การสะสมสารพิษตกค้างในสิ่งแวดล้อมบริเวณพื้นที่เกษตรกรรม : แม่น้ำป่าสัก

Accumulation of Pesticide Residues in the main river in Agricultural Area ; The Pasak River

มลิสา เวชยานนท์ สิริพร เหลืองสุชนกุล ประกิจ จันทร์ชิ

กลุ่มวิจัยวัตถุมีพิษการเกษตร สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตการเกษตร

บทคัดย่อ

ศึกษาการสะสมสารพิษตกค้างในสิ่งแวดล้อมบริเวณพื้นที่เกษตรกรรมของลุ่มแม่น้ำป่าสักและคลองแยก ใช้ระบบกำหนดตำแหน่งพื้นโลกด้วยดาวเทียม (Global Positioning System: GPS) ในการกำหนดจุดเก็บ รวม 26 จุด สุ่มเก็บตัวอย่างน้ำ ตะกอน พืชน้ำและสัตว์น้ำ ในช่วงเดือนธันวาคม 2552 เดือนกุมภาพันธ์ เมษายน และมิถุนายน 2553 รวม 4 ครั้ง รวมทั้งหมด 242 ตัวอย่าง เป็นตัวอย่างน้ำ ตะกอน พืชน้ำและสัตว์น้ำ จำนวน 99, 99, 29 และ 15 ตัวอย่าง ตามลำดับ พบสารพิษตกค้างในตัวอย่างน้ำ 81 ตัวอย่าง คิดเป็น 81 เปอร์เซ็นต์ สารพิษที่ตรวจพบได้แก่ สารกำจัดแมลงกลุ่มออร์การ์โนคลอรีน กลุ่มออร์กาโนฟอสฟอรัส กลุ่มคาร์บาเมท และสารกำจัดวัชพืชกลุ่มไทรอาซีนปริมาณ < 0.01 – 0.04, 0.02 – 0.44, 0.03 – 0.44 และ 0.01 – 29.55 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ตะกอน 99 ตัวอย่าง ตรวจพบสารพิษ 22 ตัวอย่าง คิดเป็น 22 เปอร์เซ็นต์ เป็นสารกำจัดแมลงกลุ่มออร์กาโนคลอรีน กลุ่มออร์กาโนฟอสฟอรัส และสารกำจัดวัชพืชกลุ่มไทรอาซีน ปริมาณ < 0.01 – 0.04, < 0.01 และ < 0.01 – 0.70 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ตัวอย่างพืชน้ำ 29 ตัวอย่าง ตรวจพบสารพิษ 5 ตัวอย่าง คิดเป็น 17 เปอร์เซ็นต์ เป็นสารกำจัดแมลงกลุ่มออร์กาโนคลอรีน กลุ่มคาร์บาเมทและสารกำจัดวัชพืชกลุ่มไทรอาซีน ปริมาณ < 0.01 – 0.02, 0.06 และ 0.03 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ตัวอย่างสัตว์น้ำ 15 ตัวอย่าง ตรวจพบสารพิษ 12 ตัวอย่าง คิดเป็น 80 เปอร์เซ็นต์ เป็นสารกำจัดแมลงกลุ่มออร์กาโนคลอรีน กลุ่มออร์กาโนฟอสฟอรัส กลุ่มไพรีทรอยด์และสารกำจัดวัชพืชกลุ่มไทรอาซีนปริมาณ < 0.01 – 0.11, 0.02 – 0.03, 0.01 – 0.09 และ 0.09 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

รหัส 05-01-53-01-02-01-01-53

คำนำ

แม่น้ำป่าสักมีต้นกำเนิดมาจากเทือกเขาเพชรบูรณ์ ในเขตพื้นที่อำเภอด่านซ้าย จังหวัดเลย ไหลผ่าน 5 จังหวัด ได้แก่จังหวัดเลย จังหวัดเพชรบูรณ์ จังหวัดลพบุรี จังหวัดสระบุรี และไหลไปบรรจบกับแม่น้ำเจ้าพระยาที่จังหวัดพระนครศรีอยุธยา รวมความยาวทั้งสิ้น 500 กิโลเมตร เกษตรกรที่อาศัยอยู่ในเขตลุ่มแม่น้ำนี้ส่วนใหญ่ประกอบอาชีพเกษตรกรรมปลูกข้าว ทำไร่อ้อย ไร่ข้าวโพด และส่วนหนึ่งปลูกผักตามฤดูกาล ด้วยระยะความยาวของแม่น้ำประกอบกับมีปริมาณน้ำเพียงพอสำหรับทำการเกษตร จึงทำให้เกษตรกรที่อยู่ในเขตนี้สามารถทำการเพาะปลูกได้อย่างต่อเนื่องตลอดทั้งปี และมีการใช้สารเคมีเพื่อป้องกันและกำจัดศัตรูพืชอย่างต่อเนื่องควบคู่ไปด้วยเช่นกัน โดยเฉพาะสารกำจัดวัชพืชที่มีใช้กันอย่างกว้างขวางและทุกฤดูกาลเพาะปลูก ส่งผลทำให้มีการแพร่กระจายของสารพิษเหล่านี้ลงสู่แม่น้ำที่เป็นทั้งแหล่งอุปโภคและบริโภค รวมทั้งเป็นที่อยู่อาศัยของสัตว์น้ำและพืชน้ำ ซึ่งเป็นแหล่งอาหารที่สำคัญของมนุษย์และสัตว์อื่นๆ ในห่วงโซ่อาหาร

