

การวิเคราะห์ปัจจัยของดินบางประการต่อการคงอยู่ของสารคลอร์ไพริฟอสด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์บริเวณพื้นที่สวนมะยงชิด อำเภอเมืองนครนายก จังหวัดนครนายก

Assessment of Soil Properties Influencing Chlorpyrifos Contamination Using Geoinformatics in Marian plum Farm (*Bouea burmanica* Griff.): A Case Study of Mueang Nakhon Nayok District, Nakhon Nayok Province

กิตติพิพัชญ์ วงษ์ภูธร* อีรวะห์ ลิมโกมลวิลาส และสถาพร มนต์ประภัสสร

Kitpipat Wongputhorn* Teerawate Limgomonvilas and Sathaporn Monprapussorn

ภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เขตวัฒนา กรุงเทพฯ 10110

Department of Geography, Faculty of Social Sciences, Srinakharinwirot University, Wattana, Bangkok 10110

* Corresponding author: sukontee.wongputorn@g.swu.ac.th

(Received: 18 May 2024; Revised: 26 June 2024; Accepted: 23 July 2024)

Abstract

Since the utilization of insecticides induces contamination in agricultural produce and the environment, the research aims to (1) study physical factors of the soil that affect the accumulation of Chlorpyrifos in Marian Plum's plantation (2) examine the risk of contamination by applying Analysis Hierarchy Process: AHP and Fuzzy Analytic Hierarchy Process: FAHP. The findings indicate that, according to the AHP method, the eigenvector of soil texture has the highest value (0.362), followed by soil pH (0.240), infiltration rate (0.138), soil depth (0.130), slope (0.081), topology wetness index: TWI (0.048), respectively. However, the findings from the FAHP method suggest that the eigenvectors respectively ranked from the highest to lowest as follows: soil texture (0.194), soil pH (0.181), soil depth (0.165), infiltration rate (0.162), slope (0.155), TWI (0.142). The spatial overlay analysis also reveals the risk of contamination in 5.41 sq.km of Marian Plum's plantation in Mueang District, Nakhon Nayok Province. Following the AHP method, the risk is highest at 3.36 sq.km, high at 2.01 sq.km, and moderate at 0.04 sq.km. The FAHP method, on the other hand, shows that the risk is highest at 0.23 sq.km, high at 4.66 sq.km, moderate at 0.52 sq.km, and low at 0.001 sq.km. Additionally, the contamination of Chlorpyrifos is not detected in the analysis of the soil sample. According to the findings from the field survey, the result is most likely due to the lack of agricultural Chlorpyrifos trade in the research site for at least a year.

Keywords: AHP, FAHP, insecticides, soil contamination

บทคัดย่อ

การใช้สารเคมีในภาคการเกษตรเพื่อกำจัดศัตรูพืชก่อให้เกิดการปนเปื้อนในผลผลิตทางการเกษตรและสิ่งแวดล้อม การศึกษานี้มุ่งเน้นศึกษาปัจจัยทางกายภาพของดินที่มีผลต่อการสะสมตัวของสารคลอร์ไพริฟอสในดินบริเวณพื้นที่ปลูกมะยงชิด วิเคราะห์ความเสี่ยงด้วยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับขั้น และกระบวนการวิเคราะห์ลำดับขั้นแบบคลุมเครือ ผลการศึกษาพบว่า ค่าความสำคัญของปัจจัยตามกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับ ขั้นปัจจัยเนื้อดินมีค่าคะแนนสูงสุด คือ 0.362 รองลงมาคือ ปัจจัยปฏิกริยาดิน (0.240) อัตราการซึมผ่านของน้ำผ่านผิวดิน (0.138) ความลึกของดิน (0.130) ความลาดชัน (0.081) และดัชนีความชื้นของภูมิประเทศ (0.048) ตามลำดับ ส่วนค่าความสำคัญของ

ปัจจัยตามกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับขั้นแบบคลุมเครือ ปัจจัยเนื้อดินมีค่าคะแนนสูงสุด คือ 0.194 รองลงมา ได้แก่ ปัจจัยปฏิกริยาดิน (0.181) ความลึกของดิน (0.165) อัตราการซึมผ่านของน้ำผ่านผิวดิน (0.162) ความลาดชัน (0.155) และดัชนีความชื้นของภูมิภาค (0.142) ตามลำดับ อำเภอเมืองนครนายกมีพื้นที่ปลูกมะยงชิด 5.41 ตารางกิโลเมตร พื้นที่เสี่ยงการปนเปื้อนด้วยการซ่อนทับข้อมูลเชิงพื้นที่พบว่า พื้นที่ปลูกมะยงชิดมีความเสี่ยงปนเปื้อนด้วยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับขั้น ระดับมากที่สุด 3.36 ตารางกิโลเมตร ระดับมาก 2.01 ตารางกิโลเมตร ระดับปานกลาง 0.04 ตารางกิโลเมตร และความเสี่ยงปนเปื้อนด้วยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับขั้นแบบคลุมเครือ ระดับมากที่สุด 0.23 ตารางกิโลเมตร ระดับมาก 4.66 ตารางกิโลเมตร ระดับปานกลาง 0.52 ตารางกิโลเมตร ไร่ ระดับน้อย 0.001 ตารางกิโลเมตร จากการเก็บตัวอย่างดินในพื้นที่ศึกษามวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการพบว่าไม่มีการปนเปื้อนของสารคลอรีไพริฟอส ทั้งนี้เนื่องจากผลการสำรวจภาคสนามในพื้นที่ศึกษาไม่พบการจำหน่ายสารคลอรีไพริฟอสในการเกษตรมาเป็นระยะเวลาอย่างน้อย 1 ปี

คำสำคัญ: กระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับขั้น กระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับขั้นแบบคลุมเครือ สารป้องกันกำจัดแมลงศัตรูพืช การปนเปื้อนในดิน

คำนำ

คลอรีไพริฟอส เป็นสารกำจัดศัตรูพืชในกลุ่ม ออร์กาโนฟอสเฟต กลุ่มย่อยไพริไดนอรัล ไทโอฟอสเฟต โมเลกุลของสารประกอบไปด้วยธาตุ คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส ซัลเฟอร์ และคลอรีน ($C_9H_{11}Cl_3NO_3PS$) มีการสังเคราะห์และพัฒนาโดยบริษัท Dow Chemical Company และ Dow Agro Sciences คลอรีไพริฟอสเป็นสารกำจัดแมลงศัตรูพืชได้หลากหลาย ทั้งแมลงปากดูด และแมลงปากกัด มีคุณสมบัติทั้งถูกตัวตายหรือสัมผัส กินตาย การซึมผ่านใบ และเป็นไอระเหย โดยมีกลไกการออกฤทธิ์หลัก โดยการยับยั้งเอนไซม์โคลีนเอสเตอเรส ซึ่งทำหน้าที่ในการทำลายสารสื่อประสาทแอซิติลโคลีน (Acetylcholine) ในสมองและออกฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของระบบประสาทในตัวแมลง (Suthep, 2017) เป็นสารเคมีกำจัดศัตรูพืชอีกหนึ่งชนิดที่คงอยู่ในส่วนต่าง ๆ ของระบบนิเวศ สารคลอรีไพริฟอสที่ลงสู่ดินหรือที่เคลื่อนย้ายจากสิ่งแวดล้อม เช่น น้ำ อากาศ และสิ่งมีชีวิตในดิน จะเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในดิน ค่าเฉลี่ยของครึ่งชีวิตในการย่อยสลายในดินที่ทำในห้องทดลองอยู่ที่ 63 วัน และในพื้นที่เพาะปลูกอยู่ที่ 1 - 14 วัน (Suthep, 2018) สารคลอรีไพริฟอสที่ปนเปื้อนในดินยังส่งผลต่อน้ำใต้ดินและน้ำผิวดินและ

