ศึกษาผลกระทบจากการใช้วัตถุมีพิษการเกษตร chlorpyrifos ในแปลงปลูกพริกต่อสัตว์น้ำ พืชน้ำ ดิน น้ำ และตะกอน

Impact of Chlorpyrifos Used in Chili Plantation to Aquatic Organisms, Soil, Water and Sediment

ผกาสินี คล้ายมาลา วรวิทย์ สุจิรธรรม ประกิจ จันทร์ติ๊บ

กลุ่มวิจัยวัตถุมีพิษการเกษตร สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร

บทคัดย่อ

ทำการทดลองในแปลงปลูกพริกของเกษตรกร ที่ตำบลบางตาเถร อำเภอสองพี่น้อง จังหวัดสุพรรณบุรี ระหว่างเดือน มกราคม พ.ศ. 2553 ถึง พฤษภาคม พ.ศ. 2553 โดยเกษตรกร ได้ใช้ chlorpyrifos สูตร 40% W/V EC เมื่อพบการระบาดของศัตรูพืช ประมาณ 2-3 ครั้งต่อฤดูปลูก ในอัตรา 40 มิลลิลิตร ต่อน้ำ 20 ลิตร ฉีดพ่นด้วยเครื่องพ่นแบบเครื่องยนต์สะพายหลัง โดยเกษตรกรฉีดพ่น chlorpyrifos จำนวน 3 ครั้ง ฉีดพ่นเมื่อพริกอายุ 99, 106 และ 113 วัน ซึ่งเป็นระยะเริ่มเก็บเกี่ยว ก่อนและหลังจากฉีดพ่น chlorpyrifos ครั้งที่ 3 ได้เก็บตัวอย่างปลานิล (*Oreocromis niloticus*, chitrada strain) ปลาตะเพียน (*Barbonymus gonionotus* common silver barb) นำมาตรวจวิเคราะห์หาสารพิษตกค้างในเนื้อปลา และวัดระดับเอนไซม์โคลีนเอสเทอเรส (Acetylcholinesterase activity, AChE activity) ในสมองปลา ส่วนผักกระเฉด (*Neptunia oleracea* Lour., water mimosa) ดิน น้ำ และตะกอน นำมาตรวจวิเคราะห์หาปริมาณสารพิษตกค้าง หลังการฉีดพ่น 1 ชั่วโมง (0 วัน) ถึง 30 วัน ผลการทดลองตรวจพบ chlorpyrifos ในปลานิลและปลาตะเพียน ปริมาณ <LOQ – 0.09 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ค่า LOQ ในปลา 0.02 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) พบปริมาณสารพิษตกค้างสูงสุดในปลาตะเพียนหลังฉีดพ่น 1 วัน ส่วนระดับ AChE activity ในสมองปลาทั้งสองชนิดลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับปลาควบคุม (control) บ่งชี้ว่า ปลาได้รับผลกระทบจาก chlorpyrifos ที่ปนเปื้อนลงสู่ร่องน้ำในวันที่ฉีดพ่น หลังฉีดพ่น 1 วัน จึงมีปลาตายจำนวนมาก สำหรับผักกระเฉดในร่องน้ำแปลงพริกพบปริมาณของ chlorpyrifos <LOQ – 1.32 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ค่า LOQ ในผักกระเฉด 0.01 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) โดยพบปริมาณสารพิษตกค้างสูงสุดในวันที่ฉีดพ่น ส่วนในดินพบปริมาณ chlorpyrifos 0.04 – 0.34 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในน้ำพบปริมาณ chlorpyrifos 0.02 – 3.47 ไมโครกรัมต่อลิตร และในตะกอนพบปริมาณ chlorpyrifos <LOQ – 0.05 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ค่า LOQ ในดิน และตะกอน 0.02 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) หลังฉีดพ่น 30 วัน ไม่พบปริมาณสารพิษตกค้างของ chlorpyrifos ในตะกอน แต่ยังตรวจพบปริมาณสารพิษตกค้างในดินและน้ำในปริมาณต่ำๆ ดังนั้น การฉีดพ่น chlorpyrifos ในแปลงพริกด้วยเครื่องพ่นแบบเครื่องยนต์สะพายหลังตามอัตราและวิธีข้างต้น พบว่าเกษตรกรควรระมัดระวังความถี่ในการใช้สาร chlorpyrifos เนื่องจากอาจทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม

คำนำ

chlorpyrifos เป็นสารกำจัดแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสฟอรัส (organophosphorus insecticide) ชื่อทางเคมีตาม IUPAC name คือ O,O-diethyl O-3,5,6-trichloro-2-pyridyl สูตรทางเคมี $C_9H_{11}Cl_3NO_3PS$ จัดเป็นสารที่ออกฤทธิ์กว้าง (broad-spectrum organophosphorus insecticide) ใช้ในการควบคุมยุง แมลงในบ้านเรือน แมลงศัตรูพืชหลายชนิดทั้งที่กัดกินใบพืช รวมถึงแมลงในดิน โดยใช้เป็น soil treatment และ seed treatment ก่อนการปลูกพืชด้วย WHO ได้จัด technical grade active ingredient ของ chlorpyrifos ให้อยู่ใน Class II Moderately hazadous หรือกลุ่มพิษปานกลาง ค่า LD_{50} 135 mg/kg (WHO, 2010) chlorpyrifos สามารถยึดเกาะกับอนุภาคดินได้ดี ค่า sorption coefficient (soil K_{OC}) เท่ากับ 6,070 สารนี้มีความคงทนในดิน 60 – 120 วัน โดยค่าครึ่งชีวิตในดิน (soil half-life) ประมาณ 30 วัน chlorpyrifos เกิดการสลายตัวได้โดยจุลินทรีย์ในดินเปลี่ยนเป็นสาร 3,5,6-trichloro-2-pyridinol สารนี้มีคลอรีนและคาร์บอนไดออกไซด์เป็นองค์ประกอบ chlorpyrifos เป็นสารที่ออกฤทธิ์ยับยั้งระดับการทำงานของเอนไซม์โคลีนเอสเทอเรส (Acetylcholinesterase Activity, AChE activity) ในเอกสารคำแนะนำการป้องกันกำจัดแมลงและสัตว์ศัตรูพืชปี 2551 ไม่มีคำแนะนำการใช้ chlorpyrifos ในพริก แต่มีคำแนะนำการใช้ chlorpyrifos ในข้าวเพื่อกำจัดหนอนกอข้าว เช่น หนอนกอสีครีม (*Scirpophaga incertulas*) ในข้าวโพดเพื่อกำจัดเพลี้ยไฟ เช่น เพลี้ยไฟข้าวโพด (*Frankliniella williamsi*) และในถั่วเหลืองเพื่อกำจัดหนอน เช่น หนอนแมลงวันเจาะต้นถั่ว (*Melanagromyza sojae*) และหนอนเจาะสมอฝ้าย (*Helicoverpa armigera*) เป็นต้น (กลุ่มกีฏและสัตววิทยา, 2551) แต่เกษตรกรยังใช้สารนี้อย่างน้อย 1 ครั้ง ในการป้องกันการระบาดของศัตรูพืชในพริก ซึ่งอาจเกิดผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตที่ไม่ใช่เป้าหมายในการกำจัด เช่น ปลา พืชน้ำ และสัตว์น้ำอื่นๆ ด้วย ในปีพ.ศ. 2550 ผกาสินีและคณะได้ศึกษาผลกระทบต่อปลาจีน ปลาดุก ปลานิล และพืชน้ำได้แก่ จอกหูหนู เมื่อเกษตรกรมีการฉีดพ่นสารพิษ chlorpyrifos สูตร 40 % EC โดยใช้อัตรา 50 ml ต่อ น้ำ 20 ลิตร เมื่อถั่วฝักยาวอายุ 60 วัน ด้วยเครื่องยนต์ติดตั้งบนเรือลาก พบว่าหลังจากฉีดพ่น chlorpyrifos ปลานิลมีระดับการทำงานเอนไซม์ลดลงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเทียบกับปลานิลควบคุม สารพิษตกค้างในเนื้อปลา 0.02 – 0.29 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และปริมาณสารพิษตกค้างของ chlorpyrifos ในพืชน้ำ คือ จอกหูหนู 0.26 – 1.76 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

chlorpyrifos จัดอยู่ในกลุ่มสารกำจัดแมลงที่มีการนำเข้าสูงสุด 10 อันดับแรก ตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2552 ปริมาณนำเข้า 1,256,037.94 กิโลกรัม โดยปริมาณสารสำคัญ 1,105,658.18 กิโลกรัม รวมเป็นมูลค่า 210,213,096.78 บาท สำหรับงานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลกระทบของ chlorpyrifos หลังการฉีดพ่นในแปลงพริกต่อปลา ผักกระเฉดในร่องน้ำ การปนเปื้อนของสารพิษตกค้าง และการสลายตัวในดิน น้ำ และตะกอน เพื่อเป็นข้อมูลในการเฝ้าระวังการใช้ chlorpyrifos ต่อไป

วิธีดำเนินการ

อุปกรณ์

1. อุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่างปลา พืชน้ำ ดิน น้ำ และตะกอน ได้แก่ กระชอนตักตัวอย่างปลา, ถังพลาสติกใส่ปลา แครงตักน้ำและตะกอน ช้อนตักดิน ขวดใส่น้ำ ขวดแก้ว และถุงพลาสติก

2. อุปกรณ์ที่ใช้ในแปลงทดลอง ได้แก่

2.1 ปลา 2 ชนิด ได้แก่ ปลานิล (*Oreocromis niloticus*, chitrada strain) และปลาตะเพียน (*Barbonymus gonionotus*, common silver barb) ขนาดลำตัวยาว 3 - 3.5 นิ้ว จำนวน 1,200 ตัว

2.2 พืชน้ำ ได้แก่ ผักกระเฉด (*Neptunia oleracea* Lour., water mimosa) ที่เกษตรกรปลูกไว้ในร่องน้ำ

2.3 กระชังปลาควบคุม (control) ในร่องน้ำข้างบ้านเกษตรกรและกระชังปลาตัวอย่างในร่องน้ำแปลงพริก ลักษณะเป็นตาข่ายทรงสี่เหลี่ยม ขนาด 1x1x1 ลูกบาศก์เมตร 4 อัน พร้อมแผ่นตาข่ายพรางแสงปิดด้านบน