ตามอนุสัญญาสตอกโฮล์มว่าด้วยสารมลพิษที่ตกค้างยาวนาน (Stockholm convention on Persistent Organic Pollutants, POPs) สารที่จัดอยู่ในสารมลพิษที่ตกค้างยาวนานนี้ได้แก่ aldrin, chlordane, DDT, dieldrin, dioxins, endrin, furans, hexachlorobenzene, heptachlor, mirex, PCBs และ toxaphene ประเทศไทยเป็นรัฐภาคีใน 50 ประเทศ ได้ให้สัตยาบันในเรื่องการเฝ้าระวังและติดตามสถานการณ์การปนเปื้อนของสารมลพิษ เพื่อเป็นการคุ้มครองสุขภาพอนามัยของมนุษย์และสิ่งแวดล้อมจากสารมลพิษที่ตกค้างยาวนาน โดยให้มีการลดและเลิกการใช้สารเหล่านี้ มีผลบังคับใช้ตั้งแต่วันที่ 17 พฤษภาคม 2547 (กรมควบคุมมลพิษ, 2547) กลุ่มงานวิจัยผลกระทบจากการใช้วัตถุมีพิษการเกษตร กลุ่มวิจัยวัตถุมีพิษการเกษตร สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร รับผิดชอบให้ทำการศึกษาการสะสมของสารพิษตกค้างเหล่านี้ในสิ่งแวดล้อมบริเวณพื้นที่เกษตรกรรมลุ่มแม่น้ำและคลองแยกที่สำคัญ ตั้งแต่ปี 2545 (ภิญญา และคณะ, 2545) เป็นต้นมา ได้ศึกษาการสะสมของสารพิษกลุ่มอื่น ๆ ร่วมด้วยได้แก่ สารกำจัดแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสฟอรัส กลุ่มไพรีทรอยด์ และกลุ่มคาร์บาเมท รวมทั้งสารกำจัดวัชพืชกลุ่มไทรอาซีน ซึ่งในปี 2552 (มลิสา และสิริพร, 2552) ได้ทำการศึกษาในเขตแม่น้ำเจ้าพระยาซึ่งเป็นแม่น้ำสายหลักสำคัญในเขตภาคกลาง ยังคงตรวจพบสารพิษตกค้างในกลุ่ม POPs แต่อยู่ในปริมาณค่อนข้างต่ำ ดังนั้นเพื่อเป็นการเฝ้าระวังและติดตามสถานการณ์การปนเปื้อนของวัตถุมีพิษการเกษตรในสิ่งแวดล้อมในแหล่งเกษตรกรรมอย่างต่อเนื่องโดยเฉพาะในแหล่งน้ำ ในปี 2553 จึงได้เลือกทำการศึกษาในเขตพื้นที่ลุ่มแม่น้ำป่าสักและคลองแยก ซึ่งถือได้ว่าเป็นแม่น้ำอีกสายหนึ่งที่มีความสำคัญในเขตภาคกลาง รวมทั้งมีพื้นที่สำหรับทำการเพาะปลูกพืชที่มากและหลากหลาย ประกอบกับสถานการณ์การใช้สารพิษที่ผ่านมามีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งน่าจะเกิดผลกระทบและเกิดการปนเปื้อนจากการใช้สารพิษนี้ลงสู่แม่น้ำและแหล่งน้ำใกล้เคียง

วิธีดำเนินการ

อุปกรณ์

1. เครื่องแก้ว

เครื่องแก้วที่ใช้ในการสกัดได้แก่ separatory funnel พร้อมฝาจุกแก้ว/teflon, beaker, cylinder, Erlenmeyer flask, round bottom flask, graduated tube, glass vial for auto sampler, disposable pasture pipette, ขวดปริมาตร และ glass funnel เครื่องแก้วที่ใช้ในการเตรียมสารละลายของสารมาตรฐานและทำ standard calibration curve ได้แก่ auto pipette, volumetric pipette และ volumetric flask class A