อาจเคลื่อนย้ายโดยการพัดพาโดยลม ถูกชะล้างด้วยน้ำ เกาะติดกับฝุ่นละออง ลงสู่แหล่งน้ำตกค้างในตะกอนดินในน้ำ ส่งผลให้เป็นอันตรายต่อปลาและสิ่งมีชีวิตในน้ำ คลอรีไพริฟอสมีความเป็นพิษเฉียบพลันของในน้ำและตะกอนดินท้องน้ำต่อไร่น้ำแดง (*Moina micrura* Kurz) และหนอนแดง (*Chironomus striatipennis* Kieffer) ซึ่งเป็นสิ่งมีชีวิตที่มีความสำคัญในระบบนิเวศทางน้ำ (Somporn et al., 2012) รวมทั้งเป็นพิษร้ายแรงต่อผึ้ง มีค่าความเป็นพิษเฉียบพลันน้อยกว่า 2 ไมโครกรัมต่อผึ้ง 1 ตัว และส่งผลกระทบต่อแม่และเด็ก โดยมีงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ในวารสารนานาชาติที่ระบุว่า สารเคมีชนิดนี้ ส่งผลต่อพัฒนาการทางสมองของเด็กที่แม่ได้รับสารระหว่างตั้งครรภ์ ทำให้เด็กมีการพัฒนาการช้า ความจำสั้น สมาธิสั้น ควบคุมการเคลื่อนไหวของตัวเองได้แย่ง หรือมีการตอบสนองช้า และมีผลต่อเนื่องแม้เมื่อเด็กเติบโตเป็นผู้ใหญ่ ไปจนถึงปัญหาด้านความบกพร่องของพัฒนาการแบบรอบด้าน (Rauh et al., 2012) นอกจากนี้ ยังส่งผลต่อการทำงานของต่อมไร้ท่อ และมีแนวโน้มที่จะเพิ่มความเสี่ยงและกระตุ้นการเจริญเติบโตของเซลล์มะเร็งลำไส้ใหญ่และทวารหนัก (Ventura et al., 2016)

มะยงชิด เป็นสิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ของจังหวัดนครนายก (geography index) มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของจังหวัดนครนายก ในปี พ.ศ. 2567 มีพื้นที่เพาะปลูกมะยงชิด 7,909 ไร่ พื้นที่เพาะปลูกส่วนใหญ่อยู่ในเขตอำเภอเมืองนครนายก รองลงมาคือ อำเภอบ้านนา มีมูลค่าสินค้า 259.6 ล้านบาทต่อปี (Nakhon Nayok Provincial Agriculture Extension Office, 2024) มะยงชิดมีแมลงศัตรูพืชที่สำคัญหลายชนิด เช่น โรคราดำ เพลี้ยไฟ เพลี้ยแป้ง แมลงค่อมทอง ดัวงงวงกัดใบ จึงมีการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชมาใช้ในการทำการเกษตรจำนวนมากทุกปี ทั้งนี้เพื่อป้องกันความเสียหายของผลผลิตและมีคุณภาพตรงตามความต้องการของตลาด ซึ่งคลอร์ไพริฟอสมีประสิทธิภาพในการกำจัดแมลงศัตรูพืชได้ สำหรับการปลูกมะยงชิดมีคำแนะนำให้ใช้คลอร์ไพริฟอสในการป้องกันกำจัดเพลี้ยแป้ง (Sarut *et al.*, 2011) โดยการศึกษามุ่งเน้นปัจจัยคุณสมบัติของดินที่มีผลต่อการตกค้างของสารคลอร์ไพริฟอสในดินร่วมกับการบูรณาการระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ และกระบวนการตัดสินใจหลายหลักเกณฑ์ (multiple criteria decision making; MCDM) ช่วยทำให้กระบวนการพิจารณาคัดเลือกปัจจัยที่มากกว่าหนึ่งปัจจัยอย่างมีประสิทธิภาพ คือ กระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น (analysis hierarchy process; AHP) ซึ่งเป็นกระบวนการที่ใช้วัดค่าระดับของการตัดสินใจได้อย่างมีประสิทธิภาพ มีขั้นตอนในการดำเนินการที่ไม่ซับซ้อน และสามารถเข้าใจได้ง่ายกับกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นแบบคลุมเครือ (fuzzy analytic hierarchy process; FAHP) ที่เป็นกระบวนการเรียงลำดับความสำคัญของปัจจัยที่ต้องใช้การตัดสินใจที่มีความซับซ้อน โดยได้มีการตัดสินใจให้เป็นโครงสร้างลำดับชั้นร่วมกับทฤษฎี Fuzzy Set การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินการตกค้างของสารคลอร์ไพริฟอสในดินบริเวณพื้นที่ปลูกมะยงชิด อำเภอเมืองนครนายก จังหวัดนครนายก ด้วยกระบวนการ

วิเคราะห์ตามลำดับชั้นและกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นแบบคลุมเครือ โดยการศึกษาปัจจัยต่าง ๆ เพื่อศึกษาการกระจายและความสัมพันธ์ของสารคลอร์ไพริฟอสต่อบัณฑิตคุณสมบัติของดิน เพื่อเป็นฐานข้อมูลในการบริหารจัดการการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช และเพื่อส่งเสริมเกษตรปลอดภัยตามนโยบายและแผนพัฒนาในระดับมาตรฐานการผลิตและผลผลิตทางการเกษตรให้เป็นสินค้าคุณภาพสูง

อุปกรณ์และวิธีการ

การประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อการประเมินระดับการตกค้างสารคลอร์ไพริฟอสในดินบริเวณพื้นที่สวนมะยงชิด ทำการศึกษาถึงปัจจัยที่ก่อให้เกิดการคงอยู่ของสารคลอร์ไพริฟอสในดิน มีขั้นตอนดังนี้

1. การกำหนดค่าความสำคัญของปัจจัยโดยผู้เชี่ยวชาญ

เก็บข้อมูลจากผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 8 ท่าน ได้แก่ ผู้เชี่ยวชาญด้านปฐพีวิทยา ด้านวัตถุอันตรายทางการเกษตร ด้านพืชไร่-พืชสวน และด้านวางแผนการใช้ที่ดิน เป็นต้น โดยใช้แบบสอบถามเป็นเครื่องมือเพื่อการได้มาซึ่งข้อมูล จากปัจจัยที่มีผลต่อการสะสมตัวของสารคลอร์ไพริฟอสในดิน ได้แก่ เนื้อดิน ปฏิกริยาดิน ความลึกของดิน อัตราการซึมผ่านของน้ำผ่านผิวดิน ความลาดชัน และดัชนีความชื้นของภูมิประเทศ (topology wetness index; TWI) มาทำการวิเคราะห์เพื่อกำหนดค่าน้ำหนักและค่าคะแนนของปัจจัย โดยการกำหนดค่าน้ำหนักของปัจจัยนั้นด้วยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น เพื่อหาค่า Eigenvector สำหรับใช้เป็นค่าน้ำหนักของปัจจัยและตรวจสอบความสอดคล้องกันของข้อมูล (Consistency Ratio; C.R.) แล้ว ซึ่งมีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (ไม่เกิน 0.1) จากนั้นคำนวณเมทริกซ์การเปรียบเทียบของแต่ละปัจจัย และแปลงข้อมูลจากตัวเลขทั่วไปให้อยู่ในรูปแบบของตัวเลขความคลุมเครือในรูปแบบสามเหลี่ยมที่เป็นเชิง

