รายงานโครงการวิจัย

# การประเมินผลกระทบจากการใช้วัตถุอันตรายทางการเกษตร ในพื้นที่เกษตรกรรม

# Evaluate the Effects of Pesticide Residues on Agricultural Areas

นางมลิสา เวชยานนท์

Mrs. Malisa Wetchayanon

กรมวิชาการเกษตร

ปี พ.ศ. 2564

รายงานโครงการวิจัย

# การประเมินผลกระทบจากการใช้วัตถุอันตรายทางการเกษตร ในพื้นที่เกษตรกรรม

# Evaluate the Effects of Pesticide Residues on Agricultural Areas

นางมลิสา เวชยานนท์

Mrs. Malisa Wetchayanon

กรมวิชาการเกษตร

ปี พ.ศ. 2564

## คำปรารภ

โครงการประเมินผลกระทบจากการใช้วัตถุอันตรายทางการเกษตรในพื้นที่เกษตรกรรม อยู่ภายใต้แผนงานย่อยการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการใช้วัตถุอันตรายทางการเกษตรในพื้นที่เกษตรกรรม แผนงานวิจัยและพัฒนาวิธีการตรวจสอบเพื่อการรับรองมาตรฐานปัจจัยการผลิตและสินค้าพืช มีวัตถุประสงค์ในการตรวจติดตามการปนเปื้อนของสารตกค้างในสิ่งแวดล้อมและความเสี่ยงต่อมนุษย์ และประเมินผลกระทบจากการใช้วัตถุอันตรายทางการเกษตรในพื้นที่เกษตรกรรมที่เกิดจากปัญหาการใช้สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชต่อเนื่องเป็นระยะเวลานาน อาจส่งผลกระทบในระยะยาวทั้งต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม

โครงการประเมินผลกระทบจากการใช้วัตถุอันตรายทางการเกษตรในพื้นที่เกษตรกรรม ได้ศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นในทางลบจากการใช้ป้องกันกำจัดศัตรูพืชในพื้นที่เสี่ยง ได้แก่ พื้นที่ภาคตะวันออกและภาคกลาง รวมถึงแม่น้ำสายสำคัญ ได้แก่ แม่น้ำเจ้าพระยา และแม่น้ำท่าจีน ตรวจวิเคราะห์สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชและประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม รวมทั้งเปรียบเทียบกับมาตรฐานที่กำหนด โดยมีเป้าหมายให้เกษตรกรที่มีส่วนร่วม เกิดความตระหนักรู้ มีจิตสำนึก และมีความระมัดระวังในการใช้สารป้องกันกำจัดศัตรูพืช ทั้งนี้เพื่อให้มีความปลอดภัยต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม ตลอดจนประชาชนผู้บริโภคได้บริโภคอาหารที่ปลอดภัย เกษตรกรมีผลผลิตที่มีคุณภาพและปลอดภัย ซึ่งจะทำให้สามารถจำหน่ายผลผลิตได้มากขึ้น เป็นการเพิ่มรายได้ สร้างความเข้มแข็ง และความมั่นคงทางด้านเศรษฐกิจ รวมถึงประชาชนทั่วไป สถานศึกษา องค์กรเอกชน และหน่วยงานราชการอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง ได้รับรู้ข้อมูลเกี่ยวกับผลกระทบของสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชที่มีต่อสุขภาพ และสิ่งแวดล้อม เป็นการเผยแพร่ข้อมูลในวงกว้าง เกิดความร่วมมือระหว่างภาคส่วนต่าง ๆ เพื่อช่วยลดผลกระทบที่เกิดขึ้น

กรมวิชาการเกษตร

**สารบัญ**

**หน้า**


กิตติกรรมประกาศ..... 5

ผู้วิจัย..... 6

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ..... 7

บทนำ..... 9

บทคัดย่อ..... 11

1. การทดลองที่ 1 การประเมินผลกระทบของสารตกค้างไกลโฟเซต พาราควอต และคลอร์ไพริฟอสในดิน..... 13

2. การทดลองที่ 2 การประเมินผลกระทบของสารตกค้างไกลโฟเซต อะทราซีน และอะลาคลอร์ในดิน..... 21

3. การทดลองที่ 3 การประเมินผลกระทบของสารตกค้างในแม่น้ำเจ้าพระยาและท่าจีน..... 29

4. การทดลองที่ 4 การประเมินผลกระทบจากสารกำจัดวัชพืชพาราควอตตกค้างในไร่ข้าวโพดต่อสุขภาพเกษตรกร..... 40

5. การทดลองที่ 5 การประเมินผลกระทบจากสารกำจัดวัชพืชอะทราซีนตกค้างในไร่ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์..... 51

6. การทดลองที่ 6 การประเมินผลกระทบจากสารกำจัดแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสฟอรัสต่อสุขภาพเกษตรกรในพื้นที่ปลูกผักจังหวัดนครปฐม..... 62

บทสรุปและข้อเสนอแนะ..... 75

บรรณานุกรม..... 76

ภาคผนวก..... 89


กรมวิชาการเกษตร

**กิตติกรรมประกาศ**

ขอขอบคุณ ผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่านที่ให้ความอนุเคราะห์แก่การศึกษาวิจัยทั้งด้านงบประมาณ ข้อมูล ความรู้ต่างๆ ตลอดจนสถานที่เพื่อการศึกษาวิจัย ทำให้โครงการวิจัยสำเร็จลุล่วงด้วยดี อันได้แก่ สำนักงานเกษตรอำเภอหนองม่วง จังหวัดลพบุรี สำนักงานเกษตรอำเภอพุทธบาท และอำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี เกษตรอำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม กรมส่งเสริมการเกษตร ที่ให้ความอนุเคราะห์ประสานงาน และคัดเลือกอาสาสมัครเข้าร่วมโครงการเกษตรกรอำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐมที่ได้ให้เกียรติเข้าร่วมเป็นกลุ่มอาสาสมัคร รวมทั้งเกษตรกรในจังหวัดปราจีนบุรี ระยอง จันทบุรี กาญจนบุรี นครปฐม สุพรรณบุรี สระบุรี และลพบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์พื้นที่ศึกษาวิจัยและข้อมูลประกอบการวิจัย รวมทั้งกลุ่มวิจัยเกษตรเคมี กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร ที่ให้ความอนุเคราะห์ชุดตรวจสอบปริมาณธาตุอาหารในดิน และวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี-ฟิสิกส์ดิน

ขอขอบคุณ สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) ในการสนับสนุนงบประมาณการวิจัย สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณผู้มีส่วนร่วมในทุกการทดลอง ที่ให้ความร่วมมือและการสนับสนุน เป็นผลให้การดำเนินงานในโครงการนี้มีความครบถ้วนและสมบูรณ์ตามเป้าหมายที่ตั้งไว้

กรมวิชาการเกษตร

## ผู้วิจัย


หัวหน้าโครงการวิจัย

| | |
|---|---|
| นางมลิสา เวชยานนท์ | กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร |

หัวหน้าการทดลอง

| | |
|---|---|
| นางสาวพณิชชา เตจ๊ะใจ | กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร |
| นางสาวจันทิมา ผลกอง | กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร |
| นางสาวปภัสรา คุณเลิศ | กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร |
| นางสาวสิริพร เหลืองสุชนกุล | กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร |

ผู้ร่วมวิจัย

| | |
|---|---|
| นายอำนาจ กะฐินเทศ | กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร |
| นายประกิจ จันทร์ติ๊บ | กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร |
| นางผกาสินี คล้ายมาลา | กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร |
| นายวัชระพงศ์ วงศ์สุวรรณ | กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร |


กรมวิชาการเกษตร

## คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

| | |
|---|---|
| % | Percentage |
| λ | Wavelength |
| °C | Degree centrigrade |
| °C/min | Degree centrigrade per minute |
| µg | Microgram |
| µg/L | Microgram per liter |
| µg/mL | Microgram per milliliters |
| µL | Microliter |
| µm | Micrometre |
| µS/cm | Microsiemens per centimeter |
| A° | Angstrom |
| AChE | Acetylcholine esterase |
| ADI | Acceptable daily intake |
| AR | Analytical reagent grade |
| AT | Average time |
| BW | Body weigth |
| C | Concentration |
| cm | Centimeter |
| dw | Dry weight |
| DAPs | Dialkyl phosphates |
| DBP | Dibuthyl phosphate |
| DEP | Diethyl phosphate |
| DETP | Diethyl thiophosphate |
| DMP | Dimethyl phosphate |
| ED | Exposure duration |
| EF | Exposure frequency |
| g | Gram |
| GC | Gas liquid chromatograph |

กรมวิชาการเกษตร

## คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

| | |
|---|---|
| GC-ECD | Gas chromatography with electron capture detector |
| GC-FPD | Gas chromatography with flame photometric detector |
| GC-MSD | Gas chromatography with mass spectrometry detector |
| GC-NPD | Gas chromatography with nitrogen phosphorus detector |
| HPLC | High performance Liquid chromatograph |
| HQ | Hazard quotient |
| IR | Ingestion rate |
| LOD | Limit of determination |
| LOQ | Limit of quantitation |
| Max | Maximum |
| MEC | Measured environment concentration |
| Min | Minimum |
| mg/kg | Milligram per kilogram |
| mg/L | Milligram per liter |
| min | Minute |
| MOE | Margin of exposure |
| pH | Potential of hydrogen |
| PNEC | Predicted no effect concentration |
| PR | Pesticide reagent grade |
| Rfd | Reference dose |
| RQ | Risk quotient |
| Sat[d] | Saturated |
| SChE | Serum choline esterase |
| UHPLC | Ultra high-performance liquid chromatograph |

กรมวิชาการเกษตร

# บทนำ

## ความสำคัญและที่มาของโครงการ

การตกค้างของสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชในสิ่งแวดล้อม มีสาเหตุจากการใช้เพื่อป้องกันกำจัดแมลงศัตรูพืช วัชพืช และโรคพืชในพื้นที่เกษตรกรรม หลังพ่นสาร ละอองของสารจะปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อมในบริเวณรอบ ๆ บางส่วนระเหยไปในบรรยากาศ บางส่วนละลายด้วยน้ำฝนแล้วพาลงสู่ดิน จากนั้นเกิดการชะด้วยน้ำลงสู่แหล่งน้ำต่างๆ สารตกค้างจะเกิดการสลายตัวได้โดยปัจจัยต่าง ๆ ในสิ่งแวดล้อม ได้แก่ จุลินทรีย์ในดิน แสงแดด อุณหภูมิ ความเป็นกรด-ด่างของน้ำ โอกาสที่จะเกิดการปนเปื้อนของสารในสิ่งแวดล้อมจึงมีความแปรปรวนได้จากปัจจัยต่าง ๆ เหล่านี้ การประเมินผลกระทบของสารตกค้างในสิ่งแวดล้อมโดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์จะสามารถทำนายผลกระทบของสารตกค้างในส่วนที่เป็นประโยชน์ต่อการนำไปใช้ตัดสินใจว่าจะเกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและมนุษย์ในระดับใด นำไปสู่การจัดการที่เหมาะสมในระดับนโยบาย เช่น มาตรการเข้มงวดให้มีการใช้สารตามอัตราบนฉลาก การกำหนดความถี่ของการใช้สารต่อฤดูปลูกพืชของเกษตรกร การกำหนดข้อมูลการเว้นระยะเวลาที่ปลอดภัยในการกลับเข้าสู่แปลงปลูกพืช ทั้งนี้เพื่อเป็นการลดความเสี่ยงและความเป็นอันตรายจากการใช้สารเคมีในภาคการเกษตร ที่จะอาจเกิดผลกระทบอย่างร้ายแรงต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม รวมทั้งช่วยลดความเสี่ยงและป้องกันไม่ให้เกิดความสูญเสียทางสังคมและเศรษฐกิจ ได้แก่ สุขภาพอนามัยของผู้บริโภค ปัญหามลพิษในสิ่งแวดล้อม ตลอดจนสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ ในห่วงโซ่อาหาร ซึ่งถือได้ว่ามีสำคัญต่อการพัฒนาประเทศอย่างยิ่ง การศึกษาในโครงการวิจัยนี้จะเป็นการติดตาม เฝ้าระวัง และประเมินผลกระทบที่เกิดจากการใช้สารเคมีภาคเกษตร เพื่อนำไปสู่แนวทางในการจัดการสารเคมีที่เหมาะสมต่อไป

## วัตถุประสงค์

1. ตรวจติดตามการปนเปื้อนของสารตกค้างในสิ่งแวดล้อมและความเสี่ยงต่อมนุษย์
2. ประเมินผลกระทบจากการใช้วัตถุอันตรายทางการเกษตรในพื้นที่เกษตรกรรม

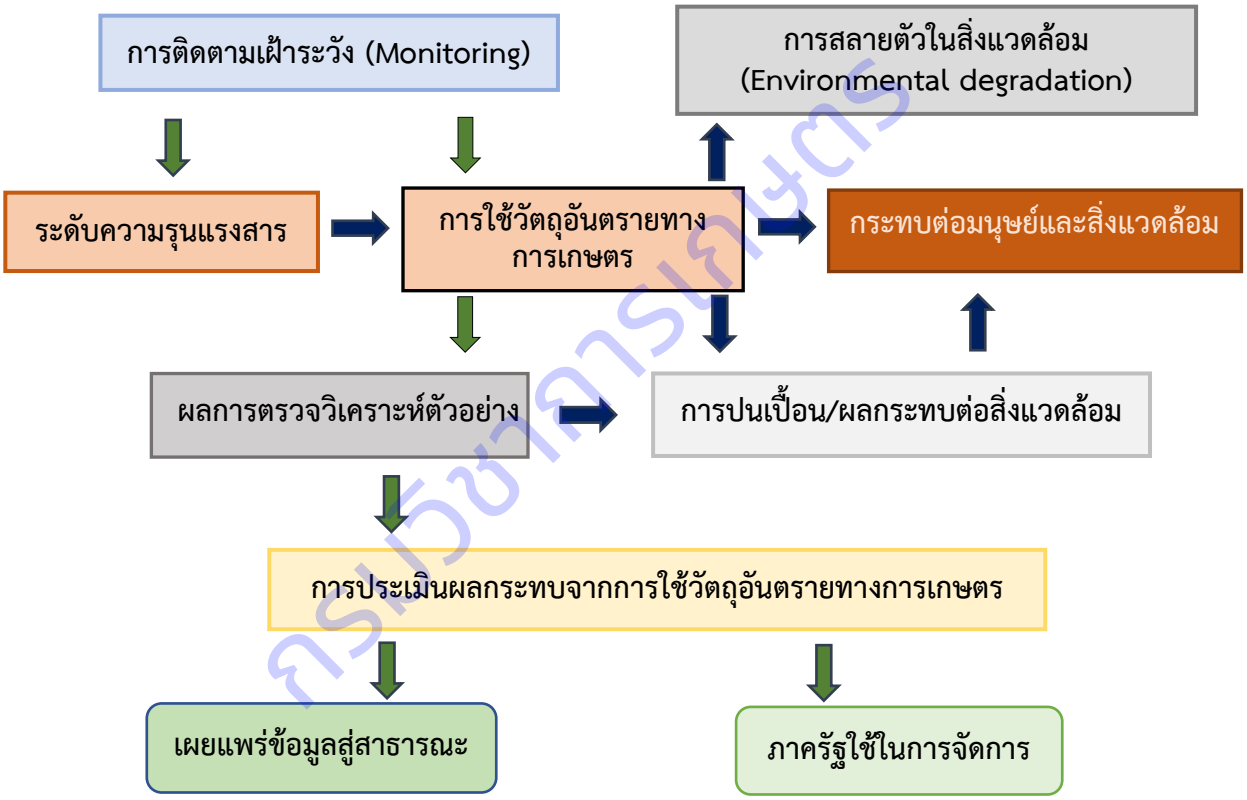
## วิธีการวิจัย

ตรวจวิเคราะห์การปนเปื้อนของสารกำจัดวัชพืชชนิดไกลโฟเซต พาราควอต อะทราซีน และอะลาคลอร์ และสารกำจัดแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสฟอรัสในบริเวณพื้นที่เกษตรกรรม รวมทั้งตรวจวิเคราะห์การปนเปื้อนของสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชชนิดสารป้องกันกำจัดแมลง กำจัดวัชพืช และกำจัดโรคพืชในสิ่งแวดล้อมบริเวณเกษตรกรรมลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยา และท่าจีน ผลการตรวจวิเคราะห์ที่ได้นำไปเทียบกับค่ากำหนดที่ยอมให้มีได้ในดิน (Maximum Contamination Level, MCL) หรือค่ากำหนดที่ยอมให้มีได้ในน้ำ (Maximum Allowable Concentration, MAC) หรือค่ากำหนดมาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อม (Environmental Quality Standard threshold values, EQS) และนำไปประเมินผลกระทบตาม Guideline ที่เหมาะสม เช่น แบบจำลองความเสี่ยงเชิงนิเวศ เพื่อคาดการณ์หรือทำนาย

กรมวิชาการเกษตร

แนวโน้มของผลกระทบที่อาจจะเกิดขึ้นต่อไปในอนาคต รวมทั้งการประเมินผลกระทบของสารตกค้างในสิ่งแวดล้อมและสุขภาพ

ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาจะทำให้เกษตรกร ชุมชน และภาคประชาสังคมเกิดการรับรู้ และตระหนักถึงความเป็นอันตราย และความเสี่ยงของสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชที่มีต่อสุขภาพ และสิ่งแวดล้อม นำไปสู่การร่วมมือกันระหว่างหน่วยงานภาครัฐ ภาคประชาสังคม ชุมชน และเกษตรกรในการหาแนวทางในการลด ป้องกัน และควบคุมความเสี่ยงจากการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชทั้งในระยะสั้นและระยะยาว รวมทั้งออกมาตรการในการใช้สารป้องกันกำจัดศัตรูพืช (pest management) ให้มีความเหมาะสม ปลอดภัย และการบริหารจัดการในเรื่องการจำกัดการใช้หรือการห้ามใช้ต่อไป ตามแผนภาพดังนี้




กรมวิชาการเกษตร

## บทคัดย่อ

การใช้สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชในพื้นที่เกษตรกรรมต่อเนื่องเป็นเวลานาน อาจทำให้เกิดการตกค้างและส่งผลกระทบต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม โครงการประเมินผลกระทบจากการใช้วัตถุอันตรายทางการเกษตรในพื้นที่เกษตรกรรม จึงได้ตรวจวิเคราะห์การปนเปื้อนของสารในพื้นที่เสี่ยง ได้แก่ ภาคตะวันออก (จังหวัดระยอง จันทบุรี ปราจีนบุรี) ภาคกลาง (จังหวัดสุพรรณบุรี นครปฐม กาญจนบุรี สระบุรี และลพบุรี) รวมทั้งลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยา และแม่น้ำท่าจีน ในช่วงฤดูแล้งและฤดูฝน ปี พ.ศ. 2563 - 2564 ประเมินผลกระทบต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม โดยใช้สัดส่วนความเสี่ยง (Hazard quotient; HQ) และค่าความเสี่ยง (Risk quotient; RQ) ตามลำดับ ผลการตรวจวิเคราะห์ตัวอย่างดินในเขตภาคตะวันออก ตัวอย่างดิน 54 ตัวอย่าง พบไกลโฟเซต พาราควอต และคลอร์ไพริฟอส ปริมาณ 0.35 (ร้อยละ 2), 0.22 - 8.47 (ร้อยละ 100) และ <0.01 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ร้อยละ 6) ตามลำดับ ตัวอย่างดิน 130 ตัวอย่างในเขตภาคกลาง พบอะทราซีนและอะลาคลอร์ ปริมาณ <0.01 - 0.45 (ร้อยละ 27) และ <0.01 - 0.02 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ร้อยละ 2) ตามลำดับ ตัวอย่างน้ำจากแม่น้ำเจ้าพระยาพบอะทราซีน ปริมาณ 0.07 - 0.60 ไมโครกรัมต่อลิตร (ร้อยละ 100) ส่วนในแม่น้ำท่าจีนพบอะทราซีนและอะมีทรีน ปริมาณ 0.09 - 0.33 (ร้อยละ 85) และ 0.16 - 0.43 ไมโครกรัมต่อลิตร (ร้อยละ 5) ตามลำดับ พื้นที่อำเภอพุทธบาท จังหวัดสระบุรี พบพาราควอตตกค้างในดิน 26 ตัวอย่าง (ร้อยละ 100) ปริมาณ 1.42 – 11.51 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตัวอย่างดิน 120 ตัวอย่าง น้ำ 40 ตัวอย่าง จากแปลงปลูกข้างโพดเลี้ยงสัตว์พื้นที่อำเภอหนองม่วง จังหวัดลพบุรี อำเภอพุทธบาท และอำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรีพบอะทราซีนตกค้างในดิน ปริมาณ 0.03 - 0.92 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ร้อยละ 37) ตัวอย่างน้ำ พบปริมาณ 0.02 - 91.73 ไมโครกรัมต่อลิตร (ร้อยละ 33) นอกจากนี้จากการสัมภาษณ์เกษตรกรที่อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม พบว่าเกษตรกรมีทัศนคติที่ดีในการใช้สารป้องกันกำจัดแมลงอย่างปลอดภัยและถูกวิธี รวมทั้งมีความรู้ในการปฏิบัติตนสำหรับการใช้สารจากการฝึกอบรมโดยกระทรวงเกษตรกรและสหกรณ์และกระทรวงสาธาณสุข ผลการคัดกรองความเสี่ยงโดยใช้กระดาษทดสอบ AChE พบอาสาสมัคร 35 รายอยู่ในเกณฑ์ไม่ปลอดภัยและมีความเสี่ยง ผลการตรวจวัดระดับการทำงานของ AChE และ SChE ในตัวอย่างเลือดของเกษตรกรในปี พ.ศ. 2563 (20 ราย) และ ปี พ.ศ. 2564 (15 ราย) มีความสอดคล้องกับผลการตรวจจากการใช้กระดาษทดสอบ Cholinesterase ผลการตรวจปัสสาวะของเกษตรกร พบเมตาบอไลท์กลุ่ม DAPs ชนิด DEP, DETP, DMP และ DBP จำนวน 12 ราย (ปี พ.ศ. 2563: 6 ราย, ปี พ.ศ. 2564 6 ราย) ปริมาณ <0.01 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม อย่างไรก็ตามปริมาณสารพิษที่ตรวจพบในพื้นที่ศึกษาทั้งหมดนี้ต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนด ความเสี่ยงต่อสุขภาพอยู่ในระดับต่ำและยอมรับได้ (HQ <1) ส่วนในสิ่งแวดล้อมจากปริมาณสารพิษที่ตรวจพบนั้น พบว่ามีความเสี่ยงเล็กน้อย อยู่ในเกณฑ์ที่ต้องระวังการใช้ (RQ = 1-10) อย่างไรก็ตาม เพื่อเป็นการเฝ้าระวังให้เกิดความปลอดภัย ควรมีการตรวจติดตามวิเคราะห์สารในพื้นที่เสี่ยงนี้ รวมทั้งพื้นที่อื่น ๆ อย่างต่อเนื่องต่อไป

## Abstracts

Long-term continuous use of pesticides may be had cause impacted on health and the environment. This project, Evaluate the Effects of Pesticide Residues on Agricultural Areas was conducted

in the area where pesticides are highly used, in Eastern region (Chanthaburi, Prachin Buri, and Rayong province) and Central region (Kanchanaburi, Nakhon Pathom, Lop Buri, Saraburi, and Suphan Buri province), and in the Chao Phraya and the Tha Chin River. The samples were collected in both dry and wet seasons from 2020 to 2021. Health risks of non-carcinogenic and the environment risk effects were calculated using hazard quotient (HQ) and risk quotient (RQ), respectively. In Eastern region of Thailand, nineteen sites were sampled in total, 54 samples. The results revealed that the concentration of glyphosate, paraquat and chlorpyrifos at 0.35 mg/kg (2%), 0.22 - 8.47 mg/kg (100%) and <0.01 mg/kg (6%), respectively. In Central region of Thailand, a total of 130 samples revealed that the concentration of atrazine and alachlor at <0.01 - 0.45 mg/kg (27%) and <0.01 - 0.02 mg/kg (2%), respectively. Pesticide residues were found in the water samples of the Chao Phraya River as herbicide atrazine at 0.07 - 0.60 µg/L (100%). In the Tha Chin River, pesticide residues were found in water samples as herbicide atrazine and ametryn, the concentrations were detected at 0.09 - 0.33 µg/L (85%) and 0.1 - 0.43 µg/L (5%), respectively. The contamination content of atrazine and ametryn were detected, the residues did not exceed the established standard value. In the maize field in Amphor Nong Muang, Lopburi province, and Amphor Phutthabat and Kaeng Khoi, Saraburi province, the results found that the paraquat residues were detected in 26 soil samples at 1.42 - 11.51 mg/kg (100%). In 120 samples of soil and 40 samples of water were collected from the maize field, the results found that the atrazine residues were detected in soil and water samples at 0.03 - 0.92 mg/kg (37%) and 0.02 - 91.73 µg/L (33%), respectively. Moreover, in Nakhon Pathom province, the data from the questionnaires shown that most of farmer have good attitude on pesticides use and have knowledge about the way to use safety that they were trained by govern segment from Ministry of Agricultural and Cooperatives and Ministry of Public Health. The results from Cholinesterase reactive paper indicated that all 35 famers have in harmful. AChE and SChE in farmer blood in 2020 (20 farmers) and 2021 (15 famers) were accorded to results from Cholinesterase reactive paper and while as metabolites (DAPs) was found in the form of DEP, DETP, DMP and DMTP and in 12 farmers (6 in 20 cases in 2020 and 6 in 15 cases in 2021). However, the contamination content of all pesticides was detected did not exceed the established standard value. Risk assessment shown that low potential risk to human health (HQ <1). In the environment risk assessment shown of concern when the supply volumes increase (RQ = 1-10). Even though in present study, the pesticides were detected in sample below threshold value and low potential health risk. However, the pesticides in the risk area should also be monitored intermittently that require further study.

## การทดลองที่ 1

# การประเมินผลกระทบของสารตกค้างไกลโฟเซต พาราควอต และคลอร์ไพริฟอสในดิน

# Assessing the Impacts of Glyphosate, Paraquat and Chlorpyrifos Residues in Soil

พณิชชา เตจ๊ะใจ วัชระพงศ์ วงษ์สุวรรณ ผกาสินี คล้ายมาลา

Panitcha Taejajai Watcharapong Wongsuwan Pakasinee Klaimala

**คำสำคัญ**

สารพิษตกค้าง ไกลโฟเซต พาราควอต คลอไพริฟอส ดิน

**Key words**

Pesticide residues, Glyphosate, Paraquat, Chlorpyrifos, Soil

กรมวิชาการเกษตร

**บทคัดย่อ**

การใช้ไกลโฟเซต พาราควอต และคลอร์ไพริฟอสต่อเนื่องเป็นระยะเวลานาน อาจมีการตกค้างและส่งผลกระทบต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม การศึกษานี้ได้สุ่มเก็บตัวอย่างดินในแปลงปลูกพืชในเขตภาคตะวันออกพื้นที่จังหวัดระยอง จันทบุรี และปราจีนบุรี ในช่วงฤดูแล้งและฤดูฝน ระหว่างมกราคมถึงกรกฎาคม 2563 รวม 19 แปลง จำนวนตัวอย่างทั้งหมด 54 ตัวอย่าง วิเคราะห์สารตกค้างชนิดไกลโฟเซต พาราควอต และคลอร์ไพริฟอส ด้วยเครื่องลิควิดโครมาโตกราฟ และเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟ รวมทั้งประเมินผลกระทบต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อมโดยใช้สัดส่วนความเสี่ยง (Hazard quotient; HQ) และค่าความเสี่ยง (Risk quotient; RQ) ตามลำดับ ผลการตรวจวิเคราะห์พบไกลโฟเซต พาราควอต และคลอร์ไพริฟอส ปริมาณ 0.35 (ร้อยละ 2), 0.22 - 8.47 (ร้อยละ 100) และ <0.01 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ร้อยละ 6) ตามลำดับ เมื่อนำไปประเมินผลกระทบระยะยาวต่อสุขภาพในเด็กและผู้ใหญ่ และสิ่งแวดล้อมได้ค่า HQ และ RQ ระหว่าง $1.26 \times 10^{-6}$ - $1.50 \times 10^{-3}$ และ 0.42 - 1.22 ตามลำดับ เป็นความเสี่ยงต่อสุขภาพในระดับต่ำที่ยอมรับได้ (HQ <1) ในขณะที่หากมีการใช้สารมากขึ้น อาจมีความเสี่ยงต่อสิ่งแวดล้อม (RQ = 1-10) อย่างไรก็ตาม ปริมาณสารตกค้างที่ตรวจพบในดินนี้ อยู่ในระดับความเสี่ยงต่ำทั้งต่อสุขภาพ และสิ่งแวดล้อม

**Abstracts**

Long-term continuous use of glyphosate, paraquat and chlorpyrifos may be have cause impacted on health and the environment. This study was collected the soil sample in Eastern region of Thailand, Chanthaburi Prachin Buri and Rayong province areas. The samples were collected in

both dry and wet seasons from January to July 2020. Nineteen sites were sampled in total, 54 samples. High performance liquid chromatography and Gas chromatography was used for pesticide analysis including glyphosate paraquat and chlorpyrifos. Health risks of non-carcinogenic and the environment risk effects were calculated using hazard quotient (HQ) and risk quotient (RQ), respectively. The results revealed that the concentration of glyphosate, paraquat and chlorpyrifos were detected at 0.35 mg/kg (2%), 0.22 - 8.47 mg/kg (100%) and <0.01 mg/kg (6%), respectively. Long-term health risk assessment in child and adult were revealed that HQ and RQ in the range of $1.26 \times 10^{-6}$ - $1.50 \times 10^{-3}$ and 0.42 - 1.22, respectively. These concentrations were low detected and acceptable health risk values (HQ <1), while RQ were revealed that the pesticide of concern if supply volumes increase (RQ = 1-10). However, the pesticides were indicated that low potential risk to human health and the environment.

**คำนำ**

ไกลโฟเซต ($C_3H_8NO_5P$) เป็นสารป้องกันกำจัดวัชพืชชนิดดูดซึม (systematic herbicide) ไม่เลือกทำลาย ส่วนพาราควอต ($C_{12}H_{14}Cl_2N_2$) เป็นสารกำจัดวัชพืชชนิดสัมผัสดูดซึมที่ส่วนของใบ ไม่เลือกทำลาย ทำลายเนื้อเยื่อของพืชโดยรบกวนการสังเคราะห์แสง โดยสารทั้งสองชนิดนี้มีการนำเข้ามากที่สุด โดยมีปริมาณสารสำคัญ 26,685,770.12 และ 8,943,828.58 กิโลกรัม ตามลำดับ (สำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร, 2561) ส่วนคลอร์ไพริฟอส ($C_9H_{11}Cl_3NO_3PS$) เป็นสารกำจัดแมลงที่มีการนำเข้ามากที่สุด ปริมาณสารสำคัญ 651,104.51 กิโลกรัม (สำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร , 2562) ความเป็นพิษของไกลเซต อยู่ในระดับต่ำ $LD_{50}$ (rat) >5000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักตัว (Henderson, 2010) มีความคงทนในดินในระดับปานกลาง ค่าครึ่งชีวิตของการสลายตัวในดิน (degradation time; $DT_{50}$) ระหว่าง 1 ถึง 197 วัน (Giesy et al., 2000; Laitinen et al., 2007; Lewis et al., 2016; Bento et al., 2016) สามารถสลายตัวโดยขบวนการย่อยสลาย (oxiredutase) ของแบคทีเรียในดินเป็น aminomethylphosphonic acid (AMPA) (Van et al., 2017) ส่วนพาราควอต มีค่าความเป็นพิษอยู่ในระดับปานกลาง $LD_{50}$ (rat) 58 - 113 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักตัว หากยึดจับในดิน การสลายตัวจะเป็นไปอย่างช้า ๆ มีค่า $DT_{50}$ 7 - 20 ปี แต่หากไม่ถูกยึดจับจะถูกสลายด้วยจุลินทรีย์ดินอย่างรวดเร็ว ซึ่งจะมีค่า $DT_{50}$ <1 สัปดาห์ สำหรับคลอร์ไพริฟอสนั้น มีค่าความเป็นพิษอยู่ในระดับปานกลาง $LD_{50}$ (rat; female) 135 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักตัว มีค่า $DT_{50}$ ในแปลง (soil-incorporate applications) 33 - 56 วัน (Tuner, 2018)

สารกำจัดวัชพืชชนิดไกลโฟเซต พบว่ามีผลกระทบในระยะยาวทำให้เกิดมะเร็งในสัตว์ทดลอง (Chruscielska et al., 2000; Portier et al., 2020) ทั้งนี้ยังไม่เป็นที่แน่ชัดที่จะทำให้เกิดมะเร็งในมนุษย์ (Henderson, 2010) พิษของพาราควอตนั้น เมื่อได้รับสัมผัสจะถูกดูดซึมอย่างช้า ๆ ในทางเดินอาหาร ผิวหนังปกติจะดูดซึมพาราควอตได้น้อย

กรมวิชาการเกษตร

ยกเว้นถ้าผิวหนังมีแผลการดูดซึมจะมากขึ้น โดยจะถูกดูดซึมเข้าไปในเลือด หลังจากนั้นจะกระจายไปอยู่ตามเนื้อเยื่อต่าง ๆ เช่น ตับ ไต และปอด เป็นต้น ในภาวะไตปกติในภาวะปกติ จะถูกขจัดออกทางไตเกือบทั้งหมด ภาวะเป็นพิษจากพาราควอตมักจะมีไตวายร่วมด้วย ทำให้ขับถ่ายสารพิษนี้ออกจากร่างกายไม่ได้ (ศูนย์พิษวิทยา, 2518; Yang et al., 2007; Bonneh-Barkay et al., 2005; Castello et al., 2007) และด้วยคุณสมบัติที่คงทนในดินได้ยาวนานของพาราควอต และการใช้ในปริมาณมากจะทำให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม ทำให้ประเทศออสเตรียสาธารณรัฐเกาหลี (Cha et al., 2016) และประเทศในกลุ่มสหภาพยุโรป ยกเลิกการใช้ (EUR-Lex., 2017) ส่วนคลอร์ไพริฟอสนั้น เป็นพิษสูงต่อนก และต่อไส้เดือนดิน รวมทั้งพบว่ามีผลกระทบต่อระบบประสาท (Christensen et al., 2009)

จากปริมาณการนำเข้า รวมถึงความเป็นพิษของสารเหล่านี้ ทำให้มีความกังวลต่อสุขภาพของผู้รับสัมผัส การตกค้างในสิ่งแวดล้อมและผลกระทบในระยะยาว จึงจำเป็นต้องมีการเฝ้าระวัง โดยตรวจวิเคราะห์ปริมาณการตกค้างในพื้นที่เสี่ยง รวมทั้งประเมินผลกระทบจากปริมาณที่ตกค้างต่อสุขภาพ และสิ่งแวดล้อม ทั้งนี้ เพื่อเป็นการเฝ้าระวังความเป็นอันตรายต่อสุขภาพ และสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการใช้ไกลโฟเซต พาราควอต และคลอร์ไพริฟอส เพื่อนำไปสู่มาตรการจัดการต่อไป

## ระเบียบวิธีการวิจัย

1. ประเด็นวิจัย

ตรวจวิเคราะห์และประเมินผลกระทบที่เกิดจากการใช้สารไกลโฟเซต พาราควอต และคลอร์ไพริฟอสในดินบริเวณพื้นที่เสี่ยงเขตภาคตะวันออก ได้แก่ จังหวัดระยอง จันทบุรี และปราจีนบุรี โดยสุ่มเก็บตัวอย่างดินในแปลงปลูกพืช ตรวจวิเคราะห์สารพิษตกค้างชนิดไกลโฟเซต พาราควอต และคลอร์ไพริฟอส รวมทั้งนำข้อมูลที่ได้มาประเมินผลกระทบต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม

2. สถานที่ทำการวิจัย

2.1 แปลงปลูกพืชในเขตภาคตะวันออก พื้นที่จังหวัดระยอง จันทบุรี และปราจีนบุรี

2.2 ห้องปฏิบัติการกลุ่มวิจัยวัตถุมีพิษการเกษตร กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร

3. ระยะเวลาดำเนินงาน เริ่มต้นตุลาคม 2562 ถึงกันยายน 2563

4. วิธีการดำเนินการ

4.1 วิธีการ

4.1.1 จุดเก็บตัวอย่าง (Sampling sites)

แปลงปลูกมันสำปะหลัง ยางพารา ปาล์มน้ำมัน และทุเรียน ในพื้นที่จังหวัดระยอง จันทบุรี และปราจีนบุรี สุ่มเก็บตัวอย่างดินในช่วงฤดูแล้ง ตั้งแต่วันที่ 20 - 23 มกราคม 2563 และฤดูฝน ตั้งแต่วันที่ 8 - 10 กรกฎาคม 2563 จำนวน 19 แปลง

กรมวิชาการเกษตร

4.1.2 การสุ่มเก็บตัวอย่าง (Sample collection)

เก็บตัวอย่างดินในแปลงปลูกพืชโดยวิธีการสุ่ม (random sampling) (กลุ่มวิจัยวัตถุมีพิษการเกษตร, 2564) โดยถางหญ้าหรือเศษพืชบริเวณที่ต้องการเก็บตัวอย่างออก แล้วใช้พลั่วสแตนเลส ขุดดินเป็นหลุมลึกรูปตัววี (V) ประมาณ 6 - 9 นิ้ว จากผิวดิน อย่างน้อย 7 - 10 จุด รวมให้ได้น้ำหนักประมาณ 2 กิโลกรัม เก็บใส่ถุงพลาสติก ติดฉลาก รักษาสภาพตัวอย่างในถังบรรจุน้ำแข็ง (4 องศาเซลเซียส) ระหว่างนำส่งห้องปฏิบัติการ จำนวนตัวอย่างทั้ง 2 ฤดู รวมทั้งหมด 54 ตัวอย่าง

4.1.3 การสกัดตัวอย่าง (Sample preparation)

หาความชื้นในตัวอย่างดิน (Back, 1965) เพื่อหาน้ำหนักดินแห้งสุทธิ (dry weigh; dw) โดยชั่งตัวอย่างดิน 50 กรัม บันทึกน้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ และหลังอบ 24 ชั่วโมง นำไปคำนวณความชื้นและน้ำหนักดินแห้ง สกัดสารพิษตกค้างชนิดไกลโฟเซต (Sun et al., 2017) พาราควอต (Robinson, 2006) และคลอร์ไพริฟอส (AOAC, 2016)

4.1.4 การวิเคราะห์สารตกค้าง (Sample analysis)

4.1.4.1 เตรียมสารละลาย stock standard solution ของสารพิษแต่ละชนิดให้มีความเข้มข้นประมาณ 1000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร เตรียม Intermediate standard solution ให้ได้ความเข้มข้นอยู่ในช่วง 20 - 80 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร และเตรียม working standard solution ที่ 5 ระดับความเข้มข้นของไกลโฟเซต พาราควอต และคลอร์ไพริฟอส ประมาณ 0.10 - 2.00, 0.02 - 2.00 และ 0.10 - 4.00 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ

4.1.4.2 ปรับสภาพการทำงานของเครื่อง HPLC และ GC เพื่อตรวจวิเคราะห์สารในแต่ละชนิดดังนี้

1) ตรวจวิเคราะห์สารพิษชนิดไกลโฟเซตปรับสภาพการใช้เครื่อง HPLC ดังนี้

Column : BDS Hypersil™ C18, 250 mm x 4.6 mm, particle size 5 μm, pore size 130 A°

Detector : Fluorescence

Excitation wavelength, $\lambda_{ex}$ : 270 nm, Emission wavelength, $\lambda_{em}$ : 315 nm

Column temperature : 40 °C, Injection volume : 20 µL

Run time : 14 min

Gradient cretic system :

| Time (min) | Mobile phase (Ratio) | | Flow rate |
|---|---|---|---|
| | 50mM $KH_2PO_4$ (pH = 5.50) | acetonitrile | |
| 0 | 70 | 30 | 0.7 |
| 5 | 50 | 50 | 0.7 |
| 8 | 20 | 80 | 0.7 |
| 10 | 70 | 30 | 0.7 |

กรมวิชาการเกษตร

2) ตรวจวิเคราะห์สารพิษชนิดพาราควอตปรับสภาพการใช้เครื่อง HPLC ดังนี้

Column : Primesep AB® ชนิด zwitterionic reversed-phase, 150 mm x 4.6 mm, particle size 5 μm, pore size 100 A°

Detector : diode array, Wavelength, $\lambda$ : 258 nm

Column temperature : 40 °C, Injection volume : 20 μL

Run time : 5 min

Isocratic system : 250 mM ammonium formate ($NH_4HCO_2$) (pH 3.7): acetonitrile ($C_2H_3N$) (80:20)