2.4 ผลิตภัณฑ์สารกำจัดแมลง chlorpyrifos สูตร 40 % W/V EC ที่ใช้ฉีดพ่นในแปลงทดลอง

2.5 ชุดตรวจวัดคุณภาพน้ำ สำหรับอุณหภูมิ วัดความเป็นกรด-ด่างของน้ำ (pH) และค่าออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved oxygen content, DO)

3. อุปกรณ์ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ

3.1 เครื่องแก้วที่ใช้ในการสกัดได้แก่ separatory funnel, erlenmeyer flask, cylinder, beaker, round bottom flask, filtering funnel และ pipette เป็นต้น

3.2 เครื่องแก้วที่ใช้ในการเตรียมสารมาตรฐาน ได้แก่ volumetric flask, volumetric pipette

3.3 เคมีภัณฑ์ชนิดต่างๆ ได้แก่ สารเคมีสำหรับใช้ในการสกัด การเตรียมสารมาตรฐาน และปรับปริมาตรตัวอย่าง เช่น acetonitrile, ethyl acetate ชนิด analytical grade (AR) และ pesticide grade (PR), phosphate buffer, acetylthiocholine iodide, dithiobisnitrobenzoic acid (DTNB) , Protein standard, sodium sulphate

3.4 สาร substrate ชนิด acetylthiocholine iodide 0.075 โมล

3.5 สาร reagent ชนิด dithiobisnitrobenzoic acid (DTNB) 0.01 โมล โดยการละลาย 5,5-dinitrobis-2-nitrobenzoic acid ใน phosphate buffer pH 7

3.6 สารละลาย bioquant®

3.7 สารพิษมาตรฐาน chlorpyrifos ความบริสุทธิ์สูง 98.50%

3.8 เครื่องมือวิทยาศาสตร์ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ เช่น เครื่องชั่งหยาบ, เครื่องชั่งละเอียด (analytical balance), อุปกรณ์ผ่าตัดสมองปลา, เครื่องปั่นชนิด homogenizer, เครื่องลดปริมาตรชนิด rotary evaporator, เครื่องลดปริมาตรชนิด nitrogen evaporator, เครื่อง spectrophotometer แบบ visible ที่ความยาวคลื่น 412 นาโนเมตร, gas chromatograph พร้อม auto injector ตัวตรวจวัดชนิด flame photometric detector (FPD)

วิธีดำเนินการ

1. การปฏิบัติงานในแปลงทดลอง

1.1 การเตรียมแปลงทดลอง จากการสำรวจแปลงในพื้นที่ต่างๆ ได้แปลงพริกที่มีความเหมาะสมสำหรับการทดลอง ที่ ต.บางตาเถร อ.สองพี่น้อง จ.สุพรรณบุรี ขนาด 2 ไร่ ยกร่องปลูก มีร่องน้ำระหว่างแปลงกว้าง 1.5 เมตร ขนาดแปลงปลูก 3.5 x 53.5 ตารางเมตร จำนวน 8 แปลง ปลูกพริกจำนวน 4 แถวต่อแปลง สูบน้ำใช้จากแม่น้ำท่าจีน

เข้าสู่แปลง โดยเกษตรกรได้ใช้สารพิษ chlorpyrifos เพื่อป้องกันกำจัดหนอนเมื่อพบการระบาดประมาณ 2-3 ครั้งต่อฤดูปลูก เริ่มเก็บเกี่ยวผลพริก เมื่ออายุ 120 วัน และเก็บผลผลิตพริกได้นาน 3 เดือน

1.2 การเตรียมปลาและพืชน้ำสำหรับทดลอง โดยวางกระชังเลี้ยงปลาขนาด 1x1x1 ลูกบาศก์เมตร ลงในร่องน้ำของแปลงปลูกพริก ปลาจากแหล่งเพาะพันธุ์ปลาขนาดตัวใกล้เคียงกันและแข็งแรง ได้แก่ ปลานิลและปลาตะเพียน 300 ตัว ต่อ 1 กระชัง ชนิดละ 3 กระชัง ในร่องน้ำ control 1 กระชัง พร้อมแผ่นตาข่ายปิดด้านบน เลี้ยงด้วยอาหารปลาเล็ก เกษตรกรปลูกผักกระเฉดในร่องน้ำเพื่อเก็บจำหน่ายระหว่างรอผลผลิตพริก

1.3 การเตรียมอุปกรณ์เก็บตัวอย่าง นำขวดเก็บน้ำและขวดเก็บตะกอน ทำความสะอาดโดยการล้างด้วยน้ำและ acetone แล้วปล่อยทิ้งไว้ให้แห้ง ส่วนดิน ปลา และพืชน้ำ เก็บตัวอย่างใส่ถุงพลาสติก เตรียมอุปกรณ์เก็บดิน แครงเก็บน้ำและตะกอน

1.4 การฉีดพ่นวัตถุมีพิษ การปลูกพริกและดูแลรักษาตามแบบของเกษตรกรปฏิบัติ โดยเกษตรกรฉีดพ่น chlorpyrifos จำนวน 3 ครั้ง ฉีดพ่นครั้งแรก เมื่อพริกอายุ 99 วัน ครั้งที่ 2 เมื่อพริกอายุ 106 วัน และครั้งที่ 3 เมื่อพริกอายุ 113 วัน ซึ่งเป็นระยะเริ่มเก็บเกี่ยว ได้ฉีดพ่น chlorpyrifos อัตรา 40 มิลลิลิตรต่อน้ำ 20 ลิตร ในพื้นที่แปลงปลูกพริก ฉีดพ่นด้วยเครื่องยนต์สะพายหลัง ตลอดฤดูปลูกเกษตรกรฉีดพ่นสารพิษเพื่อกำจัดศัตรูพืชเป็นระยะ สารพิษที่ใช้เป็นประจำได้แก่ abamectin, emamectin benzoate, buprofezin+cypermethrin, phenthoate, diazinon, metalaxyl, carbendazim, difenoconazole, bacillus subtilis propiconazole+prochloraz และได้ใช้สารพิษ chlorpyrifos เพื่อป้องกันกำจัดหนอนต่างๆ เมื่อพบการระบาดประมาณ 2-3 ครั้งต่อฤดูปลูก เกษตรกรมีการปลูกผักอื่นๆ หมุนเวียนติดต่อกันตลอดทั้งปี เกษตรกรใช้ปุ๋ยเคมี 14-14-21 อัตรา 30 กก.ต่อไร่ ปูนเปลือกหอยอัตรา 75 กก. ต่อไร่ ส่วนวัชพืชกำจัดโดยการฉีดพ่นสารกำจัดวัชพืชก่อนการหยอดเมล็ด ระหว่างการทดลอง ได้ขอให้เกษตรกรงดใช้สารกำจัดศัตรูพืชชนิดอื่นๆใน กลุ่ม Carbamate และ Organophosphorus

1.5 การเก็บตัวอย่างปลาและพืชน้ำ ก่อนเริ่มการฉีดพ่น chlorpyrifos เก็บตัวอย่างปลานิลและผักกระเฉด ในแปลงทดลองมาตรวจวิเคราะห์ปริมาณสารพิษตกค้างเพื่อเป็นค่า base line value หลังการฉีดพ่น chlorpyrifos ได้เก็บตัวอย่างปลาที่ระยะเวลาต่างๆ กัน คือ 0, 1, 3, 5, 7, 10 และ 15 วัน โดยจับปลาที่มีขนาดใกล้เคียงกันและยังมีชีวิตอยู่ชนิดละ 10 ตัว และเก็บพืชน้ำ ที่ระยะเวลาต่างๆ กัน คือ 0, 1, 3, 5, 7, 10, 15 และ 20 วัน ใส่ถุงพลาสติกแช่ในถังน้ำแข็งทันที ก่อนนำไปตรวจวิเคราะห์ ณ ห้องปฏิบัติการ ในกรณีที่วิเคราะห์ไม่ทันต้องเก็บตัวอย่างปลาไว้ในตู้แช่แข็ง โดยก่อนการตรวจวิเคราะห์ได้วัดความยาวลำตัว ชั่งน้ำหนัก และจดบันทึกไว้

1.6 การเก็บตัวอย่างดิน น้ำ และตะกอน เก็บตัวอย่างก่อนการฉีดพ่น และภายหลังการฉีดพ่น ครั้งที่ 3 ที่ระยะเวลาต่างๆ คือ หลังฉีดพ่น (0 วัน), 1, 3, 5, 7, 10, 15, 20 และ 30 วัน ดังจุดเก็บที่แสดงไว้ในภาพที่ 1 รวม 210 ตัวอย่าง ใส่ในภาชนะที่เตรียมไว้ แต่ละครั้งที่เก็บตัวอย่างต้องเขียนรายละเอียดกำกับตัวอย่าง เช่น ชนิดตัวอย่าง วันที่เก็บตัวอย่าง แล้วนำใส่ในถังน้ำแข็ง เพื่อนำกลับไปยังห้องปฏิบัติการ ตัวอย่างน้ำสกัดตามวิธีการ ส่วนดินและตะกอนนำไปชั่งหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น และสกัดตามวิธีการ

2. การปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการ

2.1 การตรวจด้วย Spectrophotometer ตามวิธีของวัดระดับการทำงานของเอนไซม์โคลีนเอสเทอเรส (Ellman, et. al., 1961)

2.2 การวัดปริมาณโปรตีนจากสมองปลา ด้วยวิธี Total protein FS (Thomas, L, 1998 และ Johnson, *et. al.*, 1999)

2.3 สกัดสารพิษตกค้างของ chlorpyrifos ในเนื้อปลา ตาม TNO Standard method (1996) และใช้การ Clean up ตามวิธีของ Dale และ Miles (1976)

2.4 สกัดสารพิษตกค้างของ chlorpyrifos ในผักกระเฉด ใช้วิธี Anastassiades *et al.*, (2003)

2.5 วิธีการตรวจวิเคราะห์ chlorpyrifos ในน้ำ ใช้วิธี TNO (1993)

2.6 วิธีการตรวจวิเคราะห์ chlorpyrifos ในดินและตะกอน ใช้วิธี In house method (2550)

2.7 การหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นดิน นำตัวอย่างดินและตะกอนที่เก็บมา นำไปตากไว้ในที่ร่มจนมีความชื้นอยู่ในช่วง 10 – 20 % จากนั้นนำไปชั่งในวันเวลาเดียวกันกับการชั่งตัวอย่างเพื่อสกัดและการคำนวณน้ำหนักตัวอย่างดินและตะกอนแห้ง