เส้นตรงและกระจายตัวแบบสมมาตร (triangular fuzzy numbers) และนำตัวเลขฟัซซี่แบบสามเหลี่ยมมาแทนค่าการใช้ตัวเลขเดี่ยวแบบกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น

2. การจัดการข้อมูลเชิงพื้นที่ด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

2.1 การได้มาซึ่งข้อมูล

ข้อมูลของปัจจัยปฏิกริยาดิน การศึกษานี้ได้เก็บตัวอย่างดินในพื้นที่ศึกษาอย่างเป็นระบบ (grid system) จำนวน 62 ตัวอย่าง และวิเคราะห์ตัวอย่างดินในพื้นที่ด้วยชุดตรวจสอบดินภาคสนาม ของกรมพัฒนาที่ดิน (LDD pH test kit) ประมวลผลข้อมูลผ่านระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ด้วยวิธีการประมาณค่าช่วงเท่า (inverse distance wight) ในโปรแกรมระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์

ปัจจัยเนื้อดิน ปัจจัยความลึกดิน และปัจจัยอัตราการซึมผ่านของน้ำผ่านผิวดิน ใช้ข้อมูลชุดดินจัดตั้งของกรมพัฒนาที่ดิน ปี พ.ศ.2557 ในรูปแบบ shapefile

ปัจจัยความลาดชัน และปัจจัยดัชนีความชื้นของภูมิประเทศ ใช้แบบจำลองความสูงเชิงเลข (digital elevator model; DEM) รายละเอียด 30 เมตร ของดาวเทียม Landsat-8

2.2 จัดการข้อมูลเชิงพื้นที่ด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

ในขั้นตอนนี้เป็นกระบวนการเปลี่ยนข้อมูลปัจจัยที่ใช้ในการศึกษาให้อยู่ในรูปแบบข้อมูลเชิงพื้นที่ เพื่อให้สามารถนำมาวิเคราะห์ด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ได้ ดังนั้นข้อมูลที่ได้ดำเนินการจึงต้องมีความสัมพันธ์กับปัจจัยที่ศึกษา โดยแบ่งช่วงชั้นของปัจจัย ดังนี้

ปัจจัยเนื้อดิน

ดินมีความสามารถในการยึดเกาะกับอนุภาคของคลอไรไฟรฟอสได้แตกต่างกันขึ้นอยู่กับลักษณะเฉพาะและเนื้อสัมผัส โดยทั่วไปการดูดซับสารคลอไรไฟรฟอสที่มาก โดยดินที่มีพื้นผิวละเอียดและในดินที่มีปริมาณดินเหนียวสูง และการดูดซับที่น้อยในดินเนื้อหยาบที่มี

ปริมาณแร่ดินเหนียวต่ำ (Mwevura *et al.*, 2021) ซึ่งสามารถจัดแบ่งข้อมูลตามหลักเกณฑ์การจำแนกเนื้อดินตามปริมาณของดินเหนียวของกรมพัฒนาที่ดิน ออกเป็น 5 ระดับ ดังนี้

ระดับที่ 1 พื้นที่เสี่ยงมากที่สุด กลุ่มดินเหนียว

ระดับที่ 2 พื้นที่เสี่ยงมาก กลุ่มดินร่วนปนเหนียว

ระดับที่ 3 พื้นที่เสี่ยงปานกลาง กลุ่มดินร่วน

ระดับที่ 4 พื้นที่เสี่ยงน้อย กลุ่มดินทราย

ระดับที่ 5 พื้นที่เสี่ยงน้อยที่สุด กรวดหรือหิน

ปัจจัยปฏิกริยาดิน

อัตราการย่อยสลายคลอไรไฟรฟอสที่สูงในดินที่มีเป็นด่างนั้นเกิดจากการกระบวนการไฮโดรไลซิสทางเคมี ทำให้มีอัตราการสลายตัวของคลอไรไฟรฟอสในดินที่แตกต่างกันและการทดลองของ Muhamad (2004) กล่าวว่า ปฏิกริยาดินมีอิทธิพลต่ออัตราการย่อยสลายของคลอไรไฟรฟอส ไฮโดรไลซิสที่รวดเร็วยิ่งขึ้นภายใต้สภาวะที่เป็นด่าง โดยสามารถแบ่งลักษณะของข้อมูลตามการศึกษาของที่ศึกษาการย่อยสลายของสารคลอไรไฟรฟอสในดินในดินที่มีปฏิกริยาที่แตกต่างกันได้ 5 ระดับ ตามการศึกษาของ Racke *et al.* (1996) ดังนี้

ระดับที่ 1 พื้นที่เสี่ยงมากที่สุด ค่าความเป็นกรดต่างของดิน น้อยกว่า 4.7

ระดับที่ 2 พื้นที่เสี่ยงมาก ค่าความเป็นกรดต่างของดิน ระหว่าง 4.8 - 5.7

ระดับที่ 3 พื้นที่เสี่ยงปานกลาง ค่าความเป็นกรดต่างของดิน ระหว่าง 5.8 - 6.7

ระดับที่ 4 พื้นที่เสี่ยงน้อย ค่าความเป็นกรดต่างของดิน ระหว่าง 6.8 - 7.7

ระดับที่ 5 พื้นที่เสี่ยงน้อยที่สุด ค่าความเป็นกรดต่างของดิน มากกว่า 7.7

ปัจจัยอัตราการซึมของน้ำผ่านผิวดิน

การคงอยู่ของสารคลอไรไฟรฟอสมีความสอดคล้องกับการซึมผ่านของน้ำ การเคลื่อนที่ของน้ำจากผิวดินเข้าไปในดินตามช่องระหว่างเม็ดดินตาม

รอยแตกกระแหงด้วยแรงดึงดูดของโลกซึ่งแสดงถึงความสามารถในการซึมผ่าน แสดงให้เห็นถึงการเกี่ยวข้องกับคุณสมบัติของดิน ซึ่งรวมถึงความพรุนและขนาดและรูปร่างของอนุภาค การไหลของน้ำจะสามารถเคลื่อนย้ายสารคลอไรด์โพสที่มีสามารถละลายในน้ำได้สูงในดิน (Elizabeth and Shaike, 2015) จึงได้แบ่งช่วงชั้นข้อมูลออกเป็น 5 ระดับตามข้อมูลชุดดินจัดตั้งของกรมพัฒนาที่ดิน ได้ดังนี้