Flow rate : 1 mL/min

3) ตรวจวิเคราะห์สารพิษชนิดคลอร์ไพริฟอสปรับสภาพการใช้เครื่อง GC ดังนี้

Column : DB-5, 30 m length x 0.25 mm id. x 0.25 μm film thickness

Detector : FPD, Injection mode : splitless

Temperature conditioning : injector = 230 °C, detector = 250 °C

Oven program : 85 °C (2 min) $\xrightarrow{25°C/min}$ 150 °C (0 min) $\xrightarrow{2°C/min}$ 190 °C (0 min) $\xrightarrow{3°C/min}$ 220 °C (0 min) $\xrightarrow{3°C/min}$ 250 °C (2 min)

Carrier gas : helium flow 1.4 mL/min

Ignite gas : hydrogen 150 mL/min, air 110 mL/min

Injection volume : 1 μL, run time: 46.60 min

4.1.4.3 การคำนวณปริมาณสารตกค้าง

ปริมาณสารพิษตกค้างในตัวอย่างคำนวณจาก

$$C = \frac{(R_x - B_0)}{A_0} \times \frac{V}{W} \times D$$

เมื่อ C คือ ความเข้มข้นของสารพิษในตัวอย่าง (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม), $R_x$ คือ response (area หรือ height) ของสารพิษในตัวอย่าง, $B_0$ คือ intercept ของ calibration curve, $A_0$ คือ slope ของ calibration curve (มิลลิลิตรต่อกรัม), V คือ ปริมาตรสุดท้ายของสารละลายตัวอย่าง (มิลลิลิตร), W คือ น้ำหนักตัวอย่างดินแห้ง (กรัม) และ D คือ dilution factor

4.1.5 การประเมินผลกระทบต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม

4.1.5.1 การประเมินผลกระทบต่อสุขภาพ

กรมวิชาการเกษตร

ใช้สมการทางคณิตศาสตร์ คาดการณ์หรือทำนายแนวโน้มของผลกระทบที่อาจจะเกิดขึ้น เพื่อบ่งชี้ระดับความเป็นอันตรายของสารพิษ ใช้สูตรคำนวณค่า Hazard quotient (HQ) (U.S. EPA, 2011) ดังนี้

$$HQ = ADI/RfD$$

เมื่อ ADI (average daily intake) คือ ปริมาณสารพิษเข้าสู่ร่างกายอย่างต่อเนื่องต่อน้ำหนักตัวกิโลกรัม, RfD (reference dose of the contaminant) คือ ปริมาณสารที่รับเข้าสู่ร่างกายได้ทุกวัน โดยไม่ทำให้เกิดความผิดปกติใด ๆ ต่อสุขภาพอนามัย โดยค่า ADI คำนวณจาก

$$ADI = (C \times IR \times EF \times ED)/(BW \times AT)$$

เมื่อ C คือ ความเข้มข้นเฉลี่ยสารพิษที่ตรวจวิเคราะห์ในตัวอย่าง (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม), IR คือ อัตราการรับสัมผัส (กิโลกรัมต่อวัน), EF คือ ความถี่ของการสัมผัส (วันต่อปี), ED คือ ระยะเวลาที่สัมผัส (ปี), BW คือ น้ำหนักของร่างกาย (กิโลกรัม); เด็ก (Child) อายุ 6 ปี (น้ำหนักเฉลี่ย 33.38 กิโลกรัม) และผู้ใหญ่ (Adult) อายุ 70 ปี (น้ำหนักเฉลี่ย 55.77 กิโลกรัม) (มกอช., 2559), AT คือ ระยะเวลาที่ใช้เฉลี่ย (วัน) การแปรผลจากค่าที่คำนวณได้ HQ ≥1 แสดงว่า มีผลกระทบหรือมีความเสี่ยงต่อสุขภาพ

4.1.5.2 การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

ประเมินผลกระทบในระยะยาวต่อมีชีวิตในดินชนิด earthworm (ECB, 2003; ECHA, 2008) จากค่าความเสี่ยง (Risk quotient; RQ)

$$RQ = MEC/PNEC$$

เมื่อ MEC (measured environment concentration) คือ ความเข้มข้นของสารในสิ่งแวดล้อม (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม), PNEC (predicted no effect concentration) คือ ความเข้มข้นสูงสุดของสารที่ไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิต (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) (assessment factor เท่ากับ 10) ค่า RQ <1 คือ ไม่มีความเสี่ยงต่อสิ่งแวดล้อม (No immediate concern), RQ = 1-10 คือ มีความเสี่ยงต่อสิ่งแวดล้อมเล็กน้อย แต่หากมีการเพิ่มปริมาณสารพิษที่ใช้ ต้องคำนึงถึงความเสี่ยงมากขึ้น (Of concern if supply volumes increase), RQ = 10-100 คือ มีความเสี่ยง ต้องทำการลดความเสี่ยง (Further data require), RQ >100 คือ มีความเสี่ยงมากและจำเป็นต้องลดความเสี่ยงนั้นทันที (Reduce risk immediate)

4.1.6 การควบคุมคุณภาพผลการทดสอบ (Quality assurance)

4.1.6.1 ทดสอบความเป็นเส้นตรงของสารละลายของสารมาตรฐานที่ใช้ทดสอบที่ 5 ระดับความเข้มข้น ได้ค่า correlation coefficient อยู่ระหว่าง 0.997 - 0.999 (เกณฑ์การยอมรับ ≥0.995)

4.1.6.2 ในแต่ละชุดของการทดสอบ ทำการทดสอบ reagent blank, sample blank (<3 S/N) และหาค่าการได้กลับคืนมาของสาร (%recovery; 70 - 120 %) (SANTE/12682, 2019) โดยได้ค่า %recovery อยู่ในช่วง 79 - 94% ค่าความเข้มข้นต่ำสุดของสารในตัวอย่างที่วิธีทดสอบสามารถตรวจวิเคราะห์ได้ (Limit of Detection; LOD) อยู่ในช่วง 0.001 - 0.05 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ค่าความเข้มข้นต่ำสุดของสารในตัวอย่างที่วิธีทดสอบสามารถ

กรมวิชาการเกษตร

ตรวจวิเคราะห์ได้อย่างถูกต้อง (Limit of Quantitation; LOQ) ของไกลโฟเซต พาราควอต และคลอร์ไพริฟอส เท่ากับ 0.17, 0.10 และ 0.01 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

## ผลการวิจัยและอภิปราย

จากการสุ่มเก็บตัวอย่างดินในแปลงปลูกมันสำปะหลัง ยางพารา ปาล์มน้ำมัน และทุเรียน ในเขตภาคตะวันออกพื้นที่จังหวัดระยอง จันทบุรี และปราจีนบุรี ช่วงฤดูแล้งรวมจำนวนตัวอย่างทั้งหมด 27 ตัวอย่าง พบการตกค้างของพาราควอต 27 ตัวอย่าง (ร้อยละ 100) ปริมาณ 0.22 - 8.47 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ไกลโฟเซต 1 ตัวอย่าง (ร้อยละ 4) 0.35 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ คลอร์ไพริฟอส 1 ตัวอย่าง (ร้อยละ 4) <0.01 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ผลการตรวจวิเคราะห์ความเป็นกรด-ด่างในดิน พบตัวอย่างดินมีค่า pH อยู่ในตั้งแต่ระดับกรดรุนแรงมาก (pH 3.5 - 4.4) ถึงระดับด่างอ่อน (pH 7.4 - 7.8) ซึ่งพาราควอตมีความคงทนได้ดีในสภาพดินเหนียวและคุณสมบัติที่มีขั้วทำให้ยึดจับกับอินทรียวัตถุในดินได้ดี (Constenla et al.,1990) ผลการตรวจวิเคราะห์สารพิษตกค้างในตัวอย่างดินช่วงฤดูฝน พบพาราควอตตกค้าง จำนวน 26 ตัวอย่าง (ร้อยละ 96) ปริมาณ 0.18 - 4.17 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และคลอร์ไพริฟอส ปริมาณ <0.01 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จำนวน 2 ตัวอย่าง (ร้อยละ 7 ) (ตารางที่ 1) สอดคล้องกับการตรวจพบสารตกค้างพาราควอต และคลอร์ไพริฟอสในดินแปลงนาพื้นที่จังหวัดกาฬสินธุ์ที่มีการใช้สารอย่างต่อเนื่อง (นัฐวุฒิและคณะ, 2557) อย่างไรก็ตาม แม้จากการสอบถามเกษตรกรเกี่ยวกับการใช้สารชนิดไกลโฟเซตที่ให้ข้อมูลว่ามีการใช้อย่างต่อเนื่อง แต่ตรวจพบการตกค้างในดินปริมาณค่อนข้างต่ำนั้น ด้วยแบคทีเรียในดินสามารถย่อยสลาย และเปลี่ยนรูปสาร (Van et al., 2017) จึงทำให้ตรวจพบปริมาณไกลโฟเซตต่ำ

**ตารางที่ 1** ปริมาณสารพิษตกค้างในดิน

| Total sample | Pesticides | Dry season | | Rainy season | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Positive sample | Conc. (mg/kg) | Positive sample | Conc. (mg/kg) |
| 54 | glyphosate | 1 | 0.35 | ND | ND |
| | paraquat | 27 | 0.22 - 8.47 | 26 | 0.18 - 4.17 |
| | chlorpyrifos | 1 | <0.01 | 2 | <0.01 |

**หมายเหตุ** : ND (Not detected) หมายถึง ตรวจไม่พบ

การประเมินความเสี่ยงต่อเกษตรกรผู้รับสัมผัส และสิ่งแวดล้อม จากปริมาณพาราควอตที่พบมากที่สุดในฤดูแล้ง และฤดูฝน เท่ากับ 8.47 และ 4.17 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และปริมาณไกลโฟเซตที่พบมากที่สุดในฤดูแล้ง เท่ากับ 0.35 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมนั้น เมื่อนำไปประเมินความเสี่ยงต่อเกษตรกรผู้รับสัมผัส และสิ่งแวดล้อม พบว่าทั้งพาราควอตและไกลโฟเซตมีความเสี่ยงระยะยาวต่อสุขภาพทั้งเด็ก และผู้ใหญ่อยู่ในระดับต่ำ และยอมรับได้ ในด้านสิ่งแวดล้อมพบว่าพาราควอตไม่มีความเสี่ยงต่อสิ่งแวดล้อม (ตารางที่ 2) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Poranee et al. (2012) เกี่ยวกับการตกค้างพาราควอตในแม่น้ำจันทบุรีและพื้นที่ข้างเคียงที่ได้สุ่มเก็บตัวอย่างน้ำ และดิน นำมา

กรมวิชาการเกษตร

ตรวจวิเคราะห์พาราควอต และประเมินผลกระทบต่อสุขภาพ และสิ่งแวดล้อม พบว่า มีค่า HQ และ RQ <1 และการศึกษาของ Curry et al. (1970) และ Riley et al. (1976) พบว่าเมื่อใช้พาราควอตที่ระดับความเข้มข้นปกติถึงระดับมากกว่าที่ประมาณ 32 เท่า ไม่ก่อให้เกิดอันตรายหรือผลกระทบต่อการดำเนินชีวิตของสัตว์ในดิน ส่วนไกลโฟเซตมีความเสี่ยงต่อสิ่งแวดล้อมเล็กน้อย แต่หากมีการเพิ่มปริมาณการใช้ อาจจะมีความเสี่ยงเพิ่มขึ้น ซึ่งคณะกรรมวัตถุอันตรายได้มีมติเมื่อวันที่ 23 พฤษภาคม 2561 ให้ไกลโฟเซตเป็นสารกำจัดวัชพืชที่จำกัดการใช้ โดยให้ระบุคำเตือนไว้ข้างฉลาก รวมถึงผู้พ่นจะต้องผ่านการอบรม และมีใบอนุญาตจึงจะสามามารถปฏิบัติงาน และกำหนดวัตถุอันตรายพาราควอต และคลอร์ไพริฟอส เป็นวัตถุอันตรายชนิดที่ 4 ห้ามผลิต นำเข้า ส่งออก หรือมีไว้ในครอบ โดยมีผลบังคับตั้งแต่วันที่ 1 มิถุนายน 2563 เป็นต้นไป (ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม, 2563)

**ตารางที่ 2** ผลการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ (HQ) ของสารพิษตกค้างต่อผู้รับสัมผัส และสิ่งแวดล้อม (RQ)

| Pesticides | Conc. (mg/kg) (min - max) | Hazard quotient (HQ) Dry season Child | Dry season Adult | Rainy season Child | Rainy season Adult | Risk | Risk quotient (RQ) Dry season | Rainy season | Risk |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| glyphosate | ND - 0.35 | $4.02 \times 10^{-6}$ | $1.26 \times 10^{-6}$ | - | - | accept | 1.22 | - | of concern if supply volumes increase |
| paraquat | 0.18 - 8.47 | $9.73 \times 10^{-3}$ | $3.04 \times 10^{-3}$ | $4.79 \times 10^{-3}$ | $0.50 \times 10^{-3}$ | accept | 0.85 | 0.42 | no immediate concern |

**หมายเหตุ** : ND (Not detected) หมายถึง ตรวจไม่พบ,

HQ <1: ยอมรับได้ (acceptable risk), HQ ≥1: มีความเสี่ยง (risk), เด็ก (Child) อายุ 6 ปี (น้ำหนักเฉลี่ย 33.38 กิโลกรัม) และผู้ใหญ่ (Adult) อายุ 70 ปี (น้ำหนักเฉลี่ย 55.77 กิโลกรัม) (มกอช., 2559),

RQ <1: ไม่มีความเสี่ยงต่อสิ่งแวดล้อม (No immediate concern), RQ = 1-10: มีความเสี่ยงต่อสิ่งแวดล้อมเล็กน้อย แต่หากมีการเพิ่มปริมาณสารพิษที่ใช้ ต้องคำนึงถึงความเสี่ยงมากขึ้น (Of concern if supply volumes increase), RQ = 10-100: มีความเสี่ยง ต้องทำการลดความเสี่ยง (Further data require), RQ >100: มีความเสี่ยงมากและจำเป็นต้องลดความเสี่ยงนั้นทันที (Reduce risk immediate)

กรมวิชาการเกษตร

## สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ไกลโฟเซต พาราควอต และคลอร์ไพริฟอสที่พบตกค้างในแปลงปลูกพืชเขตภาคตะวันออกพื้นที่จังหวัดระยอง จันทบุรี และปราจีนบุรี ต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดให้มีได้ในดิน ผลกระทบต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อมอยู่ในระดับความเสี่ยงที่ยอมรับได้ อย่างไรก็ตาม หากมีการใช้สารเกินอัตราที่แนะนำ การตกค้างและความเสี่ยงอาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพ และสิ่งแวดล้อมได้ ฉะนั้นเพื่อให้สุขภาพ และสิ่งแวดล้อมมีความปลอดภัยจะต้องปฏิบัติตามคำแนะนำการใช้สารด้วยความถูกต้อง และเหมาะสม รวมถึงจะต้องมีการเฝ้าระวังการใช้อย่างต่อเนื่อง

**การทดลองที่ 2**

# การประเมินผลกระทบของสารตกค้างไกลโฟเซต อะทราซีน และอะลาคลอร์ในดิน
# Assessing the Impacts of Glyphosate, Atrazine and Alachlor Residues in Soil

มลิสา เวชยานนท์ จันทิมา ผลกอง สิริพร เหลืองสุชนกุล
Malisa Wetchayanon Jantima Phonkong Siriporn Luengsuchonkul

**คำสำคัญ**
สารพิษตกค้าง ไกลโฟเซต อะทราซีน อะลาคลอร์ ดิน

**Key words**
Pesticide residues, Glyphosate, Atrazine, Alachlor, Soil

กรมวิชาการเกษตร

**บทคัดย่อ**

การใช้สารกำจัดวัชพืชไกลโฟเซต อะทราซีน และอะลาคลอร์ต่อเนื่องเป็นระยะเวลานาน อาจมีการตกค้าง รวมถึงส่งผลกระทบต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม การศึกษานี้ได้สุ่มเก็บตัวอย่างดินในแปลงปลูกพืชที่มีการใช้สารในเขตภาคกลางพื้นที่จังหวัดสุพรรณบุรี นครปฐม กาญจนบุรี สระบุรี และลพบุรีในช่วงฤดูแล้งและฤดูฝน ระหว่างกุมภาพันธ์ถึงกรกฎาคม 2564 รวม 34 แปลง จำนวนตัวอย่างรวมทั้งหมด 130 ตัวอย่าง วิเคราะห์สารตกค้างชนิดสารกำจัดวัชพืชไกลโฟเซต อะทราซีน และอะลาคลอร์ด้วยเครื่องลิควิดโครมาโตกราฟ และเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟ รวมทั้งประเมินผลกระทบต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม โดยใช้สัดส่วนความเสี่ยง (Hazard quotient; HQ) และค่าความเสี่ยง (Risk quotient; RQ) ผลการตรวจวิเคราะห์พบอะทราซีนและอะลาคลอร์ ปริมาณ <0.01 - 0.45 (ร้อยละ 27) และ <0.01 - 0.02 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ร้อยละ 2) ตามลำดับ โดยปริมาณที่ตรวจพบนี้ ต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดให้มีได้ในดิน และเมื่อนำไปประเมินผลกระทบต่อสุขภาพในเด็กและผู้ใหญ่ และผลกระทบในระยะยาวต่อสิ่งแวดล้อม ได้ค่า HQ และ RQ เท่ากับ $3.59 \times 10^{-6}$ - $7.39 \times 10^{-5}$ และ 0.01 - 0.05 ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ปริมาณตกค้างในดินอยู่ในระดับความเสี่ยงต่ำและยอมรับได้ (HQ และ RQ <1)

**Abstracts**

Long-term continuous use of glyphosate atrazine and alachlor may be have cause impacted on health and residue in the environment. This study was conducted to crop soil sampling in Central region of Thailand, Kanchanaburi, Nakhon Pathom, Lop Buri, Saraburi and Suphan Buri province areas.

The samples were collected in both dry and wet seasons from February to July 2021. Thirty - four sites were sampled in total, 130 samples. High performance liquid chromatograph and Gas chromatography was used for pesticide analysis including glyphosate, atrazine and alachlor. Health risks of non-carcinogenic and environment risk effects were calculated using hazard quotient (HQ) and risk quotient (RQ). The results revealed that the concentration of atrazine and alachlor were detected at <0.01 - 0.45 mg/kg (27%) and <0.01 - 0.02 mg/kg (2%), respectively. These concentrations of pesticide were detected less than the environmental quality standard of pesticide in soil (Announcement of the National Environment Committee). Long-term heath risk assessment in child and adult were revealed that HQ and RQ in the range $3.59 \times 10^{-6}$ - $7.39 \times 10^{-5}$ and 0.01 - 0.05, respectively. However, the pesticides had low potential risk to human health and the environment (HQ and RQ <1).

**คำนำ**

ไกลโฟเซต ($C_3H_8NO_5P$) เป็นสารป้องกันกำจัดวัชพืชชนิดดูดซึม (systematic herbicide) แบบไม่เลือกทำลาย ส่วนอะทราซีน ($C_8H_{14}ClN_5$) เป็นสารป้องกันกำจัดวัชพืชชนิดดูดซึม แบบเลือกทำลาย ใช้ก่อนวัชพืชงอก (pre-emergence) และหลังวัชพืชงอกในระยะเริ่มต้น (early post-emergence) และอะลาคลอร์ ($C_{14}H_{20}ClNO_2$) เป็นสารป้องกันกำจัดวัชพืชชนิดดูดซึม แบบเลือกทำลายประเภทใบแคบ และใบกว้าง ใช้ก่อนวัชพืชงอก (Turner, 2018) ในปี 2563 มีปริมาณการนำเข้าไกลโฟเซตมากที่สุด โดยมีปริมาณสารสำคัญ 5,870,488.36 กิโลกรัม ส่วนอะทราซีนและอะลาคลอร์ มีปริมาณการนำเข้าสารสำคัญ 2,735,030.56 และ 303,717.15 กิโลกรัม ตามลำดับ (สำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร, 2563) ความเป็นพิษของไกลเซต อยู่ในระดับต่ำ $LD_{50}$ (หนู) >5000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักตัว (Henderson, 2010) มีความคงทนในดินในระดับปานกลาง ค่าครึ่งชีวิตของการสลายตัวในดิน (degradation time; $DT_{50}$) ระหว่าง 1 ถึง 197 วัน (Giesy et al., 2000; Laitinen et al., 2007; Lewis et al., 2016; Bento et al., 2016) สามารถสลายตัวโดยขบวนการย่อยสลาย (oxiredutase) ของแบคทีเรียในดิน เปลี่ยนเป็น aminomethylphosphonic acid (AMPA) (Van et al., 2018) ส่วนอะทราซีน มีค่า $LD_{50}$ (หนู; ชนิดสารเข้มข้น) 1870 - 3090 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักตัว (Turner, 2018) ค่าครึ่งชีวิตในดิน (pH 4) 15.6 วัน (ประกิจและคณะ, 2556) และอะลาคลอร์มีค่าความเป็นพิษในระดับปานกลาง $LD_{50}$ (หนู) 930 - 1350 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักตัว ค่า $DT_{50}$ >17.1 วัน (ดินร่วนปนทราย, pH 7.5) (Turner, 2018)

สารกำจัดวัชพืชชนิดไกลโฟเซต พบว่ามีผลกระทบในระยะยาวทำให้เกิดมะเร็งในสัตว์ทดลอง (Chruscielska et al., 2000; Portier et al., 2020) ทั้งนี้ยังไม่เป็นที่แน่ชัดที่จะทำให้เกิดมะเร็งในมนุษย์ (Henderson, 2010) พิษของอะทราซีนนั้น เมื่อได้รับที่ความเข้มข้นสูง จะเกิดอาการคลื่นเหียน อาเจียน ท้องร่วง กล้ามเนื้อล้า และน้ำลายฟูม

กรมวิชาการเกษตร

ปาก รวมทั้งเป็นสารรบกวนการทำงานของต่อมไร้ท่อ (endocrine disruptor chemical; EDC) ทำให้เกิดมลภาวะทางฮอร์โมนเพศ (sex-hormone pollution) เกิดพฤติกรรมเบี่ยงเบนทางเพศ มีผลกระทบต่อระบบสืบพันธุ์ในสัตว์ทดลอง (Song et al., 2014) ส่วนอะลาคลอร์ ถูกจัดให้อยู่ในกลุ่มสารที่เฝ้าระวังและเชื่อได้ว่าก่อให้เกิดมะเร็งหากมีการใช้ในปริมาณสูง (U.S. EPA, 1998; Catherine et al., 2018)

จากปริมาณการนำเข้า รวมถึงความเป็นพิษของสาร ทำให้มีความกังวลต่อสุขภาพของผู้รับสัมผัส การตกค้างในสิ่งแวดล้อมและผลกระทบในระยะยาว ซึ่งจะต้องมีการเฝ้าระวัง โดยตรวจวิเคราะห์ปริมาณการตกค้างในพื้นที่เสี่ยง รวมทั้งประเมินผลกระทบจากปริมาณที่ตกค้างต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม ทั้งนี้ เพื่อเป็นการเฝ้าระวังความเป็นอันตรายต่อสุขภาพ และสิ่งแวดล้อมที่เกิดจาการใช้ไกลโฟเซต อะทราซีน และอะลาคลอร์ เพื่อนำไปสู่การบริหารการจัดการเกี่ยวกับการจำกัดการใช้ การเข้มงวด และการยกเลิกการใช้ต่อไป

## ระเบียบวิธีการวิจัย

1. ประเด็นวิจัย

ตรวจวิเคราะห์และประเมินผลกระทบที่เกิดจากการใช้สารไกลโฟเซต อะทราซีน และอะลาคลอร์ในดินบริเวณพื้นที่เสี่ยงในเขตภาคกลาง ได้แก่ จังหวัดสุพรรณบุรี นครปฐม กาญจนบุรี สระบุรี และลพบุรี โดยสุ่มเก็บตัวอย่างดินในแปลงปลูกพืช ตรวจวิเคราะห์สารพิษตกค้างชนิดไกลโฟเซต อะทราซีน และอะลาคลอร์ รวมทั้งนำข้อมูลที่ได้มาประเมินผลกระทบต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม

2. สถานที่ทำการวิจัย

2.1 แปลงปลูกพืชในเขตภาคกลาง ได้แก่ พื้นที่จังหวัดสุพรรณบุรี นครปฐม กาญจนบุรี ลพบุรี และสระบุรี

2.2 สกัดและทดสอบตัวอย่างที่ห้องปฏิบัติการกลุ่มวิจัยวัตถุมีพิษการเกษตร กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร

3. ระยะเวลาดำเนินงาน เริ่มต้นตุลาคม 2563 ถึงกันยายน 2564

4. วิธีการดำเนินการ

4.1 วิธีการ

4.1.1 จุดเก็บตัวอย่าง (Sampling sites)

แปลงปลูกพืชในพื้นที่จังหวัดสุพรรณบุรี นครปฐม กาญจนบุรี สระบุรี และลพบุรี สุ่มเก็บตัวอย่างดินในช่วงฤดูแล้ง (กุมภาพันธ์ - มีนาคม 2564) และฤดูฝน (มิถุนายน - กรกฎาคม 2564) จำนวน 34 แปลง

4.1.2 การสุ่มเก็บตัวอย่าง (Sample collection)

เก็บตัวอย่างดินในแปลงปลูกพืชโดยวิธีการสุ่ม (random sampling) (กลุ่มวิจัยวัตถุมีพิษการเกษตร, 2564) โดยถางหญ้าหรือเศษพืชบริเวณที่ต้องการเก็บตัวอย่างออก แล้วใช้พลั่วสแตนเลสขุดดินเป็นหลุมลึกรูปตัววี (V)

กรมวิชาการเกษตร

ประมาณ 6 - 9 นิ้วจากผิวดิน สุ่มเก็บอย่างน้อย 7 - 10 จุด รวมให้ได้น้ำหนักประมาณ 2 กิโลกรัม ใส่ถุงพลาสติก ติดฉลาก เก็บรักษาสภาพในถังน้ำแข็ง (4 องศาเซลเซียส) ระหว่างนำส่งห้องปฏิบัติการ จำนวนตัวอย่างรวมทั้งหมด 130 ตัวอย่าง

4.1.3 การสกัดตัวอย่าง (Sample preparation)

หาความชื้นในตัวอย่างดิน (Back, 1965) เพื่อหาน้ำหนักดินแห้งสุทธิ (dry weigh; dw) โดยชั่งตัวอย่างดิน 50 กรัม บันทึกน้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ และหลังอบ 24 ชั่วโมง นำไปคำนวณความชื้นและน้ำหนักดินแห้ง สกัดสารพิษตกค้างในชนิดไกลโฟเซต และอนุพันธ์ (Sun et al., 2017) อะทราซีน และอะลาคลอร์ (AOAC, 2016)

4.1.4 การวิเคราะห์สารตกค้าง (Sample analysis)

4.1.4.1 เตรียมสารละลาย stock standard solution ของสารพิษแต่ละชนิดให้มีความเข้มข้นประมาณ 1000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร เตรียม Intermediate standard solution ให้ได้ความเข้มข้นอยู่ในช่วง 20 - 80 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร และเตรียม working standard solution ที่ 5 ระดับความเข้มข้นของสารไกลโฟเซต อะทราซีน และอะลาคลอร์ มีความเข้มข้นประมาณ 0.10 - 2.00, 0.02 - 1.50 และ 0.01 – 0.50 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ

4.1.4.2 ปรับสภาพการทำงานของเครื่อง HPLC และ GC เพื่อตรวจวิเคราะห์สารในแต่ละชนิดดังนี้

1) ตรวจวิเคราะห์สารพิษชนิดไกลโฟเซตและอนุพันธ์ ปรับสภาพการใช้เครื่อง HPLC ดังนี้

Column : BDS Hypersil™ C18, 250 mm x 4.6 mm, particle size 5 μm, pore size 130 A°

Detector : fluorescence

Excitation wavelength, λex : 270 nm, Emission wavelength, λem: 315 nm

Column temperature : 40 °C, Injection volume : 20 µL

Run time : 14 min

Gradient cretic system:

| Time (min) | Mobile phase (Ratio) | | Flow rate |
|---|---|---|---|
| | 50mM $KH_2PO_4$ (pH = 5.50) | acetonitrile | |
| 0 | 70 | 30 | 0.7 |
| 5 | 50 | 50 | 0.7 |
| 8 | 20 | 80 | 0.7 |
| 10 | 70 | 30 | 0.7 |

2) ตรวจวิเคราะห์สารพิษชนิดอะทราซีน ปรับสภาพการใช้เครื่องดังนี้

Column : DB-35, 30 m length x 0.25 mm id. x 0.25 µm film thickness

Detector : NPD, Injection mode : pulsed splitless

Temperature conditioning : injector = 230 °C, detector = 300 °C

กรมวิชาการเกษตร

Oven program : 55°C (1 min) $\xrightarrow{10°C/min}$ 195°C (2 min) $\xrightarrow{10°C/min}$ 230°C (1 min) $\xrightarrow{20°C/min}$ 250°C (1 min) $\xrightarrow{15°C/min}$ 280°C (1 min)

Carrier gas : helium flow 1.4 mL/min

Ignite gas : hydrogen 2 mL/min, air 120 ml/min

Injection volume : 1 µL, run time: 26.5 min

3) ตรวจวิเคราะห์สารพิษชนิดอะลาคลอร์ ปรับสภาพการใช้เครื่องดังนี้

Column : DB-1701, 30 m length x 0.32 mm id. x 0.25 µm film thickness

Detector : µECD, Injection mode: splitless

Temperature conditioning : injector = 230°C, detector = 300°C

Oven program : 80°C (1 min) $\xrightarrow{20°C/min}$ 220°C (2 min) $\xrightarrow{1°C/min}$ 235°C (1 min) $\xrightarrow{20°C/min}$ 240°C (1 min) $\xrightarrow{25°C/min}$ 265°C (12 min) $\xrightarrow{20°C/min}$ 280°C (8 min)

Carrier : helium flow 1.4 mL/min

Injection volume : 1 µL, run time: 49 min

4.1.4.3 การคำนวณปริมาณสารตกค้าง

ปริมาณสารพิษตกค้างในตัวอย่างคำนวณจาก

$$C = \frac{(R_x - B_0)}{A_0} \times \frac{V}{W} \times D$$

เมื่อ C คือ ความเข้มข้นของสารพิษในตัวอย่าง (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม), $R_x$ คือ response (area หรือ height) ของสารพิษในตัวอย่าง, $B_0$ คือ intercept ของ calibration curve, $A_0$ คือ slope ของ calibration curve (มิลลิลิตร/กรัม), V คือ ปริมาตรสุดท้ายของสารละลายตัวอย่าง (มิลลิลิตร), W คือ น้ำหนักตัวอย่างดินแห้ง (กรัม) และ D คือ dilution factor

4.1.5 การประเมินผลกระทบต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม

4.1.5.1 ประเมินผลกระทบต่อสุขภาพ

ใช้สมการทางคณิตศาสตร์ในการคาดการณ์หรือทำนายแนวโน้มของผลกระทบที่อาจจะเกิดขึ้น เพื่อบ่งชี้ระดับความเป็นอันตรายของสารพิษ ซึ่งสมการคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการคำนวณผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์จะใช้สูตรคำนวณค่า Hazard quotient (HQ) (U.S. EPA, 2011) ดังนี้

$$HQ = ADI/RfD$$

กรมวิชาการเกษตร

เมื่อ ADI (average daily intake) คือ ปริมาณสารพิษเข้าสู่ร่างกายอย่างต่อเนื่องต่อน้ำหนักตัวกิโลกรัม, RfD (reference dose of the contaminant) คือ ปริมาณสารที่รับเข้าสู่ร่างกายได้ทุกวัน โดยไม่ทำให้เกิดความผิดปกติใดๆ ต่อสุขภาพอนามัย โดยค่า ADI คำนวณจาก

$$ADI = (C \times IR \times EF \times ED)/(BW \times AT)$$

เมื่อ C คือ ความเข้มข้นเฉลี่ยสารพิษที่ตรวจวิเคราะห์ในตัวอย่าง (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม), IR คือ การรับสัมผัส (กิโลกรัมต่อวัน), EF คือ ความถี่ของการสัมผัส (วันต่อปี), EF คือ ระยะเวลาที่สัมผัส (ปี), BW คือ น้ำหนักของร่างกาย (กิโลกรัม), AT คือ ระยะเวลาที่ใช้ในการเฉลี่ย (วัน) ในเด็ก (Child) อายุ 6 ปี (น้ำหนักเฉลี่ย 33.38 กิโลกรัม) และผู้ใหญ่ (Adult) อายุ 70 ปี (น้ำหนักเฉลี่ย 55.77 กิโลกรัม) (มกอช., 2559)

การแปรผลจากค่าที่คำนวณได้ HQ <1: ยอมรับได้ (acceptable risk), HQ ≥1 มีผลกระทบหรือมีความเสี่ยงต่อสุขภาพ (risk)

4.1.5.2 ประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

ประเมินผลกระทบในระยะยาวต่อมีชีวิตในดินชนิด earthworm (ECB, 2003; ECHA, 2008) จากค่าความเสี่ยง (Risk quotient; RQ)

$$RQ = MEC/PNEC$$

เมื่อ MEC (measured environment concentration) คือ ความเข้มข้นของสารในสิ่งแวดล้อม (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม), PNEC (predicted no effect concentration) คือ ความเข้มข้นสูงสุดของสารที่ไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิต (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) (assessment factor เท่ากับ 10) ค่า RQ <1 คือ ไม่มีความเสี่ยงต่อสิ่งแวดล้อม (No immediate concern), RQ = 1-10 คือ มีความเสี่ยงต่อสิ่งแวดล้อมเล็กน้อย แต่หากมีการเพิ่มปริมาณสารพิษที่ใช้ ต้องคำนึงถึงความเสี่ยงมากขึ้น (of concern if supply volumes increase), RQ = 10-100 คือ มีความเสี่ยง ต้องทำการลดความเสี่ยง (Further data require), RQ >100 คือ มีความเสี่ยงมากและจำเป็นต้องลดความเสี่ยงนั้นทันที (reduce risk immediate)

4.1.6 การควบคุมคุณภาพผลการทดสอบ (Quality assurance)

4.1.6.1 ทดสอบความเป็นเส้นตรงของสารละลายของสารมาตรฐานที่ใช้ทดสอบที่ 5 ระดับความเข้มข้น ได้ค่า correlation coefficient อยู่ระหว่าง 0.997 - 0.999 (เกณฑ์การยอมรับ ≥0.995)

4.1.6.2 ในแต่ละชุดของการทดสอบ ทำการทดสอบ reagent blank, sample blank (<3 S/N) และหาค่าการได้กลับคืนมาของสาร (% recovery; 70 - 120 %) (SANTA/12682, 2019) โดยได้ค่า %recovery อยู่ในช่วง 79 – 94% ค่าความเข้มข้นต่ำสุดของสารในตัวอย่างที่วิธีทดสอบสามารถตรวจวิเคราะห์ได้ (Limit of Detection; LOD) อยู่ในช่วง 0.001 – 0.05 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ค่าความเข้มข้นต่ำสุดของสารในตัวอย่างที่วิธีทดสอบสามารถตรวจวิเคราะห์ได้อย่างถูกต้อง (Limit of Quantitation; LOQ) ของไกลโฟเซต อะทราซีน และอะลาคลอร์ เท่ากับ 0.17, 0.01 และ 0.10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

กรมวิชาการเกษตร

## ผลการวิจัยและอภิปราย

จากการสุ่มเก็บตัวอย่างดินในแปลงปลูกพืชในเขตภาคกลางพื้นที่จังหวัดสุพรรณบุรี นครปฐม กาญจนบุรี สระบุรี และลพบุรี รวม 34 แปลง จำนวนตัวอย่างดินรวมทั้งหมด 130 ในช่วงฤดูแล้ง (กุมภาพันธ์ - มีนาคม 2564) พบอะทราซีน ปริมาณ <0.01 - 0.42 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จำนวน 15 ตัวอย่าง และในช่วงฤดูฝน (มิถุนายน - กรกฎาคม 2564) พบอะทราซีน ปริมาณ <0.01 - 0.45 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จำนวน 20 ตัวอย่าง และพบอะลาคลอร์ปริมาณ <0.01 - 0.02 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จำนวน 2 ตัวอย่าง รวมจำนวนตัวอย่างที่ตรวจพบสารพิษตกค้างคิดเป็นร้อยละ 28 ของจำนวนตัวอย่างทั้งหมด โดยตรวจพบอะทราซีนในช่วงฤดูฝนมีจำนวนตัวอย่างมากกว่าในฤดูแล้ง แต่ปริมาณที่ตรวจพบนั้นใกล้เคียงกัน (ตารางที่ 1) ซึ่งสอดคล้องกับการใช้เป็นสารกำจัดวัชพืชในช่วงต้นฤดูฝน เพื่อเตรียมแปลงปลูกพืช รวมทั้งข้อมูลการตกค้างที่ยาวนานในสิ่งแวดล้อมของอะทราซีนที่มีค่าการสลายตัวในดิน $DT_{50}$ เท่ากับ 115 วัน (ผกาสินี และคณะ, 2555) ซึ่งหากมีการใช้อย่างต่อเนื่อง จะทำให้มีปริมาณตกค้างได้นานขึ้น อย่างไรก็ตาม ปริมาณที่ตรวจพบนี้ต่ำกว่าค่ามาตรฐานคุณภาพดินของประเทศไทย ที่กำหนดค่ามาตรฐานของสารอะทราซีนในดินเพื่อที่อยู่อาศัยและเกษตรกรรมต้องไม่เกิน 22 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, 2547) สำหรับอะลาคลอร์พบตกค้างในปริมาณต่ำ ด้วยคุณสมบัติการละลายน้ำได้ดี รวมทั้งค่า $DT_{50}$ ในดินที่มีขบวนการย่อยสลายของแบคทีเรียจะอยู่ในช่วงสั้น ๆ ที่ 6 - 15 วัน (Vencill, 2002) จึงทำให้พบปริมาณการตกค้างที่ค่อนต่ำ และเป็นจำนวนน้อย สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์สารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างในดินแปลง GAP ในพื้นที่จังหวัดขอนแก่น พบว่าการตกค้างของอะลาคลอร์ในปริมาณต่ำ 0.01 - 0.06 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (จารุพงศ์และคณะ, 2562) ส่วนสารกำจัดวัชพืชชนิดไกลโฟเซตนั้น ไม่พบการตกค้างในทุกแปลง และทั้ง 2 ฤดู เนื่องจากการสลายตัวโดยจุลินทรีย์ดิน (Van et al., 2018)

**ตารางที่ 1** ปริมาณสารพิษตกค้างในดิน

| Total sample | Pesticides | Dry season | | Rainy season | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Positive sample | Conc. (mg/kg) | Positive sample | Conc. (mg/kg) |
| 130 | glyphosate | - | ND | - | ND |
| | atrazine | 15 | <0.01 – 0.42 | 20 | <0.01 – 0.45 |
| | alachlor | - | ND | 2 | <0.01 – 0.02 |

**หมายเหตุ** : ND (Not detected) หมายถึง ตรวจไม่พบ

การประเมินผลกระทบต่อสุขภาพจากการรับสัมผัสที่มีการปนเปื้อนของสารพิษตกค้างที่ไม่ใช่สารก่อมะเร็ง โดยใช้ Hazard quotient (HQ) สำหรับเด็กอายุ 6 ปี และผู้ใหญ่อายุ 70 ปี และประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยใช้ Risk quotient (RQ) พบว่าทั้งค่า HQ และ RQ ของอะทราซีนและอะลาคลอร์ที่พบตรวจนั้น มีค่า <1 แสดงว่าเป็นความเสี่ยงระดับต่ำที่ยอมได้ (acceptable risk) (ตารางที่ 2)

กรมวิชาการเกษตร

**ตารางที่ 2** ผลการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ (hazard quotient; HQ) และ สิ่งแวดล้อม (risk quotient; RQ)

| Pesticies | Concentration (mg/kg) | | Hazard quotient (HQ) | | | | Risk quotient (RQ) | | Risk |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Dry season | Rainy season | Dry season | | Rainy season | | Dry season | Rainy season | |
| | (min – max) | (min – max) | Child | Adult | Child | Adult | | | |
| atrazine | <0.01 – 0.42 | <0.01 – 0.45 | $6.89 \times 10^{-5}$ | $2.15 \times 10^{-5}$ | $7.39 \times 10^{-5}$ | $2.31 \times 10^{-5}$ | 0.04 | 0.05 | accept |
| alachlor | ND | <0.01 – 0.02 | - | - | $1.15 \times 10^{-5}$ | $3.59 \times 10^{-6}$ | - | 0.01 | accept |

**หมายเหตุ :** ND (Not Detected),

HQ <1: ยอมรับได้ (acceptable risk), HQ ≥1: มีความเสี่ยง (risk), เด็ก (Child) อายุ 6 ปี (น้ำหนักเฉลี่ย 33.38 กิโลกรัม) และผู้ใหญ่ (Adult) อายุ 70 ปี (น้ำหนักเฉลี่ย 55.77 กิโลกรัม) (มกอช., 2559),

RQ <1 : ไม่มีความเสี่ยงต่อสิ่งแวดล้อม (No immediate concern), RQ = 1-10: มีความเสี่ยงต่อสิ่งแวดล้อมเล็กน้อย แต่หากมีการเพิ่มปริมาณสารพิษที่ใช้ ต้องคำนึงถึงความเสี่ยงมากขึ้น (Of concern if supply volumes increase), RQ = 10-100: มีความเสี่ยง ต้องทำการลดความเสี่ยง (Further data require), RQ >100: มีความเสี่ยงมากและจำเป็นต้องลดความเสี่ยงนั้นทันที (Reduce risk immediate)

## สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

สารกำจัดวัชพืชอะทราซีน และอะลาคลอร์ที่พบตกค้างในเขตภาคกลางพื้นที่จังหวัดนครปฐม สุพรรณบุรี กาญจนบุรี สระบุรี และลพบุรี ต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดให้มีได้ในดิน ผลกระทบต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อมอยู่ในระดับความเสี่ยงต่ำที่ยอมรับได้ อย่างไรก็ตาม หากมีการใช้สารเกินอัตราที่แนะนำ การตกค้างและความเสี่ยงที่อาจจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อมได้ ฉะนั้นเพื่อให้สุขภาพและสิ่งแวดล้อมมีความปลอดภัยจะต้องปฏิบัติตามคำแนะนำการใช้สารด้วยความถูกต้องและเหมาะสม รวมถึงจะต้องมีการเฝ้าระวังการใช้อย่างต่อเนื่องต่อไป

กรมวิชาการเกษตร

**การทดลองที่ 3**

# การประเมินผลกระทบของสารตกค้างในแม่น้ำเจ้าพระยาและท่าจีน

# Impact Assessment of Pesticide Residues in Chao Phraya and Tha Chin River

จันทิมา ผลกอง มลิสา เวชยานนท์ อำนาจ กะฐินเทศ ประกิจ จันทร์ติ๊บ

Jantima Phonkong Malisa Wetchayanon Amnaj Katintet Prakit Chuntib

**คำสำคัญ**

สารพิษตกค้าง น้ำ ตะกอน การประเมินความเสี่ยง การปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม

**Key words**

Pesticide residues, Water, Sediment, Risk assessment, Environmental contamination

กรมวิชาการเกษตร

**บทคัดย่อ**

การปนเปื้อนของสารพิษตกค้างในสิ่งแวดล้อมถือเป็นปัญหาสำคัญที่เกิดจากการใช้ประโยชน์สารพิษทางการเกษตรในแหล่งเกษตรกรรม ทำให้เกิดการสะสมและแพร่กระจายของสารพิษตกค้าง โดยเฉพาะบริเวณแหล่งน้ำที่ใช้ในการอุปโภคบริโภค งานวิจัยนี้ได้ตรวจติดตามการปนเปื้อนของสารพิษตกค้างในบริเวณแม่น้ำเจ้าพระยาและแม่น้ำท่าจีน รวมทั้งบริเวณคลองแยก เพื่อประเมินผลกระทบ รวมทั้งความเสี่ยงต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม สุ่มเก็บตัวอย่างในช่วงฤดูแล้งและฝน รวมทั้งหมด 144 ตัวอย่าง ตรวจวิเคราะห์ด้วยแก๊สโครมาโทกราฟีและลิควิดโครมาโทกราฟี พบสารพิษตกค้างในตัวอย่างน้ำบริเวณแม่น้ำเจ้าพระยา เป็นสารกำจัดวัชพืชอะทราซีน โดยค่าสูงสุดที่ตรวจพบในช่วงฤดูแล้งและฤดูฝน เท่ากับ 0.22 และ 0.60 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ส่วนในแม่น้ำท่าจีน พบสารพิษตกค้างในตัวอย่างน้ำ เป็นสารกำจัดวัชพืชอะทราซีนและอะมีทรีน โดยค่าสูงสุดของอะทราซีนที่ตรวจพบในช่วงฤดูแล้งและฤดูฝน เท่ากับ 0.28 และ 0.33 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ค่าสูงสุดของอะมีทรีนที่ตรวจพบในช่วงฤดูฝน เท่ากับ 0.43 ไมโครกรัมต่อลิตร ซึ่งปริมาณการปนเปื้อนของอะทราซีนและอะมีทรีนไม่เกินค่ามาตรฐานที่กำหนด ผลของการประเมินผลกระทบในสิ่งแวดล้อมได้ค่า Hazard Quotient (HQ) และ Risk Quotient (RQ) น้อยกว่า 1 เป็นความเสี่ยงที่ยอมรับได้

**Abstracts**

Environmental pesticide contamination is a major problem arising from the utilization of agricultural toxins in agricultural fields, causing the accumulation and spread of toxic residues especially around the water source used for consumption. This research examined the contamination

of pesticide residues in the Chao Phraya River and the Tha Chin River, as well as the canal intersection. The purpose of the research is to assess impacts as well as to assess risks to humans and the environment. A total of 144 samples were randomly collected during dry and rainy season, analyzed by gas chromatography and liquid chromatography. Pesticide residues were found in the water samples of the Chao Phraya River as herbicide atrazine. The highest amounts detected during the dry season and the rainy season were 0.22 and 0.60 µg/L, respectively. In the Tha Chin River, pesticide residues were found in water samples as herbicide atrazine and ametryn. The highest concentrations of atrazine detected during the dry season and the rainy season were 0.28 and 0.33 µg/L, respectively. The maximum amount of ametryn detected during the rainy season was 0.43 µg/L. The contamination content of atrazine and ametryn did not exceed the established standard value. The results of the environment impact assessment were given a Hazard Quotient (HQ) and Risk Quotient (RQ) of less than 1 was an acceptable risk.