2.8 การคำนวณปริมาณสารพิษตกค้าง ในตัวอย่างปลา พืชน้ำ ดิน น้ำ และตะกอน ใช้สูตร

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

เมื่อ C คือ ความเข้มข้นของสารในตัวอย่าง (น้ำ หน่วย ไมโครกรัมต่อลิตร ปลา พืชน้ำ ดิน และตะกอน หน่วย มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)

R_x คือ Response (area/height) ของสารในตัวอย่าง

B_0 คือ intercept ของ calibration curve

A_0 คือ slope ของ calibration curve

V คือ ปริมาตรสุดท้ายของสารละลายตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

W คือ น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม) หรือ ปริมาตรตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

D คือ dilution factor

2.9 การคำนวณค่าครึ่งชีวิต (half- life, $t_{1/2}$) จากสมการ exponential ใช้สูตร

half- life ($t_{1/2}$) = -0.693/b

เมื่อ b คือ slope ของ curve จากสมการ exponential

$y = ae^{bx}$

2.10 ประสิทธิภาพของวิธีการสกัด (% Recovery) ตามสูตร

$$\% \text{ Recovery} = \frac{(C_1 - C_2) \times 100}{C_{fortified}}$$

เมื่อ C_1 คือ ความเข้มข้นของสารใน Fortified sample

C_2 คือ ความเข้มข้นของสารใน Sample blank

$C_{fortified}$ คือ ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานที่เติมลงใน Fortified sample

โดยการเติมสารมาตรฐาน chlorpyrifos ที่ระดับความเข้มข้น 0.4-1.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ลงในตัวอย่างปลา และ 0.02-0.50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ลงในผักกระเฉดที่ไม่มีการปนเปื้อน ใช้วิธีการสกัดเช่นเดียวกับตัวอย่างใน

เนื้อปลาตรวจวิเคราะห์ได้ % recovery ระหว่าง 70 - 76 % ค่า Limit of Quantitation หรือ LOQ มีค่า 0.02 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ผักกระเฉด ได้ % recovery 75 - 106 % LOQ มีค่า 0.01 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในตัวอย่างน้ำเติมสารละลายมาตรฐาน chlorpyrifos ที่ระดับความเข้มข้น 0.05 - 1.0 ไมโครกรัมต่อลิตร ในน้ำตรวจวิเคราะห์ได้ % recovery ระหว่าง 84 - 91 % LOQ มีค่า 0.01 ไมโครกรัมต่อลิตร ในตัวอย่างดิน 0.05 – 1.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ลงในตัวอย่างทดสอบไม่มีการปนเปื้อน ใช้วิธีการสกัดเช่นเดียวกับตัวอย่าง ดินได้ % recovery ระหว่าง 89 - 93 % LOQ มีค่า 0.02 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และตะกอนใช้วิธีการสกัดเช่นเดียวกันกับดิน

2.11 ตรวจวิเคราะห์ด้วยเครื่อง spectrophotometer แบบ visible ที่ความยาวคลื่น 412 นาโนเมตร

2.12 ตรวจวิเคราะห์ด้วย Gas Chromatograph (GC) พร้อม Auto injector และตัวตรวจวัดชนิด Flame Photometric Detector (FPD)

2.13 การวิเคราะห์ข้อมูลผลการทดลอง

นำข้อมูลที่ได้จากการตรวจวิเคราะห์ระดับ AChE activity ในสมองปลาปริมาณสารพิษตกค้างของ chlorpyrifos ในเนื้อปลาและพืชน้ำ ไปวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ เพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย วิเคราะห์เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของระดับ AChE activity ในสมองปลา ปริมาณสารพิษตกค้างในเนื้อปลาและพืชน้ำ ที่ระยะเวลาต่างๆ หลังการฉีดพ่น รวมถึงคำนวณอัตราการสลายตัวจากกราฟ

ระยะเวลา

เริ่มต้น เดือนตุลาคม 2552 สิ้นสุด เดือนกันยายน 2553

สถานที่ดำเนินการ

1. แปลงพริกที่ใช้ในการทดลองของเกษตรกร นายเม้ง ศรีสวัสดิ์ ต.บางตาเถร อ.สองพี่น้อง จ.สุพรรณบุรี

2. ห้องปฏิบัติการกลุ่มงานวิจัยผลกระทบจากการใช้วัตถุมีพิษการเกษตร กลุ่มวิจัยวัตถุมีพิษการเกษตร สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร เขตจตุจักร กรุงเทพฯ

ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลการตรวจวิเคราะห์ตัวอย่างดิน น้ำ ตะกอน ปลา และผักกระเฉด หลังเกษตรกรฉีดพ่น chlorpyrifos ในพริกใช้อัตรา 40 มิลลิลิตรต่อน้ำ 20 ลิตร ซึ่งเป็นอัตราแนะนำตามฉลาก เมื่อพบการระบาดของศัตรูพืช 3 ครั้งต่อฤดูปลูก ด้วยเครื่องพ่นแบบเครื่องยนต์สะพายหลัง เก็บตัวอย่างทุกชนิดหลังการฉีดพ่นครั้งที่ 3 ปริมาณสารพิษตกค้างของ chlorpyrifos ในตัวอย่างดิน 0.02 – 0.34 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม พบปริมาณสูงสุด 0.34 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในวันที่ฉีดพ่น ส่วนตัวอย่างน้ำ มีปริมาณ 0.02 – 3.47 ไมโครกรัมต่อลิตร พบปริมาณของ chlorpyrifos ในน้ำสูงสุด 3.47 ไมโครกรัมต่อลิตร ในวันที่ฉีดพ่น หลังจากนั้นภายใน 30 วัน chlorpyrifos ในดินและน้ำ สลายตัวไปจนมีปริมาณ 0.04 และ 0.02 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ส่วนในตัวอย่างตะกอน พบ chlorpyrifos ในปริมาณ 0.02 – 0.05 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม พบปริมาณสูงสุด 0.05 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม หลังการฉีดพ่น 1 วัน ดังตารางที่ 1

chlorpyrifos จัดอยู่ในสารประเภทมีความคงทนในดินปานกลาง (moderately persistent) สารนี้ละลายในน้ำได้ต่ำ ค่า sorption solubility 0.4 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่มีแนวโน้มว่าจะเคลื่อนย้ายไปสู่ชั้นสารอินทรีย์ (organic

phase) ได้ในสิ่งแวดล้อม (WHO, 2004 และ Vogue, 1994) เนื่องจากค่า pesticide movement rating ค่อนข้างต่ำการเคลื่อนย้ายไปสู่ชั้นน้ำใต้ดินพบปริมาณน้อย จึงไม่ค่อยพบการปนเปื้อนลงสู่น้ำใต้ดิน การปนเปื้อนและความคงทนของ chlorpyrifos ในน้ำ จะแตกต่างกันตามสูตร (formulation) ที่ผลิตออกจำหน่าย เช่น สูตรละลายสำหรับผสมน้ำ เช่น สารละลายน้ำมันเข้มข้น (emulsifiable concentrates, EC) โดยในน้ำความเข้มข้นของ chlorpyrifos อาจถูกดูดซับไว้ในตะกอน หรือในรูปแขวนลอยของ soil colloids จึงมีรายงานการศึกษาหลายเรื่องที่ตรวจพบความเข้มข้นของ chlorpyrifos ในน้ำไม่สูงนัก การระเหย (vaporization) เป็นสาเหตุหนึ่งของการสลายตัวในน้ำ โดยค่า half-life ของน้ำในหนองน้ำ 3.5 - 20 วัน ส่วนค่า soil half-life เป็นค่าที่ใช้ประมาณความคงทนของสารพิษในดิน มีรายงานค่า soil half-life ของ chlopyrifos ในดิน 60 - 120 วัน หรือนาน 2 สัปดาห์ ถึง 1 ปี โดยขึ้นกับปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ความแตกต่างของพื้นที่ ลักษณะของดิน ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส จุลินทรีย์ดิน และฤดูกาล เป็นต้น มีรายงานการศึกษา soil half-life ในดินชนิดต่างๆ กันจากดินร่วนปนทราย (loamy sand) ถึงดินเหนียว (loam) ค่า pH 5.4 – 7.4 พบว่า chlopyrifos มีความคงทนต่ำในดินที่มีค่า pH สูงขึ้น (Extoxnet, 1996) ในการเตรียมแปลงเพื่อปลูกพริกเกษตรกรใช้ปุ๋ยเคมีสูตร 14-14-21 ในอัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ และปูนเปลือกหอยในอัตรา 75 กิโลกรัมต่อไร่ จากการส่งตรวจความอุดมสมบูรณ์ของดิน ด้วยความอนุเคราะห์จากกลุ่มวิจัยเกษตรเคมีและกลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา พบว่า ลักษณะดินแปลงพริกเป็นดินเหนียว สภาพความเป็นกรดด่าง 6.9 – 7.0 เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช อินทรียวัตถุอยู่ในระดับต่ำถึงปานกลาง 1.77 – 2.25 เปอร์เซ็นต์ จากผลการทดลองเมื่อนำมาคำนวณค่า half-life ของ chlorpyrifos ในดิน 10.34 วัน ในน้ำ 4.75 วัน และในตะกอน 22.35 วัน

ตารางที่ 1. ค่าเฉลี่ยปริมาณสารพิษตกค้าง chlorpyrifos ในดินตะกอน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม, mg/kg) และน้ำ (ไมโครกรัมต่อลิตร, µg/L) หลังการฉีดพ่นครั้งที่ 3 ในพริก

เวลาหลังการฉีดพ่น	ปริมาณสารพิษ chlorpyrifos		
(วัน)	ดิน (mg/kg)	น้ำ (µg/L)	ตะกอน (mg/kg)
Control	< LOQ	ND	ND
0	0.34	3.47	0.02
1	0.12	1.20	0.05
3	0.25	0.73	0.04
5	0.08	0.17	0.03
7	0.12	1.17	0.03
10	0.05	0.22	0.02
15	0.07	0.13	0.02
20	0.04	0.06	0.02
30	0.04	0.02	ND