2. เคมีภัณฑ์ชนิดต่าง ๆ

2.1 สารเคมีชนิด analytical grade สำหรับใช้ในการสกัดตัวอย่าง ได้แก่ siliga gel, SPE C18 500 มิลลิกรัม ขนาด 6 มิลลิลิตร, SPE florisil 500 มิลลิกรัม ขนาด 6 มิลลิลิตร, anhydrous sodium sulfate (anh. Na_2SO_4), acetone, dichloromethane, ethyl acetate และ hexane

2.2 สารเคมีชนิด pesticide grade และ HPLC grade สำหรับใช้ในการเตรียมสารละลายของสารมาตรฐานและปรับปริมาตรตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Gas Chromatograph ได้แก่ acetone, acetonitrile, ethyl acetate, hexane และ iso-octane

2.3 สารพิษมาตรฐาน pesticide grade

2.3.1 กลุ่มออร์กาโนคลอรีน 20 ชนิด ประกอบด้วย aldrin, alpha BHC, alpha endosulfan, beta BHC, beta endosulfan, cis chlordane, dicofol, dieldrin, endosulfan sulfate, endrin, gamma BHC, heptachlor, heptachlor epoxide, o,p'-DDE, o,p'-DDT, o,p'-TDE, p,p'-DDE, p,p'-DDT, p,p'-TDE และ trans chlordane

2.3.2 กลุ่มออร์กาโนฟอสฟอรัส 21 ชนิด ประกอบด้วย azinphos ethyl, chlorpyrifos, chlorpyrifos methyl, diazinon, dicrotophos, dimethoate, EPN, ethion, ethoprophos, fenthion, fenitrothion, malathion, methidathion, monocrotophos, parathion methyl, pirimiphos methyl, profenofos, triazophos, methamidophos, omethoate และ phosalone

2.3.3 กลุ่มไพรีทรอยด์ 7 ชนิด ประกอบด้วย bifenthrin, cyfluthrin, cypermethrin, lamda cyhalothrin, deltamethrin, fenvalerate และ permethrin

2.3.4 กลุ่มคาร์บาเมท 7 ชนิด ประกอบด้วย carbaryl, carbofuran, fenobucarb, metalaxyl, methomyl, metolcarb และ promecarb

2.3.5 กลุ่มไทรอาซีน 3 ชนิด ประกอบด้วย ametryn, methribuzin และ triazine

3. เครื่องมือวิทยาศาสตร์

เครื่องชั่งละเอียด 2 และ 5 ตำแหน่ง เครื่องสกัดวัตถุมีพิษชนิด separatory funnel shaker เครื่อง shaker Homogeneizer เครื่อง food processor เครื่องลดปริมาตรชนิด rotary evaporator เครื่องลดปริมาตรชนิด nitrogen evaporator ตู้อบสารเคมี เครื่องทำสุญญากาศ (vacuum pump) ตู้ดูดความชื้น (desiccator) เครื่องผสมสารละลาย

(vortex mixer) ตู้เย็นอุณหภูมิ 5±3 องศาเซลเซียส ตู้แช่ (Freezer) อุณหภูมิ –20±5 องศาเซลเซียส และเครื่อง Gas Chromatograph (GC) ของบริษัท Agilent Technology รุ่น HP 6890 พร้อมหัวตรวจวัดชนิด Flame Photometric Detector (FPD) และ Electron Capture Detector (ECD) และ GC รุ่น 5890 พร้อมหัวตรวจวัด Nitrogen Phosphorus Detector (NPD)

4. วัสดุอุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่าง ได้แก่ แคงทำด้วย stainless steel และขวดพลาสติกชนิด polypropylene พร้อมฝาปิด สำหรับเก็บตัวอย่างน้ำ ช้อนทำด้วย stainless steel และขวดแก้วพร้อมฝาปิด สำหรับเก็บตัวอย่างตะกอน ถุงพลาสติกพร้อมยางรัด สำหรับเก็บตัวอย่างพืชน้ำและสัตว์น้ำ ถังแช่พร้อมฝาปิดสำหรับเก็บรักษาสภาพตัวอย่างในระหว่างขนส่ง

วิธีการ

1. **การสำรวจพื้นที่และกำหนดจุดเก็บ**

สำรวจพื้นที่เกษตรกรรมบริเวณที่แม่น้ำป่าสักไหลผ่านตลอดทั้งสาย เก็บข้อมูลชนิดของพืชที่ปลูกและวัตถุมีพิษที่ใช้จากสำนักงานเกษตรและจากการสัมภาษณ์เกษตรกรในพื้นที่ กำหนดจุดเก็บตัวอย่างโดยเลือกพื้นที่ที่ทำการเกษตรกรรมและอยู่ในเขตที่แม่น้ำป่าสักไหลผ่าน รวมทั้งคลองแยกที่สำคัญ โดยใช้ระบบกำหนดตำแหน่งพื้นโลกด้วยดาวเทียม (Global Positioning System; GPS)