ระดับที่ 1 พื้นที่เสี่ยงมากที่สุด การซึมของน้ำในดินช้า

ระดับที่ 2 พื้นที่เสี่ยงมาก การซึมของน้ำในดินปานกลาง

ระดับที่ 3 พื้นที่เสี่ยงปานกลาง การซึมของน้ำในดินค่อนข้างเร็ว

ระดับที่ 4 พื้นที่เสี่ยงน้อย การซึมของน้ำในดินเร็ว

ระดับที่ 5 พื้นที่เสี่ยงน้อยที่สุด การซึมของน้ำในดินเร็วมาก

ปัจจัยความลึกของดิน

ความลึกของดินมีความสำคัญต่อความอ่อนไหวของพื้นที่ เนื่องจากสารคลอไรด์โพสสามารถกักเก็บไว้ในดินได้โดยการดูดซับไปยังอนุภาคดินในความลึกของดินที่ตื้นมาก สารคลอไรด์โพสจะไปถึงพื้นผิวหินได้เร็วกว่าผ่านการซึมผ่านลงสู่ดินชั้นล่าง เนื่องจากมีปริมาตรดินที่สามารถดูดซับสารคลอไรด์โพสได้ ซึ่งอาจนำไปสู่ความเสี่ยงที่มากขึ้นต่อการแพร่กระจายในสิ่งมีชีวิตใต้ดินใต้ดินและน้ำใต้ดิน (Muhamad, 2004) โดยแบ่งลักษณะของข้อมูลตามชุดข้อมูลชุดดินจัดตั้งของกรมพัฒนาที่ดิน แบ่งช่วงชั้นข้อมูลออกเป็น 4 ระดับ ดังนี้

ระดับที่ 1 พื้นที่เสี่ยงมากที่สุด ดินตื้นมาก

ระดับที่ 2 พื้นที่เสี่ยงมาก ดินตื้น

ระดับที่ 3 พื้นที่เสี่ยงปานกลาง ดินลึกปานกลาง

ระดับที่ 4 พื้นที่เสี่ยงน้อย ดินลึก-ลึกมาก

ปัจจัยความลาดชัน

ภูมิประเทศของพื้นที่ที่มีความเชื่อมโยงกับการกระจายตัวของดินและพฤติกรรมของน้ำในภูมิประเทศ ดังนั้นจึงเป็นกระบวนการขนส่งสารปนเปื้อน น้ำสามารถทำหน้าที่เป็นทั้งการไหลบ่าของพื้นผิวหรือในการแทรกซึมและการซึมผ่านลงไปในพื้นที่ดินด้านล่าง โดยแบ่งช่วงชั้นข้อมูลออกเป็น 5 ระดับ ตามการศึกษาของ Ingrid (2018) ดังนี้

ระดับที่ 1 พื้นที่เสี่ยงมากที่สุด ความลาดชันน้อยกว่า 5 องศา

ระดับที่ 2 พื้นที่เสี่ยงมาก ความลาดชัน 5-9 องศา

ระดับที่ 3 พื้นที่เสี่ยงปานกลาง ความลาดชัน 9 - 15 องศา

ระดับที่ 4 พื้นที่เสี่ยงน้อย ความลาดชัน 15 - 23 องศา

ระดับที่ 5 พื้นที่เสี่ยงน้อยที่สุด ความลาดชันมากกว่า 23 องศา

ปัจจัยดัชนีความชื้นของภูมิประเทศ

ปัจจัยดัชนีความชื้นของภูมิประเทศ (TWI) เป็นปัจจัยที่วิเคราะห์ลักษณะภูมิประเทศกับอัตราการไหลสะสม (flow accumulation) แสดงถึงแนวโน้มของการเกิดการไหลของน้ำลงสู่พื้นที่ที่ลาดเอียงต่ำ ดัชนีเป็นฟังก์ชันของทั้งความลาดชันและพื้นที่รองรับน้ำต่อหน่วยความกว้างที่ตั้งฉากกับทิศทางการไหล พื้นที่สะสมและแทรกซึมของน้ำที่มีค่า TWI สูงจะถือว่ามีระดับสารปนเปื้อนที่ต่ำเนื่องจากการรั่วไหลและการขนส่งสารปนเปื้อนกับน้ำที่แทรกซึม ค่า TWI ต่ำเกี่ยวข้องกับระดับสารปนเปื้อนที่สูงขึ้นเนื่องจากการไหลบ่าของน้ำ ตามการศึกษาของ Ingrid (2018) ดังนี้

ระดับที่ 1 พื้นที่เสี่ยงมากที่สุด มีค่า 0.55 - 1

ระดับที่ 2 พื้นที่เสี่ยงมาก มีค่า 0.45 - 0.55

ระดับที่ 3 พื้นที่เสี่ยงปานกลาง มีค่า 0.35 - 0.45

ระดับที่ 4 พื้นที่เสี่ยงน้อย มีค่า 0.25 - 0.35

ระดับที่ 5 พื้นที่เสี่ยงน้อยที่สุด มีค่า 0 - 0.25

3. การประมาณพื้นที่ปนเปื้อนสารคลอไรโฟรฟอสด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ร่วมกับกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น และกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นแบบคลุมเครือ

เมื่อได้ค่าความสำคัญของปัจจัยและข้อมูลเชิงพื้นที่ของปัจจัยที่ใช้ในการศึกษาแล้ว จึงสามารถกำหนดระดับการจำแนกข้อมูล ค่าความสำคัญค่าคะแนน และคะแนนรวมเพื่อใช้ในการวิเคราะห์การประมาณพื้นที่ปนเปื้อนสารคลอไรโฟรฟอสด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ร่วมกับกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นและกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นแบบคลุมเครือ จากนั้นนำเข้าสู่ประมวลผลผ่านระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์สามารถสร้างแผนที่พื้นที่เสี่ยงปนเปื้อนของสารคลอไรโฟรฟอสในดินได้ด้วยการนำปัจจัยทั้งหมด 6 ปัจจัยซ้อนทับกันและตัดพื้นที่ป่าไม้และพื้นที่น้ำออก และรวมผลคูณของค่าความสำคัญและค่าคะแนน ทั้ง 6 ปัจจัย โดยนำผลลัพธ์ที่ได้จัดแบ่งความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนของพื้นที่ด้วยวิธีการคำนวณด้วยค่าสถิติแบบ Equal interval Classification ออกเป็น 5 กลุ่ม ได้แก่ พื้นที่เสี่ยงมากที่สุด พื้นที่เสี่ยงมาก พื้นที่เสี่ยงปานกลาง พื้นที่เสี่ยงน้อย พื้นที่เสี่ยงน้อยที่สุด เมื่อได้พื้นที่ระดับต่าง ๆ พิจารณาในพื้นที่เกษตรกรรมและพื้นที่ปลูกมะยงชิด จากข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน ระดับที่ 1 และระดับที่ 3 ของ Land Development Department (2018) ในรูปแบบ shapefile

4. การตรวจสอบความถูกต้องของการประมาณพื้นที่ปนเปื้อนสารคลอไรโฟรฟอสด้วยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นและกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นแบบคลุมเครือ

โดยทำการเก็บตัวอย่างดินแบบสุ่ม (completely randomized design; CRD) จำนวน 12 ตัวอย่าง ในแต่ละระดับความเสี่ยงปนเปื้อนสารคลอไรโฟรฟอส โดยเก็บตัวอย่างในแปลงตัวอย่างแบบมีระบบ (system sampling) ในระดับความลึกจากผิวดิน 30 เซนติเมตร จากนั้นนำมาผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันแล้วนำไปใส่ภาชนะเพื่อนำกลับมาวิเคราะห์โดยใช้วิธีทดสอบ In-house method TE-CH-