หมายเหตุ LOQ ของ chlorpyrifos ในดินและตะกอน เท่ากับ 0.02 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
LOQ ของ chlorpyrifos ในน้ำ เท่ากับ 0.01 ไมโครกรัมต่อลิตร
ND = not detected คือ ตรวจไม่พบ

ในการฉีดพ่น chlorpyrifos ครั้งที่ 2 และ 3 หลังฉีดพ่น 1 วัน มีปลาตายจำนวนมาก ได้มีการเก็บตัวอย่างปลาหลังการฉีดพ่นครั้งที่ 3 ผลการตรวจวิเคราะห์ในปลา 2 ชนิด ได้แก่ ปลานิล และปลาตะเพียน พบปริมาณสารพิษตกค้างของ chlorpyrifos < LOQ – 0.09 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ค่า LOQ 0.02 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) โดยพบสารพิษตกค้างมากที่สุดหลังฉีดพ่น 1 วัน โดยปริมาณสารพิษตกค้าง chlorpyrifos พบในปลาตะเพียนสูงกว่าในปลานิล ส่วนระดับการทำงานของเอนไซม์โคลีนเอสเทอเรส (AChE Activity) ในปลาทั้งสองชนิด เมื่อเทียบกับปลากลุ่มควบคุม จะมีการเปลี่ยนแปลงของระดับเอนไซม์ลดลงจากระดับปกติ ภายหลังการฉีดพ่น 1 วัน โดยแต่ละกระชังมีปลาทั้งสองชนิดตายจำนวนมาก ซึ่งอาจเป็นผลจากการได้รับความเข้มข้นของสารปนเปื้อนอยู่ในน้ำ ความเข้มข้นของ chlorpyrifos ในน้ำจึงเป็นตัวแปรสำคัญต่อการยับยั้งระดับการทำงานของเอนไซม์โคลีนเอสเทอเรสในปลาแต่ละชนิด ในการที่ระดับเอนไซม์โคลีนเอสเทอเรส มีการลดลงมากกว่า 50% เมื่อเทียบกับระดับปกติ นั่นเป็นสาเหตุของการตายได้ (Ludke, *et al.*, 1975) พบปริมาณสารพิษในเนื้อปลาตะเพียนสูงกว่าในปลานิล ในปลาทั้งสองชนิดที่อยู่ในร่องน้ำได้รับผลกระทบจากการฉีดพ่น chlorpyrifos ในแปลงพริก ค่าเฉลี่ยของระดับเอนไซม์โคลีนเอสเทอเรส (AChE activity) ในสมองปลาลดลงเมื่อเทียบกับปลากลุ่มควบคุม ดังตารางที่ 3 และ 4

เนื่องจาก chlorpyrifos เป็นสารที่มีความเป็นพิษสูง (highly toxic) ต่อปลาและสัตว์น้ำ ความเป็นพิษของ chlorpyrifos อยู่ใน class II - moderately toxic ค่า LC_{50} ที่ 96 ชั่วโมง ในปลา mature rainbow trout 0.009 มิลลิกรัมต่อลิตร, ปลา lake trout 0.098 มิลลิกรัมต่อลิตร, ปลา goldfish 0.806 มิลลิกรัมต่อลิตร, ปลา bluegill 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร, และปลา fathead minnow 0.331 มิลลิกรัมต่อลิตร บางรายงานบ่งชี้ว่า chlorpyrifos อาจสะสมในเนื้อของสัตว์น้ำได้ จากการศึกษาในปลาตั้งแต่ระยะตัวอ่อนถึงระยะโตเต็มวัย ได้ค่า bioconcentration 58 – 5,100 โดยขึ้นอยู่กับค่าที่ใช้ในการศึกษาความเป็นพิษ (acute toxicity) และความคงทนของสารนี้ในตะกอน (Extoxnet, 1996) สำหรับค่าดัชนีคุณภาพน้ำได้ตรวจวัดค่าออกซิเจนละลายในร่องน้ำ 1.9 – 2.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าความเป็นกรดด่างของน้ำ 6.8 – 7.4 อุณหภูมิน้ำ 28.0 – 33.3 องศาเซลเซียส ส่วนผลการตรวจวิเคราะห์สารพิษตกค้างในผักกระเฉด พบว่ามีปริมาณ < LOQ – 1.32 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ค่า LOQ 0.01 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) โดยพบปริมาณสารพิษตกค้างสูงที่สุดในวันที่ฉีดพ่น ดังตารางที่ 2 และสารพิษตกค้างในผักกระเฉดมีปริมาณลดลงต่ำกว่าค่า LOQ ภายในหนึ่งเดือน

จากข้อมูลปริมาณสารพิษตกค้างในผักกระเฉดและปลา สามารถนำไปประเมินความเสี่ยงจากการบริโภคผักกระเฉดดิบและปลาสุก ในแต่ละวันของผู้บริโภค เปรียบเทียบกับค่า RfD (Reference dose) หรือ ADI (Acceptable Daily Intake) ที่มีการศึกษาในสัตว์ทดลอง ค่า RfD ของ chlorpyrifos 0.0003 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน โดยประเมินการได้รับสัมผัส โดยใช้สมการพื้นฐาน

$$\text{การได้รับสัมผัสทางการบริโภค (dietary intake)} = \frac{\text{ระดับการปนเปื้อนสารพิษ} \times \text{ปริมาณการบริโภค}}{\text{น้ำหนักตัวผู้บริโภค}}$$

ตารางที่ 2. ค่าเฉลี่ยปริมาณสารพิษตกค้าง chlorpyrifos ในปลา และผักกระเฉด (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม, mg/kg) หลังการฉีดพ่นครั้งที่ 3 ในพริก

เวลาหลังการฉีดพ่น (วัน)	ปริมาณสารพิษ chlorpyrifos (mg/kg)		
	ปลานิล	ปลาตะเพียน	ผักกระเฉด
Control	< LOQ	ND	ND
0	0.02	0.08	1.32
1	0.03	0.09	0.53
3	0.02	0.07	0.10
5	0.02	0.04	0.06
7	0.03	0.07	0.32
10	< LOQ	0.03	0.12
15	ND	ND	0.04
20	NA	NA	0.01
30	NA	NA	< LOQ

หมายเหตุ LOQ ของ chlorpyrifos ในปลาเท่ากับ 0.02 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
LOQ ของ chlorpyrifos ในผักกระเฉด และ 0.01 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
NA = not analyzed คือ ไม่ได้ตรวจวิเคราะห์ ND = not detected คือ ตรวจไม่พบ

โดยในคนไทยผู้บริโภคน้ำหนักตัวเฉลี่ย 53.5 กิโลกรัม หากประเมินการบริโภคผักกระเฉด ในลักษณะของอาหารดิบ ที่พิจารณาจากการบริโภคระดับสูงที่ 97.5 เปอร์เซ็นต์ เท่ากับ 82 กรัมต่อคนต่อวัน จะทำให้ได้ผลการคำนวณค่าการได้รับสารพิษ (intake) สูงสุด (มกอช., 2549) เมื่อคำนวณแล้วพบว่า ผู้บริโภคผักกระเฉดดิบ จะได้รับสารพิษสูงกว่าค่า RfD หลังฉีดพ่น chlorpyrifos ในพริก ช่วง 0 – 5 วัน เท่ากับ 224.70 – 103.52% จัดว่ามีความเสี่ยงสูงมาก (High) ภายหลังจาก 5 วันไปแล้ว ปริมาณสารพิษ chlorpyrifos ในผักกระเฉดลดลง จากการคำนวณการได้รับสารพิษจากการบริโภคจะอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ (accept) โดยเมื่อพิจารณาค่าปริมาณสารพิษตกค้างสูงสุด (Maximum residue limits, MRLs) ของไทย (มกอช., 2551) ในพริก 0.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม หลังฉีดพ่น 0 และ 1 วัน ค่าสารพิษตกค้างในผักกระเฉดเกินค่า MRL ของ chlorpyrifos ในพริก และค่อยๆ ลดลงจนสารพิษตกค้างไม่เกินค่า MRL

เมื่อคำนวณการได้รับสัมผัสทางการบริโภคเช่นเดียวกับผักกระเฉด หากประเมินการบริโภคปลา ในลักษณะของอาหารสุก ที่พิจารณาจากการบริโภคระดับสูงที่ 97.5 เปอร์เซ็นต์ เท่ากับ 168 กรัมต่อคนต่อวัน พบว่า ผู้บริโภคปลาตะเพียนและปลานิลที่มีการปนเปื้อน การได้รับสารพิษจากการบริโภคจะอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ (accept) เมื่อพิจารณาค่าปริมาณสารพิษตกค้างสูงสุด (MRLs) ของไทย (มกอช., 2551) ในเนื้อสุกร (ไขมัน) 0.02 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม หลังฉีดพ่น chlorpyrifos ค่าสารพิษตกค้างในปลาทั้ง 2 ชนิด เกินค่า MRL ของ chlorpyrifos ในสุกร (ไขมัน) ส่วนค่า half-life ของ chlorpyrifos ในผักกระเฉด 10.34 วัน และ ในปลาตะเพียน 7.53 วัน ในปลานิล 11.74 วัน

ตารางที่ 3. ค่าเฉลี่ยของระดับเอนไซม์โคลีนเอสเทอเรส (AChE activity) ในสมองปลานิล (unit) และ % AChE activity หลังการฉีดพ่น chlorpyrifos ครั้งที่ 3 ในพริก

เวลาหลังการฉีดพ่น (วัน)	ปลานิลควบคุม AChE activity (unit)	ปลานิลในร่องน้ำแปลงพริก		
		AChE activity (unit)	% AChE activity	% AChE activity ลดลง
0	18.12	4.25	23	77
1	16.02	3.36	21	79
3	27.14	4.06	15	85
5	18.75	4.73	25	75
7	28.20	4.18	15	85
10	17.65	5.04	29	71
15	19.43	10.31	53	47

ตารางที่ 4. ค่าเฉลี่ยของระดับเอนไซม์โคลีนเอสเทอเรส (AChE activity) ในสมองปลาตะเพียน (unit) และ % AChE activity หลังการฉีดพ่น chlorpyrifos ครั้งที่ 3 ในพริก