**คำนำ**

ปัจจุบันการปนเปื้อนของสารพิษตกค้างในสิ่งแวดล้อมเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นมานานและหลายประเทศทั่วโลกต่างให้ความสนใจ ในต่างประเทศมีงานวิจัยที่ตรวจพบสารตกค้างในสิ่งแวดล้อมโดยเฉพาะในแหล่งน้ำที่ใช้อุปโภคบริโภค ในช่วงปี 1999 - 2015 ประเทศฮังการีมีงานวิจัยที่รวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการเฝ้าระวังสารพิษตกค้างในน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน จากการตรวจวิเคราะห์ตัวอย่างมากกว่า 2,000 ตัวอย่าง โดยส่วนใหญ่ตรวจพบสารพิษตกค้างเป็นสารกำจัดวัชพืช เช่น อะซีโตคลอร์ อะทราซีน 2,4-ดี เมโทลาคลอร์ เป็นต้น (Székács et al., 2015) นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยในประเทศแทนซาเนีย เมื่อปี 2011 มีการตรวจพบสารพิษตกค้างกลุ่ม Organochlorine ในตัวอย่างน้ำและตะกอน จากแม่น้ำ 4 สายที่ไหลผ่านแหล่งปลูกอ้อย (Harieth, 2011) ส่วนในประเทศไทยซึ่งถือว่าเป็นประเทศเกษตรกรรมมีการปลูกพืชเศรษฐกิจมากมาย ดังนั้นเพื่อให้ได้ผลผลิตที่มีคุณภาพและปริมาณที่เพียงพอต่อการบริโภคและการส่งออก เกษตรกรส่วนใหญ่จึงจำเป็นต้องใช้สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชปริมาณมากในการควบคุมศัตรูพืช พิจารณาได้จากสถิติการนำเข้าวัตถุอันตรายทางการเกษตรในปี พ.ศ. 2560 - 2562 มีการนำเข้ามากกว่า 10,000 ตันต่อปี (สำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร, 2560 - 2562) ส่งผลทำให้เกิดการสะสมและแพร่กระจายของสารพิษตกค้างในสิ่งแวดล้อม จากงานวิจัยในปี พ.ศ. 2552 - 2555 การศึกษาการแพร่กระจายของสารพิษทางการเกษตรจากแหล่งเกษตรกรรมสู่แม่น้ำสายหลักของประเทศ ได้แก่ แม่น้ำเจ้าพระยา แม่น้ำป่าสัก แม่น้ำท่าจีน และแม่น้ำบางปะกง สุ่มเก็บตัวอย่างน้ำและตะกอน รวมทั้งพืชและสัตว์น้ำ รวมทั้งหมด 890 ตัวอย่าง ตรวจพบสารพิษตกค้าง 370 ตัวอย่าง สารพิษตกค้างที่ตรวจพบเป็นสารกำจัดแมลงกลุ่ม organochlorine กลุ่ม organophosphorus กลุ่ม pyrethroid กลุ่ม carbamate สารกำจัดวัชพืชกลุ่ม triazine กลุ่ม Chlorophenoxy compound และสารกำจัดโรคพืชกลุ่ม

กรมวิชาการเกษตร

phenylamide akylalanine (มลิสาและคณะ, 2555) ในปี 1998 มีงานวิจัยการตรวจวิเคราะห์สารพิษตกค้างกลุ่ม Organochlorine ในตัวอย่างปลาจากแม่น้ำเจ้าพระยา โดยตรวจพบสารพิษ DDT & metabolites (Chinda, 1998) ในปี 2003 - 2005 มีงานวิจัยการตรวจวิเคราะห์สารพิษตกค้างกลุ่ม organochlorine ในแม่น้ำแม่กลอง ตรวจพบสารพิษ heptachlor epoxide สูงสุดในช่วงฤดูแล้ง (Poolpak et al., 2008) และมีงานวิจัยการตรวจวิเคราะห์สารพิษตกค้างกลุ่ม organochlorines ในภาคใต้ โดยสุ่มตัวอย่างจากแม่น้ำสายบุรี ปัตตานี และเทพา ในช่วงกรกฎาคม 2549 ถึงกุมภาพันธ์ 2550 พบว่าตัวอย่างจากแม่น้ำสายบุรี ตรวจพบการตกค้างสูงสุดและพบสารพิษ *p,p'*-DDE มากที่สุด (Samoh and Ibrahim, 2009)

จากข้อมูลงานวิจัยข้างต้นแสดงให้เห็นว่า มีการสะสมและแพร่กระจายของสารพิษตกค้างจากแหล่งเกษตรกรรมสู่สิ่งแวดล้อม มีการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม ส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศ ทำลายห่วงโซ่อาหาร และส่งผลกระทบต่อมนุษย์ผู้บริโภค ประเทศไทยเป็นรัฐภาคีใน 50 ประเทศ ของอนุสัญญาสตอกโฮล์มว่าด้วยสารมลพิษที่ตกค้างยาวนาน (Stockholm convention on Persistent Organic Pollutants, POPs) ได้ให้สัตยาบันโดยมีจุดมุ่งหมายในเรื่องการเฝ้าติดตามสถานการณ์การปนเปื้อนของสาร POPs เพื่อคุ้มครองสุขภาพอนามัยของมนุษย์และสิ่งแวดล้อม กลุ่มวิจัยวัตถุมีพิษการเกษตร กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร ได้ตระหนักถึงปัญหาและผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นจากสารพิษตกค้างทางการเกษตร รวมทั้งปฏิบัติตามข้อตกลงของอนุสัญญาระหว่างประเทศ จึงได้ศึกษางานวิจัยนี้เพื่อตรวจติดตามการปนเปื้อนของสารพิษตกค้างในสิ่งแวดล้อม ประเมินผลกระทบจากการใช้วัตถุอันตรายทางการเกษตรในพื้นที่บริเวณลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาและท่าจีน รวมทั้งประเมินความเสี่ยงต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม

## ระเบียบวิธีการวิจัย

1. ประเด็นวิจัย

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการเฝ้าระวังและประเมินผลกระทบที่เกิดจากสารพิษตกค้างบริเวณลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาและท่าจีนซึ่งเป็นแหล่งเกษตรกรรมที่สำคัญของประเทศไทย ดำเนินการวิจัยในปี พ.ศ. 2563 - 2564 โดยสุ่มเก็บตัวอย่างน้ำ ตะกอนพืช และสัตว์น้ำ ไม่น้อยกว่า 2 ช่วงฤดู (แล้งและฝน) บริเวณคลองแยกและแม่น้ำหลัก เลือกพื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนของสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชในแหล่งน้ำ สกัดตัวอย่างและตรวจวิเคราะห์สารพิษตกค้างในห้องปฏิบัติการด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟีและลิควิดโครมาโทกราฟี นำข้อมูลที่ได้มาประเมินผลกระทบในสิ่งแวดล้อมตาม Guidelines for Ecological Risk Assessment

2. สถานที่ทำการวิจัย

2.1 แม่น้ำเจ้าพระยา และแม่น้ำท่าจีน

2.2 ห้องปฏิบัติการกลุ่มวิจัยวัตถุมีพิษการเกษตร กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร

3. ระยะเวลาดำเนินงาน เริ่มต้นตุลาคม 2562 ถึงกันยายน 2564

กรมวิชาการเกษตร

4. วิธีการดำเนินการ

4.1 สำรวจพื้นที่และสัมภาษณ์เกษตรกร พร้อมทั้งกำหนดจุดเก็บตัวอย่างบริเวณคลองแยกและแม่น้ำหลักใกล้บริเวณพื้นที่แหล่งเกษตรกรรม ที่มีโอกาสปนเปื้อนสารป้องกันกำจัดศัตรูพืช ใช้ระบบกำหนดตำแหน่งพื้นโลกด้วยดาวเทียม (Global Positioning System, GPS)

4.2 การสุ่มเก็บและเตรียมตัวอย่าง

4.2.1 ตัวอย่างน้ำ เก็บให้เต็มขวด ปริมาตรตัวอย่างละ 4 ลิตร

4.2.2 ตัวอย่างตะกอน เก็บตัวอย่างให้ได้น้ำหนักประมาณ 500 กรัม ก่อนสกัดนำไปผึ่งในถาดสแตนเลสที่อุณหภูมิห้อง ให้มีความชื้นประมาณ 10 - 20 เปอร์เซนต์ ทุบให้ละเอียด นำไปสกัดและหาเปอร์เซนต์ความชื้นในเวลาเดียวกัน

4.2.3 ตัวอย่างสัตว์น้ำ (ปลา) เก็บในถุงพลาสติก เลือกเฉพาะส่วนเนื้อ นำไปบดให้ละเอียด

4.2.4 ตัวอย่างพืช (ผักบุ้ง ผักกระเฉด) เก็บตัวอย่างให้ได้น้ำหนักมากพอสำหรับสกัด นำไปบดให้ละเอียด

4.3. การเตรียมสารละลายของสารมาตรฐานเตรียม stock standard solution ให้มีความเข้มข้นประมาณ 1000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร เตรียม intermediate standard solution ให้มีความเข้มข้นอยู่ในช่วงประมาณ 20 - 100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร และเตรียม working standard solution

4.4. การสกัดตัวอย่าง

4.4.1 ตัวอย่างน้ำ

4.4.1.1 กลุ่ม organochlorine, กลุ่ม pyrethroid, กลุ่ม triazole, กลุ่ม chloroacetamide, pendimethalin, oxyfluorfen และ oxadiazon ตัวอย่างน้ำ 800 มิลลิลิตร สกัดด้วย hexane (AR) ปริมาตร 100, 50 และ 50 มิลลิลิตร กรองผ่าน anh. sodium sulfate ใส่ round bottom flask นำไปลดปริมาตรจนเกือบแห้ง ปรับปริมาตรเป็น 1 มิลลิลิตรด้วย hexane (PR) นำไปตรวจวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC-ECD (TM-T04-I01) (กลุ่มวิจัยวัตถุมีพิษการเกษตร, 2564ก)

4.4.1.2 กลุ่ม organophosphorus กลุ่ม carbamate กลุ่ม triazine และกลุ่ม phenylamide akylalanine ตัวอย่างน้ำ 800 มิลลิลิตร สกัดด้วย ethyl acetate (AR) ปริมาตร 100, 50 และ 50 มิลลิลิตร กรองผ่าน anh. sodium sulfate ใส่ round bottom flask นำไปลดปริมาตรจนเกือบแห้ง ปรับปริมาตรเป็น 1 มิลลิลิตรด้วย ethyl acetate (PR) นำไปตรวจวิเคราะห์กลุ่ม organophosphorus ด้วยเครื่อง GC-FPD และวิเคราะห์กลุ่ม carbamate กลุ่ม triazine และกลุ่ม phenylamide akylalanine ด้วยเครื่อง GC-NPD (TM-T04-I03) (กลุ่มวิจัยวัตถุมีพิษการเกษตร, 2564ค)

4.4.1.3 กลุ่ม chlorophenoxy compound ชนิด 2,4-D ตวงตัวอย่างน้ำ 800 มิลลิลิตร สกัดด้วย methanol: ethyl ether (2:8) ปริมาตร 100, 50 และ 50 มิลลิลิตร กรองผ่าน anh. sodium sulfate ใส่ round bottom flask เติม 10 M NaOH ปริมาตร 10 มิลลิลิตร นำไปต้มที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นำไปสกัดต่อด้วย

กรมวิชาการเกษตร

dichloromethane ปริมาตร 25, 25 และ 25 มิลลิลิตร กรองผ่าน anh. sodium sulfate ใส่ round bottom flask นำไปลดปริมาตรจนเกือบแห้ง เติม methanol: conc. $H_2SO_4$ (9:1) ปริมาตร 5 มิลลิลิตร เติม hexane (PR) ปริมาตร 10 มิลลิลิตร เติม 0.5 M $NaHCO_3$ 15 มิลลิลิตร เขย่าตั้งทิ้งไว้ให้แยกชั้น ทิ้งชั้นล่าง ชั้นบนกรองผ่าน anh. sodium sulfate นำไปตรวจวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC-ECD (Rice et al., 2017)

4.4.1.4 กลุ่ม bipyridirium ชนิดพาราควอต ตวงตัวอย่างน้ำ 500 มิลลิลิตร นำไป clean up ด้วย SPE cartridge ชนิด Si-OH (ผ่านการเตรียม โดยชะ methanol (HPLC) 5 มิลลิลิตร และ water (HPLC) 5 มิลลิลิตร ตามลำดับ) ชะสารด้วย acetonitrile: 250 mM ammonium formate: phosphoric acid (30:70:1.25) 5 มิลลิลิตร นำไปตรวจวิเคราะห์ด้วยเครื่อง UHPLC-DAD (Robinson, 2006)

4.4.2 ตัวอย่างตะกอน

4.4.2.1 หาความชื้นในตัวอย่างตะกอน (Back, 1965) เพื่อหาน้ำหนักตะกอนแห้งสุทธิ โดยชั่งตัวอย่างดิน 50 กรัม บันทึกน้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ และหลังอบ 24 ชั่วโมง นำไปคำนวณความชื้นและน้ำหนักตะกอนแห้ง

4.4.2.2 การสกัดสารพิษ

(1) กลุ่ม organophosphorus กลุ่ม carbamate กลุ่ม triazine กลุ่ม phenylamide akylalanine กลุ่ม organochlorine, กลุ่ม pyrethroid, กลุ่ม triazole, กลุ่ม chloroacetamide, pendimethalin, oxyfluorfen และ oxadiazon (TM-T04-I02) ชั่งตัวอย่าง 20 กรัม สกัดด้วย ethyl acetate (AR) 75 มิลลิลิตร เขย่า 4 ชั่วโมง ที่ความเร็วรอบ 210 รอบต่อนาที กรองผ่าน anh. sodium sulfate ใส่ round bottom flask นำไปลดปริมาตรจนเกือบแห้ง ปรับปริมาตรเป็น 2 มิลลิลิตร ด้วย ethyl acetate (PR) ดูดสารสกัด 1 มิลลิลิตร นำไปตรวจวิเคราะห์กลุ่ม organophophorus ด้วยเครื่อง GC-FPD และวิเคราะห์กลุ่ม carbamate กลุ่ม triazine และกลุ่ม phenylamide akylalanine ด้วยเครื่อง GC-NPD สารสกัดที่เหลือ 1 มิลลิลิตร นำไปเปลี่ยนและปรับปริมาตรเป็น 2.5 มิลลิลิตร ด้วย hexane (PR) นำไปตรวจวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC-ECD เพื่อหาสารพิษกลุ่ม organochlorine, กลุ่ม pyrethroid, กลุ่ม triazole, กลุ่ม chloroacetamide, pendimethalin, oxyfluorfen และ oxadiazon (TM-T04-I02) (กลุ่มวิจัยวัตถุมีพิษการเกษตร, 2564ข)

(2) กลุ่ม chlorophenoxy compound ชนิด 2,4-D ชั่งตัวอย่าง 20 กรัม เติม methanol: water (8:2) ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เขย่าด้วย shaker นาน 30 นาที สกัดซ้ำ 2 รอบ ครั้งละ 50 มิลลิลิตร กรองผ่าน anh. sodium sulfate ใส่ round bottom flask เติม 10 M NaOH ปริมาตร 10 มิลลิลิตร นำไปต้มที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นำไปสกัดต่อด้วย dichloromethane ปริมาตร 25, 25 และ 25 มิลลิลิตร กรองผ่าน anh. sodium sulfate ใส่ round bottom flask นำไปลดปริมาตรจนเกือบแห้ง เติม methanol: conc. $H_2SO_4$ (9:1) ปริมาตร 5 มิลลิลิตร เติม hexane (PR) ปริมาตร 10 มิลลิลิตร เติม 0.5 M $NaHCO_3$ 15 มิลลิลิตร เขย่าตั้งทิ้งไว้ให้แยกชั้น ทิ้งชั้นล่าง ชั้นบนกรองผ่าน anh. sodium sulfate นำไปตรวจวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC-ECD (Keller and Otto, 1985)

กรมวิชาการเกษตร

(3) กลุ่ม bipyridirium ชนิดพาราควอต ชั่งตัวอย่าง 25 กรัม ใส่ round bottom flask เติมน้ำ 75 มิลลิลิตรและ conc. $H_2SO_4$ 25 มิลลิลิตร จากนั้น เติม oc-2-nol 1 มิลลิลิตร และเม็ดแก้ว นำไป reflux นาน 2 ชั่วโมง (เริ่มนับเวลาเมื่อความร้อนคงที่) กรองผ่าน filter paper No.42 และ celite ปรับปริมาตรเป็น 500 มิลลิลิตร ด้วยน้ำ DI นำไป clean up ผ่าน cation exchange resin (DOWEX 50W resin) 5 กรัม (ผ่านการเตรียมโดยชะ sat$^{d}$ NaCl 50 มิลลิลิตร และน้ำ DI 50 มิลลิลิตร ตามลำดับ) ล้างด้วยน้ำ DI 25 มิลลิลิตร 2N HCl 100 มิลลิลิตร น้ำ DI 25 มิลลิลิตร 2.5% $NH_4Cl$ 25 มิลลิลิตร และน้ำ DI 25 มิลลิลิตร ตามลำดับ ชะสารด้วย sat$^{d}$ $NH_4Cl$ 50 มิลลิลิตร ดูดสารสกัดมา 5 มิลลิลิตร นำไป clean up ด้วย SPE cartridge ชนิด Envi-Carb (ผ่านการเตรียมโดยชะด้วย methanol (HPLC) 5 มิลลิลิตร และ water (HPLC) 5 มิลลิลิตร ตามลำดับ) ล้างด้วย water (HPLC) 2 มิลลิลิตร ชะสารด้วย acetonitrile: 250 mM ammonium formate: phosphoric acid (30:70:1.25) 10 มิลลิลิตร นำไปตรวจวิเคราะห์ด้วยเครื่อง UHPLC-DAD (Robinson, 2006)

4.4.3 ตัวอย่างพืช (Anastassiades et al., 2003)

ชั่งตัวอย่าง 10 กรัม ใส่ centrifuge tube ขนาด 50 มิลลิลิตร เติม acetonitrile 10 มิลลิลิตร เขย่า 1 นาที เติม magnesium sulfate ($MgSO_4$) 4 กรัม และ sodium chloride (NaCl) 1 กรัม ผสมกัน 1 นาที ด้วยเครื่อง vortex mixer สกัดด้วยเครื่อง Centrifuge ที่ความเร็วรอบ 4,000 รอบต่อนาที นาน 10 นาที

4.4.3.1 ดูดสารละลายส่วนใส 1 มิลลิลิตร ใส่ micro-centrifuge tube ขนาด 1.5 มิลลิลิตร ที่บรรจุ primary secondary amine (PSA) 25 มิลลิกรัม และ magnesium sulfate ($MgSO_4$) 150 มิลลิกรัม สกัดด้วยเครื่อง centrifuge ที่ความเร็วรอบ 6,000 รอบต่อนาที นาน 5 นาที ดูดสารละลายส่วนใส 0.5 มิลลิลิตร ใส่ micro-centrifuge tube นำไปลดปริมาตรจนเกือบแห้งด้วยเครื่อง nitrogen evaporator ปรับปริมาตรเป็น 0.5 มิลลิลิตร ด้วย ethyl acetate (PR) ดูดสารสกัด นำไปตรวจวิเคราะห์หาสารพิษกลุ่ม organophosphorus ด้วยเครื่อง GC-FPD และหาสารพิษกลุ่ม carbamate กลุ่ม triazine และกลุ่ม phenylamide akylalanine ด้วยเครื่อง GC-NPD

4.4.3.2 ดูดสารละลายส่วนใส 1 มิลลิลิตร ใส่ micro-centrifuge tube ขนาด 1.5 มิลลิลิตร ที่บรรจุ primary secondary amine (PSA) 25 มิลลิกรัม และ magnesium sulfate ($MgSO_4$) 150 มิลลิกรัม สกัดด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงตกตะกอน ที่ความเร็วรอบ 6,000 รอบต่อนาที นาน 5 นาที ดูดสารละลายส่วนใส 0.5 มิลลิลิตร ใส่ micro-centrifuge tube นำไปลดปริมาตรจนเกือบแห้งด้วยเครื่อง Nitrogen evaporator ปรับปริมาตรเป็น 0.5 มิลลิลิตร ด้วย hexane (PR) ดูดสารสกัด นำไปตรวจวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC-ECD เพื่อหาสารพิษกลุ่ม organochlorine, กลุ่ม pyrethroid, กลุ่ม triazole, กลุ่ม chloroacetamide, pendimethalin, oxyfluorfen และ oxadiazon

4.4.4 ตัวอย่างปลา (Feei et al., 2000)

ชั่งตัวอย่าง 10 กรัม สกัดด้วย acetonitrile 50 มิลลิลิตร ผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันโดยใช้เครื่อง homogenizer 1 นาที กรองตัวอย่างโดยใช้ปั๊มสุญญากาศ ล้างขวดใส่ตัวอย่าง ด้วย acetonitrile 50 มิลลิลิตร 2 ครั้ง ตวงสารละลาย 50 มิลลิลิตร นำไปลดปริมาตรด้วยเครื่อง Evaporator จนเกือบแห้ง เติม acetonitrile 5 มิลลิลิตร

กรมวิชาการเกษตร

กำจัดสิ่งรบกวนด้วย SPE cartridge ชนิด C18 และ florisil ใช้เทคนิค solid-phase extraction (SPE) ล้าง round bottom flask ด้วย acetonitrile 2 ครั้งๆ ละ 5 มิลลิลิตร นำไปลดปริมาตรจนเกือบแห้งด้วยเครื่อง nitrogen evaporator ปรับปริมาตรเป็น 1 มิลลิลิตร ด้วย hexane (PR) ดูดสารสกัด 0.5 มิลลิลิตร นำไปตรวจวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC-ECD เพื่อหาสารพิษกลุ่ม organochlorine, กลุ่ม pyrethroid, กลุ่ม triazole, กลุ่ม chloroacetamide, pendimethalin, oxyfluorfen และ oxadiazon สารสกัดที่เหลือ 0.5 มิลลิลิตร นำไปลดปริมาตรจนเกือบแห้งด้วยเครื่อง nitrogen evaporator ปรับปริมาตรเป็น 0.5 มิลลิลิตร ด้วย ethyl acetate (PR) นำไปตรวจวิเคราะห์หาสารพิษกลุ่ม organophosphorus ด้วยเครื่อง GC-FPD และหาสารพิษกลุ่ม carbamate กลุ่ม triazine และกลุ่ม phenylamide akylalanine ด้วยเครื่อง GC-NPD

## ผลการวิจัยและอภิปราย

จากการสัมภาษณ์เกษตรกรบริเวณใกล้ลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยา พบว่าเกษตรกรใช้ทั้งสารกำจัดแมลง สารกำจัดวัชพืช รวมทั้งสารป้องกันกำจัดโรคพืชร่วมกัน เพื่อใช้ในการควบคุมศัตรูพืช ซึ่งแหล่งเกษตรกรรมในบริเวณลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยา ส่วนใหญ่เพาะปลูกข้าว รองลงมาปลูกพืชไร่ พืชสวน และพืชผัก ได้สุ่มเก็บตัวอย่างในระหว่างวันที่ 11 - 14 ธันวาคม 2562 (ฤดูแล้ง) และ 22 - 24 กรกฎาคม 2563 (ฤดูฝน) โดยเก็บตัวอย่างน้ำ ตะกอน พืช และสัตว์น้ำ บริเวณลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาและคลองแยก ตามจุดเก็บที่กำหนดไว้ จำนวน 20 จุด ได้ตัวอย่างรวมทั้งหมด 66 ตัวอย่าง แบ่งเป็นตัวอย่างน้ำ, ตะกอน, พืช (ผักบุ้ง) และปลา (ปลากดและปลาตะเพียน) จำนวน 40, 21, 3 และ 2 ตัวอย่าง ตามลำดับ วัดค่าการนำไฟฟ้า ค่าความเป็นกรด-ด่าง และอุณหภูมิของตัวอย่างน้ำขณะทำการเก็บตัวอย่าง พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เท่ากับ 7.7±0.4 อยู่ในช่วงที่กำหนดไว้ตามมาตรฐานคู่มือคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน คือ ค่า pH อยู่ในช่วง 5.0 - 9.0 (คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, 2537) โดยค่า pH ในช่วงฤดูฝนมีค่าต่ำกว่าฤดูแล้ง (ตารางที่ 1) การลดลงเล็กน้อยของค่า pH ในช่วงฤดูฝน อาจจะเกิดจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำเนื่องจากฝนตก ส่งผลให้ความเข้มข้นของไอออน $H^+$ (Samoh and Ibrahim, 2009) อุณหภูมิของน้ำ เท่ากับ 26.9±1.3 องศาเซลเซียส อุณหภูมิของน้ำในสภาวะปกติของช่วงฤดูแล้งจะสูงกว่าฤดูฝน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศของแต่ละพื้นที่และเวลาที่สุ่มเก็บตัวอย่าง ค่าการนำไฟฟ้าของตัวอย่างน้ำ เท่ากับ 220±57 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ซึ่งค่าสูงสุดที่ WHO ยอมให้มีได้สำหรับน้ำดื่ม คือ 2500 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร และค่าปริมาณของแข็ง สารอนินทรีย์และอินทรีย์ทั้งหมดที่ละลายอยู่ในน้ำ (Total dissolved solids; TDS) เท่ากับ 110±27 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งใกล้เคียงกับช่วงปกติสำหรับแม่น้ำธรรมชาติ คือ 0 - 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร (WHO, 1988) จากการตรวจวิเคราะห์พบสารพิษตกค้างอะทราซีนในตัวอย่างน้ำ จำนวน 40 ตัวอย่าง คิดเป็นร้อยละ 100 ปริมาณ 0.07 - 0.60 ไมโครกรัมต่อลิตร เมื่อเทียบกับค่าสูงสุดที่ยอมให้มีได้ในน้ำดื่มตามมาตรฐานต่าง ๆ ได้แก่ ประเทศออสเตรเลียที่กำหนดไว้เท่ากับ 20 ไมโครกรัมต่อลิตร (NHMRC and NRMMC, 2011) WHO กำหนดไว้เท่ากับ 2 ไมโครกรัมต่อลิตร (WHO, 2004) U.S. EPA กำหนดไว้ 3 ไมโครกรัมต่อลิตร (U.S. EPA, 2003) และประเทศแคนาดา กำหนดไว้ เท่ากับ 5 ไมโครกรัมต่อลิตร (Health Canada,

กรมวิชาการเกษตร

1993) อย่างไรก็ตาม ปริมาณที่ตรวจพบนี้ไม่เกินเกณฑ์ที่กำหนด และอยู่ในเกณฑ์ปลอดภัยสามารถนำมาใช้เป็นแหล่งน้ำเพื่อการเกษตร และนำไปผลิตน้ำเพื่อการบริโภคได้ (ตารางที่ 2)

**ตารางที่ 1** คุณสมบัติทางเคมี-ฟิสิกส์ของตัวอย่างน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยา และแม่น้ำท่าจีน

| Parameter | Chao Phraya River | Tha Chin River |
|---|---|---|
| *Water* | | |
| pH | 7.7±0.4 | 7.1±0.4 |
| Temperature (℃) | 26.9±1.3 | 30.8±2.6 |
| Conductivity (µS/cm) | 220±57 | 332±22 |
| TDS (mg/L) | 110±27 | 166±10 |

**ตารางที่ 2** ผลการตรวจวิเคราะห์สารพิษตกค้างในแม่น้ำเจ้าพระยา

| Sampling time | Sample | Total sample/ Positive sample | Pesticides | Concentration |
|---|---|---|---|---|
| Dry season | Water | 20/20 | atrazine | 0.07 - 0.22 |
| | Sediment | 13/0 | - | - |
| Rainy season | Water | 20/20 | atrazine | 0.16 - 0.60 |
| | Sediment | 8/0 | - | - |
| | Aquatic plant | 3/0 | - | - |
| | Fish | 2/0 | - | - |

**หมายเหตุ**: น้ำ หน่วย ไมโครกรัมต่อลิตร (µg/L), ตะกอน พืชน้ำ และปลา หน่วย มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (mg/kg)

จากการสัมภาษณ์เกษตรกรบริเวณใกล้ลุ่มแม่น้ำท่าจีน พบว่าเกษตรกรใช้ทั้งสารกำจัดแมลง สารกำจัดวัชพืช รวมทั้งสารป้องกันกำจัดโรคพืชร่วมกัน เพื่อใช้ในการควบคุมศัตรูพืช ซึ่งแหล่งเกษตรกรรมในบริเวณลุ่มแม่น้ำท่าจีนส่วนใหญ่เพาะปลูกข้าว รองลงมาปลูกพืชสวนและพืชผัก ได้สุ่มเก็บตัวอย่างในระหว่างวันที่ 10 - 12 กุมภาพันธ์ 2564 (ฤดูแล้ง) และ 12 - 14 กรกฎาคม 2564 (ฤดูฝน) โดยเก็บตัวอย่างน้ำ ตะกอน พืช และสัตว์น้ำบริเวณลุ่มแม่น้ำท่าจีนและคลองแยก ตามจุดเก็บที่กำหนดไว้ จำนวน 24 จุด ได้ตัวอย่างรวมทั้งหมด 84 ตัวอย่าง แบ่งเป็นตัวอย่างน้ำ ตะกอน และพืช (ผักบุ้งและผักกระเฉด) จำนวน 48, 19 และ 17 ตัวอย่าง ตามลำดับ วัดค่าการนำไฟฟ้า ค่าความเป็นกรด-ด่าง และอุณหภูมิของตัวอย่างน้ำขณะทำการเก็บตัวอย่าง ได้ผลดังตารางที่ 1 พบค่า pH เท่ากับ 7.1±0.4 อยู่ในช่วงที่กำหนดไว้ตามมาตรฐานคู่มือคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินคือ pH อยู่ในช่วง 5.0 - 9.0 (คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, 2537) โดยค่า pH ในช่วงฤดูฝนมีค่าต่ำกว่าฤดูแล้ง สอดคล้องกับแม่น้ำเจ้าพระยา ในขณะที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 30.8±2.6 องศาเซลเซียส และค่าการนำไฟฟ้าเท่ากับ 332±22 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร เทียบกับค่าสูงสุดที่ WHO ยอมให้มีได้สำหรับน้ำดื่ม อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ คือ 2500 โครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร และค่า TDS เท่ากับ 166±10 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งใกล้กับช่วงปกติของแม่น้ำธรรมชาติ คือ 0 - 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร

กรมวิชาการเกษตร

(WHO, 1988) ผลการตรวจวิเคราะห์พบสารพิษตกค้างอะทราซีนในตัวอย่างน้ำ จำนวน 41 ตัวอย่าง คิดเป็นร้อยละ 85 ปริมาณ 0.09 - 0.33 ไมโครกรัมต่อลิตร (ตารางที่ 3) เมื่อเทียบกับค่าสูงสุดที่ยอมให้มีได้ในน้ำดื่มตามมาตรฐานต่างๆ ได้แก่ ประเทศออสเตรเลียที่กำหนดไว้เท่ากับ 20 ไมโครกรัมต่อลิตร (NHMRC and NRMMC, 2011) WHO กำหนดไว้ เท่ากับ 2 ไมโครกรัมต่อลิตร (WHO, 2004) U.S. EPA กำหนดไว้เท่ากับ 3 ไมโครกรัมต่อลิตร (U.S. EPA, 2003) และประเทศแคนาดา กำหนดไว้เท่ากับ 5 ไมโครกรัมต่อลิตร (Health Canada, 1993) นอกจากนี้ ยังตรวจพบสารพิษตกค้างอะมีทรีนในตัวอย่างน้ำ จำนวน 4 ตัวอย่าง คิดเป็น ร้อยละ 8 ปริมาณ 0.16 - 0.43 ไมโครกรัมต่อลิตร เมื่อเทียบกับค่าสูงสุดที่ยอมให้มีได้ในน้ำดื่มตามมาตรฐานของประเทศออสเตรเลียที่กำหนดไว้เท่ากับ 70 ไมโครกรัมต่อลิตร (NHMRC and NRMMC, 2011) พบว่าปริมาณที่ตรวจพบนี้ ไม่เกินเกณฑ์ที่กำหนด อยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัย สามารถนำมาใช้เป็นแหล่งน้ำเพื่อการเกษตร และนำไปผลิตน้ำเพื่อการบริโภคได้

**ตารางที่ 3** ผลการตรวจวิเคราะห์สารพิษตกค้างจากแม่น้ำเจ้าท่าจีน

| Sampling time | Sample | Total sample/Positive sample | Pesticides | Concentration |
|---|---|---|---|---|
| Dry season | Water | 24/18 | atrazine | 0.09 - 0.28 |
| | Sediment | 13/0 | - | - |
| Rainy season | Water | 24/23 | atrazine | 0.19 - 0.33 |
| | | | ametryn | 0.16 - 0.43 |
| | Sediment | 7/0 | - | - |
| | Aquatic plant | 10/0 | - | - |

**หมายเหตุ**: น้ำ หน่วย ไมโครกรัมต่อลิตร (µg/L), ตะกอน พืชน้ำ และปลา หน่วย มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (mg/kg)

การตรวจพบอะทราซีนและอะมีทรีนในบริเวณลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาและแม่น้ำท่าจีน คิดเป็นร้อยละ 92 และ 5 ตามลำดับ โดยบริเวณลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาพบอะทราซีนตกค้างในตัวอย่างน้ำทุกตัวอย่าง เนื่องจากแม่น้ำเจ้าพระยาเป็นแม่น้ำสายหลัก เกิดจากแม่น้ำปิงและแม่น้ำน่านรวมกัน ในบริเวณแม่น้ำปิงและแม่น้ำน่านตอนล่าง ส่วนใหญ่เพาะปลูกอ้อย ข้าวโพด เกษตรกรใช้สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชชนิดอะทาซีนและอะมีทรีน เพื่อควบคุมวัชพืชในแหล่งเกษตรกรรม ทำให้มีโอกาสสูงที่จะเกิดการตกค้างในแหล่งน้ำ เกิดการแพร่กระจายสู่แม่น้ำเจ้าพระยา รวมทั้งบริเวณลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาและแม่น้ำท่าจีน เกษตรกรมีการใช้สารดังกล่าวเช่นกัน โดยพื้นที่เกษตรกรรมส่วนใหญ่ปลูกข้าว รองลงมาปลูกพืชไร่พืชผัก (สำนักบริหารจัดการน้ำและอุทกวิทยา, 2563) สอดคล้องกับปริมาณการนำเข้าในปี พ.ศ. 2563 ของสารกำจัดวัชพืชชนิดอะทราซีนนำเข้าสูงเป็นอันดับ 5 ปริมาณสารสำคัญ 2,735,030.56 กิโลกรัม มูลค่า 370,460,037.11 บาท และอะมีทรีนนำเข้าสูงเป็นอันดับ 9 ปริมาณสารสำคัญ 1,268,039.40 กิโลกรัม มูลค่า 214,970,577.43 บาท (สำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร, 2563)

จากข้อมูลสารพิษตกค้างในบริเวณลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาและแม่น้ำท่าจีน พบว่าในตัวอย่างน้ำพบสารพิษชนิดอะทราซีนและอะมีทรีน โดยอะมีทรีนพบตกค้างในช่วงฤดูฝนบริเวณลุ่มแม่น้ำท่าจีน ส่วนอะทราซีนพบตกค้าง