328 based on QuEChERS Method EN 15662:2018 by GC/FPD Technique วิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการของบริษัทห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด เพื่อหาปริมาณและชนิดของการตกค้างของสารคลอไรโฟรฟอสในตัวอย่างดิน

ผลการวิจัยและวิจารณ์

1. ผลการกำหนดค่าความสำคัญของปัจจัยโดยผู้เชี่ยวชาญ

จากผลการวิเคราะห์พบว่า อัตราความสอดคล้อง (consistency ratio; C.R.) ทั้งหมดด้วยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น มีค่าน้อยกว่า 0.10 แสดงให้เห็นว่าผู้เชี่ยวชาญได้ทำการเปรียบเทียบรายคู่ปัจจัยที่มีผลต่อการปนเปื้อนสารคลอไรโฟรฟอสในดินได้อย่างสอดคล้องกัน โดยปัจจัยที่มีความสำคัญมากที่สุดคือ เนื้อดิน มีค่าน้ำหนักเฉลี่ย 0.362 ปัจจัยที่มีความสำคัญอันดับที่สองคือ ปัจจัยที่มีความสำคัญอันดับที่ปฏิกริยา ดิน มีค่าน้ำหนักเฉลี่ย 0.240 ปัจจัยที่มีความสำคัญอันดับที่สามคือ อัตราการซึมผ่านของน้ำผ่านผิวดิน มีค่าน้ำหนักเฉลี่ย 0.138 ปัจจัยที่มีความสำคัญอันดับที่สี่คือ ความลึกของดิน มีค่าน้ำหนักเฉลี่ย 0.130 ปัจจัยที่มีความสำคัญอันดับที่ห้าคือ ความลาดชัน มีค่าน้ำหนักเฉลี่ย 0.081 และปัจจัยที่มีความสำคัญอันดับที่หกคือ ดัชนีความชื้นของภูมิประเทศ มีค่าน้ำหนักเฉลี่ย 0.049 และผลการวิเคราะห์ด้วยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นแบบคลุมเครือ โดยปัจจัยที่มีความสำคัญมากที่สุดคือ เนื้อดิน มีค่าน้ำหนักเฉลี่ย 0.194 ปัจจัยที่มีความสำคัญอันดับที่สองคือ ปัจจัยที่มีความสำคัญอันดับที่ปฏิกริยา ดิน มีค่าน้ำหนักเฉลี่ย 0.181 ปัจจัยที่มีความสำคัญอันดับที่สามคือ ความลึกของดิน มีค่าน้ำหนักเฉลี่ย 0.165 ปัจจัยที่มีความสำคัญอันดับที่สี่คือ อัตราการซึมผ่านของน้ำผ่านผิวดิน มีค่าน้ำหนักเฉลี่ย 0.165 ปัจจัยที่มีความสำคัญอันดับที่ห้าคือ ความลาดชัน มีค่าน้ำหนักเฉลี่ย 0.155 และปัจจัยที่มีความสำคัญอันดับที่หกคือ ดัชนีความชื้นของภูมิประเทศ มีค่าน้ำหนักเฉลี่ย 0.142 (Table 1)

Table 1 Compare the weight factor between AHP and FAHP

Factor	AHP		FAHP	
	Eigenvector	range	Eigenvector	range
Soil texture	0.362	1	0.194	1
Soil pH	0.240	2	0.181	2
Infiltration rate	0.138	3	0.162	4
Soil depth	0.130	4	0.165	3
Slope	0.081	5	0.155	5
Topology wetness index	0.048	6	0.142	6

เมื่อพิจารณาเรียงลำดับปัจจัย จาก Table 1 พบว่า ทั้งสองวิธีให้ผลที่คล้ายคลึงกัน คือ เนื้อดิน มีค่าน้ำหนักมากที่สุดเป็นอันดับที่ 1 ปฏิกริยาดิน มีค่าน้ำหนักมากเป็นอันดับที่ 2 อัตราการซึมผ่านของน้ำผ่านผิวดินและความลึกของดิน มีค่าน้ำหนักอยู่ในอันดับที่ 3 และ 4 ในกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น แต่อยู่ในอันดับ 4 และ 3 ในการวิเคราะห์ด้วยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นแบบคลุมเครือ ส่วนความลาดชัน และดัชนีความชื้นของภูมิประเทศ มีค่าความสำคัญของปัจจัยอยู่ในอันดับ 5 และ 6 ตามลำดับ

2. ผลการประมาณพื้นที่ปนเปื้อนสารคลอไรไฟรฟอสด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ร่วมกับกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นและกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นแบบคลุมเครือ

เมื่อนำข้อมูลจากกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นและกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นแบบคลุมเครือเข้าสู่กระบวนการทางระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์สามารถสร้างแผนที่พื้นที่เสี่ยงปนเปื้อนของสารคลอไรไฟรฟอสในดินด้วยการนำปัจจัยทั้งหมดซ้อนทับกัน ทำการคัดเลือกพื้นที่เสี่ยงปนเปื้อนสารคลอไรไฟรฟอสในพื้นที่เกษตรกรรม ซึ่งใช้ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินของกรมพัฒนาที่ดิน ปี พ.ศ. 2565 จากการวิเคราะห์ด้วยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นพบว่า พื้นที่เสี่ยงมากที่สุด มีพื้นที่ 204.06 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 70.80 ของพื้นที่เกษตรกรรมในอำเภอเมืองนครนายก และด้วยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นแบบคลุมเครือพื้นที่เสี่ยงมากที่สุด มีพื้นที่ 20.20 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 7.01 ของพื้นที่เกษตรกรรมในอำเภอเมืองนครนายก (Figure 1)