เวลาหลังการฉีดพ่น (วัน)	ปลาตะเพียนควบคุม AChE activity (unit)	ปลาตะเพียนในร่องน้ำแปลงพริก		
		AChE activity (unit)	% AChE activity	% AChE activity ลดลง
0	17.01	9.87	58	42
1	16.69	4.30	26	74
3	17.11	4.18	24	76
5	26.04	4.21	16	84
7	15.37	6.11	40	60
10	12.79	5.96	47	53
15	16.67	11.66	70	30

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ/คำแนะนำ

จากผลการทดลองหลังการฉีดพ่น chlorpyrifos สูตร 40% W/V EC เมื่อพบการระบาดของศัตรูพืช ประมาณ 2-3 ครั้งต่อฤดูปลูก ในอัตรา 40 มิลลิลิตร ต่อน้ำ 20 ลิตร ฉีดพ่นด้วยเครื่องพ่นแบบเครื่องยนต์สะพายหลัง โดยเกษตรกรฉีดพ่น chlorpyrifos จำนวน 3 ครั้ง การสลายตัวในดิน น้ำและตะกอน หลังการฉีดพ่นครั้งสุดท้าย พบว่า หลังการฉีดพ่น 1 เดือน ยังตรวจพบปริมาณสารพิษตกค้างในดินและน้ำได้ในปริมาณต่ำๆ หลังฉีดพ่นแล้ว 20 วันตรวจไม่พบ chlorpyrifos ในตะกอน ผลกระทบของการใช้ chlorpyrifos ในแปลงปลูกพริกต่อสิ่งมีชีวิตที่ไม่ใช่เป้าหมายในการกำจัด ได้แก่ ปลานิล ปลาตะเพียน และผักกระเฉด พบว่าความเข้มข้นของสารพิษที่ปนเปื้อนในดิน

อาจมีการถูกชะลง ลงสู่แหล่งน้ำ มีผลกระทบต่อระดับการทำงานของเอนไซม์โคลีนเอสเทอเรสในระยะเวลา 1 – 7 วัน หลังการฉีดพ่น 1 วัน ปลาจะได้รับอันตรายจากสารนี้มากที่สุด เนื่องจากระดับการทำงานของเอนไซม์โคลีนเอสเทอเรสถูกยับยั้ง โดยมีแนวโน้มว่าระดับการทำงานของเอนไซม์โคลีนเอสเทอเรส จะกลับฟื้นฟูสู่ระดับปกติได้ภายใน 15 วัน สำหรับปริมาณสารพิษตกค้างในเนื้อปลาพบในปริมาณเกินค่า MRL ในเนื้อสุกร (ไขมัน) 0.02 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แสดงว่า chlorpyrifos ตกค้างภายในร่างกายของปลาได้ในระยะเวลาหนึ่ง เช่นเดียวกับสารพิษตกค้างในผักกระเฉดที่ปลูกในร่องน้ำ ซึ่งมีแนวโน้มของการสลายตัวเมื่อระยะเวลาผ่านไป แต่ไม่ควรบริโภคผักกระเฉดดิบ ในระยะหลังฉีดพ่น 5 วันแรก เนื่องจากผู้บริโภคมีความเสี่ยงสูงต่อการได้รับสารพิษ สำหรับเกษตรกรที่ยังมีการใช้สารนี้ในพืชผักจึงควรระมัดระวังการใช้ ปฏิบัติตามฉลากอย่างเคร่งครัด และเว้นช่วงในการเก็บผลผลิตออกจำหน่ายหลังฉีดพ่น ดังนั้น การตรวจสอบการปนเปื้อนของสารนี้ในสิ่งแวดล้อมจึงควรทำอย่างต่อเนื่อง เพื่อเป็นข้อมูลในการเฝ้าระวังการใช้วัตถุมีพิษการเกษตร

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณ นายเม้ง แก้วสวัสดิ์ เกษตรกรแปลงปลูกพริก ตำบลบางตาเถร อำเภอสองพี่น้อง จังหวัดสุพรรณบุรี เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการกลุ่มงานพัฒนาระบบตรวจสอบคุณภาพดินและน้ำ กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี ได้กรุณาช่วยตรวจตัวอย่างดิน เจ้าหน้าที่กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา ที่ช่วยอธิบายให้คำแนะนำในการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการกลุ่มงานวิจัยผลกระทบจากการใช้วัตถุมีพิษการเกษตร สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร ที่ช่วยในการเก็บ สกัดและวิเคราะห์ตัวอย่าง ให้งานวิจัยนี้สำเร็จได้ด้วยดี

การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

1. ได้ข้อมูลจากการใช้วัตถุมีพิษการเกษตรที่มีผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำที่มิใช่เป้าหมายในการกำจัด
2. เพื่อเผยแพร่ผลงานวิจัยและมีประโยชน์ต่อการศึกษาด้านผลกระทบของวัตถุมีพิษการเกษตร ถ่ายทอดความรู้แก่นักศึกษา นักวิจัยในหน่วยงานอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง
3. เป็นข้อมูลของสารกลุ่มเฝ้าระวังของกรมวิชาการเกษตรเพื่อที่ใช้ในการบริหารความเสี่ยง
4. เผยแพร่ในหนังสือรายงานประจำปี และการประชุมวิชาการ

เอกสารอ้างอิง

กลุ่มกีฏและสัตววิทยา. 2551. คำแนะนำการป้องกันกำจัดแมลงและสัตว์ศัตรูพืช ปี 2551. สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช. กรมวิชาการเกษตร.

มกอช. 2549. ข้อมูลการบริโภคอาหารของประเทศไทย Food Consumption Data for Thailand ปี 2549. สำนักมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

มกอช. 2551. มาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ มกอช. 9002-2551: สารพิษตกค้าง : ปริมาณสารพิษตกค้างสูงสุด. สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. www.acfs.go.th [พ.ย. 2552].

ผกาสินี คล้ายมาลา, ศิวาภรณ์ สกุลเที่ยงตรง และพงศ์ศรี ใบอดุลย์. 2550. ศึกษาผลกระทบของวัตถุมีพิษการเกษตรต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำในแหล่งปลูกถั่วฝักยาว: คลอร์ไพริฟอส. ใน ผลการปฏิบัติงานประจำปีงบประมาณ 2550. สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร. กรมวิชาการเกษตร. 374-382.

Anastassiades, M., S.L. Lehotay, D. Stajbaher, 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. J..AOAC. 86:2, 412-431.

ATSDR. 1997. Toxicological profile for chlorpyrifos. Department of Health and Human Services, Public Health Service. Available source: http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp.asp?id=495&tid=88., Jan,4, 2011.

Ellman, G.L., K.D. Courtney, V. Jr. Andres and R.M. Featherstone. 1961. A New and Rapid Colorimetric Determination of Acetylcholinesterase Activity. *Biochemical Pharmacology*. Vol. 7, pp. 88-95.

Extoxnet. 1996. Extension Toxicology Network. Pesticide Information Profiles. From: http:ace.orst..edu/info/ extoxnet.orst.edu/pips/chlorpyr.htm

FAO/WHO. 2006. Joint FAO/WHO Food Standards Programme Codex Committee on Pesticide Residues 3 – 8 April 2006. Thirty – eight Session. Hotel Vila Gale, Fortaleza, Brazil.

Hornsby, A.G., R.D.Wauchope, and A.E. Herner. 1995. Pesticide Properties in the Environment.Springer-Verlag, New York, NY. 227 pp.

In house method. 2550. Base on Organochlorine and Organophosphorus Pesticide. General Multiresidue Method. AOAC Official Method 970.52 (1995) กลุ่มงานวิจัยผลกระทบจากการใช้วัตถุมีพิษการเกษตร. สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร

TNO. 1993. Standard Operation Procedure in Soil and Water. Institute of Nutrition and Food Research (TNO). Zeist. The Netherlands.

Johnson, A., E.M. Rohlfs, , L.M. Silverman. 1999. Proteins. *In* C.A. Burtis and E.R. Ashwood. Tietz Textbook of Clinical Chemistry. 3rd ed. Philadelphia, W.B. Saunders Company. 477 – 540.

Kyaw, M.O. 2001. The Half-lives of Biological Activity of some Pesticides in Water. from: http://www.worldfishcenter.org., December, 22, 2009.

Ludke, J. L., E. F. Hill and M. P. Dieter.975. Cholinesterase (ChE) response and related mortality among bird fed ChE inhibitors. Arch. Environ. Contam. Toxical. 3: 1 – 21.

Miller, J. C. and Miller, J. N. 1989. Statistics for Analytical Chemistry, 2nd ed., Ellis Horwood Ltd. Chicester, England.

Thomas, L. 1998. Clinical Laboratory Diagnostics. 1st ed. Frankfurt : TH – Books Verlagsgesellschaft. 644 – 647.

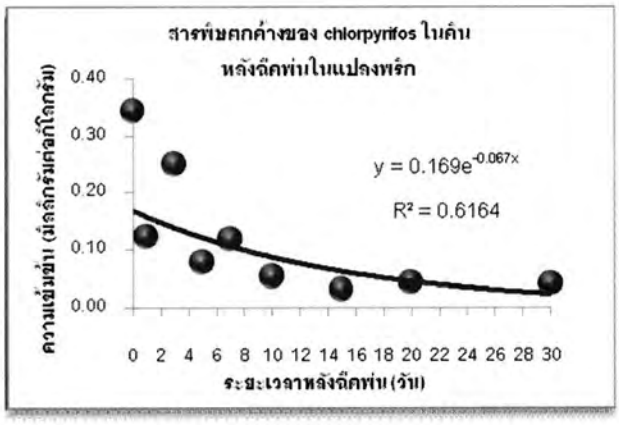
Vogue, P.A., E. A. Kerle, and J.J. Jenkins. 1994. OSU Extention Pesticide Properties Database. National Pesticide Information Center. from: http://www.npic.orst.edu/ppdmove.htm, December, 27,2010.

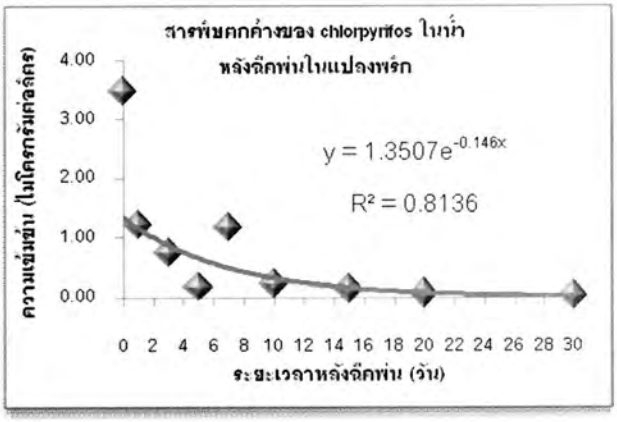
Wauchope, R.D., T.M. Buttler, A.G. Hornsby, P.W.M. Augustijn-Beckers,and J.P. Burt. 1992. The ARS/SCS/CES Pesticide properties database for environmental decision-making. Environ. Toxicol. Reviews, 123:1-164.