กรมวิชาการเกษตร

บริเวณลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาและแม่น้ำท่าจีนทั้งในช่วงฤดูแล้งและฤดูฝน ช่วงฤดูฝนตรวจพบในปริมาณที่สูงกว่าฤดูแล้ง เนื่องจากในช่วงฤดูฝนมีโอกาสสูงที่จะเกิดการไหลบ่า (runoff) และการชะล้าง (leaching) ลงสู่แม่น้ำจากกรณีฝนตก ทำให้ปริมาณสารพิษตกค้างที่ตรวจพบสูงกว่าในฤดูแล้ง อีกทั้งช่วงฤดูฝนเป็นระยะที่เริ่มทำการเพาะปลูก เกษตรกรใช้สารอะทราซีนและอะมีทรีนเพื่อควบคุมวัชพืชก่อนและหลังงอก จึงส่งผลให้เกิดการปนเปื้อนของสารพิษมากขึ้น โดยพบสารพิษตกค้างอะทราซีนในตัวอย่างน้ำที่สุ่มเก็บเกือบทั้งหมด สอดคล้องกับการศึกษาการแพร่กระจายของสารพิษทางการเกษตรจากแหล่งเกษตรกรรมสู่แม่น้ำสายหลักของประเทศ (มลิสาและคณะ, 2555) สำหรับตัวอย่างตะกอนพืช และสัตว์น้ำ ไม่พบสารพิษตกค้าง เนื่องจากอะทราซีนในน้ำ เกิดการสลายตัวได้ด้วยแสง โดยค่า $DT_{50}$ ที่ pH 7 เท่ากับ 2.6 วัน (จัดเป็น moderately fast) ส่วนอะมีทรีนเกิดการสลายตัวได้ด้วยแสงแดด โอกาสที่จะเกิดการดูดซับบนตะกอนจึงเกิดขึ้นได้น้อยมาก อะทราซีนและอะมีทรีนมีความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตอยู่ในระดับปานกลาง แต่ปริมาณที่ตรวจพบในตัวอย่างน้ำอยู่ในระดับต่ำมาก และไม่อยู่ในระดับที่เป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ โดยค่า $LC_{50}$ (96 hour) ในปลา ของ อะทราซีนและอะมีทรีนเท่ากับ 4500 และ 5000 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (Lewis et al., 2016)

จากผลการตรวจวิเคราะห์ที่ได้ นำมาประเมินผลกระทบของสารพิษตกค้างต่อสิ่งแวดล้อม ตาม Guidelines for Ecological Risk Assessment (U.S. EPA, 2017) และ (ECB, 2003) ประเมินผลกระทบต่อสุขภาพโดยใช้ค่า Hazard Quotient (HQ) จากการประเมินความผลกระทบต่อสุขภาพจากการรับสัมผัสโดยการบริโภคน้ำที่มีการปนเปื้อนของของสารพิษตกค้างที่ไม่ใช่สารก่อมะเร็ง สำหรับเด็กอายุ 6 ปี และผู้ใหญ่อายุ 70 ปี พบว่าค่า HQ ที่ได้ทั้งในฤดูแล้งและฤดูฝนมีค่าน้อยกว่า 1 (ตารางที่ 4) แสดงว่าเป็นความเสี่ยงที่ยอมได้ (acceptable risk) ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากค่า Risk Quotient (RQ) พบว่าค่า RQ ที่ได้ทั้งในฤดูแล้งและฤดูฝน มีค่าน้อยกว่า 1 แสดงว่าเป็นความเสี่ยงที่ยอมได้ (acceptable risk) ดังตารางที่ 5

**ตารางที่ 4** ผลการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ Hazard Quotient (HQ) สำหรับ เด็ก อายุ 6 ปี และผู้ใหญ่ 70 ปี

| Pesticides | Chao Phraya River | | | | Tha Chin River | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Dry season | | Rainy season | | Dry season | | Rainy season | |
| | Child | Adult | Child | Adult | Child | Adult | Child | Adult |
| atrazine | $1.35 \times 10^{-4}$ | $1.02 \times 10^{-4}$ | $3.67 \times 10^{-4}$ | $2.78 \times 10^{-4}$ | $1.71 \times 10^{-4}$ | $1.30 \times 10^{-4}$ | $2.02 \times 10^{-4}$ | $1.53 \times 10^{-4}$ |
| ametryn | ND | ND | ND | ND | ND | ND | $2.02 \times 10^{-4}$ | $2.02 \times 10^{-4}$ |

**หมายเหตุ**: ND: Not detected หมายถึง ตรวจไม่พบ, HQ <1: ยอมรับได้ (acceptable risk), HQ ≥1: มีความเสี่ยง (risk), เด็ก (Child) อายุ 6 ปี (น้ำหนักเฉลี่ย 33.38 กิโลกรัม) และผู้ใหญ่ (Adult) อายุ 70 ปี (น้ำหนักเฉลี่ย 55.77 กิโลกรัม) (มกอช., 2559)

กรมวิชาการเกษตร

**ตารางที่ 5** ผลการประเมินความเสี่ยงต่อสิ่งแวดล้อม Risk Quotient (RQ)

| Pesticides | Chao Phraya River | | Tha Chin River | |
|---|---|---|---|---|
| | Dry season | Rainy season | Dry season | Rainy season |
| atrazine | 0.022 | 0.060 | 0.028 | 0.033 |
| ametryn | - | - | - | 0.043 |

**หมายเหตุ:** RQ <1: ไม่มีความเสี่ยงต่อสิ่งแวดล้อม (No immediate concern), RQ = 1-10: มีความเสี่ยงต่อสิ่งแวดล้อมเล็กน้อย แต่หากมีการเพิ่มปริมาณสารพิษที่ใช้ ต้องคำนึงถึงความเสี่ยงมากขึ้น (Of concern if supply volumes increase), RQ = 10-100: มีความเสี่ยง ต้องทำการลดความเสี่ยง (Further data require), RQ >100: มีความเสี่ยงมากและจำเป็นต้องลดความเสี่ยงนั้นทันที (Reduce risk immediate)

## สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการตรวจติดตามการปนเปื้อนของสารพิษตกค้างในสิ่งแวดล้อม บริเวณลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาและ แม่น้ำท่าจีน รวมทั้งบริเวณคลองแยก โดยสุ่มเก็บตัวอย่างในช่วงฤดูแล้งและฤดูฝน ตรวจพบสารพิษตกค้างในตัวอย่างน้ำ เป็นสารกำจัดวัชพืชกลุ่ม triazine ชนิดอะทราซีนและอะมีทรีน โดยพบการปนเปื้อนของอะทราซีนในช่วงฤดูฝนมากกว่าฤดูแล้งทั้งในบริเวณลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาและแม่น้ำท่าจีน ส่วนอะมีทรีนพบตกค้างในช่วงฤดูฝนในบริเวณลุ่มแม่น้ำท่าจีน ปริมาณของอะทราซีนและอะมีทรีนที่ตรวจพบอยู่ในระดับต่ำ ไม่เกินค่าสูงสุดที่ยอมให้มีได้ในน้ำดื่มที่กำหนดไว้ เท่ากับ 20 และ 70 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (NHMRC and NRMMC, 2011) และไม่อยู่ในระดับที่เป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต เมื่อเปรียบเทียบปริมาณของสารพิษตกค้างอะทราซีนและอะมีทรีนในตัวอย่างน้ำกับมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน ตามประกาศของคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 ซึ่งกำหนดให้สารฆ่าสัตรูพืชและสัตว์ที่มีคลอรีนทั้งหมด มีค่าไม่เกิน 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือ 50 ไมโครกรัมต่อลิตร (คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, 2537) นั้น พบว่าปริมาณการปนเปื้อนของอะทราซีนและอะมีทรีน ไม่เกินค่ามาตรฐานที่กำหนด อยู่ในเกณฑ์ปลอดภัยสามารถนำมาใช้เป็นแหล่งน้ำเพื่อการเกษตร และนำไปผลิตน้ำเพื่อการบริโภคได้ ซึ่งผลการประเมินผลกระทบในสิ่งแวดล้อมตาม Guidelines for Ecological Risk Assessment (U.S. EPA, 2017) และ (ECB, 2003) ค่า HQ และ RQ ที่ได้มีค่าน้อยกว่า 1 แสดงว่าเป็นความเสี่ยงที่ยอมรับได้ ข้อมูลของปริมาณสารพิษตกค้าง ผลการประเมินผลกระทบต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อมที่ได้จากงานวิจัยนี้มีความสำคัญในการเฝ้าระวังและประเมินสถานการณ์มลพิษของสารพิษตกค้างที่เกิดจากการใช้สารพิษในกลุ่มเสี่ยงที่ส่งผลกระทบต่อมนุษย์และระบบนิเวศ รวมทั้งใช้เป็นข้อมูลประกอบการพิจารณาเพื่อกำหนดค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินสำหรับสารกำจัดวัชพืชกลุ่ม triazine และเป็นข้อมูลสนับสนุนการยกเลิกหรือการจำกัดการใช้สารพิษทางการเกษตรต่อไป

กรมวิชาการเกษตร

**การทดลองที่ 4**

# การประเมินผลกระทบจากสารกำจัดวัชพืชพาราควอตตกค้างในไร่ข้าวโพดต่อสุขภาพเกษตรกร

# Evaluation of the Effects of Paraquat Residues in Maize Fields on the Health of Farmers

ปภัสรา คุณเลิศ สิริพร เหลืองสุชนกุล ประกิจ จันทร์ติ๊บ มลิสา เวชยานนท์

Paphatsara Khunlert Siriporn Luengsuchonkul Prakit Chuntib Malisa Wetchayanon

**คำสำคัญ**

การประเมินผลกระทบ สารกำจัดวัชพืชพาราควอต ดิน น้ำ สุขภาพ

**Key words**

Impact assessment, Paraquat herbicide, Soil, Water, Health

กรมวิชาการเกษตร

**บทคัดย่อ**

ประเมินผลกระทบสารกำจัดวัชพืชพาราควอต (paraquat) ตกค้างในไร่ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ทำการประเมินความเสี่ยงจากสารกำจัดวัชพืชพาราควอตตกค้างในน้ำ และดิน ที่มีต่อสุขภาพของเกษตรกร ระหว่างเดือนตุลาคม 2562 ถึงเดือนกันยายน 2563 ได้ศึกษาระดับครัวเรือน โดยเลือกอำเภอที่เกษตรกรมีอาชีพปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในเชิงพาณิชย์ ในพื้นที่อำเภอหนองหม่วง จังหวัดลพบุรี อำเภอพุทธบาท และอำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี ใช้วิธีสัมภาษณ์เกษตรกร จำนวน 58 ราย โดยคัดเลือกตัวอย่างเกษตรกรแบบเฉพาะเจาะจงจำนวน 26 ราย ใช้วิธีการสำรวจ สุ่มเก็บตัวอย่างน้ำและดิน ร่วมกับการวิเคราะห์ทางห้องปฏิบัติการ ประเมินความเสี่ยงสารพิษตกค้าง ด้วยค่าดัชนีบ่งชี้อันตราย (Hazard quotient, HQ) และประเมินผลกระทบของสารกำจัดวัชพืชพาราควอตที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยสุ่มเก็บตัวอย่าง น้ำ และดิน รวมทั้งหมด 38 ตัวอย่าง ประกอบด้วยน้ำ 12 ตัวอย่าง และดิน 26 ตัวอย่าง ในฤดูฝน ช่วงเดือนกรกฎาคม ตรวจวิเคราะห์สารพิษตกค้างด้วยเครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ และเครื่องอัลตราไฮเพอร์ฟอร์แมนซ์ลิควิดโครมาโทกราฟ ผลการตรวจวิเคราะห์พบพาราควอตตกค้างในตัวอย่างดิน 26 ตัวอย่าง (ร้อยละ 100) ปริมาณ 1.42 - 11.51 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จากแปลงข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในอำเภอพุทธบาท จังหวัดสระบุรี ในตัวอย่างน้ำไม่พบการตกค้าง การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพด้วยค่า HQ ในช่วงอายุ 6 - 12 ปี ได้ค่าสูงสุดเท่ากับ $1.53 \times 10^{-2}$ และช่วงอายุ 70 ปี ได้ค่าสูงสุดเท่ากับ $3.93 \times 10^{-3}$ ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 1 อยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้ และทำการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้วยค่า RQ มีค่าเท่ากับ $1.42 \times 10^{-2}$ - $1.15 \times 10^{-1}$ มีค่าน้อยกว่า 1 อยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้ สรุปได้ว่า การใช้สารกำจัดวัชพืชพาราควอต ไม่มีความเสี่ยงต่อสุขภาพของเกษตรกร และไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในไร่ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

## Abstracts

To assess the risk of paraquat residues in water and soil affected the health of farmers during October 2019 to September 2020, the maize fields and farmers who cultivate the maize field in Amphor Nong Muang, Lopburi province, and Amphor Phutthabat and Kang Khoi, Saraburi province were selected for this study. Fifty-eight farmers were selected for interview (n = 58), and the water (n=12) and soil (n=26) samples were obtained from twenty-six farms (randomized sampling) in wet season (July). All samples were analyzed using Spectrophotometer and Ultra-High Performance Liquid Chromatograph (UHPLC). The results found that the paraquat residues were detected in all soil samples (1.42 - 11.51 mg/kg), whereas water samples were not found for paraquat residues. The health risk assessment was calculated using Hazard Quotient (HQ) values for the ages of 6 - 12 years (the highest value was $1.53 \times 10^{-2}$), and for the age of 70 years (the highest value was $3.93 \times 10^{-3}$). In addition, the risk assessment was calculated for environment (RQ = $1.42 \times 10^{-2}$ - $1.15 \times 10^{-1}$). These HQ and RQ values are less than 1, which indicated the levels of paraquat residues were not affect to the health of farmers as well as the environment in their farms.


## คำนำ

พาราควอต (paraquat) เป็นสารกำจัดวัชพืชในกลุ่มไบพิริดิเลียม (Bipyridilium) ที่มีคุณลักษณะแบบสัมผัสตายและไม่เลือกทำลาย (non-selective contract) สามารถดูดซึมทางใบ ทำลายเยื่อหุ้มเซลล์ และไซโทพลาสซึม ทำให้พืชเกิดความผิดปกติ เช่น ใบเหลือง จนถึงใบแห้งตาย และยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ชนิดอื่นๆ (Leong et al., 2018) มีสูตรทางเคมี คือ $C_{12}H_{14}CL_2N_2$ มีชื่อ IUPAC ว่า 1,1′-dimethyl -4,4′-bipyridinium dichloride มีมวลโมเลกุลเท่ากับ 257.2 ลักษณะทางกายภาพเป็นผงสีขาว มีจุดหลอมเหลวที่ 340 องศาเซลเซียส ละลายได้ดีในน้ำ เนื่องจากเป็นสารที่มีขั้วสูง ละลายน้ำได้ 620 กรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ความเป็นกรด-ด่าง อยู่ระหว่าง 5 - 9 จัดเป็นกลุ่มตามกลไกหรือตำแหน่งการออกฤทธิ์ตาม toxicity class: II WHO (a.i.) เป็นพิษต่อปลาและสิ่งมีชีวิตในน้ำ ค่า acute oral $LD_{50}$ ในหนู (rat) เท่ากับ 58 - 113 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักตัว ค่า ADI/RfD เท่ากับ 0.005 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัว (Adam et al., 1990) คุณสมบัติทางกายภาพที่สำคัญของพาราควอตจะถูกยึดเกาะกับอนุภาคของดินที่มีประจุลบอย่างเหนียวแน่น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอินทรียวัตถุและองค์ประกอบของดิน ความเป็นกรด-ด่าง และความแรงของไอออน ของอนุภาคในดินเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการดูดซับของสาร paraquat โดยเมื่อความเป็นด่างเพิ่มสูงขึ้น การดูดซับของสารพาราควอต จะมีค่าลดลง ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับในดิน ($K_{OC}$) อยู่ระหว่าง 8,000 - 40,000,000 มิลลิลิตรต่อกรัม และมีเพียงบางส่วนจะถูกชะลงสู่แหล่งน้ำใต้ดิน มีความคงทนสูง (Degradation time; $DT_{50}$) ตกค้างยาวนาน 7 - 20 ปี (Lu et al., 2016) พาราควอตสามารถเข้าสู่ร่างกาย

กรมวิชาการเกษตร

ได้หลายช่องทาง สำหรับทางเกษตรกรรมส่วนใหญ่จะเป็นการสัมผัสสารผ่านทางผิวหนัง ผลกระทบทางสุขภาพที่สำคัญและพบบ่อยเมื่อสัมผัส ได้แก่ ผิวหนังแตก เป็นร่องลอก หรือไหม้ คลื่นไส้อาเจียน หายใจลำบากแบบเฉียบพลัน เวียนหัว หายใจสั้น การบาดเจ็บของดวงตา และเล็บเสียหาย (พันธ์เทพ, 2558) สำหรับเกษตรกรจะได้รับสารพาราควอตจากการสัมผัสระหว่างการพ่นสารในอากาศ ดิน และกระบวนการชะล้าง (run-off) ไปสู่แหล่งน้ำ ในประเทศไทยตามรายงานการตรวจพบพาราควอตในตัวอย่างน้ำจากแหล่งปลูกส้ม จังหวัดเชียงใหม่ จำนวน 31 ตัวอย่าง ปริมาณ 0.73 - 114.60 ไมโครกรัมต่อลิตร (ภิญญาและคณะ, 2554)

ในปี 2562 มีปริมาณการนำเข้าพาราควอต คิดเป็นมูลค่าเป็นลำดับที่ 4 ปริมาณ 9,943,932.80 กิโลกรัม คิดเป็นมูลค่า 794,856,810.98 ล้านบาท (สำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร, 2562) ใช้กำจัดวัชพืชในอ้อย สับปะรด ปาล์ม ยางพารา และมะพร้าว อย่างไรก็ตาม การใช้พาราควอตอย่างต่อเนื่อง อาจทำให้เกิดความเสี่ยงต่อสุขภาพของเกษตรกร และสิ่งแวดล้อม เพราะสามารถเข้าสู่ร่างกายมนุษย์โดยตรงจากการสัมผัส ดิน น้ำ และอากาศ (จารุพงศ์และคณะ, 2562)

ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญของประเทศไทย ผลผลิตประมาณ 94 เปอร์เซ็นต์ ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ (สุมิตรและคณะ, 2561) ปัจจุบันพบว่าผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ผลิตภายในประเทศมีปริมาณไม่เพียงพอกับความต้องการของตลาดในประเทศ จึงต้องนำเข้าจากต่างประเทศ โดยในปี 2562 ประเทศไทยมีการนำเข้า ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ จำนวน 681,459 ตัน มูลค่ารวม 4,772.33 ล้านบาท เพิ่มขึ้นจากปี 2560 ที่มีการนำเข้าเพียง 96,428 ตัน มูลค่ารวม 579.34 ล้านบาท ในขณะที่ความต้องการข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่พื้นที่ปลูกมีแนวโน้มลดลง โดยในปีเพาะปลูกปี 2562/63 มีพื้นที่ปลูกข้าวโพด 6,533,971 ไร่ ลดลงจากปีการเพาะปลูก 2560/61 ที่มีพื้นที่ปลูก 6,579,194 ไร่ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2563) เนื่องจากภาคอุตสาหกรรมการเลี้ยงสัตว์มีการขยายตัวเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความต้องการใช้ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ เพื่อเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์เพิ่มขึ้น ในงานวิจัยนี้ จึงได้ทำการสำรวจ สัมภาษณ์เกษตรกร และสุ่มเก็บตัวอย่างดิน และน้ำ ในแปลงข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ โดยเลือกพื้นที่ทำการทดลองในภาคกลาง ที่อำเภอแก่งคอย และอำเภอพระพุทธบาท จังหวัดสระบุรี มีเนื้อที่เพาะปลูกประมาณ 190,451 ไร่ เนื้อที่เก็บเกี่ยว 190,263 ไร่ ให้ผลผลิต 145,970 ตัน ผลผลิตเฉลี่ย 766 กิโลกรัมต่อไร่ และอำเภอหนองม่วง จังหวัดลพบุรี เนื้อที่เพาะปลูกประมาณ 262,295 ไร่ เนื้อที่เก็บเกี่ยว 262,459 ไร่ ให้ผลผลิต 193,985 ตัน ผลผลิตเฉลี่ย 738 กิโลกรัมต่อไร่ พันธุ์ที่เกษตรกรนิยมปลูกได้แก่ CPDK 888, ไพโอเนีย และ NK 48 โดยเกษตรกรจะปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ 2 รุ่น รุ่นที่ 1 จะนิยมปลูกในฤดูฝน ตั้งแต่เดือนพฤษภาคมถึงตุลาคม ผลผลิตเก็บเกี่ยวในช่วงเดือนกันยายน และรุ่นที่ 2 จะนิยมปลูกในฤดูแล้ง เดือนพฤศจิกายนถึงเมษายน ผลผลิตจะเก็บเกี่ยวในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ ซึ่งเกษตรกรผู้ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ จะปลูกต่อเนื่องตลอดปี และมักพบปัญหาวัชพืช โรค และแมลงศัตรูพืช โดยเฉพาะวัชพืชก่อนปลูก เช่น หญ้าแห้วหมู หญ้าตีนกา หญ้าคา และหญ้าขจรจบดอกเล็กขึ้นอย่างหนาแน่น เนื่องจากแปลงมีขนาดใหญ่ เกษตรกรจึงเลือกใช้สารกำจัดวัชพืชพาราควอต ซึ่งอาจพบการตกค้างในสิ่งแวดล้อม เช่น ดิน และแหล่งน้ำ โดยเฉพาะภายในแปลงปลูกที่เกษตรกรสัมผัสโดยตรงขณะปฏิบัติงานภายในแปลง

กรมวิชาการเกษตร

ดังนั้น การทดลองนี้จึงมีวัตถุประสงค์ เพื่อประเมินความเสี่ยงจากการได้รับสารกำจัดวัชพืชพาราควอตในสิ่งแวดล้อมต่อสุขภาพเกษตรกร และประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยข้อมูลที่ได้จากการศึกษา จะนำไปใช้ในการลดผลกระทบต่อสุขภาพที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อนักวิจัย และเป็นข้อมูลสำหรับกรมวิชาการเกษตร สามารถนำข้อมูลไปศึกษาต่อยอดเพื่อใช้ในการกำหนดนโยบายสาธารณะของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง โดยมุ่งเน้นเพื่อการแก้ไขปัญหาผลกระทบต่อสุขภาพที่อาจเกิดขึ้นต่อเกษตรกรและสิ่งแวดล้อม รวมทั้งใช้ประกอบการพิจารณาบริหารจัดการควบคุมวัตถุมีพิษทางการเกษตรที่มีอันตราย ในการเข้มงวดการใช้ การจำกัดการใช้ หรือการห้ามใช้ เพื่อความปลอดภัยของผู้ใช้ ผู้บริโภค และสิ่งแวดล้อมต่อไป

## ระเบียบวิธีการวิจัย

1. ประเด็นวิจัย

ประเมินผลกระทบที่เกิดจากการตกค้างของพาราควอตในไร่ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่มีต่อเกษตรกร โดยสุ่มเก็บตัวอย่างน้ำ ตะกอน และข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในแปลงปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ข้อมูลการตกค้างนำไปประเมินผลกระทบต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อมตามมาตรฐาน

2. สถานที่ทำการวิจัย

2.1 แปลงปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ในจังหวัดสระบุรี และลพบุรี

2.2 ห้องปฏิบัติการกลุ่มวิจัยวัตถุมีพิษการเกษตร กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร

3. ระยะเวลาดำเนินงาน เริ่มต้น ตุลาคม 2562 ถึง กันยายน 2563

4. วิธีการดำเนินการ

4.1 วิธีการ

4.1.1 สำรวจและกำหนดจุดเก็บตัวอย่าง เลือกพื้นที่ไร่ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในจังหวัดสระบุรี และลพบุรี ประสานหน่วยงานในพื้นที่เกษตรอำเภอ เพื่อขอข้อมูลและความร่วมมือระหว่างดำเนินการ ทำการสัมภาษณ์ และเก็บข้อมูลเกษตรกรผู้ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์จำนวน 58 ราย ในอำเภอหนองม่วง จังหวัดลพบุรี อำเภอพุทธบาท และอำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี ได้ข้อมูลเกษตรกรที่มีความเสี่ยงจากการใช้สารกำจัดวัชพืชพาราควอตจำนวน 26 ราย กำหนดจุดเก็บตัวอย่างโดยใช้ระบบกำหนดตำแหน่งพื้นโลกด้วยดาวเทียม (Global Positioning System; GPS) ซึ่งงานวิจัยนี้ได้เก็บตัวอย่าง 1 ครั้ง ในฤดูฝน เดือนกรกฎาคม ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างดินและน้ำในไร่ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์จากอำเภอหนองม่วง จังหวัดลพบุรี จำนวน 10 แปลง อำเภอพุทธบาท และอำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี จำนวน 16 แปลง รวมทั้งหมด 26 แปลง

4.1.2 ตัวอย่างน้ำ ใช้แครงสุ่มตักตัวอย่างน้ำบริเวณบ่อหรือจุดรวบรวมน้ำสำหรับใช้ในแปลงข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ให้เต็มขวดพลาสติก ขนาด 1 ลิตร จำนวน 2 ขวด ขณะนำส่งห้องปฏิบัติการให้แช่ตัวอย่างไว้ในถังน้ำแข็ง หากยังไม่สกัดตัวอย่าง ให้นำแช่ไว้ในตู้เย็น ถ้าน้ำมีลักษณะใสสะอาด สามารถนำไปสกัดได้ทันที แต่ถ้ามีความขุ่นหรือสกปรก ให้

กรมวิชาการเกษตร

กรองผ่านกระดาษกรองเพื่อแยกสิ่งปนเปื้อนออกก่อนการตรวจวิเคราะห์ รวมทั้งวัดดัชนีคุณภาพน้ำจากค่าพารามิเตอร์ในน้ำ ได้แก่ อุณหภูมิของน้ำ ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำ (pH) การนำไฟฟ้า (Conductivity, µs/cm) ค่าของแข็งทั้งหมด (Total Dissolve Solid, ppm) และค่าออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolve Oxygen, mg/L)

4.1.3 ตัวอย่างดิน ใช้ soil auger หรือช้อนตักดิน สุ่มเก็บจากแปลงปลูก ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างให้ทั่วแปลง (random sampling) แปลงละ 10 จุด รวมทุกจุดเป็นตัวอย่างเดียวกัน ให้ได้น้ำหนัก 1 กิโลกรัม เก็บในถุงพลาสติก ระหว่างนำส่งห้องปฏิบัติการให้แช่ตัวอย่างไว้ในถังน้ำแข็ง หากยังไม่สกัดตัวอย่างให้นำแช่ไว้ในตู้เย็นหรือตู้แช่แข็ง หรือถ้าตัวอย่างมีความชื้นสูง นำไปผึ่งในถาดที่อุณหภูมิห้อง ให้มีความชื้นประมาณ 10 - 20 เปอร์เซ็นต์ แล้วทุบให้ละเอียดหรือผสมคลุกเคล้าให้เข้ากันก่อนนำไปทดสอบ และหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นของตัวอย่างดิน

4.1.4 การปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการ

การเตรียมตัวอย่าง ตัวอย่างดิน ก่อนนำไปสกัด นำตัวอย่างดินและตะกอนใส่ถาดสแตนเลสตากไว้ในที่ร่มให้มีความชื้นประมาณ 10 - 20 เปอร์เซ็นต์ กรณีที่มีการปนเปื้อนของหินหรือเศษซากพืชให้แยกออก จากนั้นนำไปผสมคลุกเคล้าเพื่อให้ตัวอย่างมีความเป็นเนื้อเดียวกัน ทำการชั่งตัวอย่าง ตัวอย่างละ 2 ซ้ำ น้ำหนัก 25±0.05 กรัม ลงในขวด round bottom flask ขนาด 500 มิลลิลิตร จากนั้นนำตัวอย่างที่ชั่งแล้วไปสกัดและตรวจวิเคราะห์หาปริมาณสารพิษตกค้าง และชั่งตัวอย่างดิน 50±0.05 กรัม ใส่ใน petri dish ที่มีฝาปิด สำหรับนำไปตรวจหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นดิน

4.1.5 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน

4.1.5.1 เตรียม stock standard solution ให้มีความเข้มข้นประมาณ 1,000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร โดยใช้สารละลาย ammonium chloride อิ่มตัว และน้ำเป็นตัวทำละลาย

4.1.5.2 เตรียม working standard solution ให้ได้ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานที่ 6 ระดับ เท่ากับ 0.0577, 0.1443, 0.2887, 0.5774, 1.1548 และ 1.7322 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร เพื่อสร้างกราฟความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง กำหนดค่า correlation coefficient ≥0.995

4.1.6 วิธีการตรวจวิเคราะห์ตัวอย่างในห้องปฏิบัติการ

4.1.6.1 ตรวจวิเคราะห์สารพิษตกค้างในตัวอย่างน้ำ และดิน (Kennedy, 1986) วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 396 นาโนเมตร ด้วยวิธี Spectrophotometer และตรวจยืนยันผลด้วย UHPLC-DAD

4.1.6.2 หาความชื้นในตัวอย่างตะกอน และดิน (Back, 1965) เพื่อหาน้ำหนักดินแห้งสุทธิ โดยชั่งตัวอย่างดิน 50 กรัม บันทึกน้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ และหลังอบ 24 ชั่วโมง นำไปคำนวณความชื้นและน้ำหนักดินแห้ง

4.1.7 การคำนวณความเสี่ยงการได้รับสารกำจัดวัชพืชพาราควอตในน้ำและดินต่อสุขภาพของเกษตรกร

ค่าความเสี่ยงประเมินจากดัชนีชี้วัดความเสี่ยง (HQ) มีเกณฑ์กำหนด คือ HQ มากกว่า 1 หมายถึง สารกำจัดวัชพืชพาราควอตตกค้างอยู่ในระดับเสี่ยงต่อสุขภาพของเกษตรกร หาก HQ น้อยกว่า 1 แสดงว่าสารกำจัดวัชพืชพาราควอตตกค้างอยู่ในระดับยอมรับได้ โดยค่า HQ คำนวณจากค่า ADD (ปริมาณค่าเฉลี่ยที่เกษตรกรได้รับสารป้องกันกำจัดวัชพืชต่อวัน) เทียบกับค่า RfD มีสมการคำนวณ ดังนี้

กรมวิชาการเกษตร

$$ADD = (C_{soil}*CF*IR_{soil}*EF*ED)/(BW*AT) \quad \text{(สมการ 1)}$$

เมื่อ: ADD คือ ปริมาณสารพิษเฉลี่ยต่อวันจากสารกำจัดวัชพืชพารควอตตกค้าง (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน),$C_{soil}$ คือ ความเข้มข้นของสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชตกค้างในดินที่แปลงปลูกพืช (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม), CF คือ unit conversion factor = $10^{-6}$ กิโลกรัมต่อมิลลิกรัม, $IR_{soil}$ คือ อัตราการได้รับสารพิษที่ตกค้างในดิน (มิลลิกรัมต่อวัน), 200 มิลลิกรัมต่อวัน สำหรับเด็ก, 100 มิลลิกรัมต่อวัน สำหรับผู้ใหญ่ (U.S. EPA, 2008), EF คือ ความถี่ของการสัมผัส (365 วัน/ปี), ED คือ ระยะเวลาที่สัมผัส (years) สำหรับเด็กอายุ 6 - 12 ปี และ 70 ปี สำหรับผู้ใหญ่ (U.S. EPA, 2003), BW คือ ค่าเฉลี่ยน้ำหนักตัว (กิโลกรัม); สำหรับเด็กอายุ 6 - 12 ปี (33.38 กิโลกรัม), ผู้ใหญ่ (52 กิโลกรัม) จากค่าเฉลี่ยแบบสอบถาม, AT คือ ระยะเวลาที่ใช้เฉลี่ย (365 วัน) (EF*ED)

การคำนวณค่าความเสี่ยงจากสารพิษตกค้างได้จากค่า hazard quotient (HQ) ซึ่งคำนวณจาก ค่า ADD และค่า RfD ดังสมการ

$$HQ = ADD/RfD \quad \text{(สมการ 2)}$$

เมื่อ: RfD คือ reference dose เฉพาะของสารกำจัดวัชพืช paraquat มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน ใช้ค่า RfD ตามข้อมูล Pesticide Properties Database (PPDB) (IUPAC, 2019) และ IRIS Assessment (U.S. EPA, 2019)

เมื่อ HQ ≥1 หมายถึง สารกำจัดวัชพืชพาราควอตตกค้างอยู่ในระดับเสี่ยงต่อเกษตรกร, HQ <1 หมายถึง สารกำจัดวัชพืชพาราควอตตกค้างอยู่ในระดับยอมรับได้

## ผลการวิจัยและอภิปราย

จากการสัมภาษณ์เกษตรกรผู้ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์จำนวน 58 ราย ในอำเภอหนองม่วง จังหวัดลพบุรี อำเภอพุทธบาท และอำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี มีผลการศึกษา ดังนี้

1. ข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่เป็นเพศชาย ร้อยละ 60.3 มีอายุระหว่าง 46 - 64 ปี ร้อยละ 70.7 มีสถานภาพสมรส ร้อยละ 75.9 สถานภาพครอบครัวเป็นหัวหน้าครอบครัว ร้อยละ 69.0 จบการศึกษาระดับประถมศึกษา ร้อยละ 67.2 มีรายได้เฉลี่ยต่อปี 50,001 - 250,000 บาท ร้อยละ 58.6 มีจำนวนไร่ข้าวโพด 11 - 36 ไร่ ร้อยละ 53.4 มีปัญหาเรื่องศัตรูพืชและโรคระบาด ร้อยละ 84.5 เกษตรกรส่วนใหญ่เกี่ยวข้องกับขั้นตอนการทำไร่ข้าวโพดในขั้นตอนการใส่ปุ๋ย ร้อยละ 77.6 รองลงมาคือ การพ่นสารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืช ร้อยละ 75.9

2. ข้อมูลศัตรูพืชและการใช้สารป้องกันกำจัดศัตรูพืช

เมื่อพิจารณาจากกลุ่มตัวอย่างทั้งหมดมีปัญหาเรื่องแมลงและวัชพืช ร้อยละ 100 โดยแมลงที่พบส่วนใหญ่ได้แก่ หนอนกะทู้ข้าวโพด เพลี้ยอ่อน หนอนเจาะลำต้นข้าวโพด และหนอนเจาะฝักข้าวโพด สำหรับวัชพืชที่พบ ได้แก่ หญ้าแห้วหมู หญ้าตีนกา หญ้าคา และหญ้าขจรจบดอกเล็ก รองลงมาคือปัญหาเรื่องโรคพืช ร้อยละ 77.6 โรคพืชที่พบส่วนใหญ่ คือ โรคราน้ำค้าง และโรคใบไหม้แผลใหญ่ ซึ่งสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชที่นิยมใช้ในไร่ข้าวโพด คือ สารกำจัด

กรมวิชาการเกษตร

วัชพืชพาราควอต ร้อยละ 100 ใช้ 1 ครั้งต่อฤดูการปลูก ช่วงเดือนพฤษภาคม - มิถุนายน อัตรา 1 ลิตรต่อไร่ รองลงมาคือไกลโฟเซต ร้อยละ 43.1 ใช้ในรูปแบบการพ่นยาน้ำหรือสารละลาย ร้อยละ 67.2 โดยพ่นสารศัตรูพืชด้วยตนเอง ร้อยละ 53.4 ในช่วงเช้าหรือช่วงเย็น กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่มีโรคประจำตัว ร้อยละ 50.0 ซึ่งส่วนมากเป็นโรคความดันและเบาหวาน และไม่เคยมีประสบการณ์การได้รับพิษจากการใช้สารป้องกันกำจัดศัตรูพืช ร้อยละ 48.3 และมีเพียงร้อยละ 46.6 เคยมีอาการเล็กน้อย โดยอาการที่พบมากที่สุด ได้แก่ ปวดศีรษะ อ่อนเพลีย มึนงง เหงื่อออก น้ำตาไหล ระคายคอ และคลื่นไส้ วิธีการรักษาเมื่อมีอาการแพ้สารคือ ปล่อยให้หายเอง ร้อยละ 17.2 และไปรักษาที่โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล ร้อยละ 12.7 เคยได้รับข้อมูลเกี่ยวกับการใช้สารป้องกันกำจัดศัตรูพืช จากเจ้าหน้าที่เกษตร ร้อยละ 74.1 รองลงมาคือ โทรทัศน์ ร้อยละ 46.6 นอกจากนี้กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่ในรอบ 1 ปีที่ผ่านมา ไม่เคยตรวจเลือดหาสารป้องกันกำจัดศัตรูพืช ร้อยละ 55.2

3. ความรู้เกี่ยวกับการใช้สารป้องกันกำจัดศัตรูพืช

กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่มีความรู้เกี่ยวกับการใช้สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชอยู่ในระดับปานกลาง คิดเป็น ร้อยละ 62.1 โดยคำถามที่เกษตรกรตอบถูกต้องมากที่สุดคือ ขณะพ่นสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชเกษตรกรควรสวมเสื้อผ้ามิดชิด ใช้ผ้าปิดจมูก สวมถุงมือ และใส่รองเท้าบูท ร้อยละ 100 รองลงมาคือ พาราควอตเป็นสารกำจัดวัชพืชประเภทฆ่าหญ้า ร้อยละ 98.3 และลำดับถัดมาสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชสามารถเข้าสู่ร่างกายได้ 3 ทาง คือ ทางปาก ทางผิวหนัง และทางการหายใจ ร้อยละ 91.4 ส่วนข้อคำถามที่เกษตรกรตอบไม่ถูกต้องมากที่สุดคือ การใช้สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชมีผลเสียเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตทุกชนิด ร้อยละ 75.0 รองลงมาคือ ภาชนะหรือสารเคมีที่ใช้หมดแล้ว ควรกำจัดด้วยการขุดหลุมฝังกลบดินให้มิดชิดหรือแยกเป็นขยะอันตรายเพื่อรอการกำจัด ร้อยละ 67.2

4. ข้อมูลด้านความเชื่อและทัศนคติการใช้สารป้องกันกำจัดศัตรูพืช

เมื่อพิจารณาโดยภาพรวมพบว่ากลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่มีทัศนคติเกี่ยวกับการใช้สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชอยู่ในระดับปานกลาง คิดเป็นร้อยละ 51.7 เมื่อพิจารณาเป็นรายข้อพบว่า กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่มีทัศนคติที่ถูกต้องมากที่สุดในเรื่องดังต่อไปนี้คือ การใช้ไม้ผสมสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชแทนการใช้มือ ทำให้ปลอดภัยจากการสัมผัสสาร ร้อยละ 60.3 รองลงมาคือ ขณะพ่นสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชควรสวมเสื้อแขนยาว กางเกงขายาว เพราะจะช่วยลดการสัมผัสกับละอองสารเคมีในขณะปฏิบัติงาน ร้อยละ 58.6 และการผสมสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชหลาย ๆ ชนิด (มากกว่าคำแนะนำในฉลาก) เข้าด้วยกันไม่มีผลทำให้การกำจัดศัตรูพืชได้ผลดียิ่งขึ้น ร้อยละ 53.5 กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่มีทัศนคติที่ไม่ถูกต้องมากที่สุดในเรื่องดังต่อไปนี้คือ การผสมสารเคมีหลาย ๆ ชนิดเข้าด้วยกัน จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดศัตรูพืช ร้อยละ 67.2 รองลงมาคือ การพ่นสารเคมีกำจัดศัตรูพืชถ้าหากอยู่เหนือทิศทางลมไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ป้องกัน ร้อยละ 29.3 และน้อยที่สุดคือ เกษตรกรสามารถใช้วิธีการอื่น ๆ ในการกำจัดศัตรูพืชนอกจากใช้สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชเพียงอย่างเดียว ร้อยละ 19.0

กรมวิชาการเกษตร

5. ข้อมูลด้านการปฏิบัติตนในการใช้สารป้องกันกำจัดศัตรูพืช

เมื่อพิจารณาโดยภาพรวมพบว่ากลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่มีพฤติกรรมก่อนการใช้ ขณะใช้ และหลังการใช้สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชอยู่ในระดับปานกลาง คิดเป็นร้อยละ 69.0 เมื่อพิจารณาเป็นรายข้อจำแนกตามการปฏิบัติ พบว่า ก่อนการใช้สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืช กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่มีการตรวจสอบอุปกรณ์การพ่นให้อยู่ในสภาพดีก่อนนำมาใช้งาน ร้อยละ 98.3 และอ่านฉลากข้างขวดหรือซองสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชและปฏิบัติตามคำแนะนำอย่างเคร่งครัด ร้อยละ 96.6 ขณะใช้สารป้องกันกำจัดศัตรูพืช กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่มีการสวมเสื้อและกางเกงขายาว ขณะพ่นสารป้องกันกำจัดศัตรูพืช ร้อยละ 94.8 และสวมรองเท้าบูทขณะพ่นสาร ร้อยละ 93.0 หลังการใช้สารป้องกันกำจัดศัตรูพืช กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่จะล้างมือและล้างหน้าด้วยสบู่ก่อนรับประทานอาหาร ร้อยละ 100 และถอดชุดที่สวมใส่ขณะพ่นสารเคมี ซักด้วยผงซักฟอกทันที ร้อยละ 96.6