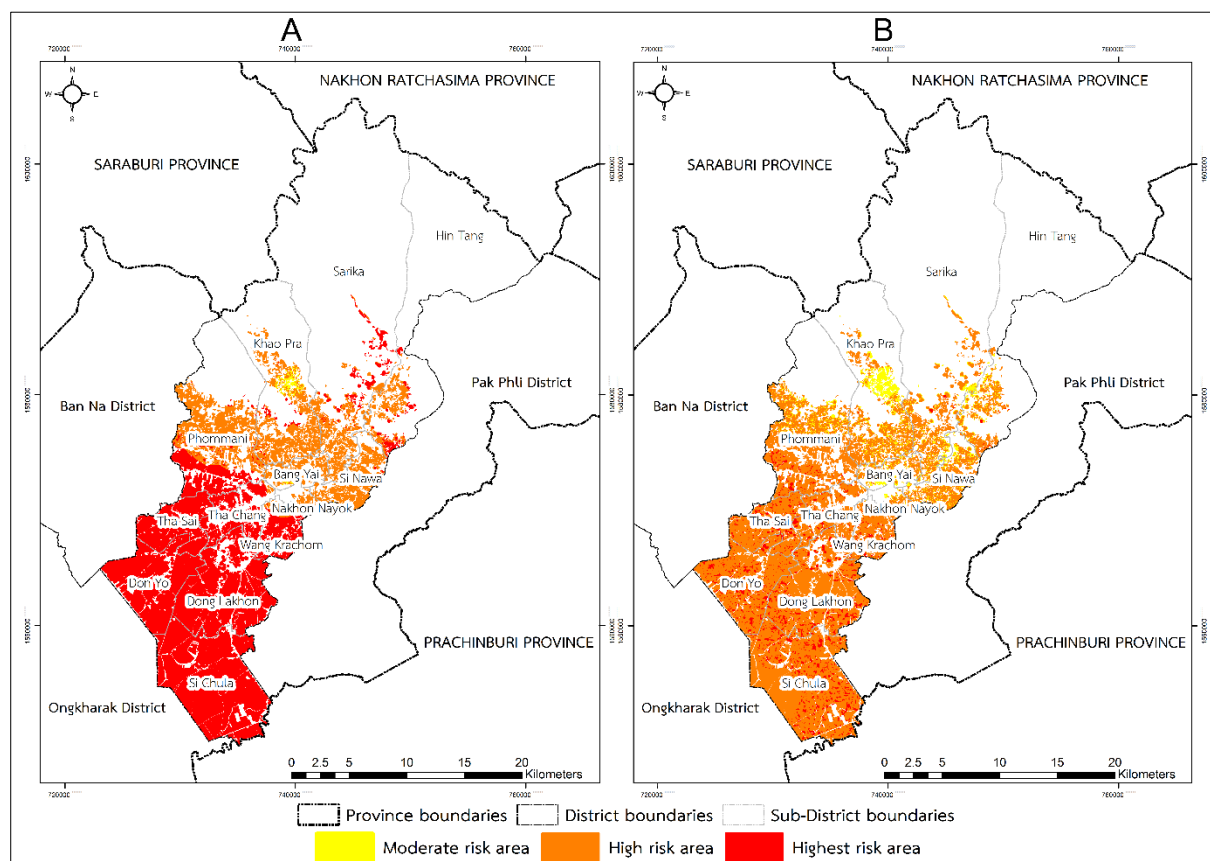


Figure 1 Map showing risk of chlorpyrifos contamination in agricultural areas in Mueang district, Nakhon Nayok province, with A) the AHP method and B) the FAHP method

จาก Figure 1 สามารถจำแนกความเสี่ยงปนเปื้อนของสารคลอโรไพริฟอสในดินตามการจำแนกการใช้ประโยชน์ประเภทพื้นที่เกษตรกรรม ระดับที่ 2 จากกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์

และกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นแบบคลุมเครือ พื้นที่การปนเปื้อนส่วนใหญ่พบในบริเวณพื้นที่นาข้าว และจำแนกตามการเกษตรอื่น ๆ ดังนี้ (Table 2)

Table 2 Level 2 agricultural land use that is at risk of chlorpyrifos contamination, with the AHP method and the FAHP method

Land use \ Level	Highest risk		High risk		Moderate risk		Low risk
	AHP	FAHP	AHP	FAHP	AHP	FAHP	FAHP
A1 Paddy field	138.13	13.67	66.71	178.97	1.87	14.08	0.03
A2 Field crop	0.66		0.77	1.36		0.07	
A3 Perennial	2.48	0.22	2.62	4.31	0.03	0.60	
A3/A4 Perennial/Orchard	0.05		0.06	0.11	0.01	0.02	
A4 Orchard	8.04	0.46	9.89	14.82	0.12	2.77	
A5 Horticulture	0.59	0.04	0.58	1.02		0.11	
A7 Pasture and farm house	0.20	0.02	0.28	0.40		0.05	
A7/A9 Pasture and farm house/Aquacultural land	4.38	0.41	0.01	3.97		0.01	
A8 Aquatic plant	0.05		0.05	0.94			
A9 Aquacultural land	49.48	5.38	1.10	44.95	0.01	0.27	

Remarks: Unit = sq.km

มะยมชิตเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของจังหวัดนครนายก มีพื้นที่เพาะปลูกในปี พ.ศ. 2565 เท่ากับ 5.41 ตารางกิโลเมตร ในการวิเคราะห์การประมาณพื้นที่ปนเปื้อนสารคลอร์ไพริฟอสในดินด้วยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น มีพื้นที่ปลูกมะยมชิตมีความเสี่ยงปนเปื้อนมากที่สุด 3.36 ตารางกิโลเมตร มีการกระจุกในพื้นที่เพาะปลูกมะยมชิตทั้งหมดของตำบลดงละคร ตำบลท่าทราย ตำบลท่าช้าง ความเสี่ยงปนเปื้อนมาก 2.01 ตารางกิโลเมตร มีการกระจายในพื้นที่เพาะปลูกมะยมชิตของตำบลพรหมณี ตำบลเขาพระ ตำบลสาริกา ตำบลหินตั้ง และตำบลศรีนาวา ความเสี่ยงปนเปื้อนปานกลาง 0.04 ตารางกิโลเมตร และการวิเคราะห์การประมาณพื้นที่ปนเปื้อนสารคลอร์ไพริฟอสในดินด้วยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นแบบคลุมเครือ มีพื้นที่ปลูกมะยมชิตมีความเสี่ยงปนเปื้อนมากที่สุด 0.23 ตารางกิโลเมตร มีการกระจายในพื้นที่เพาะปลูกมะยมชิต

บางส่วนของตำบลดงละคร ตำบลท่าทราย ตำบลท่าช้าง ความเสี่ยงปนเปื้อนมาก 4.65 ตารางกิโลเมตร มีการกระจุกในพื้นที่เพาะปลูกมะยมชิตของตำบลดงละคร ตำบลท่าทราย ตำบลท่าช้าง และตำบลพรหมณีมากที่สุด และกระจายในพื้นที่เพาะปลูกมะยมชิตบางส่วนของตำบลสาริกา ตำบลเขาพระ ตำบลหินตั้ง และตำบลศรีนาวา ความเสี่ยงปนเปื้อนปานกลาง 0.52 ตารางกิโลเมตร ความเสี่ยงปนเปื้อนน้อย 0.001 ตารางกิโลเมตร

