวลโมเลกุล	350.57
สี	ขาว
ลักษณะทางกายภาพ	ผลึกของแข็ง
จุดหลอมเหลว, องศาเซลเซียส	41-42
จุดเดือด, องศาเซลเซียส	160
ความหนาแน่นที่ 43.5 °C, g/cm ³	1.398
ความสามารถในการละลายน้ำที่ 20 °C, มิลลิกรัมต่อลิตร	2
สัมประสิทธิ์การกระจายตัว:	
Log K _{ow}	4.82
Log K _{oc}	3.73
ความดันไอที่ 25°C, มิลลิเมตรปรอท	1.87×10
ค่าคงที่ของแฮนรีที่ 25°C	1.23×10 ⁻⁵

ทฤษฎีการดูดซับ (adsorption)

1. การดูดซับ (adsorption) ของสารคลอโรไพริฟอสในดิน

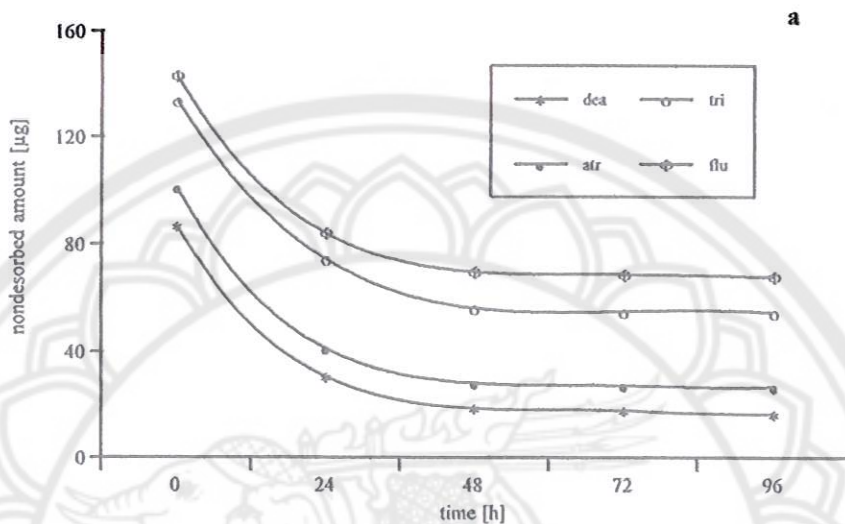
ในงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการวิจัยศึกษาเกี่ยวกับการดูดซับของสารฆ่าแมลง 4 ชนิดในดิน ซึ่งสารฆ่าแมลงที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ได้แก่ ดีเซทิลอะทราซีน (desethylatrazine) อะทราซีน (atrazine) ไตรอะไดมีนอล (triadimenol) และฟลูโรไซพิล (flurozypyr) ซึ่งเมื่อทำการทดลองพบว่า สารฆ่าแมลงทั้ง 4 ชนิดจะเกิดการดูดซับขึ้นอย่างรวดเร็วโดยจะเกิดการดูดซับอย่างรวดเร็วภายใน 4 ชั่วโมง ซึ่งในเวลา 4 ชั่วโมงนี้จะสามารถดูดซับสารฆ่าแมลงได้ประมาณร้อยละ 30-70 ของปริมาณสารฆ่าแมลงทั้งหมดซึ่งแสดงดังภาพ 3 โดยการดูดซับเริ่มต้นในช่วงแรกเกิดการดูดซับที่พื้นผิวอย่างรวดเร็ว จากนั้นจะเคลื่อนที่และแพร่อย่างช้าๆ เข้าไปในสารอินทรีย์และโครงสร้างดินซึ่งกระบวนการคายซับมีพฤติกรรมเช่นเดียวกับการดูดซับแต่จะเกิดการคายซับออกมาช้าๆ แสดงดังภาพ 4 [6]



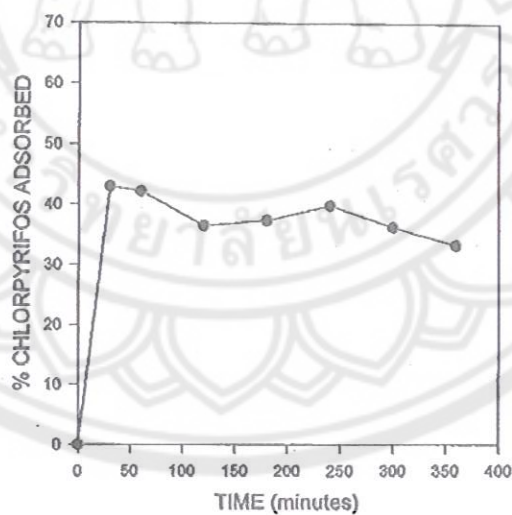
ภาพ 3 แสดงกลไกการดูดซับของ desethylatrazine atrazine triadimenol และ flurozypyr [6]