ส่วนพฤติกรรมการใช้สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชที่กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่มีการปฏิบัติที่ไม่ถูกต้องมากที่สุด คือ เลือกใช้สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชตามคำแนะนำของเกษตรกรเพื่อนบ้าน ร้อยละ 65.5 รองลงมา คือ ภาชนะที่ใส่สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชที่ใช้หมดแล้ว นำไปฝังหรือแยกเป็นขยะอันตราย ร้อยละ 55.2 รองลงมา คือ ผสมสารเคมีหลาย ๆ ชนิดเข้าด้วยกันเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดศัตรูพืช ร้อยละ 27.6 หลังใช้นำภาชนะบรรจุสารเคมีกำจัดศัตรูพืชที่ใช้หมดแล้วไปทำลายโดยการทิ้งขยะ ร้อยละ 28.9 และหลังการพ่นสารเคมีกำจัดศัตรูพืช เกษตรกรจะล้างอุปกรณ์ในแหล่งน้ำธรรมชาติ ได้แก่ แม่น้ำลำคลอง หรืออ่างเก็บน้ำ ร้อยละ 20.7

**ตารางที่ 1** สรุปข้อมูลแบบสอบถามการใช้สารพาราควอตในไร่ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในจังหวัดลพบุรี และสระบุรี (n = 58)

| **พารามิเตอร์** | | **ความถี่ (ร้อยละ)** |
|---|---|---|
| เพศ | ชาย | 35 (60.3) |
| | หญิง | 23 (39.7) |
| อายุ (ปี) | 46 – 64 | 41 (70.7) |
| สถานภาพ | คู่ | 44 (75.9) |
| สถานภาพในครอบครัว | หัวหน้าครอบครัว | 40 (69.0) |
| ระดับการศึกษา | จบประถมศึกษา (ป1 – ป6) | 39 (67.2) |
| รายได้เฉลี่ยต่อปีจากการประกอบอาชีพเกษตรกรรม | 50,001 – 250,000 | 34 (58.6) |
| จำนวนไร่ข้าวโพด | 11 – 36 ไร่ | 31 (53.4) |
| ปัญหาเรื่องการประกอบอาชีพ | ปัญหาเรื่องศัตรูพืช/โรคระบาด | 49 (84.5) |
| เกี่ยวข้องกับการทำไร่ข้าวโพดในขั้นตอนใด | การใส่ปุ๋ย | 45 (77.6) |
| ปัญหาแมลง | หนอนกะทู้ข้าวโพด เพลี้ยอ่อน หนอนเจาะลำต้นข้าวโพด และหนอนเจาะฝักข้าวโพด | 58 (100) |

กรมวิชาการเกษตร

**ตารางที่ 1** สรุปข้อมูลแบบสอบถามการใช้สารพาราควอตในไร่ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในจังหวัดลพบุรี และสระบุรี (n = 58) (ต่อ)

| **พารามิเตอร์** | | **ความถี่ (ร้อยละ)** |
|---|---|---|
| ปัญหาวัชพืช | หญ้าแห้วหมู หญ้าตีนกา หญ้าคา และหญ้าขจรจบดอกเล็ก | 58 (100) |
| ปัญหาโรคพืช | โรคราน้ำค้าง และโรคใบไหม้แผลใหญ่ | 45 (77.6) |
| สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชที่นิยมใช้ในไร่ข้าวโพด | พาราควอต | 58 (100) |
| | ไกลโฟเซต | 25 (43.1) |
| รูปแบบการใช้ | การพ่นยาน้ำหรือสารละลาย | 39 (67.2) |
| การใช้สารกำจัดศัตรูพืช | พ่นสารเอง | 31 (53.4) |
| โรคประจำตัว | ความดันและเบาหวาน | 29 (50.0) |
| อาการของการเกิดพิษจากสารกำจัดศัตรูพืช | ไม่เคย | 28 (48.3) |
| | เคยมีอาการเล็กน้อย | 27 (46.6) |
| วิธีการรักษาเมื่อมีอาการแพ้สารกำจัดศัตรูพืช | ปล่อยให้หายเอง | 10 (17.2) |
| | ไปโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล | 7 (12.1) |
| แหล่งข้อมูลเกี่ยวกับสารกำจัดศัตรูพืช | เจ้าหน้าที่เกษตร | 43 (74.1) |
| | โทรทัศน์ | 27 (46.6) |
| ในรอบ 1 ปีที่ผ่านมา เคยตรวจเลือดหาสารตกค้างหรือไม่ | ไม่เคย | 32 (55.2) |
| ความรู้เรื่องการใช้สารกำจัดศัตรูพืช | ระดับต่ำ | 12 (20.7) |
| | ระดับปานกลาง | 36 (62.1) |
| | ระดับสูง | 10 (17.2) |
| ความเชื่อและทัศนคติในการใช้สารกำจัดศัตรูพืช | ระดับต่ำ | 16 (27.6) |
| | ระดับปานกลาง | 30 (51.7) |
| | ระดับสูง | 12 (20.7) |
| การปฏิบัติตนในการใช้สารกำจัดศัตรูพืช | ระดับต่ำ | 7 (12.1) |
| | ระดับปานกลาง | 40 (69.0) |
| | ระดับสูง | 11 (19.0) |

จากการสัมภาษณ์เกษตรกรจำนวน 58 ราย ได้ข้อมูลเกษตรกรที่มีความเสี่ยงจากการใช้สารกำจัดวัชพืชพาราควอต จำนวน 26 ราย ที่ทำการพ่นสารกำจัดวัชพืชพาราควอตด้วยตนเอง

6. ผลการวิเคราะห์พาราควอตในตัวอย่างน้ำ และดินในแปลงข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

ได้สุ่มเก็บตัวอย่างน้ำ และดินในแปลงข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ช่วงฤดูฝนระหว่างเดือนกรกฎาคม 2563 ได้ตัวอย่างน้ำจำนวน 12 ตัวอย่าง และตัวอย่างดินจำนวน 26 ตัวอย่าง ตรวจวิเคราะห์พาราควอตตกค้าง ผลการตรวจ

กรมวิชาการเกษตร

วิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ ตรวจไม่พบพาราควอตในน้ำทุกตัวอย่าง สำหรับตัวอย่างดิน ตรวจพบการตกค้างของพาราควอตในทุกตัวอย่าง ปริมาณ 1.42 - 11.51 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 2)

**ตารางที่ 2** ผลการตรวจวิเคราะห์ปริมาณพาราควอตในตัวอย่างดิน และน้ำในแปลงข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ จังหวัดลพบุรี และสระบุรี

| Sample | Total sample/Positive sample | Concentration |
|---|---|---|
| water | 12/0 | ND |
| soil | 26/26 | 1.42 – 11.51 |

**หมายเหตุ**: ND: Not detected หมายถึง ตรวจไม่พบ,
น้ำ: หน่วย ไมโครกรัมต่อลิตร (µg/L), ดิน: หน่วย เป็นมิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (mg/kg)

7. การประเมินความเสี่ยงของพาราควอตในดินต่อสุขภาพของเกษตรกร

7.1 การประเมินความเสี่ยงของพาราควอตตกค้างในดินต่อสุขภาพของเกษตรกรในวัยเด็ก เมื่อนำผลการตรวจวิเคราะห์พาราควอตในตัวอย่างดิน คำนวณค่า HQ ในช่วงอายุ 6 - 12 ปี โดยมีค่า HQ มากที่สุดเท่ากับ $1.53 \times 10^{-2}$ ซึ่งเป็นแปลงข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในอำเภอพุทธบาท จังหวัดสระบุรี และพบค่า HQ น้อยที่สุดเท่ากับ $1.89 \times 10^{-3}$ ซึ่งเป็นแปลงข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในอำเภอหนองม่วง จังหวัดลพบุรี ส่วนในวัยผู้ใหญ่ในช่วงอายุ 70 ปี มีค่า HQ มากที่สุดเท่ากับ $3.93 \times 10^{-3}$ และพบค่า HQ น้อยที่สุดเท่ากับ $4.84 \times 10^{-4}$ ความเสี่ยงของพาราควอตในดินแปลงปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ต่อสุขภาพเกษตรกร สรุปได้ว่า เกษตรกรผู้ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มีความเสี่ยงอยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้ (ตารางที่ 3)

**ตารางที่ 3** ผลการประเมินความเสี่ยงของพาราควอตที่ตกค้างในตัวอย่างดินต่อสุขภาพ

| Concentration (mg/kg) (min – max) | RfD (mg/kg-day) | Harzard Quatient (HQ) | | Risk |
|---|---|---|---|---|
| | | Child | Adult | |
| 1.42 – 11.51 | 0.0045 | $1.89 \times 10^{-3} – 1.53 \times 10^{-2}$ | $4.84 \times 10^{-4} – 3.93 \times 10^{-3}$ | accept |

**หมายเหตุ:** ช่วงอายุที่นำมาใช้ในการประเมินเด็ก (Child) อายุ 6 ปี (น้ำหนักเฉลี่ย 33.38 กิโลกรัม) (มกอช., 2559) และผู้ใหญ่ (Adult) อายุ 70 ปี (น้ำหนัก 52 กิโลกรัม (ค่าเฉลี่ยที่ได้จากแบบสอบถาม)

7.2 การประเมินผลกระทบของสารกำจัดวัชพืชพาราควอตตกค้างในดินแปลงปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เมื่อนำผลการตรวจวิเคราะห์ปริมาณสารกำจัดวัชพืชพาราควอตตกค้างในดินที่พบปริมาณต่ำที่สุด ($MEC_{min}$) และสูงที่สุด ($MEC_{ex}$) คำนวณค่า RQ เพื่อประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยมีค่า RQ เท่ากับ 0.01 - 1.15 พบว่ามีความเสี่ยงเล็กน้อย อยู่ในเกณฑ์ที่ต้องระวังการใช้ (RQ = 1 - 10) ดังนั้นการประเมินผลกระทบของสารกำจัดวัชพืชพาราควอตตกค้างในดินแปลงปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม สรุปได้ว่า มีความเสี่ยงอยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้ (ตารางที่ 4)

กรมวิชาการเกษตร

**ตารางที่ 4** ผลการประเมินความเสี่ยงของสารกำจัดวัชพืชพาราควอตตกค้างในดินต่อสิ่งแวดล้อม

| Pesticide | $MEC_{min}$ (mg/kg) | $MEC_{ex}$ (mg/kg) | PNEC-soil (mg/kg) | $RQ_{min}$ | $RQ_{ex}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| paraquat | 1.42 | 11.51 | 10 | 0.01 | 1.15 |

**หมายเหตุ**: RQ <1: ไม่มีความเสี่ยงต่อสิ่งแวดล้อม (No immediate concern), RQ = 1-10: มีความเสี่ยงต่อสิ่งแวดล้อมเล็กน้อย แต่หากมีการเพิ่มปริมาณสารพิษที่ใช้ ต้องคำนึงถึงความเสี่ยงมากขึ้น (Of concern if supply volumes increase), RQ = 10-100: มีความเสี่ยง ต้องทำการลดความเสี่ยง (Further data require), RQ >100: มีความเสี่ยงมากและจำเป็นต้องลดความเสี่ยงนั้นทันที (Reduce risk immediate)

## สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การประเมินผลกระทบสารกำจัดวัชพืชพาราควอตตกค้างในไร่ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ในพื้นที่อำเภอหนองม่วง จังหวัดลพบุรี อำเภอพุทธบาท และอำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี สรุปได้ว่า สารกำจัดวัชพืชพาราควอตตกค้างในดินทุกตัวอย่าง พบปริมาณสูงสุดในแปลงข้าวโพดเลี้ยงสัตว์จากอำเภอพุทธบาท จังหวัดสระบุรี เมื่อประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพพบว่ามีความเสี่ยงต่ำ ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอยู่ในเกณฑ์ที่ต้องระวังการใช้ จากข้อมูลทำให้ทราบว่าเกษตรกรยังมีการใช้สารกำจัดวัชพืชในปริมาณมากในไร่ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ดังนั้น จึงควรมีการเก็บข้อมูลการใช้สารของเกษตรกร รวมถึงสำรวจเก็บตัวอย่างที่ต่อเนื่อง เพื่อเป็นการเฝ้าระวังการใช้สารให้มีความปลอดภัยต่อผู้ใช้ ผู้บริโภค สิ่งมีชีวิต และสิ่งแวดล้อม เพื่อลดความเสี่ยงต่อการได้รับสัมผัสสารกำจัดวัชพืชที่ส่งผลต่อสุขภาพเกษตรกร

กรมวิชาการเกษตร

**การทดลองที่ 5**

# การประเมินผลกระทบจากสารกำจัดวัชพืชอะทราซีนตกค้างในไร่ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

Assessment of the Effects of Atrazine Residues in Maize Fields on the Health of Farmers

ปภัสรา คุณเลิศ สิริพร เหลืองสุชนกุล ประกิจ จันทร์ติ๊บ มลิสา เวชยานนท์

Paphatsara Khunlert Siriporn Luengsuchonkul Prakit Chuntib Malisa Wetchayanon

**คำสำคัญ**

การประเมินผลกระทบ สารกำจัดวัชพืชอะทราซีน ดิน น้ำ ข้าวโพด

**Key words**

Impact assessment, Atrazine herbicide, Soil, Water, Maize

กรมวิชาการเกษตร

**บทคัดย่อ**

ประเมินผลกระทบสารกำจัดวัชพืชอะทราซีน (atrazine) ตกค้างในไร่ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ทำการประเมินความเสี่ยงจากสารกำจัดวัชพืชอะทราซีนตกค้างในดิน น้ำ ตะกอน ดิน และข้าวโพด ที่มีผลต่อสุขภาพของเกษตรกร ระหว่างเดือนตุลาคม 2563 ถึงเดือนกันยายน 2564 ได้ศึกษาระดับครัวเรือน โดยเลือกอำเภอที่เกษตรกรมีการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในเชิงพาณิชย์ ในพื้นที่อำเภอหนองม่วง จังหวัดลพบุรี อำเภอพุทธบาท และอำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี โดยเลือกตัวอย่างแปลงข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ของเกษตรกรแบบเฉพาะเจาะจงจำนวน 60 แปลง ใช้วิธีการสัมภาษณ์ สำรวจ สุ่มเก็บตัวอย่างดิน น้ำ ตะกอนดิน และข้าวโพด ร่วมกับการวิเคราะห์ทางห้องปฏิบัติการ ประเมินความเสี่ยงสารพิษตกค้าง ด้วยค่าดัชนีบ่งชี้อันตราย (Hazard quotient, HQ) และประเมินผลกระทบของสารกำจัดวัชพืชอะทราซีน ที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยสุ่มเก็บตัวอย่าง ดิน น้ำ ตะกอน และข้าวโพด รวมทั้งหมด 183 ตัวอย่าง ประกอบด้วย ดิน 120 ตัวอย่าง น้ำ 40 ตัวอย่าง ตะกอน 4 ตัวอย่าง และข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ 19 ตัวอย่าง ในฤดูแล้งและฤดูฝน ช่วงเดือนกุมภาพันธ์ และกรกฎาคม ตรวจวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟชนิดตัวตรวจวัดไนโตรเจน-ฟอสฟอรัส ผลการตรวจวิเคราะห์ พบอะทราซีนตกค้างในดิน 59 ตัวอย่าง (ร้อยละ 32) ปริมาณ 0.03 - 0.92 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในน้ำปริมาณ 0.02 - 91.73 ไมโครกรัมต่อลิตร ซึ่งพบการตกค้างสูงสุดในฤดูแล้งจากแปลงข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในอำเภอพุทธบาท จังหวัดสระบุรี ไม่พบอะทราซีนตกค้างในตัวอย่างตะกอนและข้าวโพด ประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพด้วยค่า HQ ในดิน และน้ำ ช่วงอายุ 6 - 12 ปี ได้ค่าสูงสุดเท่ากับ $5.52 \times 10^{-6}$ - $2.05 \times 10^{-3}$ และช่วงอายุ 70 ปี ได้ค่าสูงสุดเท่ากับ $1.77 \times 10^{-6}$ - $1.66 \times 10^{-3}$ ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 1 อยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้ และทำการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้วยค่า RQ ในฤดูแล้งและฤดูฝน ในดิน มีค่าน้อยกว่า 1 อยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้ ในน้ำ ฤดูฝนมีค่า RQ น้อยกว่า 1 อยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้ และฤดูแล้ง มีค่า RQ เท่ากับ $0.5 \times 10^{-2}$ - 9.17 มีค่ามากกว่า 1 พบว่ามีความเสี่ยง สรุป

ได้ว่าการใช้สารกำจัดวัชพืชอะทราซีนไม่มีความเสี่ยงต่อสุขภาพของเกษตรกร และในน้ำมีความเสี่ยงส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในไร่ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์


## Abstracts

To evaluate the risk of atrazine residues in water and soil affected the health of maize's farmers during October 2020 to September 2021, the sixty maize fields and farmers located in Amphor Nong Muang, Lopburi province, and Amphor Phutthabat and Kaeng Khoi, Saraburi province were chosen in this study. The farmers were interviewed, the samples of soil (n=120), water (n=40), sediment (n=4), and maize (n=19) were collected in dry and wet seasons during February and July. All samples were analyzed using Gas Chromatography with Nitrogen-Phosphorus Detector (GC-NPD). The results showed that the levels of atrazine residues were found in 59 samples including soil (0.03-0.92 mg/kg) and water (0.02 - 91.73 ug/L) samples collected in dry season. There are no atrazine residues in all samples collected from the maize field in Amphor Phutthabat, Saraburi Province. The health risk assessment was calculated using Hazard Quotient (HQ) values of soil and water for the ages of 6 - 12 years (the highest value was $5.52 \times 10^{-6}$ - $2.05 \times 10^{-3}$), and for the age of 70 years (the highest value was $1.77 \times 10^{-6}$ - $1.66 \times 10^{-3}$). Environmental risk assessment was also calculated using RQ values. In wet season, RQ values were less than 1 in soil and water samples, while only water samples in dry season showed RQ values were higher than 1 (RQ = $0.5 \times 10^{-2}$ - 9.17). These results indicated that atrazine using as herbicide do not affect to the health of farmers, but the atrazine residues in water samples present a risk affecting the environment in maize field.


กรมวิชาการเกษตร

## คำนำ

อะทราซีน (atrazine) เป็นสารกำจัดวัชพืชในกลุ่ม triazine มีสูตรทางเคมี คือ $C_8H_{14}ClN_5$ น้ำหนักโมเลกุล 215.96 ลักษณะทางกายภาพ เป็นผลึกขาวใส ไม่มีสี มีจุดหลอมเหลว 175 - 177 องศาเซลเซียส สภาพการละลายน้ำ 33 มิลลิกรัมต่อลิตร ในสภาพเป็นกลาง มีพิษระดับปานกลางทั้งทางปากและผิวหนัง ค่า acute oral $LD_{50}$ มีค่า 1,075 - 1,886 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในมนุษย์และสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม เมื่อได้รับที่ความเข้มข้นสูง จะเกิดอาการคลื่นเหียนอาเจียน ท้องร่วง กล้ามเนื้อล้า และน้ำลายฟูมปาก อะทราซีนเป็นสารรบกวนการทำงานของต่อมไร้ท่อ (endocrine disruptor chemical; EDC) ทำให้เกิดมลภาวะทางฮอร์โมนเพศ (sex-hormone pollution) เกิดพฤติกรรมเบี่ยงเบนทางเพศ มีผลกระทบต่อระบบสืบพันธุ์ ทั้งในคน ปลา และสัตว์ครึ่งบกครึ่งน้ำ อะทราซีนมีความคงทนในดินสูง มีค่าครึ่งชีวิตเฉลี่ย 6 - 12 เดือน มีโอกาสสามารถเคลื่อนย้ายจากดินสู่แหล่งน้ำใต้ดิน การเคลื่อนย้ายของสารจะมากขึ้นเมื่อ

ได้รับปริมาณอินทรียวัตถุและอนุภาคดินเหนียวน้อย อะทราซีนมีลักษณะเป็นเบสอ่อน จะเกิดปฏิกิริยาช้าเมื่ออยู่ในสภาพที่เป็นกลาง แต่จะเกิดปฏิกิริยาได้เร็วขึ้นในสภาพที่เป็นกรดเป็นด่าง และสามารถถูกย่อยสลายได้ด้วยจุลินทรีย์ที่อยู่ในดิน แต่ในสภาพที่แห้งและเย็น สามารถคงอยู่ในดินได้นาน 1 ปี ส่วนในพืช อะทราซีนจะดูดซึมเข้าสู่พืชโดยทางราก แต่สามารถผ่านเข้าทางใบได้บ้างเล็กน้อย จากนั้นจะเคลื่อนย้ายขึ้นไปสู่ยอดและเข้าไปสะสมบริเวณเนื้อเยื่อเจริญในพืชที่อ่อนแอต่ออะทราซีน จะแสดงอาการใบเหลืองซีดและแห้งไหม้ U.S. EPA (2003) มีรายงานพบอะทราซีนปนเปื้อนในน้ำใต้ดินในระดับสูง ในบางรัฐของอเมริกาที่มีการใช้ในแหล่งปลูก ยังพบการปนเปื้อนในน้ำผิวดิน เช่น ทะเลสาบ แม่น้ำ และลำธารในระดับสูงเช่นกัน ในบางประเทศตรวจพบอะทราซีนในน้ำใต้ดิน ในระดับความเข้มข้น 0.01 - 6.00 ไมโครกรัมต่อลิตร (ผกาสินีและคณะ, 2555) สอดคล้องกับงานวิจัยของเอกราชและคณะ (2556) ตรวจพบอะทราซีนในน้ำใต้ดินบริเวณเกษตรกรรมพื้นที่ภาคเหนือตอนล่าง จำนวน 4 ตัวอย่าง ปริมาณ 0.03 – 0.16 ไมโครกรัมต่อลิตร เช่นเดียวกับงานวิจัยของประกิจและคณะ (2560) ตรวจพบอะทราซีนในน้ำใต้ดินบริเวณเกษตรกรรมพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน จำนวน 7 ตัวอย่าง ปริมาณ 0.02 - 0.21 ไมโครกรัมต่อลิตร ในแปลงข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ตามรายงานการตรวจพบอะทราซีนตกค้างในดินบน (0 - 15 เซนติเมตร) 48 ตัวอย่าง เฉลี่ย 133.59 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม และดินล่าง (15 - 30 เซนติเมตร) 50 ตัวอย่าง เฉลี่ย 183.23 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม พบอะทราซีนตกค้างในตะกอนดิน 43 ตัวอย่าง เฉลี่ย 27.42 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม และพบอะทราซีนตกค้างในน้ำท่า 38 ตัวอย่าง มีค่าเฉลี่ย 4.70 ไมโครกรัมต่อลิตร และน้ำท่า 15 ตัวอย่าง มีค่าสูงกว่าเกณฑ์ค่าสูงสุดที่ยอมให้มีการปนเปื้อนในน้ำ (ไม่เกิน 3 ไมโครกรัมต่อลิตร) อะทราซีนตกค้างในดินมากกว่าตะกอนดินประมาณ 4.87 เท่า และมากกว่าในน้ำท่าประมาณ 39 เท่า และ อะทราซีนตกค้างในตะกอนดินมากกว่าน้ำท่าประมาณ 5.87 เท่า ดังนั้น อะทราซีนจึงเคลื่อนย้ายจากดินสู่แหล่งน้ำ โดยดูดซับกับตะกอนดิน น้ำไหลบ่าหน้าดิน และชะละลายปนเปื้อนในน้ำ (อรอนงค์และคณะ, 2554)

การประเมินความเสี่ยงจากการได้รับสารกำจัดวัชพืชอะทราซีนตกค้างในสิ่งแวดล้อมต่อสุขภาพของเกษตรกร สามารถศึกษาจากการสัมผัสกับสิ่งแวดล้อมที่มีสารพิษปนเปื้อน เช่น การประเมินความเสี่ยงสารพิษตกค้างในดิน น้ำ ตะกอน และข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ผกาสินีและคณะ (2557) ได้ศึกษาประเมินความเสี่ยงจากการใช้สารกำจัดวัชพืชอะทราซีน ในไร่อ้อยและสับปะรด ช่วงฤดูฝน พบว่าเกษตรกรมีความเสี่ยงสูง จากการพ่นอะทราซีนในต้นอ้อยอายุ 3.5 เดือน ส่วนผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม พบว่าค่า half-life ในดินแปลงสับปะรด 14 วัน แปลงอ้อย 115 วัน ในน้ำแปลงสับปะรด 10 วัน แปลงอ้อย 22 วัน ส่วนปริมาณสารพิษตกค้างในปลา และพืช (ผักบุ้ง บัวสาย กระถิน) หลังการพ่นสารตรวจพบอะทราซีนในทุกตัวอย่าง ในปี 2563 มีปริมาณการนำเข้าอะทราซีนเป็นลำดับที่ 5 ปริมาณ 3,216,466.40 กิโลกรัม คิดเป็นมูลค่า 370,460,037.11 ล้านบาท (สำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร, 2563) ประโยชน์ใช้กำจัดวัชพืชใบแคบ เช่น หญ้านกสีชมพู หญ้าอกขาว และหญ้าตีนกา และวัชพืชใบกว้าง เช่น ผักโขม และผักโขมหิน ในอ้อย สับปะรด และข้าวโพด (กลุ่มวิจัยวัชพืช, 2554) อย่างไรก็ตาม การใช้อะทราซีนอย่างต่อเนื่อง ทำให้เกิดความเสี่ยงต่อ

กรมวิชาการเกษตร

สุขภาพของเกษตรกร และสิ่งแวดล้อม เพราะอะทราซีนสามารถเข้าสู่ร่างกายมนุษย์โดยตรงจากการสัมผัส ดิน น้ำ และอากาศ (จารุพงศ์และคณะ, 2562)

ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญของประเทศไทย ผลผลิตประมาณร้อยละ 94 ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ (สุมิตรและคณะ, 2561) ปัจจุบันพบว่าผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ผลิตภายในประเทศมีปริมาณไม่เพียงพอกับความต้องการของตลาดในประเทศ จึงต้องนำเข้าจากต่างประเทศ โดยในปี 2562 ประเทศไทยมีการนำเข้า ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ จำนวน 681,459 ตัน มูลค่ารวม 4,772.33 ล้านบาท เพิ่มขึ้นจากปี 2560 ที่มีการนำเข้าเพียง 96,428 ตัน มูลค่ารวม 579.34 ล้านบาท ในขณะที่ความต้องการข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่พื้นที่ปลูกมีแนวโน้มลดลง โดยในปีเพาะปลูกปี 2562/63 มีพื้นที่ปลูกข้าวโพด 6,533,971 ไร่ ลดลงจากปีการเพาะปลูก 2560/61 ที่มีพื้นที่ปลูก 6,579,194 ไร่ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2563) เนื่องจากภาคอุตสาหกรรมการเลี้ยงสัตว์มีการขยายตัวเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความต้องการใช้ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ เพื่อเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์เพิ่มขึ้น ในงานวิจัยนี้ จึงได้ทำการสำรวจ สัมภาษณ์เกษตรกร และสุ่มเก็บตัวอย่างดิน น้ำ ตะกอน และข้าวโพด ในแปลงข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ โดยเลือกพื้นที่ทำการทดลองในภาคกลางที่อำเภอแก่งคอย และอำเภอพระพุทธบาท จังหวัดสระบุรี มีเนื้อที่เพาะปลูกประมาณ 190,451 ไร่ เนื้อที่เก็บเกี่ยว 190,263 ไร่ ให้ผลผลิต 145,970 ตัน ผลผลิตเฉลี่ย 766 กิโลกรัมต่อไร่ และอำเภอหนองม่วง จังหวัดลพบุรี เนื้อที่เพาะปลูกประมาณ 262,295 ไร่ เนื้อที่เก็บเกี่ยว 262,459 ไร่ ให้ผลผลิต 193,985 ตัน ผลผลิตเฉลี่ย 738 กิโลกรัมต่อไร่ พันธุ์ที่เกษตรกรนิยมปลูก ได้แก่ CPDK 888, ไพโอเนีย และ NK 48 โดยเกษตรกรจะปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ 2 รุ่น รุ่นที่ 1 นิยมปลูกในฤดูฝน ตั้งแต่เดือนพฤษภาคม ถึงตุลาคม ผลผลิตเก็บเกี่ยวในช่วงเดือนกันยายน และรุ่นที่ 2 นิยมปลูกในฤดูแล้ง เดือนพฤศจิกายน ถึงเมษายน ผลผลิตจะเก็บเกี่ยวในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ ซึ่งเกษตรกรผู้ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์จะปลูกต่อเนื่องตลอดปี และมักพบปัญหาวัชพืช โรค และแมลงศัตรูพืช โดยเฉพาะวัชพืชก่อนปลูก เช่น หญ้าแห้วหมู หญ้าตีนกา หญ้าคา และหญ้าขจรจบดอกเล็กขึ้นอย่างหนาแน่น เนื่องจากแปลงมีขนาดใหญ่ เกษตรกรจึงเลือกใช้อะทราซีน ซึ่งอาจพบการตกค้างในสิ่งแวดล้อม เช่น ดิน และแหล่งน้ำ โดยเฉพาะภายในแปลงปลูกที่เกษตรกรสัมผัสโดยตรงขณะปฏิบัติงานภายในแปลง

ดังนั้น การทดลองนี้จึงมีวัตถุประสงค์ เพื่อประเมินความเสี่ยงจากการได้รับสารกำจัดวัชพืชอะทราซีนในสิ่งแวดล้อมต่อสุขภาพเกษตรกร และประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยข้อมูลที่ได้จากการศึกษา จะนำไปใช้ในการลดผลกระทบต่อสุขภาพที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อนักวิจัย และเป็นข้อมูลสำหรับกรมวิชาการเกษตร สามารถนำข้อมูลไปศึกษาต่อยอดเพื่อใช้ในการกำหนดนโยบายสาธารณะของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง โดยมุ่งเน้นเพื่อการแก้ไขปัญหาผลกระทบต่อสุขภาพที่อาจเกิดขึ้นต่อเกษตรกร และสิ่งแวดล้อม เพื่อใช้ประกอบการพิจารณาบริหารจัดการควบคุมวัตถุมีพิษทางการเกษตรที่มีอันตราย ในการเข้มงวดการใช้ การจำกัดการใช้ หรือการห้ามใช้ เพื่อความปลอดภัยของผู้ใช้ ผู้บริโภค และสิ่งแวดล้อมต่อไป

กรมวิชาการเกษตร

## ระเบียบวิธีการวิจัย

1. ประเด็นวิจัย

ประเมินผลกระทบที่เกิดจากการตกค้างของอะทราซีนในไร่ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่มีต่อเกษตรกร โดยสุ่มเก็บตัวอย่างน้ำ ตะกอน และข้าวโพดในแปลงปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ข้อมูลการตกค้างนำไปประเมินผลกระทบต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อมตามมาตรฐาน

2. สถานที่ทำการวิจัย

2.1 แปลงปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ในจังหวัดลพบุรี และสระบุรี

2.2 ห้องปฏิบัติการกลุ่มวิจัยวัตถุมีพิษการเกษตร กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร

3. ระยะเวลาดำเนินงาน เริ่มต้น ตุลาคม 2563 ถึง กันยายน 2564

4. วิธีการดำเนินการ

4.1 การสำรวจและกำหนดจุดเก็บตัวอย่าง

เลือกพื้นที่ไร่ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในจังหวัดสระบุรี และลพบุรี ประสานหน่วยงานในพื้นที่ เกษตรอำเภอ เพื่อขอข้อมูล และความร่วมมือระหว่างดำเนินการ ทำการสัมภาษณ์ และเก็บข้อมูลเกษตรกรผู้ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์จำนวน 58 ราย ในอำเภอหนองม่วง จังหวัดลพบุรี อำเภอพุทธบาท และอำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี ได้ข้อมูลเกษตรกรที่มีความเสี่ยงจากการใช้สารกำจัดวัชพืชอะทราซีน จำนวน 34 ราย กำหนดจุดเก็บตัวอย่างในพื้นที่โดยใช้ระบบกำหนดตำแหน่งพื้นโลกด้วยดาวเทียม (Global Positioning System; GPS) ซึ่งงานวิจัยนี้ได้เก็บตัวอย่าง 2 ครั้ง ในฤดูแล้งและฤดูฝน ระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ถึงกรกฎาคม 2564 ทำการเก็บตัวอย่างดิน น้ำ ตะกอน และข้าวโพด ในแปลงข้าวโพดเลี้ยงสัตว์จากอำเภอหนองม่วง จังหวัดลพบุรี จำนวน 39 แปลง อำเภอพุทธบาท และอำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี จำนวน 21 แปลง รวมทั้งหมด 60 แปลง

4.2 ตัวอย่างน้ำ ใช้แครงสุ่มตักตัวอย่างน้ำบริเวณบ่อหรือจุดรวบรวมน้ำสำหรับใช้ในแปลงข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ให้เต็มขวดพลาสติก ขนาด 1 ลิตร จำนวน 2 ขวด ขณะนำส่งห้องปฏิบัติการให้แช่ตัวอย่างไว้ในถังน้ำแข็ง หากยังไม่สกัดตัวอย่างให้นำแช่ไว้ในตู้เย็น ถ้าน้ำมีลักษณะใสสะอาด สามารถนำไปสกัดได้ทันที แต่ถ้ามีความขุ่นหรือสกปรก ให้กรองผ่านกระดาษกรองเพื่อแยกสิ่งปนเปื้อนออกก่อนการตรวจวิเคราะห์ รวมทั้งตรวจวิเคราะห์ดัชนีคุณภาพน้ำจากค่าพารามิเตอร์ในน้ำ ได้แก่ อุณหภูมิของน้ำ ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำ (pH) การนำไฟฟ้า (Conductivity, µs/cm) ค่าของแข็งทั้งหมด (Total Dissolve Solid, ppm) และค่าออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolve Oxygen, mg/L)

4.3 ตัวอย่างดิน ใช้ soil auger หรือช้อนตักดิน สุ่มเก็บดินจากแหล่งปลูก ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างให้ทั่วแปลง (random sampling) แปลงละ 10 จุด รวมเป็นตัวอย่างเดียวกันให้ได้น้ำหนักประมาณ 1 กิโลกรัม เก็บในถุงพลาสติกบรรจุ ขณะนำส่งห้องปฏิบัติการให้แช่ตัวอย่างไว้ในถังน้ำแข็ง หากยังไม่สกัดตัวอย่างให้นำแช่ไว้ในตู้เย็นหรือตู้แช่แข็ง หรือถ้าตัวอย่างมีความชื้นสูง นำไปผึ่งในถาดที่อุณหภูมิห้อง ให้มีความชื้นประมาณ 10 - 20 เปอร์เซ็นต์ แล้วทุบให้ละเอียด หรือผสมคลุกเคล้าให้เข้ากันก่อนนำไปทดสอบ และหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นของตัวอย่างดิน

กรมวิชาการเกษตร

4.4 การปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการ

4.4.1 การเตรียมตัวอย่าง

4.4.1.1 ตัวอย่างดิน ก่อนนำไปสกัด นำตัวอย่างดินและตะกอนใส่ถาดสแตนเลสตากไว้ในที่ร่ม ให้มีความชื้นประมาณ 10 - 20 เปอร์เซ็นต์ กรณีที่มีหินหรือเศษซากพืช ให้แยกออก จากนั้นนำไปบดให้ละเอียด เพื่อให้ตัวอย่างมีความเป็นเนื้อเดียวกัน ทำการชั่งตัวอย่าง ตัวอย่างละ 2 ซ้ำ น้ำหนัก 20±0.02 กรัม ลงใน Erlenmeyer flask ขนาด 250 มิลลิลิตร จากนั้นนำตัวอย่างที่ชั่งแล้วไปสกัดและตรวจวิเคราะห์หาปริมาณสารพิษตกค้าง และชั่งตัวอย่างดิน 50±0.05 กรัม ใส่ใน petri dish ที่มีฝาปิด สำหรับนำไปตรวจหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นดิน

4.4.1.2 ตัวอย่างข้าวโพด ปอกเปลือก แล้วนำฝักมาหั่นให้มีขนาดเล็ก จากนั้นใช้เครื่องบดตัวอย่าง (food processor) เพื่อให้ตัวอย่างมีความเป็นเนื้อเดียวกัน ทำการชั่งตัวอย่าง ตัวอย่างละ 2 ซ้ำ น้ำหนัก 5±0.05 กรัม ลงในหลอดทดลองขนาด 50 มิลลิลิตร จากนั้นนำตัวอย่างที่ชั่งแล้วไปสกัดและตรวจวิเคราะห์ปริมาณสารพิษตกค้าง

4.5 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน

4.5.1 เตรียม stock standard solution ของสารละลายมาตรฐานอะทราซีน ให้มีความเข้มข้นของสารมาตรฐานประมาณ 1,000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร โดยใช้ ethyl acetate PR grade เป็นตัวทำละลาย

4.5.2 เตรียม mixed standard solution ของสารละลายมาตรฐานอะทราซีน ให้ได้ความเข้มข้น 100, 10 และ 5 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร โดยใช้ ethyl acetate PR grade เป็นตัวทำละลาย

4.5.3 เตรียม working standard solution ให้ได้ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานที่ 6 ระดับความเข้มข้น เท่ากับ 0.0411, 0.1027, 0.2055, 0.5136, 1.0273 และ 2.0546 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร สำหรับเป็น calibration curve กำหนดค่า correlation coefficient ≥0.995

4.6 วิธีการตรวจวิเคราะห์ตัวอย่างในห้องปฏิบัติการ

4.6.1 การตรวจวิเคราะห์อะทราซีนในตัวอย่างน้ำ โดยใช้วิธี In-house method based on EPA method 8141A, rev.1, 1994. (EPA, 1994)

4.6.2 การหาความชื้นในตัวอย่างดิน (Back, 1965) เพื่อหาน้ำหนักดินแห้งสุทธิ โดยชั่งตัวอย่างดิน 50 กรัม บันทึกน้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ และหลังอบ 24 ชั่วโมง นำไปคำนวณความชื้นและน้ำหนักดินแห้ง

4.6.3 การสกัดอะทราซีนในตัวอย่างดินและตะกอน ดัดแปลงจากวิธี ultrasonic (Babic et al., 1998)

4.6.4 การสกัดอะทราซีนในตัวอย่างข้าวโพด ดัดแปลงจากวิธี EN Extraction: EN Method 15662 (Zeying et al., 2015)

4.7 การวิเคราะห์หาปริมาณอะทราซีน ด้วยเครื่อง GC-NPD

ตรวจวิเคราะห์สารพิษชนิดอะทราซีน ปรับสภาพการใช้เครื่องดังนี้

Column : DB-35, 30 m length x 0.25 mm id. x 0.25 µm film thickness

Detector : NPD, Injection mode : pulsed splitless

กรมวิชาการเกษตร

Temperature conditioning: injector = 230 °C, detector = 300 °C

Oven program : 80 °C (1 min) $\xrightarrow{20\,^{\circ}C/min}$ 194 °C (1 min) $\xrightarrow{20\,^{\circ}C/min}$ 197 °C (1 min) $\xrightarrow{5\,^{\circ}C/min}$ 200 °C (1 min) $\xrightarrow{1\,^{\circ}C/min}$ 210 °C (1 min) $\xrightarrow{5\,^{\circ}C/min}$ 250 °C (3 min)

Carrier gas : helium flow 1.4 mL/min

Ignite gas : hydrogen 2 mL/min, air 120 ml/min

Injection volume : 1 µL, run time: 20 min

4.8 การประเมินความเสี่ยงจากการได้รับสารกำจัดวัชพืชอะทราซีนในน้ำ ตะกอน ดิน และข้าวโพดต่อสุขภาพของเกษตรกร ค่าความเสี่ยงประเมินจากดัชนีชี้วัดความเสี่ยง (HQ) โดยค่า HQ คำนวณจากค่า ADD (ปริมาณค่าเฉลี่ยที่เกษตรกรได้รับสารป้องกันกำจัดวัชพืชต่อวัน) เทียบกับค่า RfD (ค่าอ้างอิงคือ ค่าปริมาณสารพิษที่น้อยสุดที่ร่างกายรับได้โดยไม่ทำให้เกิดอันตรายหรือเป็นพิษต่อร่างกาย) มีสมการคำนวณ ดังนี้

$$ADD = (C_{soil}*CF*IR_{soil}*EF*ED)/(BW*AT) \quad \text{(สมการ 1)}$$

เมื่อ: ADD คือ ปริมาณสารพิษเฉลี่ยต่อวันจากอะทราซีนตกค้าง (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน), $C_{soil}$ คือ ความเข้มข้นของสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชตกค้างในดินที่แปลงปลูกพืช (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม), CF คือ unit conversion factor = $10^{-6}$ กิโลกรัมต่อมิลลิกรัม, $IR_{soil}$ คือ อัตราการได้รับสารพิษที่ตกค้างในดิน (มิลลิกรัมต่อวัน), 200 มิลลิกรัมต่อวัน สำหรับเด็ก, 100 มิลลิกรัมต่อวัน สำหรับผู้ใหญ่ (U.S. EPA, 2008), EF คือ ความถี่ของการสัมผัส (365 วัน/ปี), ED คือ ระยะเวลาที่สัมผัส (years) สำหรับเด็กอายุ 6 - 12 ปี และ 70 ปี สำหรับผู้ใหญ่ (U.S. EPA, 2003), BW คือ ค่าเฉลี่ยน้ำหนักตัว (กิโลกรัม); สำหรับเด็กอายุ 6 - 12 ปี (33.38 กิโลกรัม), ผู้ใหญ่ (52 กิโลกรัม) จากค่าเฉลี่ยแบบสอบถาม, AT คือ ระยะเวลาที่ใช้เฉลี่ย (365 วัน) (EF*ED)