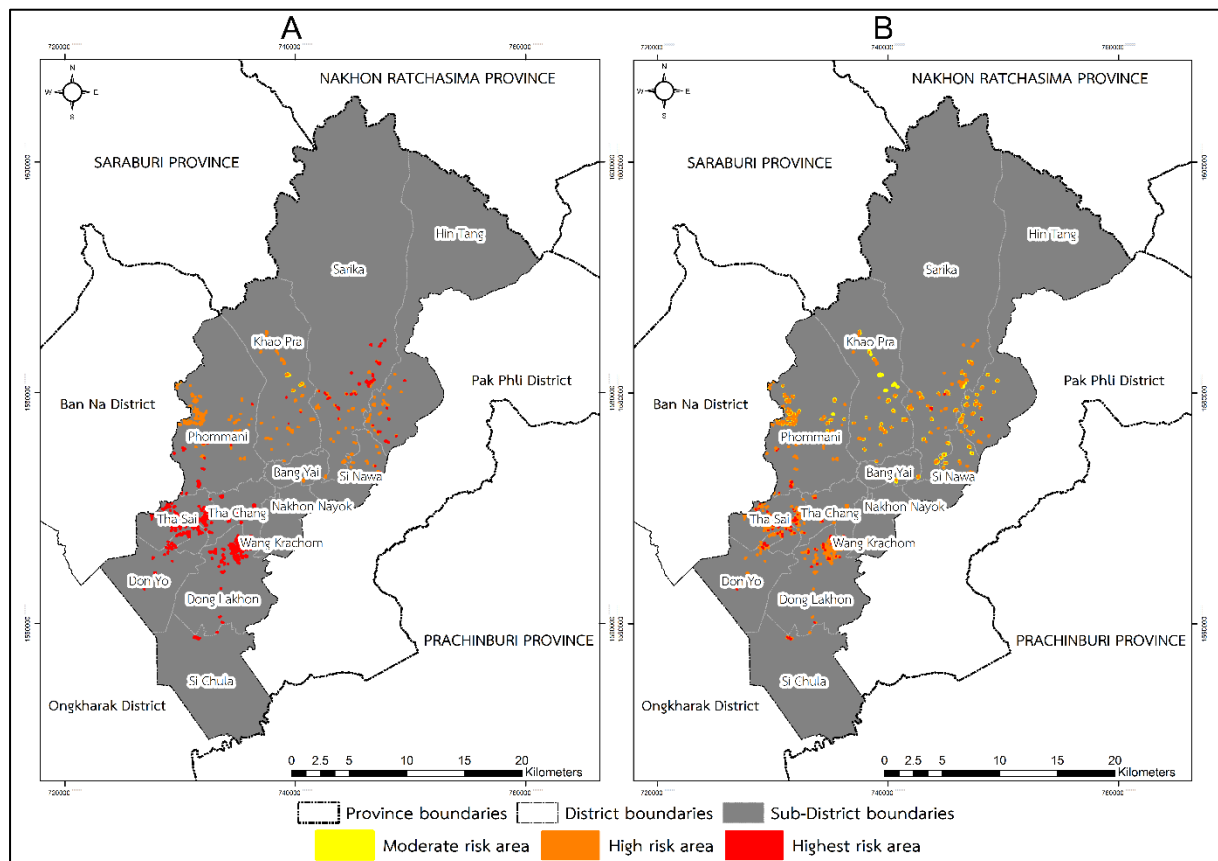


Figure 2 Map showing risk of chlorpyrifos contamination in Marian Plum's plantation in Mueang district, Nakhon Nayok province, with A) the AHP method and B) the FAHP method

3. ผลการตรวจสอบความถูกต้องของการประมาณพื้นที่ปนเปื้อนสารคลอร์ไพริฟอสด้วยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น และกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นแบบคลุมเครือ

การตรวจวิเคราะห์ปริมาณการตกค้างของสารคลอร์ไพริฟอสในดินของพื้นที่เกษตรกรรม อำเภอเมืองนครนายก จังหวัดนครนายก พบว่า ไม่พบการปนเปื้อนของสารคลอร์ไพริฟอสในดินของพื้นที่ตัวอย่างในกลุ่มของพื้นที่เพาะปลูกไม้ผล ได้แก่ ส้มโอ ส้มมะปรัง มะยงชิด และไม่พบการปนเปื้อนในพื้นที่นาข้าว

การศึกษาการประมาณการปนเปื้อนของสารคลอร์ไพริฟอสในดินครั้งนี้ใช้กระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นและกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นแบบคลุมเครือ โดยมีพื้นที่เสี่ยงการปนเปื้อนในแต่ละ

ระดับที่แตกต่างกัน เนื่องจากค่าความสำคัญของปัจจัยที่แตกต่างกัน โดยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นปัจจัยที่มีค่าความสำคัญ ได้แก่ เนื้อดิน มีค่าความสำคัญ 0.362 และมีค่าความสำคัญ 0.194 ในกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นแบบคลุมเครือที่มีความสำคัญสูงที่สุดเช่นเดียวกัน ด้วยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นแบบคลุมเครือเป็นกระบวนการที่พิจารณาร่วมกันระหว่างกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น ที่ใช้วิธีการจัดลำดับความสำคัญและช่วยวิเคราะห์ปัญหาที่มีความซับซ้อนให้เข้าใจง่ายขึ้น ส่วนกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นแบบคลุมเครือ สามารถจัดการกับความคลุมเครือหรือตรรกะความซับซ้อนในการตัดสินใจของมนุษย์ได้จากค่าความสำคัญของปัจจัยต่าง ๆ ในกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นนั้นผ่านการ

พิจารณาและเห็นความเห็นของผู้เชี่ยวชาญเฉพาะด้าน จึงนับได้ว่าเป็นวิธีที่สามารถวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงปนเปื้อน สารคลอโรไพริฟอสได้อย่างมีประสิทธิภาพและน่าเชื่อถือ (Mulubrhan *et al.*, 2016) ทั้งนี้การศึกษานี้ยังขาด การศึกษาแบบอนุกรมเวลาจึงทำให้ไม่ทราบถึงความ แม่นยำของแบบจำลอง อย่างไรก็ตามวิธีการกระบวนการ วิเคราะห์ตามลำดับขั้นใช้วิธีการตัดสินใจที่เรียบง่าย ซึ่งไม่ได้คำนึงถึงความไม่แน่นอนของการตัดสินใจ โดย ธรรมชาติแล้วต้องคำนึงถึงความคลุมเครือเพื่อลด ความเสี่ยงในการตัดสินใจผิดพลาด

การตรวจไม่พบการปนเปื้อนของ สาร คลอโรไพริฟอสในดินทั้ง 12 ตัวอย่าง ทั้งนี้เป็นเพราะ ปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมและปัจจัยทางสังคมของพื้นที่ อธิบายได้ว่าคลอโรไพริฟอสมีความคงตัวในดิน โดยมี รายงานของ Singh *et al.* (2003) กล่าวว่าครึ่งชีวิตของ คลอโรไพริฟอสในดินอยู่ระหว่าง 20 ถึง 120 วัน โดยมีการ ก่อตัวของ 3,5,6-trichloro-2-pyridinol (3,5,6-TCP) เป็นผลิตภัณฑ์การย่อยสลายหลัก ซึ่งในทางตรงกันข้าม TCP ที่เสื่อมสลายจะดูดซับบนอนุภาคดินได้เล็กน้อย และเคลื่อนที่ได้ปานกลางและคงอยู่ในดิน (Cheng *et al.*, 2023) ทั้งนี้การย่อยสลายยังเกิดจากปฏิกิริยา ออกซิเดชันหรือการไฮโดรไลซิสเป็นเอทิลฟอสเฟต และ TCP การย่อยสลายของคลอโรไพริฟอสจะเพิ่มขึ้น ตามอุณหภูมิดินที่สูง โดยมีปริมาณอินทรีย์วัตถุและ ความเป็นด่าง (Sakshi *et al.*, 2017) และจากการสำรวจ ภาวศนาในในพื้นที่อำเภอเมืองนครนายกไม่พบการใช้ สารคลอโรไพริฟอสเพื่อกำจัดศัตรูพืชและด้วยประกาศ กระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง บัญชีรายชื่อวัตถุอันตราย (ฉบับที่ 6) พ.ศ. 2563 ให้ยกเลิกรายการเกี่ยวกับวัตถุ อันตราย ได้แก่ คลอโรไพริฟอส คลอโรไพริฟอส-เมทิล พา ราควอต และพาราควอตไดคลอไรด์ เป็นผลให้ไม่มีการ จำหน่ายสารคลอโรไพริฟอสแก่เกษตรกรในภายหลัง