และจากการศึกษาห่าร้อยละของการดูดซับของสารคลอโรไพริฟอสในดินที่อุณหภูมิ 26 องศาเซลเซียสพบว่าร้อยละของการดูดซับของสารคลอโรไพริฟอส เมื่อทำการทดลองเปรียบเทียบกับเวลาพบว่าเกิดการดูดซับอย่างรวดเร็วที่เวลาเริ่มต้นจนถึง 30 นาที เนื่องจากสารอินทรีย์ในดินมีปริมาณมากจึงเกิดการดูดซับสารคลอโรไพริฟอสได้อย่างรวดเร็ว จากนั้นปริมาณสารอินทรีย์ในดินมี

ปริมาณลดลงทำให้เกิดการดูดซับของสารคลอร์ไพริฟอสกับดินมีแนวโน้มข้างลงแสดงตามภาพ 5 [6]



ภาพ 4 แสดงการคายซับของ desethylatrazine antrazine triadimenol และ flurozypyr [6]

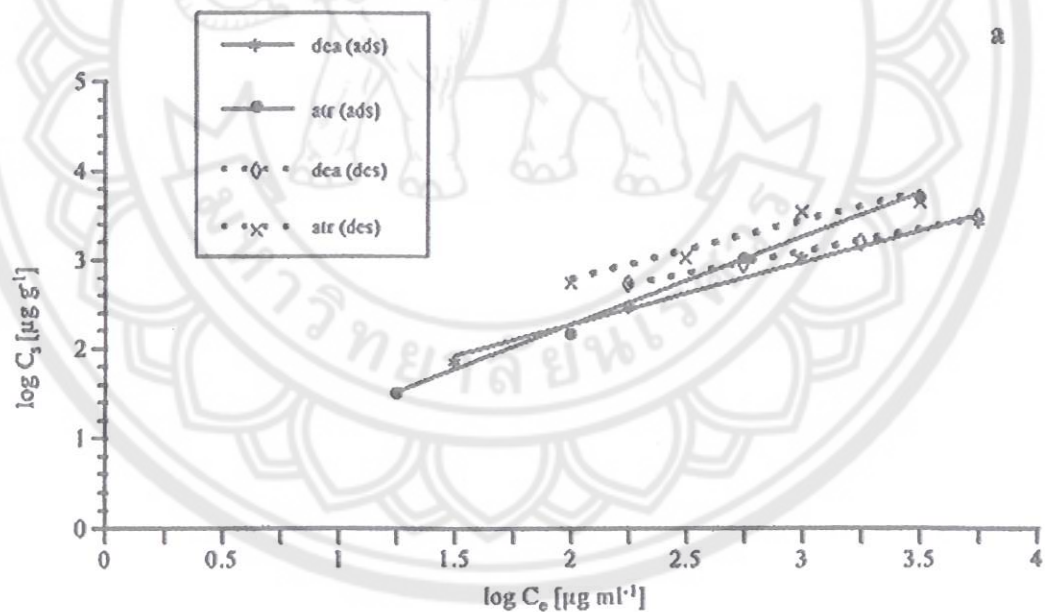


ภาพ 5 แสดงการดูดซับเข้าสู่สมดุลสำหรับคลอร์ไพริฟอสในดินที่ 26 องศาเซลเซียส [7]

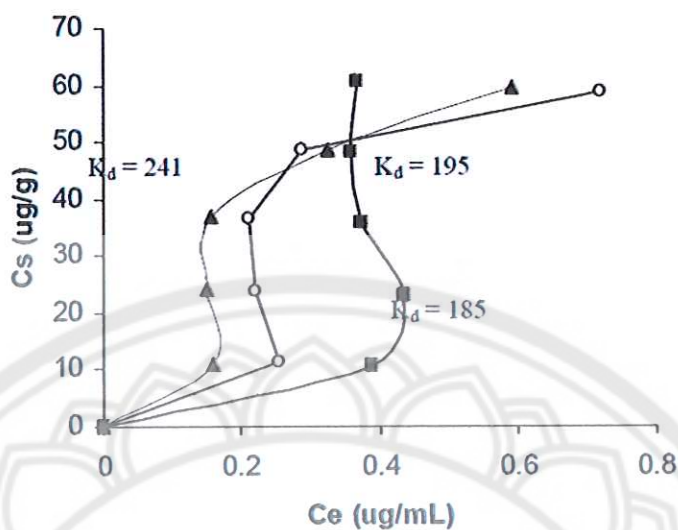
2. ไอโซเทอมของการดูดซับ (adsorption isotherm)

ในงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการศึกษาการดูดซับของสารฆ่าแมลงในดินโดยไอโซเทอมของการดูดซับของสารฆ่าแมลงในดินส่วนใหญ่เป็นแบบฟรุนดิชไอโซเทอม (Freundlich isotherm) [4,5,6] แสดงดังภาพ 6 แต่จะมีบางส่วนของไอโซเทอมของการดูดซับของสารฆ่าแมลงที่เป็นแบบแลงเมียร์ (Langmuir isotherm) ซึ่งความสามารถในการดูดซับของสารฆ่าแมลงในดินจะมีค่าลดลงเมื่อทำการทดลองหาความสามารถในการดูดซับของดินทรายและดินเหนียว เนื่องจากดินทั้ง 2 ประเภทนี้มีปริมาณสารอินทรีย์ (organic matter, OM) ต่ำ [4] ซึ่งไอโซเทอมของการดูดซับของสารคลอริไพริฟอสแสดงดังภาพ 7

จากภาพ 7 แสดงให้เห็นว่าไอโซเทอมของการดูดซับของสารคลอริไพริฟอสในดินที่เวลา 2 ชั่วโมงและ 24 ชั่วโมง เป็นแบบรูปตัวเอส (S-type) ซึ่งสาเหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากค่าความเข้มข้นของสารคลอริไพริฟอสมีค่าต่ำ แต่อย่างไรก็ตามโมเลกุลของสารคลอริไพริฟอสเกิดการดูดซับในดินได้ง่ายเนื่องจากพื้นที่ผิวของดินทำให้เกิดการดูดซับเพิ่มขึ้น [7]



ภาพ 6 แสดงไอโซเทอมฟรุนดิชของการดูดซับและคายซับของดีดีทีลอาหาราซีนและอาหาราซีน [6]



ภาพ 7 แสดงไอโซเทอมแลงเมียร์ของการดูดซับสารคลอริไพริฟอสในดินที่เวลา 2 ชั่วโมง [7]

การย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ในดิน (biodegradation)

จากงานวิจัยของที่ผ่านมาทำการศึกษาการย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ในดิน โดยศึกษาจากค่าความเข้มข้นของคลอริไพริฟอส โดยหาอัตราการย่อยสลาย (k) และค่าครึ่งชีวิต (half-life) ของสารคลอริไพริฟอส โดยใช้ดินที่ผ่านการฆ่าเชื้อ (sterile) ดินที่ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อ สามารถสรุปได้ว่าอัตราการย่อยสลายและค่าครึ่งชีวิตของคลอริไพริฟอสในดินที่ผ่านการฆ่าเชื้อ มีค่าเท่ากับ 0.0311 (วัน^{-1}) และ 10.60 วัน และอัตราการย่อยสลายและค่าครึ่งชีวิตของคลอริไพริฟอสในดินที่ไม่ผ่านการฆ่าเชื้ออัตราการย่อยสลายและค่าครึ่งชีวิตเท่ากับ 0.0719 (วัน^{-1}) และ 8.4 วัน [8]

การซึม (infiltration)

การซึมผ่านของสารคลอริไพริฟอสในดินมีปัจจัยที่มีผลต่อการซึมผ่านคือการดูดซับและการตกค้างซึ่งจะนำปัจจัยทั้ง 2 ชนิดมาศึกษาการซึมผ่านของสารคลอริไพริฟอสใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งการซึมผ่านของสารคลอริไพริฟอสในพื้นที่จะทำการคำนวณโดยใช้ groundwater ubiquity scour, GUS โดยใช้ค่าครึ่งชีวิตและค่าสัมประสิทธิ์การกระจายสารอินทรีย์คาร์บอน (K_{oc}) แสดงดังสมการที่ 1 ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า การซึมผ่านของสารคลอริไพริฟอสในดินไม่สามารถซึมผ่านลงไปใต้น้ำใต้ได้ [9]

$$GUS = \log t_{1/2} \times (4 - \log K_{oc}) \quad (1)$$

เมื่อ	GUS	คือ groundwater ubiquity scour
	$t_{1/2}$	คือ ค่าครึ่งชีวิต (วัน)
	K_{oc}	คือ ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายสารอินทรีย์คาร์บอน