การคำนวณค่าความเสี่ยงจากสารพิษตกค้างได้จากค่า hazard quotient (HQ) ซึ่งคำนวณจาก ค่า ADD และค่า RfD ดังสมการต่อไปนี้:

$$HQ = ADD/RfD \quad \text{(สมการ 2)}$$

เมื่อ: RfD คือ reference dose เฉพาะของสารกำจัดวัชพืชอะทราซีนมิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน ใช้ค่า RfD ตามข้อมูล Pesticide Properties Database (PPDB) (IUPAC, 2019) และ IRIS Assessment (U.S. EPA, 2019), เมื่อ HQ ≥1 หมายถึง สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชตกค้างอยู่ในระดับเสี่ยงต่อเกษตรกร, HQ <1 หมายถึง สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชตกค้างอยู่ในระดับยอมรับได้

กรมวิชาการเกษตร

## ผลการวิจัยและอภิปราย

ข้อมูลจากแบบสอบถามที่ได้จากการสัมภาษณ์เกษตรกรจำนวน 58 ราย ในโครงการประเมินผลกระทบจากสารกำจัดวัชพืชอะทราซีนตกค้างในไร่ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ได้ข้อมูลเกษตรกรที่มีความเสี่ยงจากการใช้อะทราซีน จำนวน 34 ราย ที่ทำการพ่นสารด้วยตนเอง ในแปลงข้าวโพดเลี้ยงสัตว์จากอำเภอหนองม่วง จังหวัดลพบุรี จำนวน 39 แปลง อำเภอพุทธบาท และอำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี จำนวน 21 แปลง รวมทั้งหมด 60 แปลง โดยสุ่มเก็บตัวอย่างดิน น้ำ ตะกอนดิน และข้าวโพด รวมทั้งหมด 183 ตัวอย่าง ประกอบด้วยตัวอย่างดิน 120 ตัวอย่าง ตัวอย่างน้ำ 40 ตัวอย่าง ตัวอย่างตะกอนดิน 4 ตัวอย่าง และตัวอย่างข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ 19 ตัวอย่าง ในฤดูแล้งและฤดูฝน ช่วงเดือนกุมภาพันธ์ และกรกฎาคม 2564 ได้ผลการศึกษา ดังนี้

1. ผลการวิเคราะห์อะทราซีนในดินและน้ำจากแปลงข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

สุ่มเก็บตัวอย่างดินในฤดูแล้งช่วงเดือนกุมภาพันธ์ - มีนาคม 2564 จำนวน 60 ตัวอย่าง ตรวจพบอะทราซีน จำนวน 16 ตัวอย่าง (ร้อยละ 27) ปริมาณ <0.03 - 0.92 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งปริมาณที่ตรวจพบการตกค้างสูงสุด เป็นตัวอย่างดินจากแปลงข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในอำเภอพุทธบาท จังหวัดสระบุรี ตัวอย่างน้ำ จำนวน 22 ตัวอย่าง ตรวจพบอะทราซีนจำนวน 2 ตัวอย่าง (ร้อยละ 9) ปริมาณ 0.05 - 91.73 ไมโครกรัมต่อลิตร ซึ่งปริมาณที่ตรวจพบการตกค้างสูงสุด เป็นตัวอย่างน้ำจากถังที่เกษตรกรใช้สำหรับผสมระหว่างพ่นสารในแปลงข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ในอำเภอพุทธบาท จังหวัดสระบุรี และในฤดูฝน ช่วงเดือนกรกฎาคม 2564 ตัวอย่างดิน จำนวน 60 ตัวอย่าง ตรวจพบอะทราซีน จำนวน 28 ตัวอย่าง (ร้อยละ 47) ปริมาณ <0.03 - 0.20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งปริมาณที่ตรวจพบการตกค้างสูงสุด เป็นตัวอย่างดินจากแปลงข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ในอำเภอพุทธบาท จังหวัดสระบุรี สรุปผลการตรวจวิเคราะห์ในตัวอย่างดินทั้งหมด 120 ตัวอย่าง พบการตกค้าง 44 ตัวอย่าง (ร้อยละ 37) ปริมาณที่ตรวจพบในฤดูฝนมากกว่าฤดูแล้ง (ตารางที่ 1) ซึ่งปริมาณที่ตรวจพบมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์ค่าสูงสุดที่ยอมให้มีการปนเปื้อนของ อะทราซีนในดินเพื่อเกษตรกรรมของกรมควบคุมมลพิษ (2547) (ไม่เกิน 22 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) สอดคล้องกับรายงานการตรวจพบอะทราซีนในตัวอย่างดินพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ในบริเวณลุ่มน้ำห้วยกะโปะ อำเภอน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์ ในช่วงฤดูน้ำหลาก (สิงหาคมถึงพฤศจิกายน 2551) พบอะทราซีนตกค้างในดิน เฉลี่ย 133.59 - 183.23 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม (อรอนงค์และคณะ, 2554) ส่วนตัวอย่างน้ำ จำนวน 18 ตัวอย่าง ตรวจพบอะทราซีน จำนวน 11 ตัวอย่าง (ร้อยละ 61) ปริมาณ <0.02 - 5.94 ไมโครกรัมต่อลิตร ซึ่งปริมาณที่ตรวจพบการตกค้างสูงสุด เป็นตัวอย่างน้ำจากแปลงข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ในอำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี สรุปผลการตรวจวิเคราะห์ในตัวอย่างน้ำทั้งหมด 40 ตัวอย่าง พบการตกค้าง 13 ตัวอย่าง (ร้อยละ 33) ตรวจพบปริมาณสารตกค้างในฤดูฝนมากกว่าฤดูแล้ง (ตารางที่ 1) โดยพบความเข้มข้นของอะทราซีนในแหล่งน้ำมีปริมาณสูง จำนวน 2 แปลง ในอำเภอหนองม่วง จังหวัดลพบุรี ปริมาณ 4.62 ไมโครกรัมต่อลิตร และอำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี ปริมาณ 5.94 ไมโครกรัมต่อลิตร ซึ่งปริมาณที่ตรวจพบมีค่าสูงกว่าเกณฑ์ค่าสูงสุดที่ยอมให้มีการปนเปื้อนของอะทราซีนในน้ำดื่ม maximum contamination level (MCL) ของ U.S. EPA (2018) (3 ไมโครกรัมต่อลิตร) แต่ต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดให้มีได้ในน้ำดื่มของ WHO (2020) ที่ 100 ไมโครกรัมต่อลิตร ด้วยสภาพพื้นที่

แปลงปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มีความลาดเอียง จึงมีโอกาสที่จะเกิดการชะล้างอะทราซีนจากพื้นที่เพาะปลูกรอบ ๆ ที่มีการใช้สารดังกล่าวลงสู่แปลงปลูกที่มีความลาดต่ำกว่า นอกจากนี้ยังอาจเกิดจากการชะละลาย หรือการไหลบ่าของน้ำจากบริเวณแปลงข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ หรือซึมละลายไปกับน้ำในดินลงสู่แหล่งน้ำใต้ดิน เพราะอะทราซีนเป็นสารที่มีศักยภาพในการปนเปื้อนลงสู่น้ำใต้ดินได้ เนื่องจากเกษตรกรส่วนใหญ่ใช้น้ำบาดาลในการเพาะปลูก ซึ่งสอดคล้องกับรายงานการตรวจพบอะทราซีนในตัวอย่างน้ำจากวิทยาลัยชัยบาดาลพิพัฒน์ จังหวัดลพบุรี ทั้งสามฤดูในตัวอย่างน้ำ 10 ตัวอย่าง ในช่วง 0.14 - 0.82 ไมโครกรัมต่อลิตร (รัศมีและคณะ, 2558) เช่นเดียวกับ อรอนงค์และคณะ (2554) ตรวจพบอะทราซีนในตัวอย่างน้ำท่า บริเวณพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ลุ่มน้ำห้วยกะโปะ อำเภอน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์ ในช่วงฤดูน้ำหลาก (เดือนสิงหาคมถึงพฤศจิกายน 2551) พบอะทราซีนตกค้างในน้ำท่า 38 ตัวอย่าง (ร้อยละ 63) มีค่าเฉลี่ย 4.70 ไมโครกรัมต่อลิตร และน้ำท่า 15 ตัวอย่าง (ร้อยละ 39) (ไม่เกิน 3 ไมโครกรัมต่อลิตร) มีค่าสูงกว่าเกณฑ์ค่าสูงสุดที่ยอมให้มีการปนเปื้อนในน้ำ แต่ตรวจไม่พบอะทราซีนในตัวอย่างตะกอนดินทั้ง 4 ตัวอย่าง

2. ผลการวิเคราะห์สารกำจัดวัชพืชอะทราซีนในข้าวโพด จากแปลงข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

ได้สุ่มเก็บตัวอย่างข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ระยะเก็บเกี่ยวในฤดูแล้ง ช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงมีนาคม 2564 จำนวน 9 ตัวอย่าง และในฤดูฝน ช่วงเดือนกรกฎาคม 2564 จำนวน 10 ตัวอย่าง ผลการตรวจวิเคราะห์ไม่พบสารพิษตกค้างในตัวอย่างข้าวโพดทั้งหมดที่ระดับ LOQ; 0.05 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Zeying et al. (2015) ในการสุ่มตรวจตัวอย่างสารกำจัดศัตรูพืช 200 ชนิด ในตัวอย่างข้าวโพด 20 ตัวอย่าง พบสารพิษตกค้าง dichlorvos 9.58 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม แต่ไม่พบสารกำจัดวัชพืชในทุกตัวอย่าง

**ตารางที่ 1** ผลการตรวจวิเคราะห์อะทราซีนในตัวอย่างดิน น้ำ ตะกอนดิน และข้าวโพด ในแปลงข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ จังหวัดลพบุรีและสระบุรี

| Season | Sample | Total sample/Positive sample (%) | Concentration | Guideline |
|---|---|---|---|---|
| Dry season | Soil | 60/16 (27%) | <0.03 – 0.92 | ≤22[1] |
| | Water | 22/2 (9%) | 0.05 – 91.73 | ≤3[2]<br>≤2[3]<br>≤100[4] |
| | Sediment | 2/0 (0%) | ND | - |
| | Maize | 9/0 (0%) | ND | - |
| Rainy season | Soil | 60/28 (47%) | <0.03 – 0.20 | ≤22[1] |
| | Water | 18/11 (61%) | <0.02 – 5.94 | ≤3[2]<br>≤2[3]<br>≤100[4] |
| | Sediment | 2/0 (0%) | ND | - |
| | Maize | 10/0 (0%) | ND | - |
| **Totol sample** | | **183/59 (32%)** | | |

**หมายเหตุ**: ND : Not detected หมายถึง ตรวจไม่พบ, น้ำ: หน่วย ไมโครกรัมต่อลิตร (µg/L), ดิน: หน่วย มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (mg/kg),

[1] กรมควบคุมมลพิษ (2547), [2] US. EPA (2018), [3] กรมอนามัย (2563), [4] WHO (2020)

3. การประเมินความเสี่ยงของอะทราซีนตกค้างในดินต่อสุขภาพของเกษตรกรในวัยเด็กและผู้ใหญ่

เมื่อนำผลการตรวจวิเคราะห์อะทราซีนตกค้างในดินในฤดูแล้ง คำนวณค่า HQ เพื่อประเมินความเสี่ยงของอะทราซีน ตกค้างในดินต่อสุขภาพของเกษตรกรผู้ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในช่วงอายุ 6 - 12 ปี โดยมีค่า HQ ระหว่าง $1.03 \times 10^{-5}$ - $1.57 \times 10^{-4}$ และเมื่อนำมาคำนวณในช่วงอายุ 70 ปี โดยมีค่า HQ ระหว่าง $3.31 \times 10^{-6}$ - $5.06 \times 10^{-5}$ ซึ่งเป็นแปลงข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในอำเภอพุทธบาท จังหวัดสระบุรี ส่วนในฤดูฝน ในช่วงอายุ 6 - 12 ปี มีค่า HQ ระหว่าง $4.40 \times 10^{-6}$ - $2.94 \times 10^{-5}$ และในช่วงอายุ 70 ปี โดยมีค่า HQ ระหว่าง $1.65 \times 10^{-5}$ - $1.10 \times 10^{-4}$ ในแปลงข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่อำเภอพุทธบาท จังหวัดสระบุรี และพบมากที่สุด ในแปลงข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในอำเภอหนองม่วง จังหวัดลพบุรี พบว่าความเสี่ยงอยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้ (HQ <1) สรุปได้ว่า การใช้อะทราซีนไม่มีความเสี่ยงต่อสุขภาพของเกษตรกร ส่วนความเสี่ยงของอะทราซีนตกค้างในน้ำต่อสุขภาพของเกษตรกรในวัยเด็ก และผู้ใหญ่นั้น ในฤดูแล้ง คำนวณค่า HQ ในช่วงอายุ 6 - 12 ปี ค่า HQ ระหว่าง $3.20 \times 10^{-5}$ - $0.60 \times 10^{-1}$ และในช่วงอายุ 70 ปี มีค่า HQ ระหว่าง $2.59 \times 10^{-5}$ - $0.50 \times 10^{-1}$ ซึ่งเป็นแปลงข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในอำเภอพุทธบาท จังหวัดสระบุรี พบว่าความเสี่ยงอยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้ (HQ <1) สรุปได้ว่า การใช้อะทราซีนไม่มีความเสี่ยงต่อสุขภาพของเกษตรกร และในฤดูฝน คำนวณค่า HQ ในช่วงอายุ 6 - 12 ปี โดยมีค่า HQ ระหว่าง $1.27 \times 10^{-4}$ - $3.79 \times 10^{-2}$ ในช่วงอายุ 70 ปี มีค่า HQ ระหว่าง $1.04 \times 10^{-4}$ - $3.08 \times 10^{-2}$ ในแปลงข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่อำเภอหนองม่วง จังหวัดลพบุรี และพบมากที่สุด ในแปลงข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในอำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี พบว่าความเสี่ยงอยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้ (HQ <1) สรุปได้ว่า การใช้สารกำจัดวัชพืชอะทราซีนไม่มีความเสี่ยงต่อสุขภาพของเกษตรกร (ตารางที่ 2)

**ตารางที่ 2** ผลการประเมินความเสี่ยงของอะทราซีนตกค้างในดิน และน้ำต่อสุขภาพ (Hazard Quotient, HQ)

| Sample | Season | Concentration (min – max) | Hazard Quotient (HQ) | | Risk |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | Child | Adult | |
| Soil | Dry season | 0.06 - 0.92 | $1.03 \times 10^{-5}$ - $1.57 \times 10^{-4}$ | $3.31 \times 10^{-6}$ - $5.06 \times 10^{-5}$ | accept |
| | Rainy season | 0.03 - 0.20 | $4.40 \times 10^{-6}$ - $2.94 \times 10^{-5}$ | $1.65 \times 10^{-5}$ - $1.10 \times 10^{-4}$ | accept |
| water | Dry season | $5 \times 10^{-5}$ - 0.09 | $3.20 \times 10^{-5}$ - $0.60 \times 10^{-1}$ | $2.59 \times 10^{-5}$ - $0.50 \times 10^{-1}$ | accept |
| | Rainy season | $2 \times 10^{-4}$ - 0.05 | $1.27 \times 10^{-4}$ - $3.79 \times 10^{-2}$ | $1.04 \times 10^{-4}$ - $3.08 \times 10^{-2}$ | accept |

**หมายเหตุ**: HQ <1: ยอมรับได้ (acceptable risk), HQ ≥1: มีความเสี่ยง (risk), เด็ก (Child) อายุ 6 ปี (น้ำหนักเฉลี่ย 33.38 กิโลกรัม) (มกอช., 2559) และ ผู้ใหญ่ 70 ปี; น้ำหนักเฉลี่ย 52 กิโลกรัม (ค่าเฉลี่ยจากแบบสอบถาม)

4. การประเมินผลกระทบของสารกำจัดวัชพืชอะทราซีนต่อสิ่งแวดล้อม

นำผลการตรวจวิเคราะห์ปริมาณสารกำจัดวัชพืชอะทราซีนตกค้างในดินและน้ำที่พบปริมาณต่ำสุดและสูงสุด คำนวณค่า RQ เพื่อประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ในฤดูแล้ง ตัวอย่างดินมีค่า RQ เท่ากับ $0.6 \times 10^{-2}$ - $9.2 \times 10^{-1}$ และในฤดูฝน มีค่า RQ เท่ากับ $0.3 \times 10^{-2}$ - $0.2 \times 10^{-1}$ พบว่าความเสี่ยงอยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้ (RQ <1) ในน้ำ ช่วงฤดูแล้ง มีค่า RQ เท่ากับ $0.5 \times 10^{-2}$ - 9.17 และ ในฤดูฝน มีค่า RQ เท่ากับ $0.2 \times 10^{-2}$ - $5.9 \times 10^{-1}$ พบว่ามีความเสี่ยง

เล็กน้อย (RQ >1-10) (ตารางที่ 3) ดังนั้น การประเมินผลกระทบของสารกำจัดวัชพืชอะทราซีนตกค้างในตัวอย่างดินและตัวอย่างน้ำในแปลงปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม สรุปได้ว่า ในตัวอย่างดินมีความเสี่ยงอยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้ และในน้ำมีความเสี่ยงที่จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเล็กน้อย และอาจจะมีความเสี่ยงเพิ่มขึ้น หากเพิ่มปริมาณการใช้

**ตารางที่ 3** ผลการประเมินความเสี่ยงของอะทราซีนตกค้างในดิน และน้ำต่อสิ่งแวดล้อม (Risk quateint, RQ)

| Sample | Season | $MEC_{minimal}$ | $MEC_{ex}$ | PNEC | $RQ_m$ | $RQ_{ex}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Soil | Dry season | 0.06 | 0.92 | 10 | $0.6 \times 10^{-2}$ | 0.92 |
| | Wet season | 0.03 | 0.20 | 10 | $0.3 \times 10^{-2}$ | 0.02 |
| Water | Dry season | 0.05 | 91.73 | 10 | $0.5 \times 10^{-2}$ | 9.17 |
| | Wet season | 0.02 | 5.94 | 10 | $0.2 \times 10^{-2}$ | 0.59 |

**หมายเหตุ**: ดิน หน่วย มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (mg/kg), น้ำ หน่วย ไมโครกรัมต่อลิตร (µg/L),

RQ <1: ไม่มีความเสี่ยงต่อสิ่งแวดล้อม (No immediate concern), RQ = 1-10: มีความเสี่ยงต่อสิ่งแวดล้อมเล็กน้อย แต่หากมีการเพิ่มปริมาณสารพิษที่ใช้ ต้องคำนึงถึงความเสี่ยงมากขึ้น (Of concern if supply volumes increase), RQ = 10-100: มีความเสี่ยง ต้องทำการลดความเสี่ยง (Further data require), RQ >100: มีความเสี่ยงมากและจำเป็นต้องลดความเสี่ยงนั้นทันที (Reduce risk immediate)

## สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การประเมินผลกระทบสารกำจัดวัชพืชอะทราซีนตกค้างในไร่ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ในพื้นที่อำเภอหนองม่วง จังหวัดลพบุรี อำเภอพุทธบาท และอำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี สรุปได้ว่า ผลการตรวจวิเคราะห์ปริมาณอะทราซีนพบสารตกค้าง 59 ตัวอย่าง ซึ่งพบการตกค้างสูงสุดในฤดูแล้งจากแปลงข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในอำเภอพุทธบาท จังหวัดสระบุรี ในตัวอย่างตะกอนและข้าวโพดไม่พบการตกค้างในทุกตัวอย่าง เมื่อประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ พบว่าอยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้ และประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม พบว่า น้ำในฤดูแล้งมีความเสี่ยงต่อสิ่งแวดล้อมในไร่ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ จากข้อมูลทำให้ทราบว่า เกษตรกรยังมีการใช้สารกำจัดวัชพืชในปริมาณมากในไร่ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ดังนั้นจึงควรมีการเก็บข้อมูลการใช้สารของเกษตรกร รวมถึงสำรวจเก็บตัวอย่างอย่างต่อเนื่อง เพื่อเป็นการเฝ้าระวังการใช้สารให้มีความปลอดภัยต่อผู้ใช้ ผู้บริโภค สิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม รวมทั้งลดความเสี่ยงต่อการได้รับสัมผัสสารกำจัดวัชพืชตกค้างของเกษตรกร

กรมวิชาการเกษตร

**การทดลองที่ 6**

# การประเมินผลกระทบจากสารกำจัดแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสฟอรัสต่อสุขภาพเกษตรกรในพื้นที่ปลูกผักจังหวัดนครปฐม

# Evaluation of the Impact of Organophosphorus Pesticide use in the Vegetable Cultivation in Nakhon Phathom Province

สิริพร เหลืองสุชนกุล ปภัสรา คุณเลิศ พณิชชา เตจ๊ะใจ วัชระพงศ์ วงศ์สุวรรณ

Siriporn Luengsuchonkul Paphatsara Khunlert Panitcha Taejajai Watcharapong Wongsuwan

**คำสำคัญ**

การประเมินความเสี่ยง สารกำจัดแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสฟอรัส การทำงานของเอนไซม์โคลีนเอสเตอเรส สารเมทาบอไลท์ไดอัลคิลฟอสเฟส สารพิษตกค้าง

**Key words**

Risk assessment, Organophosphorus insecticide, Cholinesterase activity, Dialkyphosphates metabolites, Pesticides residues

กรมวิชาการเกษตร

**บทคัดย่อ**

การวิจัยเพื่อประเมินผลกระทบของสารป้องกันกำจัดแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสฟอรัสต่อสุขภาพเกษตรกรและสิ่งแวดล้อม ดำเนินการวิจัยในปี พ.ศ. 2563 - 2564 ในพื้นที่ปลูกผักจังหวัดนครปฐม ที่มีการใช้สารป้องกันกำจัดแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสฟอรัสในการผลิตผักอย่างยาวนาน โดยใช้การประเมินความเสี่ยง โดยสารบ่งชี้ทางชีวภาพ (Biomarker of exposure) ที่ตรวจวิเคราะห์ ได้แก่ สาร Dialkyl phosphates (DAPs) ในปัสสาวะ (Diethyl phosphate (DEP), Diethyl thiophosphate (DETP), Dimethyl phosphate (DMP) and Dimethyl thiophosphate (DMTP)) ตรวจวิเคราะห์โดยวิธีแก๊สโครมาโตกราฟีและการตรวจระดับการทำงานของเอนไซม์กลุ่ม Cholinesterase ได้แก่ Acetylcholine esterase (AChE) and Serum choline esterase (SChE) ตรวจวิเคราะห์โดยวิธีสเปกโตรเมตรี ส่วนการตรวจวิเคราะห์สารพิษตกค้างในดิน น้ำ และผัก ใช้วิธีวิธีแก๊สโครมาโตกราฟีเช่นเดียวกัน ผลการวิจัย จากแบบสอบถามพบว่าเกษตรกรมีทัศนคติที่ดีในการใช้สารป้องกันกำจัดแมลงอย่างปลอดภัยและถูกวิธี รวมทั้งมีความรู้ในการปฏิบัติตนในการใช้สาร ซึ่งความรู้ดังกล่าวฯ เกษตรกรส่วนใหญ่เข้าถึงและได้รับมาจากการฝึกอบรมโดยกระทรวงเกษตรกรและสหกรณ์และกระทรวงสาธาณสุข ผลการตรวจคัดกรองความเสี่ยงจากการสัมผัสสารเคมีกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสฟอรัสโดยใช้กระดาษทดสอบ Cholinesterase แสดงให้เห็นว่าเกษตรกรทั้งหมดอยู่ในเกณฑ์ไม่ปลอดภัย และมีความเสี่ยง ผลการตรวจวัดระดับการทำงานของเอนไซม์

AChE และ SChE ในตัวอย่างเลือดของเกษตรกรในปี พ.ศ. 2563 พบว่ามีความสอดคล้องกับผลตรวจจากการใช้กระดาษทดสอบ Cholinesterase ส่วนสารเมตาบอไลท์กลุ่ม DAPs ในปัสสาวะของเกษตรกร พบชนิด DEP DETP DMP และ DBP (รวมจำนวน 6 ราย จาก 20 ราย ในปี พ.ศ. 2563 และจำนวน 6 ราย จาก 15 ราย ในปี พ.ศ. 2564) ผลการตรวจวิเคราะห์สารพิษตกค้าง พบว่าตรวจพบทั้งในตัวอย่างดิน น้ำ และผัก ในปริมาณที่ต่ำกว่า LOQ (ดิน = 0.01 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม, น้ำ = 0.10 ไมโครกรัมต่อลิตร) ผลการประเมินความเสี่ยงพบว่าปริมาณสารพิษตกค้างที่ตรวจพบไม่มีผลกระทบต่อมนุษย์และต่อสิ่งแวดล้อม ทั้งนี้แสดงให้เห็นว่าแหล่งที่เกษตรกรได้รับสารกำจัดแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสฟอรัสจากการรับสัมผัสสารพิษจากการใช้ในแปลง และจากกิจกรรมอื่น ๆ

## Abstracts

This research to determine impact of organophosphorus pesticides to farmer and the environment was conducted in vegetation area in Nakhon Pathom province where has been used of pesticides for vegetation for long time, in year 2020 - 2021 by assess the risk of organophosphorus pesticides. Biomarker of exposure of organophosphorus pesticides, Dialkyl phosphates (DAPs) in urine (such as Diethyl phosphate (DEP), Diethyl thiophosphate (DETP), Dimethyl phosphate (DMP) and Dimethyl thiophosphate (DMTP)) was measured by Gas Chromatograph and Cholinesterase enzyme activity such as Acetylcholine esterase (AChE) and Serum choline esterase (SChE) were measured by Spectrophotometry technique. The pesticide residues in farm soil, water and vegetable were also measured by Gas Chromatograph. The data from the questionnaires shown that most of farmer (80%) have good attitude on Pesticides use and have knowledge about the way to use safety that they were trained by govern segment from Ministry of Agricultural and Cooperatives and Ministry of Public Health. The results from Cholinesterase reactive paper and Cholinesterase enzyme activity in blood, Acetylcholine esterase (AChE) and serum, Serum choline esterase (SChE) in year 2021was accorded to results from Cholinesterase reactive paper and indicated that all famers have in harmful. While as Dialkyl phosphates metabolites (DAPs) was found in form of DEP, DETP, DMP and DMTP and in some farmers (6 in 20 cases in year 2020 and 6 in 15 cases in year 2021). The pesticide residues in soil, water and vegetable were below LOQ (LOQ in soil = 0.01 mg/kg and LOQ in water = 0.10 μg/L) and the risk was assessed and shown that no risk to farmer. However, DAPs, which was found in this research, might indicate the source of exposure are from both from contamination in farm and out farm.

กรมวิชาการเกษตร

## คำนำ

พืชผักเป็นสินค้าเกษตรที่สำคัญของจังหวัดนครปฐม ซึ่งมีพื้นที่ปลูกพืชผักมากที่สุดในภาคกลาง และมากเป็นอันดับห้าของประเทศ อำเภอที่มีการปลูกผักมาก 3 อันดับแรก ได้แก่ อำเภอเมือง อำเภอดอนตูม และอำเภอกำแพงแสน โดยอำเภอกำแพงแสน จะมีการปลูกผักหลากหลายชนิดที่สุด และส่งจำหน่ายสู่ตลาดหลักในประเทศ ห้างสรรพสินค้า และส่งออกต่างประเทศ (สำนักงานเกษตรจังหวัดนครปฐม, 2561)

เนื่องจากผักเป็นพืชที่มีความอวบน้ำ และมีอายุการเก็บเกี่ยวสั้น มีแมลงศัตรูพืชมาก จึงทำให้เกษตรกรมีความจำเป็นต้องใช้สารป้องกันกำจัดศัตรูพืช โดยเฉพาะสารป้องกันกำจัดแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสฟอรัส และกลุ่มคาร์บาเมท ปัจจุบันพบว่ายังมีรายงานการตรวจพบสารตกค้างในผัก และผลกระทบของสารป้องกันกำจัดแมลงต่อเกษตรกร และพบว่ามีการรายงานสารพิษตกค้างการเกษตรในผัก และการตรวจพบการเปลี่ยนแปลงของเอ็นไซม์โคลินเอสเตอเรสในตัวอย่างเลือด และสารไดอัลคิลฟอสเฟตเมตาโบไลท์ (Dialkylphosphates, DAPs) ในตัวอย่างปัสสาวะ ซึ่งบ่งชี้ถึงการได้รับสารเคมีกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสฟอรัสเข้าสู่ร่างกาย จากกลุ่มเกษตรกรและกลุ่มที่ไม่ใช่เกษตรกร ทั้งหมดนี้สะท้อนให้เห็นว่ายังคงมีการปนเปื้อนของสารกลุ่มออร์กาโนฟอสฟอรัสในพืช ตกค้างในร่างกาย สามารถก่อให้เกิดผลกระทบต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อมได้ โดยการปนเปื้อนอาจมาได้จากกิจกรรมการเกษตรและไม่ใช่กิจกรรมการเกษตร (ภาณุพันธ์และสยาม (2558); วรรณวิมลและคณะ (2557); นัฐวุฒิและคณะ (2557))

ดังนั้น การประเมินความเสี่ยงของสารป้องกันกำจัดศัตรูพืช จึงเป็นเครื่องมือที่สำคัญที่ช่วยบ่งชี้ผลกระทบที่เกิดขึ้นในมนุษย์ คือ เกษตรกร ผู้บริโภค และสิ่งแวดล้อม และเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการติดตามผลกระทบ ตลอดจนสร้างแนวทางการแก้ไขหรือการบริหารจัดการเพื่อการผลิตที่ปลอดภัยที่เน้นเป้าหมายหลัก 3 กลุ่มโดยตรง ได้แก่ เกษตรกร ผู้บริโภค และระบบนิเวศน์ ผ่านกระบวนการการมีส่วนร่วมของทุกภาคส่วนที่เกี่ยวข้อง โดยเฉพาะอย่างยิ่งภาคเกษตรกรซึ่งเป็นส่วนปัจจัยที่สำคัญ ในการลดผลกระทบที่จะเกิดขึ้น

กรมวิชาการเกษตร

## ระเบียบวิธีการวิจัย

1. ประเด็นวิจัย

ตำบลทุ่งบัว และตำบลวังน้ำเขียว อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม เป็นพื้นที่ปลูกผักที่การปลูกผักหลายชนิด ส่วนใหญ่เป็นผักกินใบ อายุสั้น เกษตรกรจะปลูกสลับสับเปลี่ยนชนิด ตามระยะเวลาต่าง ๆ มีการใช้สารกำจัดแมลงหลายกลุ่ม รวมทั้งกลุ่มออร์กาโนฟอสฟอรัส ซึ่งพบว่าเกษตรกรส่วนใหญ่จะใช้ในการผลิตผัก ลักษณะการผลิตผักของเกษตรกรมีทั้งแบบใช้สารแบบ Good Agricultural Practice (GAP) และแบบเกษตรอินทรีย์ ดังนั้นการตรวจติดตามสารพิษตกค้างกลุ่มออร์กาโนฟอสฟอรัสในตัวอย่างดิน น้ำ และพืชผักจากแปลงของเกษตรกร อาจยังไม่เพียงพอในการประเมินผลกระทบต่อสุขภาพเกษตรกร ที่เกิดจากการได้รับสารพิษตกค้าง ดังนั้น การเก็บตัวอย่างทางชีวภาพ ได้แก่ เลือด และปัสสาวะของเกษตรกร วิเคราะห์สารชี้บ่งทางชีวภาพ (Biomarker) การได้รับสารกำจัดแมลงกลุ่ม

ออร์กาโนฟอสฟอรัสจากการรับสัมผัส ได้แก่ เอ็นไซม์โคลินเอสเตอเรส (Acetylcholine esterase, AChE) และสารไดอัลคิลฟอสเฟตเมตาโบไลท์ (Dialkylphosphates, DAPs) ตามลำดับ จะช่วยบ่งชี้ผลกระทบได้ดียิ่งขึ้น

2. สถานที่ทำการวิจัย

2.1 ตำบลทุ่งบัว (ปี พ.ศ. 2563) และตำบลวังน้ำเขียว (ปี พ.ศ. 2564) อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม

2.2 ห้องปฏิบัติการกลุ่มวิจัยวัตถุมีพิษการเกษตร กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร

3. ระยะเวลาดำเนินงาน เริ่มต้น ตุลาคม 2562 ถึงกันยายน 2564

4. วิธีการดำเนินการ

4.1 วิธีการทดลอง

4.1.1 ประสานหน่วยงานในพื้นที่เกี่ยวข้อง เพื่อชี้แจงรายละเอียดของหัวข้อการวิจัย และขอความร่วมมือในระหว่างการดำเนินการ และการประสานงานข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

4.1.2 คัดเลือกพื้นที่แหล่งผลิตผัก รับสมัครเกษตรกรปลูกผักในเขตจังหวัดนครปฐม ที่มีความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนของสารกำจัดแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสฟอรัส

4.1.3 จัดทำ และจัดหาแบบสอบถาม และจัดเตรียมความพร้อมของวัสดุอุปกรณ์รวมทั้งวิธีการที่ใช้วิเคราะห์ทดสอบ

4.1.4 ชี้แจงรายละเอียดการดำเนินการให้แก่อาสาสมัครเกษตรกรผู้ปลูกผักที่มีการใช้สารป้องกันกำจัดแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสฟอรัส

4.1.5 เก็บข้อมูลจากอาสาสมัครเกษตรกร โดยใช้แบบสอบถามเกี่ยวกับข้อมูลทัศนคติและพฤติกรรมที่เกี่ยวข้องกับสารเคมีกำจัดศัตรูพืช และการปฏิบัติตนในการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช

4.1.6 เก็บตัวอย่างเลือด ปัสสาสวะ ตัวอย่างดิน น้ำ ตะกอน และพืช เพื่อตรวจวิเคราะห์ ตามวิธีทดสอบดังนี้

4.1.6.1 ตรวจคัดกรองความเสี่ยงจากการสัมผัสสารเคมีกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสฟอรัส โดยใช้กระดาษทดสอบ Cholinesterase ในตัวอย่างเลือดของเกษตรกรอาสาสมัคร โดยเจ้าหน้าที่ของโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล (รพสต.) และเก็บตัวอย่างปัสสาวะ เพื่อตรวจวิเคราะห์หาสาร Dialkylphosphate metabolites (DAPs)

4.1.6.2 ตรวจวัด Acetylcholinesterase (AChE) ในตัวอย่างเม็ดเลือดแดง ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส อ้างอิงวิธีการตรวจวิเคราะห์จาก Ellman et al. (1961) โดยเจือจางเม็ดเลือดแดงในน้ำกลั่นในอัตราส่วน 1:200 ลงใน Eppendorf tube เขย่าให้เป็นเนื้อเดียวกัน ดูดตัวอย่างจำนวน 20 ไมโครลิตร ใส่ลงใน 96 well plate (ทำการวิเคราะห์ 4 ซ้ำ) เติมสารละลาย DTNB 200 ไมโครลิตร และ 5.5 mM Acetylcholinesterase substrate 20 ไมโครลิตร นำไปวัดด้วยเครื่อง Microplate Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 405 นาโนเมตร แบบ Kinetic โดยทำการเขย่าครั้งละ 5 วินาที ทุก ๆ 30 วินาที เป็นเวลา 10 นาที

4.1.6.3 ตรวจวัด Butyrylcholinesterase (BchE) ในตัวอย่างเม็ดเลือดแดง ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส อ้างอิงวิธีการตรวจวิเคราะห์จาก Ellman et al. (1961) โดยเจือจางพลาสมาในน้ำกลั่นในอัตราส่วน 1:100

กรมวิชาการเกษตร

ทำการวิเคราะห์ตามขั้นตอนการตรวจวัด AChE ในตัวอย่างเม็ดเลือดแดง และทำการแปลผลหาค่า Activity ของ BchE โดยใช้ dilution factor เป็น 100

4.1.6.4 ตรวจวัดสาร กลุ่ม Dialkylphosphate metabolites (DAPs) ดัดแปลงวิธีการตรวจวิเคราะห์จาก Chuhua et al. (2010) นำไปวิเคราะห์ด้วย เครื่อง Gas chromatography-Flame photometric detector (GC-FPD) ร้อยละของการเอากลับคืน (% recovery) เท่ากับ 77.25±11.77

4.1.6.5 ตรวจสารพิษตกค้างกลุ่มออร์กาโนฟอสฟอรัสในตัวอย่างดิน น้ำ และตะกอน โดยใช้ GC-FPD อ้างอิงวิธีการตรวจวิเคราะห์ จาก AOAC (1995)

4.1.6.6 ตรวจสารพิษตกค้างกลุ่มออร์กาโนฟอสฟอรัสในตัวอย่างพืช โดยใช้ GC-FPD อ้างอิงวิธีการตรวจวิเคราะห์ จาก Anastassiades et al. (2003)

4.1.6.7 วิเคราะห์และการแปรผลการทดลองข้อมูลจากการตอบแบบสอบถาม ผลการตรวจคัดกรองเอ็นไซม์ Cholinesterase ในตัวอย่างเลือด สารบ่งชี้กลุ่ม Dialkylphosphate metabolites (DAPs) และสารพิษตกค้างในดิน น้ำ ตะกอนและพืช เพื่อประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการรับสัมผัสสารต่อเกษตรกร ผู้บริโภค และสิ่งแวดล้อม ตามแนวทางของ WHO (2010)

4.1.6.8 สรุปผลการดำเนินการโครงการ และสื่อสารความเสี่ยงให้แก่กลุ่มเกษตรกรอาสาสมัคร และภาคส่วนต่างๆที่เกี่ยวข้อง และร่วมกันระดมความคิดในการจัดทำแนวทางการจัดการความเสี่ยงจากสารเคมีกำจัดศัตรูพืช โดยการใช้กระบวนการมีส่วนร่วม

## ผลการวิจัยและอภิปราย

จากการลงพื้นเพื่อดำเนินการวิจัย ปี พ.ศ. 2563 - 2564 ณ อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม ได้เก็บข้อมูลแบบสอบถาม ตรวจคัดกรองความเสี่ยงจากการสัมผัสสารเคมีกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสฟอรัสโดยใช้กระดาษทดสอบ Cholinesterase ในตัวอย่างเลือดของอาสาสมัครเกษตรกร (ดำเนินการโดยเจ้าหน้าที่ของโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลวังน้ำเขียว และตรวจวิเคราะห์ระดับการทำงานของเอนไซม์โคลีนเอสเทอเรส Acetylcholinesterase (AChE) ในเลือด และสารเมทาบอไลท์ กลุ่ม Dialkyl Phosphate (DAPs) ในปัสสาวะของเกษตรกรปลูกของตำบลทุ่งบัว จำนวน 20 ราย และตำบลน้ำเขียว จำนวน 15 ราย พร้อมสุ่มเก็บตัวอย่างดิน น้ำ และผัก สรุปผลการดำเนินการได้ดังนี้

<u>การดำเนินงานในปี พ.ศ. 2563 ที่ตำบลทุ่งบัว อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม</u>

1. สรุปข้อมูลจากแบบสอบถามของเกษตรกร

เกษตรกรที่ร่วมโครงการแบ่งเป็นชาย ร้อยละ 33.3 และหญิง ร้อยละ 66.7 โดยมีช่วงอายุอยู่ระหว่าง 16 - 65 ปี ระดับการศึกษาของเกษตรกรที่ร่วมโครงการ ได้แก่ ประถมศึกษา ร้อยละ 50 มัธยมศึกษา ร้อยละ 33.3 และปริญญาตรี ร้อยละ 16.7 เกษตรกรร้อยละ 83.3 มีที่มาของรายได้หลักจากการทำการเกษตร โดยร้อยละ 86.7 ทำการเกษตรเอง

กรมวิชาการเกษตร

ส่วนอีกร้อยละ 6.3 รับจ้างทางการเกษตร และร้อยละ 7 มีรายได้หลักจากอาชีพอื่น ๆ รายได้จากการทำการเกษตรอยู่ระหว่าง 5,000 - 10,000 บาทต่อเดือน ชนิดพืชที่เกษตรกรปลูก ได้แก่ พืชผัก ร้อยละ 66.7 โดยเกษตรกรร้อยละ 33.3 จะปลูกผักมากกว่าหนึ่งชนิด ได้แก่ คะน้า กระเพรา สาระแหน่ ข้าวโพดฝักอ่อน กระชาย และผักบุ้ง ส่วนชนิดพืชอื่น ๆ ได้แก่ ข้าว และมะละกอ รูปแบบการปลูกพืช เป็นปลูกแบบเชิงเดียว ร้อยละ 66.7 และปลูกแบบผสมผสาน ร้อยละ 33.3 เกษตรกรร้อยละ 50 มีการใช้สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืช โดยร้อยละ 12.5 จะพ่นสารทั้งก่อนและหลังศัตรูพืชระบาด และร้อยละ 87.5 จะพ่นสารหลังศัตรูพืชระบาด