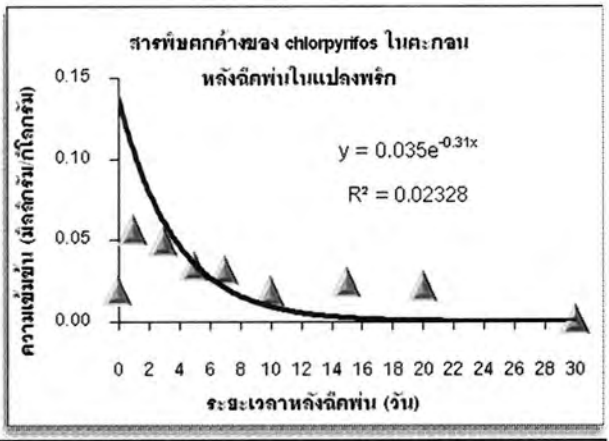
WHO. 2004. Chlorpyrifos in Drinking-Water: Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality. From: www.who.int/water sanitation health/dwg/chemicals/chlorpyrifos.pdf December, 24, 2010.

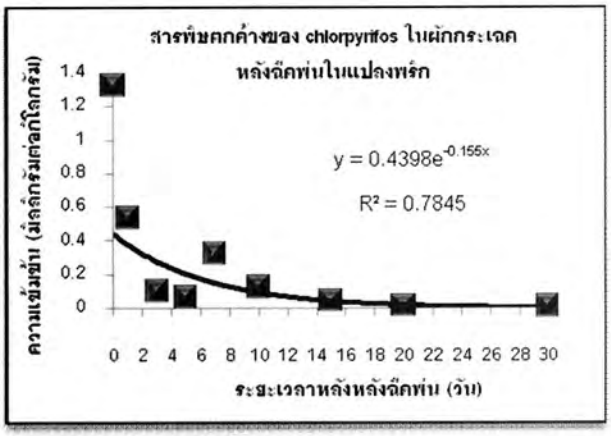
WHO. 2010. The WHO Recommended Classification of Pesticide by Hazard and Guidelines to Classification 2009. International Programme on Chemical Safety (IPCS) and Inter-organization Programme for the Sound Management of Chemicals (IOMC).

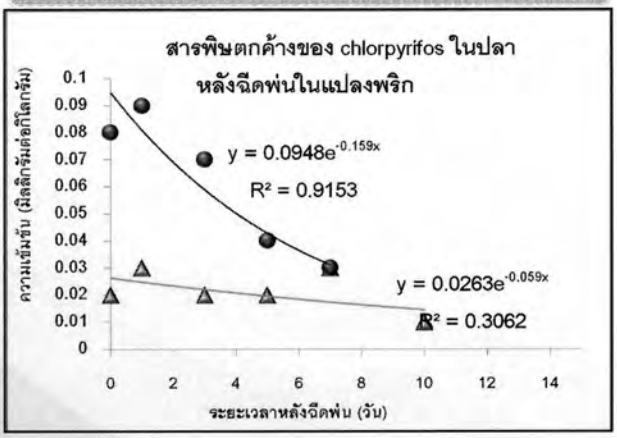
ภาคผนวก











ภาพที่ 1. ปริมาณสารพิษตกค้างในตัวอย่างดิน น้ำ ตะกอน ผักกระเฉด และปลา หลังการฉีดพ่น chlorpyrifos ในพริก

ตารางที่ 1. การสลายตัวของ chlorpyrifos ในน้ำแต่ละวัน

Day	a-intercept	Lna	b-slope	b*x	Lna+bx	y(residual)
0	1.3507	0.300623	-0.146	0	0.300623	1.3507
1	1.3507	0.300623	-0.146	-0.146	0.154623	1.1672
2	1.3507	0.300623	-0.146	-0.292	0.008623	1.0087
3	1.3507	0.300623	-0.146	-0.438	-0.137377	0.8716
4	1.3507	0.300623	-0.146	-0.584	-0.283377	0.7532
5	1.3507	0.300623	-0.146	-0.73	-0.429377	0.6509
6	1.3507	0.300623	-0.146	-0.876	-0.575377	0.5625
7	1.3507	0.300623	-0.146	-1.022	-0.721377	0.4861
8	1.3507	0.300623	-0.146	-1.168	-0.867377	0.4201
9	1.3507	0.300623	-0.146	-1.314	-1.013377	0.3630
10	1.3507	0.300623	-0.146	-1.46	-1.159377	0.3137
11	1.3507	0.300623	-0.146	-1.606	-1.305377	0.2711
12	1.3507	0.300623	-0.146	-1.752	-1.451377	0.2342
13	1.3507	0.300623	-0.146	-1.898	-1.597377	0.2024
14	1.3507	0.300623	-0.146	-2.044	-1.743377	0.1749
15	1.3507	0.300623	-0.146	-2.19	-1.889377	0.1512
16	1.3507	0.300623	-0.146	-2.336	-2.035377	0.1306
17	1.3507	0.300623	-0.146	-2.482	-2.181377	0.1129
18	1.3507	0.300623	-0.146	-2.628	-2.327377	0.0976
19	1.3507	0.300623	-0.146	-2.774	-2.473377	0.0843
20	1.3507	0.300623	-0.146	-2.92	-2.619377	0.0728
21	1.3507	0.300623	-0.146	-3.066	-2.765377	0.0630
22	1.3507	0.300623	-0.146	-3.212	-2.911377	0.0544
23	1.3507	0.300623	-0.146	-3.358	-3.057377	0.0470
24	1.3507	0.300623	-0.146	-3.504	-3.203377	0.0406
25	1.3507	0.300623	-0.146	-3.65	-3.349377	0.0351
26	1.3507	0.300623	-0.146	-3.796	-3.495377	0.0303
27	1.3507	0.300623	-0.146	-3.942	-3.641377	0.0262
28	1.3507	0.300623	-0.146	-4.088	-3.787377	0.0227
29	1.3507	0.300623	-0.146	-4.234	-3.933377	0.0196
30	1.3507	0.300623	-0.146	-4.38	-4.079377	0.0169

ตารางที่ 2. การสลายตัวของ chlorpyrifos ในดินแต่ละวัน

Day	a-intercept	Lna	b-slope	b*x	Lna+bx	y (residual)
0	0.169	-1.77786	-0.067	0	-1.77786	0.169
1	0.169	-1.77786	-0.067	-0.067	-1.84486	0.158048
2	0.169	-1.77786	-0.067	-0.134	-1.91186	0.147806
3	0.169	-1.77786	-0.067	-0.201	-1.97886	0.138227
4	0.169	-1.77786	-0.067	-0.268	-2.04586	0.129269
5	0.169	-1.77786	-0.067	-0.335	-2.11286	0.120892
6	0.169	-1.77786	-0.067	-0.402	-2.17986	0.113058
7	0.169	-1.77786	-0.067	-0.469	-2.24686	0.105731
8	0.169	-1.77786	-0.067	-0.536	-2.31386	0.098879
9	0.169	-1.77786	-0.067	-0.603	-2.38086	0.092471
10	0.169	-1.77786	-0.067	-0.67	-2.44786	0.086479
11	0.169	-1.77786	-0.067	-0.737	-2.51486	0.080875
12	0.169	-1.77786	-0.067	-0.804	-2.58186	0.075633
13	0.169	-1.77786	-0.067	-0.871	-2.64886	0.070732
14	0.169	-1.77786	-0.067	-0.938	-2.71586	0.066148
15	0.169	-1.77786	-0.067	-1.005	-2.78286	0.061862
16	0.169	-1.77786	-0.067	-1.072	-2.84986	0.057853
17	0.169	-1.77786	-0.067	-1.139	-2.91686	0.054103
18	0.169	-1.77786	-0.067	-1.206	-2.98386	0.050597
19	0.169	-1.77786	-0.067	-1.273	-3.05086	0.047318
20	0.169	-1.77786	-0.067	-1.34	-3.11786	0.044252
21	0.169	-1.77786	-0.067	-1.407	-3.18486	0.041384
22	0.169	-1.77786	-0.067	-1.474	-3.25186	0.038702
23	0.169	-1.77786	-0.067	-1.541	-3.31886	0.036194
24	0.169	-1.77786	-0.067	-1.608	-3.38586	0.033849
25	0.169	-1.77786	-0.067	-1.675	-3.45286	0.031655
26	0.169	-1.77786	-0.067	-1.742	-3.51986	0.029604
27	0.169	-1.77786	-0.067	-1.809	-3.58686	0.027685
28	0.169	-1.77786	-0.067	-1.876	-3.65386	0.025891
29	0.169	-1.77786	-0.067	-1.943	-3.72086	0.024213
30	0.169	-1.77786	-0.067	-2.01	-3.78786	0.022644