การกระจาย (fate) และการเคลื่อนที่ (transport) ของสารคลอริไฟริฟอสในดิน

ในงานวิจัยของ Zhang, et al. [1] ทำการศึกษาการเคลื่อนที่และการกระจายของสารคลอริไฟริฟอสในดินซึ่งทำการทดลองโดยใช้ Test plot ที่มีขนาด 5×10 เมตร ซึ่งดินที่นำมาใช้ในการทดลองจะเก็บตามความลึกของดินที่แตกต่างกันซึ่งมีคุณสมบัติทางดินที่แตกต่างกันจากการศึกษาพบว่าค่าครึ่งชีวิตของสารคลอริไฟริฟอสมีค่าเท่ากับ 10 วัน และค่าความเข้มข้นของสารฆ่าแมลงมีค่าสูงที่สุดในดินที่อยู่ชั้นบนสุด (0-0.05 เมตร) ทำให้สามารถสรุปได้ว่าการเคลื่อนที่ของสารคลอริไฟริฟอสและสารปราบศัตรูพืชสามารถเคลื่อนที่ได้ต่ำที่เกิดจากการดูดซับของโมเลกุลที่มีความแข็งแรงเนื่องจากในดินมีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับในดินมีสูง ($K_{oc} = 2.3 \times 10^5$ มิลลิกรัมต่อกรัม) [8]

จากการศึกษาการเคลื่อนที่ของสารฆ่าแมลงในกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตโดยใช้แบบจำลอง Multimedia environmental fate model ของ Luo, et al ในปี ค.ศ. 2007 [10] เพื่อศึกษาหาค่าความเข้มข้นของสารฆ่าแมลงในกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตในแต่ละตัวกลาง (อากาศ น้ำผิวดิน ชั้นดินและตะกอนดิน) พบว่าในพื้นที่ที่ศึกษาหาค่าความเข้มข้นของสารฆ่าแมลงในกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตส่วนใหญ่ (มากกว่า 60%) ตกค้างในดิน ซึ่งเมื่อทำการแบ่งปริมาณสารทั้ง 13 ชนิด พบว่าการกระจายตัวของสารฆ่าแมลงในกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตที่ตกค้างในดินมากที่สุดคือ การกระจายตัวของสารคลอริไฟริฟอสซึ่งมีปริมาณการตกค้างในดินมากถึง 98% ของการตกค้างทั้งหมดซึ่งค่าสัมประสิทธิ์คาร์บอนและสารอินทรีย์มีค่ามาก (K_{oc}) เช่น คลอริไฟริฟอส ไดอาซีนอน ไตรคลอโรโทนิล และเมทิลพาราโทนิล ซึ่งเป็นสารฆ่าแมลงในกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต พบว่ามีความสามารถในการเคลื่อนที่ในดินได้ปานกลางถึงต่ำ (moderate-to-low mobility in the soil) และในการศึกษาพบว่าในดินที่มีพื้นผิวแห้งจะไม่เกิดการระเหยของสารคลอริไฟริฟอส ไดอาซีนอน และไตรคลอโรโทนิล จะระเหยจากดินที่มีความชื้นบริเวณผิวดินและผิวน้ำด้วยเหตุนี้จึงเป็นกระบวนการสำคัญที่ทำให้เกิดการกระจายตัวของสารคลอริไฟริฟอสและสารฆ่าแมลงที่อยู่ในกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตสู่อากาศ

ลักษณะของดินในจังหวัดน่าน

ชุดดินในพื้นที่จังหวัดน่านในงานวิจัยของ นิภาพรและคณะ [10] คุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินที่ตำบลท่าข้าว อำเภอกู่เพียง จังหวัดน่าน จากการชุดเจาะแบบล้างและการทดสอบในห้องปฏิบัติการพบว่า ดินบริเวณบ้านหนองรังเป็นดินประเภทดินเหนียว (clay) ดินบริเวณบ้านนาซ้อยเป็นดินประเภทดินทราย (sand) และดินบริเวณบ้านท่าข้าวเป็นดินประเภทดินร่วนปนทราย (sandy loam)