เกษตรกรร้อยละ 81.1 มีทัศนคติในการใช้ป้องกันกำจัดศัตรูพืชอย่างปลอดภัยและถูกวิธี โดยส่วนใหญ่ (มากกว่าร้อยละ 80) มีความเห็นด้วยอย่างยิ่งว่า หากมีการใช้สารอย่างถูกวิธี และมีการดูแลรักษาอุปกรณ์สม่ำแสมอจะสร้างความปลอดภัยให้แก่เกษตรกร และเชื่อว่าผลผลิตที่ได้จะมีความปลอดภัยต่อผู้บริโภคด้วย รวมทั้งการเก็บรักษาสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชอย่างถูกวิธีคือ ไม่เก็บภายในบ้านและไม่วางในจุดที่เด็กสามารถหยิบถึง หรือเข้าไปสัมผัสได้ จะเป็นสร้างความปลอดภัยให้กับคนในครอบครัว นอกจากนี้ เกษตรกรมากกว่าร้อยละ 50 เห็นด้วยว่าระดับผลกระทบจะลดลงไม่ได้ขึ้นอยู่กับเกษตรกรมีร่างกายหรือจิตใจที่เข้มแข็ง แต่ขึ้นอยู่กับการปฏิบัติตนอย่างเคร่งครัดตามหลักวิธี รวมทั้งไม่เห็นด้วยว่า สามารถทิ้งสารที่เหลือใช้ลงสู่ดินได้ เพราะสารจะเกิดการสลายตัวได้เองตามธรรมชาติ เกษตรกรมีความรู้เกี่ยวกับการปฏิบัติตนเพื่อความปลอดภัยในการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชในระดับปานกลาง (ร้อยละ 66.7) โดยส่วนใหญ่มีความรู้ว่าต้องเลือกใช้สารให้เหมาะกับชนิดของศัตรูพืช และต้องใช้ปริมาณตามอัตราที่แนะนำบนฉลาก ควรเตรียมสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชสำหรับใช้ให้หมดในคราวเดียว ในส่วนของการดูแลตนเองพบว่าเกษตรกร ร้อยละ 50 มีการสังเกตความผิดปกติที่เกิดขึ้นกับร่างกายตนเอง หลังจากการใช้สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืช จะไปซื้อยารับประทานเองตามอาการ รวมทั้งยังขาดความรู้เรื่องการปฏิบัติตนหลังจากได้รับพิษจากสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชที่ถูกต้อง การเข้าถึงความรู้เพื่อความปลอดภัยในการใช้สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืช เกษตรกรทุกรายได้รับความรู้/การฝึกอบรมการใช้สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชอย่างถูกต้องและปลอดภัยจากเจ้าหน้าที่จากกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ รองลงมาคือ กระทรวงสาธารณสุข (ร้อยละ 83.3) ศูนย์การเรียนรู้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต (ศพก.) (ร้อยละ 66.7) สถาบันการศึกษา (ร้อยละ 33.3) และตัวแทนจำหน่ายสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืช (ร้อยละ 16.7) ช่องทางที่เกษตรกรใช้เพื่อเข้าถึงความรู้มากที่สุด ได้แก่ วิทยุและโทรทัศน์ (ร้อยละ 83.3) รองลงมาคือ ร้านค้าที่จำหน่ายสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืช (ร้อยละ 50) และน้อยที่สุดคือ หนังสือพิมพ์ และอินเทอร์เนต (ร้อยละ 26.7) เกษตรกรกว่าร้อยละ 83.3 คิดว่าการฝึกอบรมเป็นการให้ความรู้ที่ดีที่สุด แต่โอกาสในการได้รับการฝึกอบรมยังมีน้อย เกษตรกรมีความตระหนักถึงผลกระทบของสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชจากการบริโภคผลผลิตในระดับปานกลาง (ร้อยละ 68.8) กล่าวคือ เกษตรกรคิดว่าผลผลิตที่ปลอดภัยย่อมไม่มีผลกระทบต่อผู้บริโภค แต่เกษตรกรยังขาดความเชื่อมั่นว่าผลผลิตที่มีการรับรองการผลิต (ที่ระบุแหล่งผลิต ผู้ผลิต วิธีการผลิต (GAP/อินทรีย์) สถานที่จำหน่าย) ว่าปลอดภัยนั้นมีปลอดภัยอย่างแท้จริง โดยเห็นว่าผลผลิตที่น่ารับประทานควรเป็นผลผลิตที่ไม่พบการทำลายของแมลง ซึ่งเกษตรกรอาจจะใช้สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชในการผลิต แม้ว่าเป็นการผลิตเพื่อบริโภคเอง

กรมวิชาการเกษตร

2. ผลการตรวจคัดกรองความเสี่ยงจากการสัมผัสสารเคมีกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสฟอรัสโดยใช้กระดาษทดสอบ Cholinesterase พบว่าอาสาสมัครร้อยละ 59 มีเกณฑ์อยู่ในระดับไม่ปลอดภัย และร้อยละ 41 มีเกณฑ์อยู่ในระดับเสี่ยง ส่วนผลการตรวจวัดระดับการทำงานของเอนไซม์ Acetylcholine esterase (AChE) และ Serum choline esterase (SChE) พบว่าอาสาสมัครร้อยละ 50 มีระดับเอนไซม์ SChE ที่จำแนกอยู่ในเกณฑ์ผิดปกติ โดยเป็นอาสาสมัครเพศชาย ร้อยละ 40 และอาสาสมัครเพศหญิง ร้อยละ 60 ส่วนผลการตรวจวิเคราะห์ปริมาณสาร Dialkyl metabolites ในปัสสาวะของอาสาสมัคร ตรวจพบสารเมตาบอไลท์ กลุ่ม Dialkyl phosphates (DAPs) ชนิด Diethyl thiophosphate (DETP) และdimethyl phosphate (DMP) รายละเอียดของผลตรวจวิเคราะห์ปรากฏดังตารางที่ 1

**ตารางที่ 1** ผลการตรวจคัดกรองความเสี่ยงจากการสัมผัสสารเคมีกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสฟอรัสและเมตาบอไลท์

| อาสาสมัคร | เพศ | อายุ (ปี) | กิจกรรม | ผลการตรวจคัดกรอง* | ระดับเอนไซม์(unit/ml) | | ปริมาณของสารกลุ่ม DAPs**** | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | AChE** | SChE*** | ชนิด | mg/dL | mg/kg creatinine***** |
| 1. | หญิง | 37 | ปลูกผัก | ไม่ปลอดภัย | 69.12 | 2.12 | DBP | 0.49 | 606.16 |
| 2. | ชาย | 66 | ปลูกผัก | ไม่ปลอดภัย | 81.13 | 1.29 | DBP | 0.37 | 411.11 |
| 3. | หญิง | 56 | เกษตรทั่วไป | เสี่ยง | 67.89 | 4.47 | ND | | |
| 4. | หญิง | 59 | เกษตรทั่วไป | เสี่ยง | 71.57 | 0.54 | DBP | 0.25 | 317.44 |
| 5. | หญิง | 49 | ทำไร่ เกษตรทั่วไป | ไม่ปลอดภัย | 31.13 | 5.34 | ND | | |
| 6. | หญิง | 60 | เกษตรทั่วไป | ไม่ปลอดภัย | 34.56 | 4.81 | ND | | |
| 7. | หญิง | 59 | ปลูกผัก, ทำไร่ | เสี่ยง | 36.27 | 6.91 | DBP | 0.50 | 628.08 |
| 8. | ชาย | 62 | ปลูกผัก, รับจ้างเกษตร | ไม่ปลอดภัย | 28.43 | 0.65 | DMP | 0.03 | 40.38 |
| 9. | ชาย | 55 | นาข้าว | เสี่ยง | 39.22 | 10.03 | DETP | 0.18 | 202.89 |
| 10. | หญิง | 51 | ทำสวน | เสี่ยง | 39.46 | 16.21 | DBP | 0.33 | 419.40 |
| 11. | หญิง | 48 | นาข้าว | ไม่ปลอดภัย | 38.73 | 5.21 | ND | | |
| 12. | หญิง | 54 | ปลูกผัก รับจ้าง ทำไร่ | ไม่ปลอดภัย | 50.00 | 1.93 | DEP | 0.23 | 288.23 |
| 13. | หญิง | 50 | ทำนา | ไม่ปลอดภัย | 27.94 | 2.47 | DBP | 0.49 | 610.17 |
| 14 | ชาย | 31 | ทำนา ปลูกผัก ทำไร่ | ไม่ปลอดภัย | 27.94 | 3.97 | DEP | 0.45 | 506.08 |
| 15. | หญิง | 61 | เกษตรทั่วไป | เสี่ยง | 38.48 | 5.03 | DETP | 0.37 | 474.98 |

กรมวิชาการเกษตร

**ตารางที่ 1** ผลการตรวจคัดกรองความเสี่ยงจากการสัมผัสสารเคมีกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสฟอรัสและเมตาบอไลท์ (ต่อ)

| อาสาสมัคร | เพศ | อายุ (ปี) | กิจกรรม | ผลการตรวจคัดกรอง* | ระดับเอนไซม์(unit/ml) | | ปริมาณของสารกลุ่ม DAPs**** | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | AChE** | SChE*** | ชนิด | mg/dL | mg/kg creatinine***** |
| 16. | หญิง | 54 | นาข้าว | ไม่ปลอดภัย | 50.74 | 4.40 | DBP | 0.50 | 628.11 |
| 17. | ชาย | 52 | นาข้าว | ไม่ปลอดภัย | 30.88 | 3.54 | DBP | 0.39 | 442.62 |
| 18. | ชาย | 84 | ผักบุ้ง | ไม่ปลอดภัย | 25.74 | 1.76 | ND | | |
| 19. | หญิง | 50 | สมุนไพร | เสี่ยง | 22.30 | 4.09 | DBP | 0.23 | 299.44 |
| 20. | หญิง | 53 | ทำนา | เสี่ยง | 26.96 | 4.51 | DMP | 0.05 | 66.07 |
| | | | | | | | DBP | 0.41 | 512.50 |

**หมายเหตุ**: *เกณฑ์บ่งชี้ระดับเอนไซม์ Acetylcholine esterase จากการตรวจคัดกรองด้วย กระดาษทดสอบ Cholinesterase จำแนกออกเป็น 4 ระดับ ได้แก่ ระดับปกติ (AChE ≥100 unit/ml) ระดับปลอดภัย (≥87.5 unit/ml) ระดับมีความเสี่ยง (87.5 unit/ml ≥ACh≥75 unit/ml) และระดับไม่ปลอดภัย (≤75 unit/ml),

**AChE = เอนไซม์ Acetylcholine esterase,

***SChE = เอนไซม์ Serum choline esterase ซึ่งเกณฑ์บ่งชี้ระดับ SChE แบ่งออกเป็น 2 ระดับ คือ ระดับปกติ (≥4.9 unit/ml สำหรับเพศชาย และ ≥4.3 unit/ml สำหรับเพศหญิง) และระดับผิดปกติ (<4.9 unit/ml สำหรับเพศชาย และ <4.3 unit/ml สำหรับเพศหญิง,

**** Diakyl phosphates; DAPs ที่ตรวจวิเคราะห์ ได้แก่ Diethyl phosphate; DEP, Diethyl thiophosphate; DETP, Dimethyl phosphate; DMP, Dimethyl thiophosphate; DMTP และ Dibutyl phosphate; DBT,

***** ค่าเฉลี่ยปริมาณ creatinine ในเพศชาย เท่ากับ 0.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และในเพศหญิง เท่ากับ 0.8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม,

ND = ตรวจไม่พบ (Non detectable)

3. ผลการตรวจปริมาณสารพิษตกค้างในตัวอย่างดิน น้ำ และพืช ที่สุ่มเก็บตัวอย่างจากแปลงของอาสาสมัครเกษตรกรในปี พ.ศ. 2563 จำนวนตัวอย่างทั้งสิ้น 47 ตัวอย่าง เป็นตัวอย่างดิน 18 ตัวอย่าง น้ำ 12 ตัวอย่าง และพืชผัก 17 ตัวอย่าง ได้แก่ โหระพา (4 ตัวอย่าง) ผักบุ้งจีน (4 ตัวอย่าง) ผักกวางตุ้ง (2 ตัวอย่าง) ถั่วฝักยาว (2 ตัวอย่าง) ข้าวโพดฝักอ่อน (2 ตัวอย่าง) และมะเขือเปราะ พริก กระเพรา ชนิดละ 1 ตัวอย่าง พบคลอร์ไพริฟอส อีพีเอ็น และ พาราไธออน เมทิล ในตัวอย่างดิน ปริมาณ <LOQ (LOQ = 0.01 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) จำนวน 3 (ร้อยละ 17), 2 (ร้อยละ 11) และ 1 ตัวอย่าง (ร้อยละ 6) ตามลำดับ และตรวจพบอีไธออนในตัวอย่างน้ำ ปริมาณ <LOQ (LOQ = 0.10 ไมโครกรัมต่อลิตร) จำนวน 2 ตัวอย่าง (ร้อยละ 17) ส่วนในตัวอย่างพืช ตรวจไม่พบสารพิษตกค้าง

4. ผลการประเมินความเสี่ยงจากการรับสัมผัสสารพิษกลุ่มออร์กาโนฟอสฟอรัสต่อสุขภาพเกษตรกร ผู้บริโภค และสิ่งแวดล้อม โดยนำค่าปริมาณสารพิษตกค้างที่ตรวจพบในดิน น้ำ และพืช ประเมินความเสี่ยงจากสารพิษตกค้างในดินต่อสุขภาพเกษตรกร และสิ่งแวดล้อม หากสารพิษตกค้างมีปริมาณ <LOQ จะใช้ค่าปริมาณสารพิษตกค้างที่เท่ากับค่า

ศรีวิชาการเกษตร

LOQ ในการคำนวณ โดยผลการประเมินความเสี่ยงพบว่าปริมาณสารพิษตกค้างที่ตรวจพบไม่มีผลก ระทบต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม ดังแสดงในตารางที่ 2

**ตารางที่ 2** ผลการประเมินความเสี่ยงจากการรับสัมผัสสารพิษกลุ่มออร์กาโนฟอสฟอรัสต่อสุขภาพ (Hazard Quotient; HQ) และสิ่งแวดล้อม (Risk Quotien; RQ)

| Sample | Total sample/ Positive sample | Pesticides | Concentration | Human health | | Ecological | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Hazard Quotient (HQ) | risk | Risk Quotient (RQ) | risk |
| Soil | 18/6 | chlorpyrifos | 0.01 mg/kg | $5.98 \times 10^{-4}$ | accept | $2.0 \times 10^{-4}$ | accept |
| | | parathion methyl | 0.01 mg/kg | $1.79 \times 10^{-3}$ | accept | $4.0 \times 10^{-4}$ | accept |
| | | EPN | 0.01 mg/kg | $7.17 \times 10^{-5}$ | accept | $1.0 \times 10^{-3}$ | accept |
| Water | 12/2 | ethion | 0.10 µg/L | $3.59 \times 10^{-3}$ | accept | $2.5 \times 10^{-6}$ | accept |

กรมวิชาการเกษตร

ผลการดำเนินงานใน ปี พ.ศ. 2564 ที่ตำบลวังน้ำเขียว อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม

1. ข้อมูลจากแบบสอบถามของเกษตรกร

เกษตรกรที่ร่วมโครงการแบ่งเป็นชาย ร้อยละ 20 และหญิง ร้อยละ 80 โดยมีช่วงอายุอยู่ระหว่าง 36 – 65 ปี ระดับการศึกษาของเกษตรกรที่ร่วมโครงการ ได้แก่ ประถมศึกษา ร้อยละ 50 มัธยมศึกษา ร้อยละ 33.3 และปริญญาตรี ร้อยละ 16.7 อาสาสมัครเกษตรกรร้อยละ 83.3 มีที่มาของรายได้หลักจากการทำการเกษตร โดยร้อยละ 86.7 ทำการเกษตรเอง ส่วนอีกร้อยละ 13.3 มีรายได้หลักจากอาชีพอื่น ๆ รายได้จากการทำการเกษตร อยู่ระหว่าง 5,000 - 10,000 บาท ต่อเดือนชนิดผักที่เกษตรกรปลูก ได้แก่ ผักกาดขาว ผักกาดเขียว คะน้า กระเพรา โหระพา สาระแหน่ กระชาย ผักบุ้งจีน กวางตุ้ง ผักสลัด ขึ้นฉ่าย หอม และพริก โดยเกษตรกรร้อยละ 33.3 จะปลูกผักมากกว่าหนึ่งชนิด รูปแบบการปลูกพืชเป็นปลูกแบบเชิงเดียว (ร้อยละ 26.7) และปลูกแบบผสมผสาน (ร้อยละ 73.3) เกษตรกรร้อยละ 80 มีการใช้สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืช โดยร้อยละ 83.3 จะพ่นสารทั้งก่อนศัตรูพืชระบาด และร้อยละ 16.7 จะพ่นสารหลังศัตรูพืชระบาด เกษตรกรร้อยละ 20 มีการใช้ผลิตภัณฑ์ธรรมชาติในการป้องกันและกำจัดแมลงและโรคพืช

เกษตรกรกว่าร้อยละ 80 มีทัศนคติในการใช้ป้องกันกำจัดศัตรูพืชอย่างปลอดภัยและถูกวิธี โดยเห็นด้วยอย่างยิ่งว่า หากใช้สารอย่างถูกวิธีและดูแลรักษาอุปกรณ์อย่างสม่ำเสมอ จะสร้างความปลอดภัยให้แก่เกษตรกร และเชื่อว่าผลผลิตที่ได้จะมีความปลอดภัยต่อผู้บริโภคด้วย สำหรับการเก็บรักษาสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชอย่างถูกวิธีคือ ไม่เก็บภายในบ้านและไม่วางในจุดที่เด็กสามารถหยิบถึงหรือเข้าไปสัมผัสได้นั้น พบว่าเกษตรกรกว่าร้อยละ 50 ยังมีการเก็บรักษาภายในตัวบ้าน หรือติดกับตัวบ้าน (เช่น วางไว้บริเวณมุมห้อง หรือมุมครัว หรือมุมเก็บอุปกรณ์ช่าง ในตัวบ้าน) อย่างไรก็ตาม เกษตรกรทั้งหมดต่างเห็นด้วยว่าผลกระทบจะลดลง ไม่ได้ขึ้นอยู่กับเกษตรกรมีร่างกายหรือจิตใจที่เข้มแข็ง แต่ขึ้นอยู่กับการปฏิบัติตนอย่างเคร่งครัดตามหลักวิธีเพียงใด รวมทั้งไม่เห็นด้วยว่าสามารถทิ้งสารที่เหลือใช้ ลง

สู่ดินได้ เพราะสารจะเกิดการสลายตัวได้เองตามธรรมชาติ เกษตรกรมีความรู้เกี่ยวกับการปฏิบัติตนเพื่อความปลอดภัยในการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชในระดับปานกลาง (ร้อยละ 66.7) โดยส่วนใหญ่มีความรู้ในการเลือกใช้สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชที่เหมาะกับชนิดของศัตรูพืช ใช้ปริมาณตามอัตราที่แนะนำบนฉลาก และควรเตรียมสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืช สำหรับใช้ให้หมดในคราวเดียว ในส่วนของการดูแลตนเองพบว่าเกษตรกรเพียงส่วนน้อย (ร้อยละ 6.7) จะสังเกตความผิดปกติที่เกิดขึ้นกับร่างกายตนเอง หลังจากการใช้สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืช จะไปซื้อยารับประทานเองตามอาการ รวมทั้งยังขาดความรู้เรื่องการปฏิบัติตนหลังจากได้รับพิษจากสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชที่ถูกต้อง นอกจากนี้ จากการสอบถามเพิ่มพบว่าเกษตรกรกว่าร้อยละ 80 ตัดสินเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ป้องกันกำจัดศัตรูพืชตามการแนะนำของร้านจำหน่าย เกษตรกรทุกรายได้รับความรู้/การฝึกอบรมการใช้สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชอย่างถูกต้องและปลอดภัยจากเจ้าหน้าที่จากกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ และกระทรวงสาธาณสุข (ร้อยละ 83.3) รองลงมา คือ สถาบันการศึกษา (ร้อยละ 66.7) และตัวแทนจำหน่ายสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืช (ร้อยละ 66.7) ช่องทางที่เกษตรกรใช้เพื่อเข้าถึงความรู้มากที่สุด ได้แก่ วิทยุและโทรทัศน์ (ร้อยละ 83.3) รองลงมา คือ ร้านค้าที่จำหน่ายสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืช (ร้อยละ 50) และน้อยที่สุด คือ หนังสือพิมพ์ และอินเทอร์เนต (ร้อยละ 16.7) เกษตรกรกว่าร้อยละ 80 คิดว่าการฝึกอบรมเป็นการให้ความรู้ที่ดีที่สุด แต่โอกาสเข้าร่วมการฝึกอบรมยังมีน้อย ความตระหนักถึงผลกระทบของสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชจากการบริโภคผลผลิต เกษตรกรมีความตระหนักถึงผลกระทบของสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชจากการบริโภคผลผลิต ระดับสูง (ร้อยละ 93.3) กล่าวคือ เกษตรกรคิดว่าผลผลิตที่ปลอดภัย ย่อมไม่มีผลกระทบต่อผู้บริโภค แต่เกษตรกรยังขาดความเชื่อมั่นว่าผลผลิตที่มีการรับรองการผลิต (ที่ระบุแหล่งผลิต ผู้ผลิต วิธีการผลิต (GAP/อินทรีย์) สถานที่จำหน่าย) ว่าปลอดภัยนั้น มีปลอดภัยอย่างแท้จริง โดยเห็นว่าผลผลิตที่น่ารับประทานควรเป็นผลผลิตที่ไม่พบการทำลายของแมลง ซึ่งเกษตรกรอาจจะใช้สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชในการผลิต แม้ว่าเป็นการผลิตเพื่อบริโภคเอง

2. ผลการตรวจคัดกรองความเสี่ยงจากการสัมผัสสารเคมีกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสฟอรัสโดยใช้กระดาษทดสอบ Cholinesterase พบว่าอาสาสมัครเข้ารับการตรวจ 12 ราย โดย 7 ราย มีเกณฑ์อยู่ในระดับไม่ปลอดภัย คิดเป็นร้อยละ 58 และ 5 ราย มีเกณฑ์อยู่ในระดับเสี่ยง คิดเป็นร้อยละ 42 ส่วนผลการตรวจวิเคราะห์ปริมาณสารเมตาบอไลท์กลุ่ม Dialkyl phosphates (DAPs) ในปัสสาวะของอาสาสมัครตรวจพบ DAPs ชนิด DEP, DETP, DMP และ DBP รายละเอียดในตารางที่ 3

กรมวิชาการเกษตร

**ตารางที่ 3** ผลการตรวจคัดกรองความเสี่ยงจากการสัมผัสสารกลุ่มออร์กาโนฟอสฟอรัส และปริมาณสารเมตาบอไลท์กลุ่ม Dialkyl phosphates (DAPs) ในปัสสาวะ

| อาสาสมัคร | เพศ | อายุ (ปี) | กิจกรรม | ผลการตรวจคัดกรอง* | ปริมาณของสารกลุ่ม DAPs** | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | ชนิด | mg/dL | mg/kg creatinine*** |
| 1. | หญิง | 37 | ปลูกผัก | ไม่ปลอดภัย | DEP | 0.15 | 195.15 |
| | | | | | DBP | 0.40 | 391.50 |
| 2. | หญิง | 59 | ปลูกผัก | เสี่ยง | DBP | 0.25 | 317.82 |
| 3. | หญิง | 56 | เกษตรทั่วไป | เสี่ยง | ND | | |
| 4. | หญิง | 59 | ปลูกผัก ทำไร่ ทำสวน | เสี่ยง | DBP | 0.25 | 316.66 |
| 5. | หญิง | 60 | ปลูกผัก | ไม่ปลอดภัย | ND | | |
| 6. | ชาย | 62 | ปลูกผัก | ไม่ปลอดภัย | DETP | 0.27 | 331.97 |
| 7. | หญิง | 61 | ปลูกผัก | เสี่ยง | DMP | 0.16 | 177.45 |
| | | | | | DBP | 0.32 | 350.86 |
| 8. | ชาย | 52 | ปลูกผัก ทำนา | เสี่ยง | DETP | 0.04 | 44.05 |
| 9. | ชาย | 61 | ปลูกผัก | ไม่ปลอดภัย | DBP | 0.30 | 390.09 |
| 10. | หญิง | 36 | ปลูกผัก | เสี่ยง | DEP | 0.08 | 83.55 |
| | | | | | DBP | 0.32 | 350.86 |
| 11. | หญิง | 63 | ปลูกผัก | เสี่ยง | ND | | |
| 12. | หญิง | 54 | ปลูกผัก รับจ้าง | ไม่ได้ตรวจคัดกรอง | DMP | 0.30 | 369.73 |
| 13. | หญิง | 65 | ปลูกผัก | ไม่ได้ตรวจคัดกรอง | ไม่ได้เก็บตัวอย่างปัสสาวะ | | |
| 14. | หญิง | 49 | ปลูกผัก ทำไร่ | ไม่ได้ตรวจคัดกรอง | DBP | 0.33 | 418.72 |
| 15. | หญิง | 50 | ปลูกผัก | ไม่ปลอดภัย | DBP | 0.22 | 279.60 |

**หมายเหตุ**: - ไม่ได้ดำเนินการตรวจวิเคราะห์ระดับเอนไซม์ Acetylcholine esterase (AChE) และ Serum choline esterase (SChE),

* เกณฑ์บ่งชี้ระดับเอนไซม์ Acetylcholine esterase จากการตรวจคัดกรองด้วย กระดาษทดสอบ Cholinesterase จำแนกออกเป็น 4 ระดับ ได้แก่ ระดับปกติ (AChE ≥100 unit/ml) ระดับปลอดภัย (≥87.5 unit/ml) ระดับมีความเสี่ยง (87.5 unit/ml ≥ AChE ≥75 unit/ml) และระดับไม่ปลอดภัย (≤75 unit/ml),

** Diakyl phosphates; DAPs ที่ตรวจวิเคราะห์ ได้แก่ Diethyl phosphate; DEP, Diethyl thiophosphate; DETP, Dimethyl phosphate; DMP, Dimethyl thiophosphate; DMTP และ Dibutyl phosphate; DBT,

*** ค่าเฉลี่ยปริมาณ creatinine ในเพศชาย เท่ากับ 0.9 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร และในเพศหญิง เท่ากับ 0.8 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร,

ND = ตรวจไม่พบ (Non detectable)

3. ผลการตรวจปริมาณสารพิษตกค้างที่ตรวจพบในจำนวนตัวอย่างทั้งสิ้น 98 ตัวอย่าง เป็นตัวอย่างดิน 38 ตัวอย่าง น้ำ 23 ตัวอย่าง และพืชผัก 37 ตัวอย่าง ได้แก่ ผักบุ้งจีน (6 ตัวอย่าง) พริกจินดา (4 ตัวอย่าง) โหระพา (5 ตัวอย่าง) กระเพรา (4 ตัวอย่าง) กระชาย (2 ตัวอย่าง) ถั่วฝักยาว (2 ตัวอย่าง) ผักกาดหอม (3 ตัวอย่าง) และตะไคร้หอมต้นคะน้า มะเขือเปราะ ผักกาดขาว ผักกาดเขียว ขึ้นฉ่าย หอม กระชาย กวางตุ้ง และถั่วพู (ชนิดละ 1 ตัวอย่าง) ตรวจพบอีไทออนในดิน จำนวน 1 ตัวอย่าง (0.03 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และคลอร์ไพริฟอส จำนวน 2 ตัวอย่าง

กรมวิชาการเกษตร

(<LOQ) และอีไทออนในตัวอย่างโหระพา จำนวน 1 ตัวอย่าง (0.05 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ) ตามลำดับ (LOQ = 0.01 มิลลิรัมต่อกิโลกรัม)

4. ผลการประเมินความเสี่ยงจากการรับสัมผัสสารพิษกลุ่มออร์กาโนฟอสฟอรัสต่อสุขภาพเกษตรกร ผู้บริโภค และสิ่งแวดล้อม โดยนำค่าปริมาณสารพิษตกค้างที่ตรวจพบในดิน น้ำ และพืช คำนวณความเสี่ยงจากสารพิษตกค้างในดินต่อสุขภาพเกษตรกร และสิ่งแวดล้อม หากสารพิษตกค้างมีปริมาณต่ำกว่า LOQ จะใช้ค่าปริมาณสารพิษตกค้างที่เท่ากับค่า LOQ ในการคำนวณ โดยผลการประเมินความเสี่ยงพบว่าปริมาณสารพิษตกค้างที่ตรวจพบไม่มีผลกระทบต่อมนุษย์และต่อสิ่งแวดล้อม รายละเอียดของผลการประเมิน ดังแสดงในตารางที่ 4

**ตารางที่ 4** ผลการประเมินความเสี่ยงจากการรับสัมผัสสารพิษกลุ่มออร์กาโนฟอสฟอรัสต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม

| Sample | Total sample/ Positive sample | Pesticides | Concentration (mg/kg) | Human health* | | Ecological | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Hazard Quotient (HQ) | risk | Risk Quotient (RQ) | risk |
| Soil | 38/3 | chlorpyrifos | <0.01 | $5.98 \times 10^{-4}$ | accept | $2 \times 10^{-4}$ | accept |
| | | ethion | 0.03 | $1.08 \times 10^{-3}$ | accept | $3 \times 10^{-3}$ | accept |
| Sweet basil | 5/1 | ethion | 0.05 | $2.66 \times 10^{-3}$ | accept | - | |

จากผลการวิจัยปี 2563 พบว่าผลการตรวจคัดกรองความเสี่ยงจากการสัมผัสสารเคมีกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสฟอรัสโดยใช้กระดาษทดสอบ Cholinesterase มีความสอดคล้องกับผลการตรวจวัดระดับการทำงานของเอนไซม์ AChE และ SChE และการตรวจพบสาร DAPs ชนิด DEP, DETP และ DMP ในปัสสาวะของเกษตรกร 6 ราย จากทั้งหมด 20 ราย ในปี 2563 และเกษตรกร 6 ราย จากทั้งหมด 15 ราย ในปี 2564 และผลการตรวจพบสารพิษตกค้างในดิน น้ำและผักจากแปลงเกษตรกร แสดงให้เห็นว่าสาร DAPs ที่ตรวจพบอาจจะเป็นผลจากการได้รับสารพิษที่ปนเปื้อนจากในแปลงผัก อย่างไรก็ตาม อาจจะเป็นผลจากการได้รับสารพิษจากแหล่งอื่น ๆ เช่น การบริโภค เป็นต้น เช่นเดียวกับผลการศึกษาของวรรณวิมลและคณะ (2557 และ 2560) ได้ศึกษาผลกระทบจากสารเคมีกำจัดศัตรูพืชที่มีต่อสุขภาพของเกษตรกร ในโครงการการศึกษาพัฒนาแนวทางการลดใช้สารเคมีในการเกษตรด้วยกระบวนการวิจัยแบบมีส่วนร่วม กรณีอำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่ ที่ตรวจพบสาร DAPs ในตัวอย่างปัสสาวะของกลุ่มเกษตรกรที่ไม่ใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช และเป็นเกษตรกรอินทรีย์ โดยบางรายเป็นเกษตรกรอินทรีย์ซึ่งไม่ใช้สารเคมีใด ๆ มาเป็นเวลากว่า 10 ปี (ตั้งแต่ปี 2542) ยังสามารถตรวจพบสารบ่งชี้ดังกล่าวได้ ชี้ให้เห็นว่าอาจยังมีสารกลุ่มออร์กาโนฟอสฟอรัสตกค้างในร่างกาย หรือมีโอกาสได้รับสารกลุ่มออร์กาโนฟอสฟอรัสจากการรับประทานอาหารที่มิได้ผลิตเองและมีการปนเปื้อน เช่น การรับประทานอาหารนอกบ้านขณะทำกิจกรรมต่าง ๆ

กรมวิชาการเกษตร

## สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ผลการการประเมินผลกระทบของสารป้องกันกำจัดแมลงหลายกลุ่มออร์กาโนฟอสฟอรัสต่อสุขภาพเกษตรกร ตำบลทุ่งบัว และตำบลวังน้ำเขียว อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม ที่มีการใช้สารป้องกันกำจัดแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสฟอรัสในการผลิตผัก ระหว่างปี 2563 - 2564 ตรวจพบสารพิษตกค้างกลุ่มออร์กาโนฟอสฟอรัสในตัวอย่างดิน น้ำ และพืชผักจากแปลงของเกษตรกร ในปริมาณที่ต่ำกว่า LOQ และความเสี่ยงจากการรับสัมผัสสารต่อสุขภาพเกษตรกร ผู้บริโภค และสิ่งแวดล้อม พบว่าไม่มีผลกระทบต่อเกษตรกรและสิ่งแวดล้อม ในขณะที่ผลการตรวจคัดกรองความเสี่ยงจากการสัมผัสสารเคมีกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสฟอรัสโดยใช้กระดาษทดสอบ Cholinesterase แสดงให้เห็นว่าเกษตรกรส่วนใหญ่มีเกณฑ์อยู่ในระดับไม่ปลอดภัย และส่วนที่เหลือมีเกณฑ์อยู่ในระดับเสี่ยง และไม่พบว่ามีรายใดอยู่ในเกณฑ์ปลอดภัย ผลการตรวจวัดระดับการทำงานของเอนไซม์ AChE และ SchE ในตัวอย่างเลือดของเกษตรกรในปี 2563 พบว่าเกษตรกรร้อยละ 50 มีระดับเอนไซม์ SchE ที่จำแนกอยู่ในเกณฑ์ผิดปกติ โดยพบว่าเป็นเกษตรกรเพศหญิง (ร้อยละ 60) ผลตรวจพบสารเมตาบอไลท์ กลุ่มสาร DAPs ในปัสสาวะของเกษตรกร ในปี 2563 - 2564 พบชนิด DEP, DETP, DMP และ DBP แสดงถึงเกษตรกรได้รับสารกำจัดแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสฟอรัสจากการรับสัมผัสสารพิษ ทั้งนี้จากข้อมูลจากแบบสอบถามจากเกษตรกร จากทั้งสองตำบล แสดงให้เห็นว่าเกษตรกรมีทัศนคติที่ดีในการใช้สารป้องกันกำจัดแมลงอย่างปลอดภัยและถูกวิธี รวมทั้งมีความรู้ในการปฏิบัติตนในการใช้สารผ่านการฝึกอบรม แต่การตัดสินใจเลือกชนิดสารสารกำจัดแมลงนั้น ได้มาจากการแนะนำ/ให้ความรู้จากร้านเคมีการเกษตร อย่างไรก็ตาม เนื่องจากช่วงเวลาที่ดำเนินงานวิจัย (ปี 2563 - 2564) เกิดสถานการณ์ระบาดของโควิด 19 จึงทำให้ไม่สามารถดำเนินการในส่วนของตรวจวัดระดับการทำงานของเอนไซม์ AchE และ SchE ในตัวอย่างเลือดของเกษตรกร ในปี 2564 เนื่องจากต้องปฏิบัติตามแนวทางปฏิบัติตนที่กำหนดโดย ศบค. ส่งผลกระทบต่อการลงพื้นที่เก็บตัวอย่าง ไม่ได้สัมพันธ์กับช่วงเวลาที่เกษตรกรมีการใช้ ดังนั้นเพื่อให้การประเมินผลกระทบมีความสมบูรณ์ในการนำข้อมูลไปใช้ทั้งในการด้านการวางแผนบริหารจัดการความเสี่ยง ควรดำเนินการการวิจัยเพิ่มเติมเพื่อติดตามว่าผลกระทบที่เกษตรกรได้รับจากการรับสัมผัสสารพิษกลุ่มออร์กาโนฟอสฟอรัส

กรมวิชาการเกษตร

## บทสรุปและข้อเสนอแนะ

### 1. ผลการวิจัยของโครงการ

ผลผลิต

เกษตรกรกลุ่มเป้าหมายที่เข้าร่วมโครงการ และผู้สนใจได้รับทราบข้อมูลความเสี่ยงและผลกระทบจากการใช้สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชที่มีต่อสุขภาพ และสิ่งแวดล้อม จากการเผยแพร่ข้อมูลและองค์ความรู้ในรูปแบบบทความด้านวิชาการ จำนวน 4 เรื่อง ได้แก่ 1) การประเมินผลกระทบของสารตกค้างไกลโฟเซต อะทราซีน และอะลาคลอร์ในดิน 2) การประเมินผลกระทบของสารตกค้างในแม่น้ำเจ้าพระยาและแม่น้ำท่าจีน 3) การประเมินผลกระทบจากสารกำจัดวัชพืชอะทราซีนตกค้างในไร่ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ และ 4) การประเมินผลกระทบจากสารกำจัดแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสฟอรัสต่อสุขภาพเกษตรกร

### 2. ข้อเสนอแนะ

ผลกระทบ

1. เกษตรกรมีองค์ความรู้ความเข้าใจ และตระหนักในการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชที่ถูกต้อง และปลอดภัยเพิ่มขึ้น ทำให้ผลิตผลเกษตรมีความปลอดภัย เกษตรกรสามารถขายผลผลิตที่มีความปลอดภัยได้มากขึ้น ลดความกังวล และปัญหาสุขภาพให้กับผู้บริโภค สิ่งแวดล้อมปลอดภัย และเกิดความสมดุล

2. นำไปสู่แนวทาง และการกำหนดนโยบายของภาครัฐในมาตรการการควบคุมการใช้สารเคมีที่ถูกต้อง แนวทางในการบริหารจัดการ เกี่ยวกับการใช้สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชทั้งระบบ แบบมีส่วนรวมจากทุกภาคส่วน ผลผลิตทางเกษตรของไทยมีความปลอดภัย ลดปัญหาด้านสังคม เศรษฐกิจ และสิ่งแวดล้อม

การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

**ด้านนโยบาย** : กรมวิชาการเกษตร ใช้ในการกำหนดแนวทางสำหรับการบริหารจัดการเกี่ยวกับการใช้สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชเพื่อให้มีความปลอดภัย รวมทั้งกำหนดเป็นมาตรการในการลดผลกระทบจากการใช้สารป้องกันกำจัดศัตรูพืช

**ด้านสังคม** : เกษตรกรที่มีส่วนร่วม เกิดความตระหนักรู้ มีจิตสำนึก และมีความระมัดระวังในการใช้สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชเพื่อให้มีความปลอดภัยต่อสุขภาพ และสิ่งแวดล้อม ตลอดจนประชาชนผู้บริโภคได้บริโภคอาหารที่ปลอดภัย

**ด้านเศรษฐกิจ** : เกษตรกร มีผลผลิตที่มีคุณภาพ และปลอดภัยจากสารป้องกันกำจัดศัตรูพืช ทำให้สามารถจำหน่ายผลผลิตได้มากขึ้น เป็นการเพิ่มรายได้ รวมทั้งสร้างความเข้มแข็ง และความมั่นคงทางด้านเศรษฐกิจ

**ด้านวิชาการ** : ประชาชนทั่วไป สถานศึกษา องค์กรเอกชน และหน่วยงานราชการอื่นที่เกี่ยวข้อง ได้รับรู้ข้อมูลด้านวิชาการเกี่ยวกับผลกระทบของสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชที่มีต่อสุขภาพ และสิ่งแวดล้อม เป็นการเผยแพร่ข้อมูลในวงกว้าง ทำให้เกิดความร่วมมือในระหว่างภาคส่วนต่าง ๆ ที่จะช่วยลดผลกระทบที่เกิดขึ้น

กรมวิชาการเกษตร

## บรรณานุกรม

**การทดลองที่ 1**


กระทรวงอุตสาหกรรม. ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม (ฉบับที่ 6) พ.ศ. 2563. เรื่อง บัญชีรายชื่อวัตถุอันตราย (ฉบับที่ ๖) ราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 137 ตอนพิเศษ 117 ง (ลงวันที่ 15 พฤษภาคม 2563)

กลุ่มวิจัยวัตถุมีพิษการเกษตร, 2564. คู่มือการใช้บริการตรวจวิเคราะห์สารพิษตกค้างในพืช ดิน น้ำ คุณภาพผลิตภัณฑ์วัตถุมีพิษการเกษตร และสารสกัดธรรมชาติ. 15 หน้า

นัฐวุฒิ ไผ่ผาด สมจิตต์ สุพรรณทัสน์ และธีรพัฒน์ สุทธิประภา. 2557. ผลจากการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกรผู้ปลูกข้าวต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม อำเภอร่องคำ จังหวัดกาฬสินธุ์. แก่นเกษตร. 42(3): 301-310.

ศูนย์พิษวิทยา คณะแพทยศาสตร์โรงพยาบาลรามาธิบดี มหาวิทยาลัยมหิดล. 2018. ภาวะเป็นพิษจาก paraquat. สืบค้นจาก: https://www.rama.mahidol.ac.th/poisoncenter/th/pois-cov/PQ [15 ม.ค. 2564].

สำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร. 2561. วัตถุอันตรายที่มีการนำเข้าสูงสุด 10 อันดับแรก ปี 2561. สืบค้นจาก: https://www.doa.go.th/ard/?page_id=386. [10 ม.ค. 2564].

สำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร. 2562. วัตถุอันตรายที่มีการนำเข้าสูงสุด 10 อันดับแรก ปี 2562. สืบค้นจาก: https://www.doa.go.th/ard/?page_id=386. [10 ม.ค. 2564].

สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (มกอช.). 2559. ข้อมูลการบริโภคอาหารของประเทศไทย (FOOD CONSUMPTION DATA OF THAILAND). สืบค้นจาก: https://www.acfs.go.th/files/files/attach-files/867_20190606145951_625162.pdf [25 ก.ย. 2563].

AOAC. 2016. Organophosphorus Pesticide. General Multiresidue Method. Association of Official Analytical Chemists. AOAC Official Method 970.52, 1995.

Back, C. K. 1965. Method of soil analysis: part I physical and mineralogical properties. American Society of Agronomy. Madison. Wisconsin. USA. 4 p.

Bento, C.P.M., X. Yang, and G. Gort. 2016. Persistence of glyphosate and aminomethylphosphonic acid in loess soil under different combinations of temperature, soil moisture and light/darkness. *Sci Total Environ. J*. 572: 301-311.

Bonneh-Barkay, D., S.H. Reaney, W.J. Langston, and D.A. Di Monte. 2005. Redox cycling of the herbicide paraquat in microglial cultures. *Brain Res Mol Brain Res. J.* 134: 52-56.

Castello, P.R., D.A. Drechsel, and M. Patel. 2007. Mitochondria are a major source of paraquat-induced reactive oxygen species production in the brain. *Biol Chem. J.* 282: 14186–14193.

Cha, E.S., S.S. Chang, D. Gunnell, M. Eddleston, Y.H. Khang, and W.J. Lee. 2016. Impact of paraquat regulation on suicide in South Korea. *Epidemiol. Int J*. 45(2): 470-479.


กรมวิชาการเกษตร

Christensen, K., B. Harper, B. Luukinen, K. Buhl, and D. Stone. 2009. *Chlorpyrifos General Fact Sheet*; National Pesticide Information Center, Oregon State University Extension Services. Retrieved April 1, 2019, from http://npic.orst.edu/factsheets/chlorpgen.html

Chruscielska, K.G.B., J. Brzezinski, K. Kita, B. Graffstein, and P. A. Korzeniowski. 2000. Glyphosate: evaluation of chronic activity and possible far-reaching effects-Part 1. Studies on chronic toxicity. *Pestycydy. J.* (3–4): 11-20.

Constenla, M., D. Riley, S. H. Kennedy, C. E. Rojas, L. E. Mora, and J. E. B. Steven. 1990. Paraquat behavior in Costa Rican soils and residues in coffee. *Agric. Food Chem. J.* 38: 1985-1988.

Curry, J.P. 1970. The effects of different methods of new sward establishment and the effects of the herbicides paraquat and dalapon on the soil fauna Pedobiologia, 10, pp. 329-361.

EUR-Lex. 2017. COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TECHNICAL GUIDANCE NOTES FOR IMPLEMENTATION OF REGULATION (EC) No 689/2008 Part 2: List of chemicals qualifying for PIC notification (Article 10 of Regulation (EC) No 689/2008) 11 April, 2017. Retrieved October 1, 2021, from http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52011XC0301(04)]

European Chemicals Agency (ECHA). 2008. Guidance on information requirements and chemical safety assessment, chapter R.10: characterization of dose [concentration]-response for environment Retrieved October 10, 2021, from https://echa.europa.eu/documents/10162/13632/ 2be7-information_requirements_r10_en.pdf/bb90a503-4ab7-9036-d866b8ddce69

European Chemicals Bureau. 2003. Technical Guidance Document on Risk Assessment. Commission Directive 93/67/EEC on Risk Assessment for new notified substances. Retrieved March 20, 2019, from http://www.echa. europa.eu/documents/10162/16960216/tgdpart2_2ed_en.pdf.

Giesy, J., S. Dobson, and K. Solomon. 2000. Ecotoxicological risk assessment for Roundup herbicide. *Rev Environ Contam Toxicol. J.* 167: 35-120.

Henderson, A.M., Gervais, J.A. Luukinen, B. Buhl, K. Stone, D. Cross, and A. Jenkins. 2010. Glyphosate General Fact Sheet; National Pesticide Information Center, Oregon State University Extension Services. Retrieved April 10, 2020, from http://npic.orst.edu/factsheets/glyphogen.html

Laitinen, P., S. Rämö, and K. Siimes. 2007. Glyphosate translocation from plants to soil-does this constitute a significant proportion of residues in soil? Plant Soil 300:51–60. Retrieved April 10, 2020, from https://doi.org/10.1007/s11104-007-9387-1

Lewis, K.A., J. Tzilivakis, D.J. Warner, and A. Green. 2016. An international database for pesticide risk assessments and management. *Hum Ecol Risk Assess an. Int J.* 22: 1050-1064.

Poranee, P., K. Duangta, and S. Kankanit. 2012. Paraquat contaminations in the Chanthaburi river and vicinity areas, Chanthaburi province Thailand. *Science, Technology, and Humanities. J.* 10(1): 17-24.

Portier, C.J.A. 2020. Comprehensive analysis of the animal carcinogenicity data for glyphosate from chronic exposure rodent carcinogenicity studies. *Environ Health. J.* 19:18. 1-17.

Riley, D., W. Wilkinson, and B.V. Tucker. 1976. Biological unavailability of bound paraquat residues in soil. 1n ACS Symp. Series No. 29. Bound and conjugated pesticide residues. American Chemical Society, Washington, D.C. pp. 301-353.

Robinson, N. J. 2006. Paraquat: Residue Method for the Determination of Paraquat Dichloride as Paraquat cation in Soil (GRM012.04A). Syngenta. Jealott's Hill International Research Centre. UK. 49 p.

SANTE/12682. 2019. Guidance document on analytical quality control and method validation procedures for pesticide residues and analysis in food and feed. Retrieved April 10, 2020, from https:// ec.europa.eu/food/system/files/2020-01/pesticides_mrl_guidelines_wrkdoc_2019-12682.pdf

Sun, L., D. Konga, W. Gud, X. Guoa, W. Taoa, Z. Shana, Y. Wangc, and N. Wang. 2017. Determination of glyphosate in soil/sludge by high performance liquid chromatography. *Chromatography A. J.* 1502: 8-13.

Turner, J. A. 2018. A World Compendium; The Pesticide Manual**.** 18th edition. British Crop Production Council; BCPC: UK. 1385 p.

U.S. EPA. 2011. Exposure Factors Handbook: 2011 Edition. National Center for Environmental Assessment, Washington, DC; EPA/600/R-09/052F. Retrieved April 20, 2019, from https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-09/documents/efh-frontmatter.pdf

Van Bruggen, A.H.C., M.M. He, K. Shin, V. Mai, K.C. Jeong, M.R. Finckh, and J.G. Morris. 2017. Environmental and health effects of the herbicide glyphosate. *Sci. Total Environ. J.* 616-617: 255-268.

Yang, W. and E. Tiffany-Castiglioni. 2007. The bipyridyl herbicide paraquat induces proteasome dysfunction in human neuroblastoma SH-SY5Y cells. *Toxicol Environ Health A. J.* 70: 1849-57.

กรมวิชาการเกษตร

**การทดลองที่ 2**

กลุ่มวิจัยวัตถุมีพิษการเกษตร, 2564. คู่มือการใช้บริการตรวจวิเคราะห์สารพิษตกค้างในพืช ดิน น้ำ คุณภาพผลิตภัณฑ์วัตถุมีพิษการเกษตร และสารสกัดธรรมชาติ. 15 หน้า

คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ. 2547.ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 25 พ.ศ. 2547. เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพดิน. ในราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 121 ตอนพิเศษ 119 ง (ลงวันที่ 9 กันยายน 2547)

จารุพงศ์ ประสพสุข สุวิทย์ เลาหศิริวงศ์ อรุณี พรมคำบุตร และชุลีมาศ บุญไทย อิวาย. 2562. การประเมินความเสี่ยงสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างในดินต่อสุขภาพของเกษตรกรผู้ปลูกคะน้าในจังหวัดขอนแก่น.วารสารวิชาการเกษตร. 37(3): 272-285.

ประกิจ จันทร์ตื๊บ ผกาสินี คล้ายมาลา และวรวิทย์ สุจิรธรรม. 2556. ศึกษาการสลายตัว และสะสมสารกำจัดวัชพืชกลุ่ม Triazine ในดิน น้ำ และตะกอนในแหล่งปลูกพืชสวน และพืชไร่; ชนิด atrazine ในไร่สับปะรด. เอกสารผลการปฏิบัติงาน ประจำปีงบประมาณ 2555. สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร. กรมวิชาการเกษตร. หน้า 201-211.

ผกาสินี คล้ายมาลา ประกิจ จันทร์ตื๊บ และวรวิทย์ สุจิรธรรม. 2555. ศึกษาการสลายตัว และสะสมสารกำจัดวัชพืชกลุ่ม Triazine ในดิน น้ำ และตะกอนในแหล่งปลูกพืชสวน และพืชไร่; ชนิด atrazine ในไร่อ้อย เอกสารผลการปฏิบัติงาน ประจำปีงบประมาณ 2554. สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร. กรมวิชาการเกษตร. หน้า 115-126.

สำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร. 2563. รายงานสรุปวัตถุอันตรายที่มีการนำเข้าสูงสุด 10 อันดับ ปี 2563. กรมวิชาการเกษตร. สืบค้นจาก: https://www.doa.go.th/ard/?page_id=386. [ม.ค. 2564].

สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (มกอช.). 2559. ข้อมูลการบริโภคอาหารของประเทศไทย (FOOD CONSUMPTION DATA OF THAILAND). สืบค้นจาก: https://www.acfs.go.th/files/files/attach-files/867_20190606145951_625162.pdf [15 ก.ย. 2563].

AOAC. 2016. Organophosphorus Pesticide. General Multiresidue Method. Association of Official Analytical Chemists. AOAC Official Method 970.52

Back, C. K. 1965. Method of soil analysis: part I physical and mineralogical properties. American Society of Agronomy. Madison. Wisconsin. USA. 4 p.

Bento, C.P.M., X. Yang, and G. Gort. 2016. Persistence of glyphosate and aminomethylphosphonic acid in loess soil under different combinations of temperature, soil moisture and light/darkness. *Sci Total Environ. J.* 572: 301-311.

กรมวิชาการเกษตร

Catherine, C.L., G. Andreotti, S. Koutros, W.J. Lee, J.N. Hofmann, D.P. Sandler, C.G. Parks, A. Blair, J. H. Lubin, and L.E. Beane Freeman. 2018. Alachlor Use and Cancer Incidence in the Agricultural Health Study: An Updated Analysis. *Natl Cancer Inst. J.* 110 (9): 950-958.

Chruscielska, K.G.B., J. Brzezinski, K. Kita, B. Graffstein and P. A. Korzeniowski. 2000. Glyphosate: evaluation of chronic activity and possible far-reaching effects-Part 1. Studies on chronic toxicity. *Pestycydy. J.* (3–4): 11-20.

European Chemicals Agency (ECHA). 2008. Guidance on information requirements and chemical safety assessment, chapter R.10: characterization of dose [concentration]-response for environment Retrieved October 10, 2021, from https://echa.europa.eu/documents/10162/13632/ 2be7-information_requirements_r10_en.pdf/bb90a503-4ab7-9036-d866b8ddce69

European Chemicals Bureau. 2003. Technical Guidance Document on Risk Assessment. Commission Directive 93/67/EEC on Risk Assessment for new notified substances. Retrieved October 10, 2021, from https://echa.europa.eu/documents/10162/987906/tgdpart2_2ed_en.pdf/138b7b71-a069-428e-9036-62f4300b752f.

Giesy, J., S. Dobson, and K. Solomon. 2000. Ecotoxicological risk assessment for Roundup herbicide. *Rev Environ Contam Toxicol. J.* 167: 35-120.

Henderson, A. M., J. A. Gervais, B. Luukinen, K. Buhl, D. Stone, A. Cross, and J. Jenkins. 2010. *Glyphosate General Fact Sheet*; National Pesticide Information Center, Oregon State University Extension Services. Retrieved April 10, 2021, from http://npic.orst.edu/factsheets/glyphogen.html

Laitinen, P., S. Rämö, and K. Siimes. 2007. Glyphosate translocation from plants to soil-does this constitute a significant proportion of residues in soil? Plant Soil 300:51-60. Retrieved April 10, 2021, from https://doi.org/10.1007/s11104-007-9387-1

Lewis, K.A., J. Tzilivakis, D.J. Warner, and A. Green. 2016. An international database for pesticide risk assessments and management. *Hum Ecol Risk Assess an. Int J.* 22: 1050-1064.

Portier, C.J.A. 2020. Comprehensive analysis of the animal carcinogenicity data for glyphosate from chronic exposure rodent carcinogenicity studies. *Environ Health. J.* 19:18. 1-17.

SANTE/12682. 2019. Guidance document on analytical quality control and method validation procedures for pesticide residues and analysis in food and feed. Retrieved April 3, 2021, from https://ec.europa.eu/food/system/files/2020-1/pesticides_mrl_guidelines_wrkdoc_2019-12682.pdf

Song Y., Z. C. JIA, J.Y. CHEN, J. X. HU, and L. S. Zhang. 2014. Toxic Effects of Atrazine on Reproductive System of Male Rats. *Biomedical and Environmental Sciences. J.* 27(4): 281-288.

Sun, L., D. Konga, W. Gud, X. Guoa, W. Taoa, Z. Shana, Y. Wangc, and N. Wang. 2017. Determination of glyphosate in soil/sludge by high performance liquid chromatography. *Chromatography A. J.* 1502: 8-13.

Turner, J. A. 2018. A World Compendium; The Pesticide Manual**.** 18th edition. British Crop Production Council; BCPC: UK. 1385 p.

U.S. EPA. 2011. Exposure Factors Handbook: 2011 Edition. National Center for Environmental Assessment, Washington, DC; EPA/600/R-09/052F. Retrieved April 2 0 , 2 0 21, from https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-09/documents/efh-frontmatter.pdf

U.S. EPA. 1998. Alachlor Fact sheet. Retrieved April 1, 2021, from https://www3.epa.gov/pesticides/chem_search/reg_actions/reregistration/fs_PC-090501_1-Dec-98.pdf

Van, A.H.C., M.M. He, K. Shin, V. Mai, K.C. Jeong, M.R. Finckh, and J.G. Morris. 2018. Environmental and health effects of the herbicide glyphosate. *Sci. Total Environ. J.* 616–617: 255-268.

Vencill, W.K. 2002. WSSA herbicide handbook (8th edition). Weed Science Society of America. Lawrence, KS, USA.

**การทดลองที่ 3**

กลุ่มวิจัยวัตถุมีพิษการเกษตร. 2564ก. วิธีทดสอบสารพิษกลุ่ม Organochlorines ในน้ำ โดยวิธี Gas Chromatography TM-T04-I01. 10 หน้า.

กลุ่มวิจัยวัตถุมีพิษการเกษตร. 2564ข. วิธีทดสอบสารพิษกลุ่ม Organochlorines Organophosphorus และ Pyrethroid ในดิน โดยวิธี Gas Chromatography TM-T04-I02. 12 หน้า.

กลุ่มวิจัยวัตถุมีพิษการเกษตร. 2564ค. วิธีทดสอบสารพิษกลุ่ม Organophosphorus ในน้ำ โดยวิธี Gas Chromatography TM-T04-I03. 9 หน้า.

คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ. 2537. ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน. ราชกิจจานุเบกษา เล่ม 111 ตอนที่ 16 ง. (ลงวันที่ 10 มกราคม 2537)

มลิสา เวชยานนท์ สิริพร เหลืองสุชนกุล ประกิจ จันทร์ติ๊บ เอกราช สิทธิมงคล และปภัสรา คุณเลิศ. 2555. การแพร่กระจายของสารพิษการเกษตรจากแหล่งเกษตรกรรมลงสู่แม่น้ำสายหลักในประเทศไทย. ผลงานวิจัยดีเด่นกรมวิชาการเกษตรประจำปี 2555. หน้า 231-255.

กรมวิชาการเกษตร

สำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร. 2560-2562. รายงานสรุปการนำเข้าวัตถุอันตรายทางการเกษตร ปี 2560-2562. สืบค้นจาก: https://www.doa.go.th/ard [24 มิ.ย. 2564].

สำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร. 2563. รายงานสรุปการนำเข้าวัตถุอันตรายทางการเกษตร ปี 2563. สืบค้นจาก: https://www.doa.go.th/ard [24 มิ.ย. 2564].

สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (มกอช.). 2559. ข้อมูลการบริโภคอาหารของประเทศไทย (FOOD CONSUMPTION DATA OF THAILAND). สืบค้นจาก: https://www.acfs.go.th/files/files/attach- files/867_20190606145951_625162.pdf [15 ก.ย. 2563].

สำนักบริหารจัดการน้ำและอุทกวิทยา. 2563. แผนการบริหารจัดการน้ำและการเพาะปลูกพืชฤดูแล้งในเขตชลประทาน ปี 2563/64. สืบค้นจาก: https://www.rid.go.th [24 มิ.ย. 2564].

Anastassiades, M., S. J. Lehotay, D. Staibaher, and F. J. Schenck. 2003. Fast and Easy Multiresidues employing Acetonitrile Extraction/Partitioning and Dispersive Solid-Phase Extraction for Determination of Pesticide Residues in Produce. *AOAC. J.* 86(2): 412-431.

Back, C. K. 1965. Method of soil analysis: part I physical and mineralogical properties. American Society of Agronomy. Madison. Wisconsin. USA. 4 p.

Chinda, S. 1998. Organochloine pesticide residues in fishes from the Chao Phraya River. Retrieved July 26, 2021, from https://agris.fao.org/agris-search

European Chemicals Bureau. 2003. Technical Guidance Document on Risk Assessment. Commission Directive 93/67/EEC on Risk Assessment for notified substances. Retrieved Mar 20, 2019, from https://www.echa.europa.eu/documents/10162/16960216/tgdpart2_2ed_en.pdf

Feei, S., L. Feng-Yi., W. Sue-Sun, and L. Gwo-Chen. 2000. Determination of Organochlorine and Nitrogen-Containing Pesticide Residues in Fish with Different Fat Content. *Food and Drug Analysis. J.* 8(2): 103-111.

Harieth, H. K. 2011. Pesticide residues in four rivers running through an intensive agricultural area, Kilimanjaro, Tanzania. *Appl. Sci. Environ. Manage.* J. 15(2):307-316.

Health Canada. 1993. Guidelines for Canadian Drinking Water Quality. Guideline technical Document. Atrazine. Canada. 9 p.

Keller, W. and S. Otto. 1985. BASF Agricultural Research Station, Limburgerhof.

Lewis, K.A., J. Tzilivakis, D. Warner, and A. Green. 2016. An international database for pesticide risk assessments and management. Human and Ecological Risk Assessment. *An International J.* 22 (4): 1050-1064.

กรมวิชาการเกษตร

National Health and Medical Research Council; NHMRC, Natural Resource Management Ministerial Council; NRMMC. 2011. Australian Drinking Water Guidelines version 3.7 Paper 6 National Water Quality Management Strategy. National Health and Medical Research Council, National Resource Management Ministerial Council, Commonwealth of Australia, Canberra. Retrieved February 1, 2022, from https://www.nhmrc.gov.au/about-us/publications/australian-drinking-water-guidelines#block-views-block-file-attachments-content-block-1

Poolpak, T., P. Pokethitiyook, M. Kruatrachue, U. Arjarasirikoon, and N. Thanwaniwat. 2008. Residue Analysis of organochlorine pesticides in the Mae Klong River of Central Thailand. *Hazard Mater. J.* 156(1-3): 230-239.

Rice, E.W., R.B. Baird, and A.D. Eaton. 2017. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 23rd Edition. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. pp. 135-145.

Robinson, N. J. 2006. Paraquat: Residue Method for the Determination of Paraquat Dichloride as Paraquat cation in Soil (GRM012.04A). Syngenta. Jealott's Hill International Research Centre. UK. 49 p.

Samoh, A. N. H. and M. S. Ibrahim. 2009. Organochlorine Pesticide Residues in the Major Rivers of Southern Thailand. *EnvironmentAsia. J.* 1: 30-34.

Székács, A., M. Mörtl, and B. Darvas. 2015. Monitoring Pesticide Residues in Surface and Ground Water in Hungary: Surveys in 1990-2015. *Chemisty. J.* 2015: 1-15.

U.S. EPA. 2003. Edition of the Drinking Water Standards and Health Advisories. USA.

U.S. EPA. 2017. Exposure Factors Handbook Chapter 5: Soil and Dust Ingestion. U.S. EPA. Office of Research and Development. Washington, DC. EPA/600/R-17/384F.

WHO. 1988. Assessment of fresh water quality. Global environmental monitoring system (GEMS) report on the related environmental monitoring. World Health Organization.

WHO. 2004. Guidelines for Drinking-water Quality. 3rd Edition. WHO Geneva. Switzerland.

กรมวิทยาศาสตร์บริการ

**การทดลองที่ 4**

จารุพงศ์ ประสพสุข สุวิทย์ เลาหศิริวงศ์ อรุณี พรมคำบุตร และชุลีมาศ บุญไทย อิวาย. 2562. การประเมินความเสี่ยงสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างในดินต่อสุขภาพของเกษตรกร ผู้ปลูกคะน้าในจังหวัดขอนแก่น. วารสารวิชาการเกษตร 37(3) : 272-285.

พันธ์เทพ เพชรผึ้ง. 2558. ผลกระทบทางสุขภาพจากการใช้พาราควอตและแนวทางจัดการความเสี่ยง กรณีศึกษาตำบลปงสนุก อำเภอเวียงสา จังหวัดน่าน. วารสารเภสัชกรรมไทย 7(2) : 250-258.

ภิญญา จุลินทร วิภา ตั้งนิพนธ์ ประกิจ จันทร์ติ๊บ และเอกราช สิทธิมงคล. 2554. การสะสมและแพร่กระจายของสารพิษในสิ่งแวดล้อมแหล่งปลูกส้มพื้นที่ภาคเหนือ. รายงานผลการปฏิบัติงานประจำปีงบประมาณ 2554 เล่ม 2. สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร: กรุงเทพมหานคร. หน้า 137–153.

สุมิตร วิลัยพรม ทวีพงษ์ณ น่าน ฉัตรสุดา เชิงอักษร และชัยกฤต พรมมา. 2561 ทดสอบการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์นครสวรรค์ 3 ในจังหวัดน่าน และจังหวัดเชียงใหม่. วารสารวิชาการเกษตร 36(2) : 163-172.

สำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร. 2562. รายงานสรุปการนำเข้าวัตถุอันตรายทางการเกษตรปี พ.ศ. 2562. สืบค้นจาก: http://www.doa.go.th/ard/wp content /uploads /2019 /04 /HASTAT58_01 [19 พ.ย. 2563].

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2563. สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปี 2552. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.กรุงเทพฯ. 206 หน้า.

Adam, A., L.L. Smith, and G.M. Cohen. 1990. An evaluation of the redox cycling potencies of paraquat and nitrofurantoin in microsomal and lung slice systems. *Biochem. Pharmacol. J.* 40: 1533-1539.

Back, C. K. 1965. Method of soil analysis: part I physical and mineralogical properties. American Society of Agronomy. Madison. Wisconsin. USA. 4 p.

International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC). 2019. Global availability of information onagrochemicals. Pesticide Properties DataBase. Retrieved March 25, 2019, from https://www.Sitem.herts.ac.uk/aeru/iupac/atoz. Htm.

Kennedy, S. H. 1986. The determination of residues of paraquat in crops – a spectrophotometric method. Plant Protection Division Residue Analytical Method No. 18, Imperial Chemical Industries, Bracknell, Berkshire, England. 8 p.

Lu, H., J. Yua, L. Wua, J. Xingc, J. Wang, P. Huang, J. Zhang, H. Xiao, and R. Gao. 2016. Optimized ultra performance liquid chromatography tandem high resolution mass spectrometry method for the quantification of paraquat in plasma and urine. *Chromatography B. J.* 1027: 96-102.

กรมวิชาการเกษตร

U.S. EPA. 2008. Child-Specific Exposure Factors Handbook. EPA/600/R-06/ 096F. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC. 687 pp.

U.S. EPA. 2019. Integrated Risk Information System. IRIS Assessments. Retrieved July 10, 2020, from https://www.epa.gov/iris

Leong, Y.H., A.M. Ariff, H.R. Mohamed Khan, N.A. Abdul Rani, and M.I. Abdul Majid. 2018. Paraquat poisoning calls to the Malaysia National Poison Centre following its ban and subsequent restriction of the herbicide from 2004 to 2015. *Forensic and Legal Medicine. J.* 56: 16-20.

**การทดลองที่ 5**

กรมควบคุมมลพิษ. 2547.ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 25 (พ.ศ. 2547) ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพดิน. ราชกิจจานุเบกษา เล่ม 121 ตอนพิเศษ 119 ง (ลงวันที่ 20 ตุลาคม 2547)

กรมอนามัย. 2563. ประกาศกรมอนามัย เรื่อง เกณฑ์เสนอแนะคุณภาพน้ำบริโภคเพื่อการเฝ้าระวัง กรมอนามัย พ.ศ. 2563. สืบค้นจาก: https://www.krc.go.th/files/com_service_new1/2020-8_5db9e45ed4a3fbf.pdf [11 ก.พ. 2565].

กลุ่มวิจัยวัชพืช. 2554. คำแนะนำการป้องกันกำจัดวัชพืชและการใช้สารกำจัดวัชพืชปี 2554. สำนักวิจัยการพัฒนาการอารักขาพืช กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพ 133 หน้า.

จารุพงศ์ ประสพสุข สุวิทย์ เลาหศิริวงศ์ อรุณี พรมคำบุตร และชุลีมาศ บุญไทย อิวาย. 2562. การประเมินความเสี่ยงสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างในดินต่อสุขภาพของเกษตรกร ผู้ปลูกคะน้าในจังหวัดขอนแก่น. วารสารวิชาการเกษตร. 37(3) : 272-285.

ประกิจ จันทร์ตื๊บ และปภัสรา คุณเลิศ. 2560. การสะสมสารพิษตกค้างในแหล่งน้ำใต้ดินบริเวณเกษตรกรรม พื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. ผลการปฏิบัติงานประจำปีงบประมาณ 2559. สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร. หน้า 271-281

ผกาสินี คล้ายมาลา ประกิจ จันทร์ตื๊บ และวรวิทย์ สุจิรธรรม. 2555. ศึกษาการสลายตัวและสะสมสารกำจัดวัชพืช กลุ่ม Triazine ในดิน น้ำ และตะกอน ในแหล่งปลูกพืชสวนและพืชไร่: ชนิด atrazine ในไร่อ้อย. ใน ผลการปฏิบัติงานประจำปีงบประมาณ 2554. สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร. หน้า 115-126.

กรมวิชาการเกษตร

ผกาสินี คล้ายมาลา วิภา ตั้งนิพนธ์ ประกิจ จันทร์ติ๊บ ปภัสรา คุณเลิศ สิริพร เหลืองสุชนกุล และปรีชา ฉัตรสันติประภา. 2557. การประเมินความเสี่ยงจากการใช้สารกำจัดวัชพืชกลุ่ม Triazine ชนิด Atrazine ในพืชเศรษฐกิจต่อผู้ใช้ ผู้บริโภค และ สิ่งแวดล้อม. ใน เอกสารประกอบการประชุมวิชาการ 2557 สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร 10 - 12 มิถุนายน. หน้า 71-87.

รัศมี แสงศิริมงคลยิ่ง มลิสา เวชยานนท์ ปภัสรา คุณเลิศ และพรชนก ชโลปกรณ์. 2558. การศึกษาการปนเปื้อนของสารกำจัดศัตรูพืชสู่สิ่งแวดล้อมในวิทยาลัยชัยบาดาลพิพัฒน์. วารสารวิจัยราชภัฏพระนคร. 10(2) : 22-37.

สุมิตร วิลัยพรม ทวีพงษ์ณ น่าน ฉัตรสุดา เชิงอักษร และชัยกฤต พรมมา. 25.61 ทดสอบการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์นครสวรรค์ 3 ในจังหวัดน่าน และจังหวัดเชียงใหม่. วารสารวิชาการเกษตร. 36(2) : 163-172

สำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร. 2563. รายงานสรุปการนำเข้าวัตถุอันตรายทางการเกษตรปี พ.ศ. 2563. สืบค้นจาก: http://www.doa.go.th/ard/wp content /uploads /2019 /04 /HASTAT58_01 [3 พ.ย. 2564].

สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (ACFS). 2559. ปริมาณสารพิษตกค้างสูงสุด. สืบค้นจาก: https://www.acfs.go.th/standard/download/MAXIMUM-RESIDUE-LIMITS.pdf. [11 ก.พ. 2565].

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2563. สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปี 2563. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.กรุงเทพฯ. 206 หน้า.

อรอนงค์ ผิวนิล ศุภมาศ พนิชศักดิ์ พัฒนา นิพนธ์ ตังคณานุรักษ์ บงกชรัตน์ ปิติยนต์ และน้ำเย็น ศิริพัฒน์. 2554. การศึกษาการตกค้างและเคลื่อนย้ายสารกำจัดวัชพืชอะทราซีนในดินพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ตะกอนดินและน้ำท่าบริเวณลุ่มน้ำห้วยกะโปะ อำเภอน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 49: สาขาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, หน้า 1-11.

เอกราช สิทธิมงคล และวรวิทย์ สุจิรธรรม. 2556. การสะสมสารพิษตกค้างในแหล่งน้ำใต้ดินบริเวณเกษตรกรรม พื้นที่ภาคเหนือตอนล่าง. ผลการปฏิบัติงานประจำปีงบประมาณ 2555. สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร. หน้า 115-127.

Back, C.A. 1965. “Method of soil analysis: part I physical and mineralogical properties”. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA.

Babic, S., M. Petrovic, and K. Kastelan-Macan. 1998. Ultrasonic solvent extraction of Pesticides from soil. Journal of Chromatography Analysis. Vol. 823 :1-2, Oct. 1998: 3-9.

EPA. 1994. method 8141A, Revision 1; Organophosphorus compound by Gas Chromatography capillary column technique.

International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC). 2019. Global availability of information onagrochemicals. Pesticide Properties DataBase. Retrieved March 25, 2019, from https://www.Sitem.herts.ac.uk/aeru/iupac/atoz. Htm.

กรมวิชาการเกษตร

U.S. EPA. 2003. Example Exposure Scenarios. EPA/600/R-03/036. National Center for Environmental Assessment, Washington, DC. 124 pp.

U.S. EPA. 2008. Child-Specific Exposure Factors Handbook. EPA/600/R-06/ 096F. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC. 687 p.

U.S. EPA. 2018. National Primary Drinking Water Regulations. United States Environmental Protection Agency. Retrieved February 10, 2020, from http://www.epa.gov/ground-water-and-drinking-water/national-primary-drinking-water-regulations

U.S. EPA. 2019. Integrated Risk Information System. IRIS Assessments. Retrieved July 10, 2020, from https://www.epa.gov/iris

WHO. 2020. WHO Guideline Value for Atrazine in Drinking Water: A Critical Review. Retrieved February 1, 2022, from https://www.publiceye.ch/en/publications/detail/who-guideline-value-for-atrazine-in-drinking-water

Zeying, H., L. Wang, Y. Peng, M. Luo, W. Wang, and L. Xiaowei 2015. Multiresidue analysis of over 200 pesticides in cereals using a QuEChERS and gas chromatography–tandem mass spectrometry-based method. *Food Chemistry. J.* 169: 372-380.

**การทดลองที่ 6**

นัฐวุฒิ ไผ่ผาด สมจิตต์ สุพรรณทัสน์ และธีรพัฒน์ สุทธิประภา. 2557. ผลจากการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกรผู้ปลูกข้าวต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม อำเภอร่องคำ จังหวัดกาฬสินธุ์. แก่นเกษตร. 42(3): 301-310.

ภาณุพันธุ์ อิ่มแก้ว และสยาม อรุณศรีมรกต. 2558. การศึกษาเปรียบเทียบสารกำจัดแมลงตกค้างในผักใบเขียวของการปลูกพืชแบบทั่วไป และแบบปลอดสารพิษ. วารสารร่มพฤกษ์ มหาวิทยาลัยเกริก. 33(3): 10-30.

วรรณวิมล ภัทรสิริวงศ์ กฤษณะ ป้องนานาค สุรัตน์ หงส์สิบสอง และธัญภรณ์ เกิดน้อย. 2557. รายงานผลการวิจัย เรื่อง การศึกษาพัฒนาแนวทางการลดใช้สารเคมีในการเกษตรด้วยกระบวนการวิจัยแบบมีส่วนร่วม กรณีศึกษาอำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่. ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมสงเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม. 208 หน้า

วรรณวิมล ภัทรสิริวงศ์ สุวรรณา เตียรถ์สุวรรณ ทิพวรรณ ประภามณฑล ธัญภรณ์ เกิดน้อย สุรัตน์ หงส์สิบสอง และฐิติกมล สิทธิสอน. 2560. การศึกษาพัฒนาแนวทางการจัดการความเสี่ยง จากสารเคมีกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตในพื้นที่ภาคเหนือตอนบนด้วยกระบวนการวิจัยแบบมีส่วนร่วม ปีที่ 3. ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม พฤศจิกายน 2560. 109 น. สืบค้นจาก: http://www.oic.go.th/FILEWEB/CABINFOCENTER3/ DRAWER083/GENERAL/DATA0001/00001221.PDF [10 มิถุนายน 2562]

กรมวิชาการเกษตร

สำนักงานเกษตรจังหวัดนครปฐม. 2561. การจัดการความรู้ (KM) ปี 2560. สืบค้นจาก: http://www.nakhonpathom.doae.go.th/km%20%E0%B8%9B%E0%B8%B5%202560.html [10 มิถุนายน 2562]

Anastassiades, M., S.J. Lehotay, D. Staibaher, and F.J. Schenck. 2003. Fast and Easy Multiresidues employing Acetonitrile Extraction/Partitioning and Dispersive Solid-Phase Extraction for Determination of Pesticide Residues in Produce. *AOAC. J.* 86(2): 412-431.

AOAC. 1995. Organophosphorus Pesticide. General Multiresidue Method. Association of Official Analytical Chemists. AOAC Official Method 970.52, 1995.

Chuhua, W., P. Liu, L. Zheng, J. Chen, and Z. Zhou. 2010. GC-FPD measurement of urinary dialkylphosphate metabolites of organophosphorus pesticides as pentafluorobenzyl derivatives in occupationally exposed workers and in a general population in Shanghai (China)

Ellman, G.L., K.D. Courtney, V. Andres, and R.M. Featherstone. 1961. A new rapid colorimetric etermination of acetylcholinesterase activity. *Biochemistry and Pharmacology. J.* 7: 88-95.

WHO. 2010. WHO Human Health Risk Assessment Toolkit: Chemical Hazards (IPCS harmonization project document no. 8) World Health Organization. Retrieved March 20, 2020, from http://www.who.int/ipcs/publications/methods/harmonization/toolkit.pdf

กรมวิชาการเกษตร

# ภาคผนวก ก

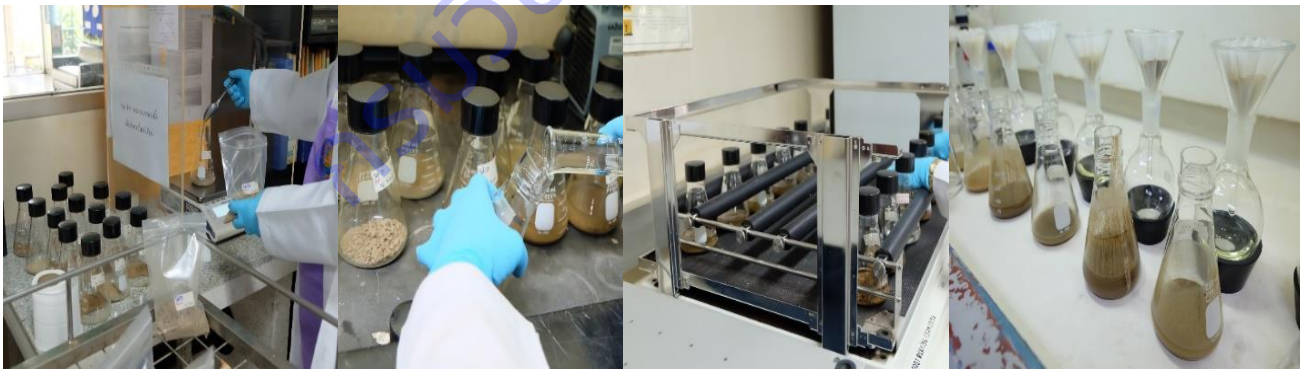
**ภาพที่ 1** สัมภาษณ์เกษตรกร และสุ่มเก็บตัวอย่างดินในพื้นที่แปลงปลูกพืชเขตภาคตะวันออก

**ภาพที่ 2** การสกัดสารกำจัดวัชพืชชนิดพาราควอตในดิน

กรมวิชาการเกษตร

**ภาคผนวก ข**

**ภาพที่ 1** สัมภาษณ์เกษตรกร และสุ่มเก็บตัวอย่างดินในพื้นที่แปลงปลูกพืชเขตภาคกลาง

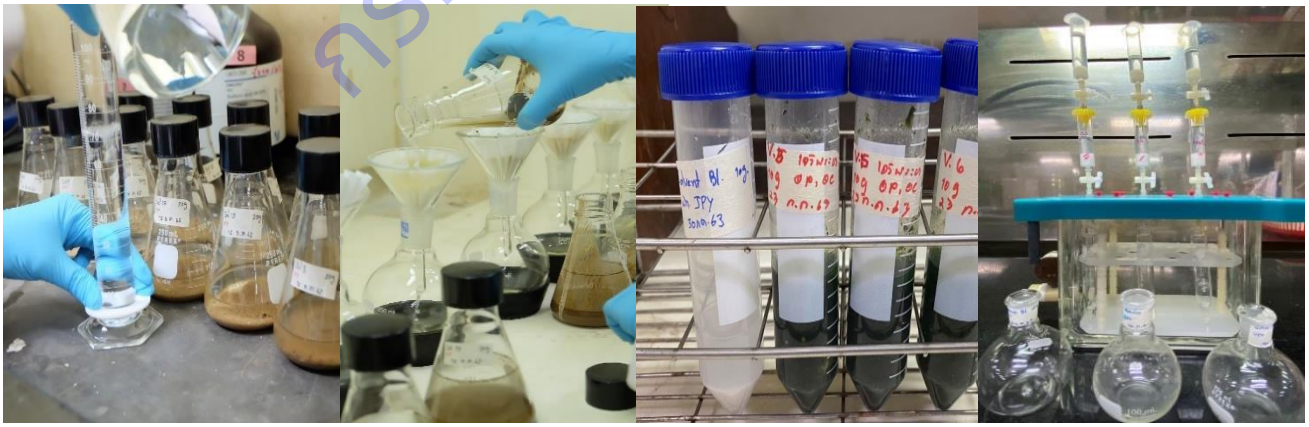


**ภาพที่ 2** การสกัดสารพิษในตัวอย่างดิน

**ภาคผนวก ค**

**ภาพที่ 1** สุ่มเก็บตัวอย่างน้ำ ตะกอน และพืชน้ำบริเวณแม่น้ำเจ้าพระยาและแม่น้ำท่าจีน

**ภาพที่ 2** สกัดสารพิษในตัวอย่างน้ำ



**(ก)** ตัวอย่างดิน **(ข)** ตัวอย่างพืชผัก **(ค)** ตัวอย่างปลา

**ภาพที่ 3** สกัดสารพิษตกค้างใน **(ก)** ตัวอย่างดิน **(ข)** พืชผัก และ **(ค)** ตัวอย่างปลา

กรมวิชาการเกษตร

**ภาคผนวก ง**

**ภาพที่ 1** การประสานความร่วมมือจากผู้นำชุมชน ประชุมประชาสัมพันธ์โครงการ และสัมภาษณ์เกษตรกร

**ภาพที่ 2** สุ่มเก็บตัวอย่างดิน

**ภาพที่ 3** การสกัดสารพิษตกค้างในตัวอย่างข้าวโพด

**ภาคผนวก จ**

**ภาพที่ 1** สัมภาษณ์เกษตรกรเพื่อเก็บข้อมูลแบบสอบถาม และสภาพการเก็บสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชบริเวณที่อยู่อาศัย

**(ก)** สุ่มเก็บตัวอย่างดิน **(ข)** สุ่มเก็บตัวอย่างน้ำ

**ภาพที่ 2 (ก)** สุ่มเก็บตัวอย่างดิน และ **(ข)** ตัวอย่างน้ำในแปลง

**ภาพที่ 3** สุ่มเก็บตัวอย่างพืชผักในแปลง