สรุปผลการวิจัย

การศึกษานี้ได้เก็บข้อมูลจากผู้เชี่ยวชาญด้วย แบบสอบถามปัจจัยที่ส่งผลต่อการตกค้างของสาร คลอโรไพริฟอสในดิน ได้แก่ ปัจจัยเนื้อดิน ปัจจัยปฏิกิริยา ดิน ปัจจัยความลึกของดิน ปัจจัยอัตราการซึมผ่านของ น้ำผ่านผิวดิน ปัจจัยความลาดชันและปัจจัยดัชนี ความชื้นของภูมิภาค อัตราส่วนความสอดคล้องกัน ของข้อมูล อยู่ในช่วง 0.068 - 0.087 ผู้เชี่ยวชาญได้ทำ การเปรียบเทียบรายคู่ปัจจัยที่มีผลต่อการปนเปื้อนสาร คลอโรไพริฟอสในดินได้อย่างสอดคล้องกันซึ่งมีค่าไม่เกิน 0.10 เมื่อวิเคราะห์ด้วยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับ ขั้น ปัจจัยที่มีความสำคัญสูงสุดที่สุด คือ เนื้อดิน โดยมีค่า 0.362 และเมื่อวิเคราะห์ด้วยกระบวนการวิเคราะห์ ตามลำดับขั้นแบบคลุมเครือ แม้ว่าปัจจัยเนื้อดินจะยังคง มีความสำคัญสูงสุด แต่มีค่าความสำคัญคือ 0.194 จากการประเมินพื้นที่ตกค้างสารคลอโรไพริฟอสในพื้นที่ สวนมะยมชิดด้วยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับขั้น มีพื้นที่เสี่ยงตกค้างมากที่สุด 3.36 ตารางกิโลเมตร และ กระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับขั้นแบบคลุมเครือมี พื้นที่ตกค้างมากที่สุด 0.23 ตารางกิโลเมตร แต่จากการ เก็บข้อมูลดินในพื้นที่ตกค้างเข้าตรวจในห้องปฏิบัติการ ไม่พบการตกค้างของสารคลอโรไพริฟอสในดินตัวอย่าง ทั้งนี้การคงอยู่ของคลอโรไพริฟอสมีความสัมพันธ์กับ คุณสมบัติของดิน ซึ่งรวมถึงชนิดของดิน ปฏิกิริยาของดิน ความชื้น อุณหภูมิ ปริมาณอินทรีย์วัตถุและเมแทบอลิซึม ของจุลินทรีย์ในดินต่อสารคลอโรไพริฟอส ด้วยอนุภาค ของดินที่มีผลต่อการเหนียวยึดกับอนุภาคของสารคลอโร ไพริฟอสทำให้เกิดการปนเปื้อนในดิน ปัจจัยที่สำคัญ อีกประการหนึ่งคือ คุณลักษณะของคลอโรไพริฟอส เช่น สูตรส่วนผสม สารประกอบเสริม และอัตราการใช้งาน ที่มีส่วนในการคงอยู่ของสารคลอโรไพริฟอส เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

- Cheng, C., W. Liu, K. Hou, J. Zhang, Z. Du, B. Li and L. Zhu. 2023. Ecological safety evaluation of chlorpyrifos on agricultural soil: Effects on soil microbes. *Soil Ecology* 189: 104954.
- Ingrid, S. 2018. Spatial assessment of soil contamination through GIS data management. Mater's Thesis in Environmental Engineering and Sustainable Infrastructure, KTH Royal Institute of Technology.
- John, E. M., and J.M. Shaik. (2015). Chlorpyrifos: Pollution and remediation. *Environmental Chemistry Letters*, 13(3), 269-291.
- Land Development Department. (2018). Land use data level 1 and level 3 [Geospatial database]. Available: https://tswc.ldd.go.th/DownloadGIS/Index_Lu.html (June 26, 2024). [in Thai]
- Muhamad, H., N. Mat and T. Ai 2004. Adsorption and desorption study of 14 C-Chlorpyrifos in two Malaysian agricultural soils. *Journal of Nuclear and Related Technologies* 1(1): 23-33.
- Mulubhan, F., A. Mokhtar and M. Muhammad. 2016. Comparative analysis between Fuzzy and traditional analytical hierarchy process. The 3rd International Conference on Mechanical Engineering Research. August 18-19, 2015. Perak, Malaysia. pp. 46-51.
- Mwevura, H., H. Kylin, T. Vogt and H. Bouwman. 2021. Dynamics of organochlorine and organophosphate pesticide residues in soil, water, and sediment from the Rufiji River Delta, Tanzania. *Regional Studies in Marine Science* 41: 101607.
- Nakhon Nayok Provincial Agriculture Extension Office. 2024. Marian plum. Available: https://nakhonnayok.doae.go.th/province/?page_id=21768 (February 23, 2024). [in Thai]
- Racke, K.D., K.P. Steele, R.N. Yoder, W.A. Dick and E. Avidov. 1996. Factors affecting the hydrolytic degradation of chlorpyrifos in soil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 44(6): 1584-1592.
- Rauh, V.A., F.P. Perera, M.K. Horton, R.M. Whyatt, R. Bansal, X. Hao, J. Liu, D.B. Barr, T.A. Slotkin and B.S. Peterson 2012. Brain anomalies in children exposed prenatally to a common organophosphate pesticide. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 109(20): 7871-7876.
- Sakshi, J., K.B. Jyoti, S. Ritu and P. K. Shrivastava, P. 2017. Bioremediation of chlorpyrifos contaminated soil by microorganism. *International Journal of Environment Agriculture and Biotechnology* 2(4): 1624-1630.
- Sarut, S., S. Srijumnun, M. Butsabong, W. Wanaphorn, K. Saranjit, S. Sanyanee, P. Wipada and C. Kriangkrai. 2011. Insect pests of fruit trees. 2nd Edition. The Agricultural Co-Operative Federation of Thailand. LTD. [in Thai]

Singh, B. K., A. Walker, J.A. Morgan and D.J.

Wright. 2003. Effects of soil pH on the biodegradation of chlorpyrifos and isolation of chlorpyrifos-degrading bacterium. *Applied and Environmental Microbiology* 69(9): 5198-5206.

Somparn A., N. Barry and B.I. Chuleemas.

2012. Ecotoxicology of chlorpyrifos and cadmium on local Thai zooplankton and benthic invertebrate. The 13th Graduate Research Conference Khon Kaen University, February 17, 2012, Graduate School, Khon Kaen University, Khon Kaen. pp. 77-85.

Suthep, S. 2017. Is chlorpyrifos dangerous? (final

part). *House Agricultural Magazine* 41(8): 176-179. [in Thai]

Suthep, S. 2018. Pesticide. *House Agricultural*

Magazine 42(5): 171-174. [in Thai]

Ventura, C., M.R. Nieto, N. Bourguignon, V. Lux-

Lantos, H. Rodriguez and G. Cao. 2016.

Pesticide chlorpyrifos acts as an endocrine disruptor in adult rats causing changes in mammary gland and hormonal balance.

The Journal of Steroid Biochemistry and Molecular Biology 156: 1-9.