ตารางที่ 3. การสลายตัวของ chlorpyrifos ในตะกอนแต่ละวัน

Day	a-intercept	Lna	b-slope	b*x	Lna+bx	y (residual)
0	0.035	-3.35240	-0.031	0	-3.35240	0.0350
1	0.035	-3.35240	-0.031	-0.031	-3.38340	0.0339
2	0.035	-3.35240	-0.031	-0.062	-3.41440	0.0329
3	0.035	-3.35240	-0.031	-0.093	-3.44540	0.0319
4	0.035	-3.35240	-0.031	-0.124	-3.47640	0.0309
5	0.035	-3.35240	-0.031	-0.155	-3.50740	0.0300
6	0.035	-3.35240	-0.031	-0.186	-3.53840	0.0291
7	0.035	-3.35240	-0.031	-0.217	-3.56940	0.0282
8	0.035	-3.35240	-0.031	-0.248	-3.60040	0.0273
9	0.035	-3.35240	-0.031	-0.279	-3.63140	0.0265
10	0.035	-3.35240	-0.031	-0.31	-3.66240	0.0257
11	0.035	-3.35240	-0.031	-0.341	-3.69340	0.0249
12	0.035	-3.35240	-0.031	-0.372	-3.72440	0.0241
13	0.035	-3.35240	-0.031	-0.403	-3.75540	0.0234
14	0.035	-3.35240	-0.031	-0.434	-3.78640	0.0227
15	0.035	-3.35240	-0.031	-0.465	-3.81740	0.0220
16	0.035	-3.35240	-0.031	-0.496	-3.84840	0.0213
17	0.035	-3.35240	-0.031	-0.527	-3.87940	0.0207
18	0.035	-3.35240	-0.031	-0.558	-3.91040	0.0200
19	0.035	-3.35240	-0.031	-0.589	-3.94140	0.0194
20	0.035	-3.35240	-0.031	-0.62	-3.97240	0.0188
21	0.035	-3.35240	-0.031	-0.651	-4.00340	0.0183
22	0.035	-3.35240	-0.031	-0.682	-4.03440	0.0177
23	0.035	-3.35240	-0.031	-0.713	-4.06540	0.0172
24	0.035	-3.35240	-0.031	-0.744	-4.09640	0.0166
25	0.035	-3.35240	-0.031	-0.775	-4.12740	0.0161
26	0.035	-3.35240	-0.031	-0.806	-4.15840	0.0156
27	0.035	-3.35240	-0.031	-0.837	-4.18940	0.0152
28	0.035	-3.35240	-0.031	-0.868	-4.22040	0.0147
29	0.035	-3.35240	-0.031	-0.899	-4.25140	0.0142
30	0.035	-3.35240	-0.031	-0.93	-4.28240	0.0138

ตารางที่ 4. การสลายตัวของ chlorpyrifos ในผักกระเฉดแต่ละวัน

Day	a-intercept	Lna	b-slope	b*x	Lna+bx	y (residual)
0	0.4398	-0.821435	-0.155	0	-0.821435	0.4398
1	0.4398	-0.821435	-0.155	-0.155	-0.976435	0.3766514
2	0.4398	-0.821435	-0.155	-0.31	-1.131435	0.32257
3	0.4398	-0.821435	-0.155	-0.465	-1.286435	0.2762538
4	0.4398	-0.821435	-0.155	-0.62	-1.441435	0.236588
5	0.4398	-0.821435	-0.155	-0.775	-1.596435	0.2026175
6	0.4398	-0.821435	-0.155	-0.93	-1.751435	0.1735247
7	0.4398	-0.821435	-0.155	-1.085	-1.906435	0.1486092
8	0.4398	-0.821435	-0.155	-1.24	-2.061435	0.1272712
9	0.4398	-0.821435	-0.155	-1.395	-2.216435	0.108997
10	0.4398	-0.821435	-0.155	-1.55	-2.371435	0.0933467
11	0.4398	-0.821435	-0.155	-1.705	-2.526435	0.0799435
12	0.4398	-0.821435	-0.155	-1.86	-2.681435	0.0684648
13	0.4398	-0.821435	-0.155	-2.015	-2.836435	0.0586343
14	0.4398	-0.821435	-0.155	-2.17	-2.991435	0.0502153
15	0.4398	-0.821435	-0.155	-2.325	-3.146435	0.0430052
16	0.4398	-0.821435	-0.155	-2.48	-3.301435	0.0368303
17	0.4398	-0.821435	-0.155	-2.635	-3.456435	0.031542
18	0.4398	-0.821435	-0.155	-2.79	-3.611435	0.027013
19	0.4398	-0.821435	-0.155	-2.945	-3.766435	0.0231344
20	0.4398	-0.821435	-0.155	-3.1	-3.921435	0.0198126
21	0.4398	-0.821435	-0.155	-3.255	-4.076435	0.0169678
22	0.4398	-0.821435	-0.155	-3.41	-4.231435	0.0145315
23	0.4398	-0.821435	-0.155	-3.565	-4.386435	0.012445
24	0.4398	-0.821435	-0.155	-3.72	-4.541435	0.0106581
25	0.4398	-0.821435	-0.155	-3.875	-4.696435	0.0091278
26	0.4398	-0.821435	-0.155	-4.03	-4.851435	0.0078172
27	0.4398	-0.821435	-0.155	-4.185	-5.006435	0.0066947
28	0.4398	-0.821435	-0.155	-4.34	-5.161435	0.0057335
29	0.4398	-0.821435	-0.155	-4.495	-5.316435	0.0049102
30	0.4398	-0.821435	-0.155	-4.65	-5.471435	0.0042052

ตารางที่ 5. การประเมินความเสี่ยงจากการบริโภคผักกระเฉดดิบ ที่พบสารพิษตกค้าง หลังการฉีดพ่น chlorpyrifos ในพริก

Day	Residue mg/kg	Consumption (kg) (82 g)	Potential Exposure (mg)	Body weight (kg)	Dose (mg/kg)	ADI (RfD) mg/kg/day	% Consump /ADI	Risk
0	0.43980	0.082	0.0360636	53.5	0.0006741	0.0003	224.70	High
1	0.376651	0.082	0.0308854	53.5	0.0005773	0.0003	192.43	High
2	0.322570	0.082	0.0264507	53.5	0.0004944	0.0003	164.80	High
3	0.276254	0.082	0.0226528	53.5	0.0004234	0.0003	141.14	High
4	0.236588	0.082	0.0194002	53.5	0.0003626	0.0003	120.87	High
5	0.202618	0.082	0.0166146	53.5	0.0003106	0.0003	103.52	High
6	0.173525	0.082	0.0142290	53.5	0.000266	0.0003	88.65	Accept
7	0.148609	0.082	0.0121860	53.5	0.0002278	0.0003	75.92	Accept
8	0.127271	0.082	0.0104362	53.5	0.0001951	0.0003	65.02	Accept
9	0.108997	0.082	0.0089378	53.5	0.0001671	0.0003	55.69	Accept
10	0.093347	0.082	0.0076544	53.5	0.0001431	0.0003	47.69	Accept
11	0.079943	0.082	0.0065554	53.5	0.0001225	0.0003	40.84	Accept
12	0.068465	0.082	0.0056141	53.5	0.0001049	0.0003	34.98	Accept
13	0.058634	0.082	0.0048080	53.5	8.987E-05	0.0003	29.96	Accept
14	0.050215	0.082	0.0041177	53.5	7.697E-05	0.0003	25.66	Accept
15	0.043005	0.082	0.0035264	53.5	6.591E-05	0.0003	21.97	Accept
16	0.036830	0.082	0.0030201	53.5	5.645E-05	0.0003	18.82	Accept
17	0.031542	0.082	0.0025864	53.5	4.834E-05	0.0003	16.11	Accept
18	0.027013	0.082	0.0022151	53.5	4.14E-05	0.0003	13.80	Accept
19	0.023134	0.082	0.0018970	53.5	3.546E-05	0.0003	11.82	Accept
20	0.019813	0.082	0.0016246	53.5	3.037E-05	0.0003	10.12	Accept
21	0.016968	0.082	0.0013914	53.5	2.601E-05	0.0003	8.67	Accept
22	0.014532	0.082	0.0011916	53.5	2.227E-05	0.0003	7.42	Accept
23	0.012445	0.082	0.0010205	53.5	1.907E-05	0.0003	6.36	Accept
24	0.010658	0.082	0.0008740	53.5	1.634E-05	0.0003	5.45	Accept
25	0.009128	0.082	0.0007485	53.5	1.399E-05	0.0003	4.66	Accept
26	0.007817	0.082	0.0006410	53.5	1.198E-05	0.0003	3.99	Accept
27	0.006695	0.082	0.0005490	53.5	1.026E-05	0.0003	3.42	Accept
28	0.005733	0.082	0.0004701	53.5	8.788E-06	0.0003	2.93	Accept
29	0.004910	0.082	0.0004026	53.5	7.526E-06	0.0003	2.51	Accept
30	0.004205	0.082	0.0003448	53.5	6.445E-06	0.0003	2.15	Accept

ตารางที่ 6. การสลายตัวของ chlorpyrifos ในปลาตะเพียนแต่ละวัน

Day	a-intercept	Lna	b-slope	b*x	Lna+bx	y (residual)
0	0.0948	-2.355985	-0.159	0	-2.35599	0.095
1	0.0948	-2.355985	-0.159	-0.159	-2.51499	0.081
2	0.0948	-2.355985	-0.159	-0.318	-2.67399	0.069
3	0.0948	-2.355985	-0.159	-0.477	-2.83299	0.059
4	0.0948	-2.355985	-0.159	-0.636	-2.99199	0.050
5	0.0948	-2.355985	-0.159	-0.795	-3.15099	0.043
6	0.0948	-2.355985	-0.159	-0.954	-3.30999	0.037
7	0.0948	-2.355985	-0.159	-1.113	-3.46899	0.031
8	0.0948	-2.355985	-0.159	-1.272	-3.62799	0.027
9	0.0948	-2.355985	-0.159	-1.431	-3.78699	0.023
10	0.0948	-2.355985	-0.159	-1.59	-3.94599	0.019
11	0.0948	-2.355985	-0.159	-1.749	-4.10499	0.016
12	0.0948	-2.355985	-0.159	-1.908	-4.26399	0.014
13	0.0948	-2.355985	-0.159	-2.067	-4.42299	0.012
14	0.0948	-2.355985	-0.159	-2.226	-4.58199	0.010
15	0.0948	-2.355985	-0.159	-2.385	-4.74099	0.009
16	0.0948	-2.355985	-0.159	-2.544	-4.89999	0.007
17	0.0948	-2.355985	-0.159	-2.703	-5.05899	0.006
18	0.0948	-2.355985	-0.159	-2.862	-5.21799	0.005
19	0.0948	-2.355985	-0.159	-3.021	-5.37699	0.005
20	0.0948	-2.355985	-0.159	-3.18	-5.53599	0.004
21	0.0948	-2.355985	-0.159	-3.339	-5.69499	0.003
22	0.0948	-2.355985	-0.159	-3.498	-5.85399	0.003
23	0.0948	-2.355985	-0.159	-3.657	-6.01299	0.002
24	0.0948	-2.355985	-0.159	-3.816	-6.17199	0.002
25	0.0948	-2.355985	-0.159	-3.975	-6.33099	0.002
26	0.0948	-2.355985	-0.159	-4.134	-6.48999	0.002
27	0.0948	-2.355985	-0.159	-4.293	-6.64899	0.001
28	0.0948	-2.355985	-0.159	-4.452	-6.80799	0.001
29	0.0948	-2.355985	-0.159	-4.611	-6.96699	0.001
30	0.0948	-2.355985	-0.159	-4.77	-7.12599	0.001

ตารางที่ 7. การประเมินความเสี่ยงจากการบริโภคปลาตะเพียนสุก ที่พบสารพิษตกค้าง หลังการฉีดพ่น chlorpyrifos ในพริก

Day	Residue mg/kg	Consumption (kg) (168 g)	Potential Exposure (mg)	Body weight (kg)	Dose (mg/kg)	ADI (RfD) mg/kg/day	% Consump /ADI	Risk
0	0.095	0.168	0.0159264	53.5	0.00029769	0.0003	99.22990654	Accept
1	0.081	0.168	0.013585161	53.5	0.000253928	0.0003	99.58723019	Accept
2	0.069	0.168	0.011588093	53.5	0.0002166	0.0003	78.41646715	Accept
3	0.059	0.168	0.009884601	53.5	0.000184759	0.0003	61.74629325	Accept
4	0.050	0.168	0.008431529	53.5	0.000157599	0.0003	48.61995024	Accept
5	0.043	0.168	0.007192063	53.5	0.000134431	0.0003	38.2840724	Accept
6	0.037	0.168	0.006134804	53.5	0.000114669	0.0003	30.14544836	Accept
7	0.031	0.168	0.005232965	53.5	9.78124E-05	0.0003	23.73697468	Accept
8	0.027	0.168	0.0044637	53.5	8.34337E-05	0.0003	18.69084712	Accept
9	0.023	0.168	0.00380752	53.5	7.11686E-05	0.0003	14.71745119	Accept
10	0.019	0.168	0.003247801	53.5	6.07066E-05	0.0003	11.5887401	Accept
11	0.016	0.168	0.002770362	53.5	5.17825E-05	0.0003	9.125146421	Accept
12	0.014	0.168	0.002363109	53.5	4.41703E-05	0.0003	7.185276095	Accept
13	0.012	0.168	0.002015723	53.5	3.76771E-05	0.0003	5.657793331	Accept
14	0.010	0.168	0.001719405	53.5	3.21384E-05	0.0003	4.455030671	Accept
15	0.009	0.168	0.001466646	53.5	2.74139E-05	0.0003	3.507957451	Accept
16	0.007	0.168	0.001251044	53.5	2.3384E-05	0.0003	2.762217904	Accept
17	0.006	0.168	0.001067136	53.5	1.99465E-05	0.0003	2.175011486	Accept
18	0.005	0.168	0.000910263	53.5	1.70143E-05	0.0003	1.712636413	Accept
19	0.005	0.168	0.000776451	53.5	1.45131E-05	0.0003	1.3485554	Accept
20	0.004	0.168	0.00066231	53.5	1.23796E-05	0.0003	1.061872592	Accept
21	0.003	0.168	0.000564948	53.5	1.05598E-05	0.0003	0.836134282	Accept
22	0.003	0.168	0.000481898	53.5	9.00745E-06	0.0003	0.658384577	Accept
23	0.002	0.168	0.000411058	53.5	7.68332E-06	0.0003	0.518421814	Accept
24	0.002	0.168	0.000350631	53.5	6.55384E-06	0.0003	0.408213052	Accept
25	0.002	0.168	0.000299087	53.5	5.5904E-06	0.0003	0.321433032	Accept
26	0.002	0.168	0.00025512	53.5	4.7686E-06	0.0003	0.253101153	Accept
27	0.001	0.168	0.000217616	53.5	4.06759E-06	0.0003	0.199295615	Accept
28	0.001	0.168	0.000185626	53.5	3.46964E-06	0.0003	0.156928333	Accept
29	0.001	0.168	0.000158338	53.5	2.95959E-06	0.0003	0.123567705	Accept
30	0.001	0.168	0.000135062	53.5	2.52452E-06	0.0003	0.09729905	Accept

ตารางที่ 8. การสลายตัวของ chlorpyrifos ในปลานิลแต่ละวัน

Day	a-intercept	Lna	b-slope	b*x	Lna+bx	y (residual)
0	0.0263	-3.63819	-0.059	0	-3.63819	0.026
1	0.0263	-3.63819	-0.059	-0.059	-3.69719	0.025
2	0.0263	-3.63819	-0.059	-0.118	-3.75619	0.023
3	0.0263	-3.63819	-0.059	-0.177	-3.81519	0.022
4	0.0263	-3.63819	-0.059	-0.236	-3.87419	0.021
5	0.0263	-3.63819	-0.059	-0.295	-3.93319	0.020
6	0.0263	-3.63819	-0.059	-0.354	-3.99219	0.018
7	0.0263	-3.63819	-0.059	-0.413	-4.05119	0.017
8	0.0263	-3.63819	-0.059	-0.472	-4.11019	0.016
9	0.0263	-3.63819	-0.059	-0.531	-4.16919	0.015
10	0.0263	-3.63819	-0.059	-0.59	-4.22819	0.015
11	0.0263	-3.63819	-0.059	-0.649	-4.28719	0.014
12	0.0263	-3.63819	-0.059	-0.708	-4.34619	0.013
13	0.0263	-3.63819	-0.059	-0.767	-4.40519	0.012
14	0.0263	-3.63819	-0.059	-0.826	-4.46419	0.012
15	0.0263	-3.63819	-0.059	-0.885	-4.52319	0.011
16	0.0263	-3.63819	-0.059	-0.944	-4.58219	0.010
17	0.0263	-3.63819	-0.059	-1.003	-4.64119	0.010
18	0.0263	-3.63819	-0.059	-1.062	-4.70019	0.009
19	0.0263	-3.63819	-0.059	-1.121	-4.75919	0.009
20	0.0263	-3.63819	-0.059	-1.18	-4.81819	0.008
21	0.0263	-3.63819	-0.059	-1.239	-4.87719	0.008
22	0.0263	-3.63819	-0.059	-1.298	-4.93619	0.007
23	0.0263	-3.63819	-0.059	-1.357	-4.99519	0.007
24	0.0263	-3.63819	-0.059	-1.416	-5.05419	0.006
25	0.0263	-3.63819	-0.059	-1.475	-5.11319	0.006
26	0.0263	-3.63819	-0.059	-1.534	-5.17219	0.006
27	0.0263	-3.63819	-0.059	-1.593	-5.23119	0.005
28	0.0263	-3.63819	-0.059	-1.652	-5.29019	0.005
29	0.0263	-3.63819	-0.059	-1.711	-5.34919	0.005
30	0.0263	-3.63819	-0.059	-1.77	-5.40819	0.004

ตารางที่ 9. การประเมินความเสี่ยงจากการบริโภคปลานิลสุก ที่พบสารพิษตกค้าง หลังการฉีดพ่น chlorpyrifos ในพริก

Day	Residue mg/kg	Consumption (kg) (168 g)	Potential Exposure (mg)	Body weight (kg)	Dose (mg/kg)	ADI (RfD) mg/kg/day	% Consump /ADI	Risk
0	0.026	0.168	0.004418	53.5	8.26E-05	0.0003	27.528972	Accept
1	0.025	0.168	0.004165	53.5	7.79E-05	0.0003	99.58723	Accept
2	0.023	0.168	0.003927	53.5	7.34E-05	0.0003	78.416467	Accept
3	0.022	0.168	0.003702	53.5	6.92E-05	0.0003	61.746293	Accept
4	0.021	0.168	0.00349	53.5	6.52E-05	0.0003	48.61995	Accept
5	0.020	0.168	0.00329	53.5	6.15E-05	0.0003	38.284072	Accept
6	0.018	0.168	0.003101	53.5	5.8E-05	0.0003	30.145448	Accept
7	0.017	0.168	0.002923	53.5	5.46E-05	0.0003	23.736975	Accept
8	0.016	0.168	0.002756	53.5	5.15E-05	0.0003	18.690847	Accept
9	0.015	0.168	0.002598	53.5	4.86E-05	0.0003	14.717451	Accept
10	0.015	0.168	0.002449	53.5	4.58E-05	0.0003	11.58874	Accept
11	0.014	0.168	0.002309	53.5	4.32E-05	0.0003	9.1251464	Accept
12	0.013	0.168	0.002177	53.5	4.07E-05	0.0003	7.1852761	Accept
13	0.012	0.168	0.002052	53.5	3.84E-05	0.0003	5.6577933	Accept
14	0.012	0.168	0.001934	53.5	3.62E-05	0.0003	4.4550307	Accept
15	0.011	0.168	0.001824	53.5	3.41E-05	0.0003	3.5079575	Accept
16	0.010	0.168	0.001719	53.5	3.21E-05	0.0003	2.7622179	Accept
17	0.010	0.168	0.001621	53.5	3.03E-05	0.0003	2.1750115	Accept
18	0.009	0.168	0.001528	53.5	2.86E-05	0.0003	1.7126364	Accept
19	0.009	0.168	0.00144	53.5	2.69E-05	0.0003	1.3485554	Accept
20	0.008	0.168	0.001358	53.5	2.54E-05	0.0003	1.0618726	Accept
21	0.008	0.168	0.00128	53.5	2.39E-05	0.0003	0.8361343	Accept
22	0.007	0.168	0.001207	53.5	2.26E-05	0.0003	0.6583846	Accept
23	0.007	0.168	0.001137	53.5	2.13E-05	0.0003	0.5184218	Accept
24	0.006	0.168	0.001072	53.5	2E-05	0.0003	0.4082131	Accept
25	0.006	0.168	0.001011	53.5	1.89E-05	0.0003	0.321433	Accept
26	0.006	0.168	0.000953	53.5	1.78E-05	0.0003	0.2531012	Accept
27	0.005	0.168	0.000898	53.5	1.68E-05	0.0003	0.1992956	Accept
28	0.005	0.168	0.000847	53.5	1.58E-05	0.0003	0.1569283	Accept
29	0.005	0.168	0.000798	53.5	1.49E-05	0.0003	0.1235677	Accept
30	0.004	0.168	0.000753	53.5	1.41E-05	0.0003	0.097299	Accept

ภาพที่ 2. ตัวอย่างและการปฏิบัติงานฉีดพ่น chlorpyrifos ในแปลงพริก