2. **การเก็บ และเตรียมตัวอย่าง**

2.1 ตัวอย่างน้ำ กำหนดจุดสำหรับสุ่มเก็บตัวอย่าง ใช้แคงสุ่มตักตัวอย่างน้ำให้ทั่วพื้นที่กำหนด ให้เต็มขวดปริมาตรประมาณ 3 ลิตร

2.2 ตัวอย่างตะกอน จะกำหนดจุดเก็บจุดเดียวกับน้ำ โดยใช้แคงตักตัวอย่างตะกอนในแม่น้ำบริเวณที่กำหนด และใช้ช้อนตักใส่ขวดแก้วให้ได้น้ำหนักประมาณ 500 กรัม ปิดฝาให้สนิท ก่อนนำไปสกัดผึ่งในถาดสแตนเลสที่อุณหภูมิห้อง ให้มีความชื้นประมาณ 10-20 เปอร์เซ็นต์ (พงศ์ศรีและพูลสุข, 2545) แล้วทุบให้ละเอียดเท่าที่สามารถทำได้ผสมคลุกเคล้าให้เข้ากันก่อนนำไปทดสอบและหาเปอร์เซนต์ความชื้น

2.3 ตัวอย่างสัตว์น้ำ (ปลา) เก็บใส่ในถุงพลาสติก ซึ่งส่วนใหญ่เป็นปลาที่ชาวบ้านจับโดยใช้ตาข่ายและเบ็ด เพื่อนำมาบริโภค และจำหน่าย ซึ่งในการสุ่มตัวอย่างประเภทนี้จะสอบถามถึงแหล่งที่มาก่อนจะซื้อ เพื่อให้มั่นใจว่าเป็นปลาที่มาจากแหล่งแม่น้ำป่าสักจริง ๆ และจะสุ่มเลือกเฉพาะส่วนที่เป็นเนื้อ นำไปบดให้ละเอียดด้วยเครื่อง food processor

2.4 ตัวอย่างพืชน้ำ (ผักบุ้ง ผักกระเฉด) จะสุ่มเก็บในบริเวณใกล้เคียงกับบริเวณที่เก็บตัวอย่างน้ำและตะกอน และจะสุ่มเลือกส่วนของพืชทั่วทั้งต้น ให้ได้น้ำหนักมากพอสำหรับการสกัด นำไปบดให้ละเอียดด้วยเครื่อง food processor

ตัวอย่างน้ำ ตะกอน สัตว์น้ำและพืชน้ำที่สุ่มเก็บได้ เก็บในถังแช่น้ำแข็ง เพื่อป้องกันสารพิษสลายตัวในระหว่างการขนส่ง

3. **การเตรียมสารละลายของสารมาตรฐาน** เตรียม stock standard solution ของสารพิษแต่ละชนิดให้มีความเข้มข้นประมาณ 1,000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร เตรียม Intermediate standard solution ให้ได้สารละลายของสาร

มาตรฐานผสมที่มีความเข้มข้นอยู่ในช่วง 50-200 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร และเตรียม working standard solution ให้ได้สารละลายของสารมาตรฐานผสมของแต่ละกลุ่มให้มีความเข้มข้นประมาณ 0.01-2.50 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

4. วิธีการสกัดตัวอย่าง

4.1 การสกัดสารพิษในน้ำ

4.1.1 กลุ่มออร์กาโนคลอรีนและกลุ่มไพรีทรอยด์ ตวงน้ำปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร ใส่ใน separatory funnel ขนาด 1,000 มิลลิลิตร เติม hexane (AR) 100 มิลลิลิตร นำไปเขย่าโดยใช้ separatory funnel shaker นาน 3 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้แยกชั้น ไขชั้นบนซึ่งเป็นชั้น hexane กรองผ่าน sodium sulfate anhydrous เก็บใน round bottom flask ขนาด 250 มิลลิลิตร ชั้นล่างเป็นชั้นของน้ำ เติม hexane (AR) 50 มิลลิลิตร และนำไปเขย่าโดยใช้ separatory funnel shaker นาน 3 นาที ไขเก็บชั้น hexane กรองผ่าน sodium sulfate anhydrous เก็บรวมกับครั้งแรก ทำ 2 ครั้ง เมื่อกรองเสร็จแล้วกลั้ว (rinse) separatory funnel ด้วย hexane (AR) 10 มิลลิลิตร 2 ครั้ง นำไปลดปริมาตรโดยใช้ rotary evaporator จนเกือบแห้ง ปรับปริมาตรด้วย hexane (PR) ลดปริมาตรสารสกัดด้วย nitrogen evaporator และปรับปริมาตรให้ได้ 1 มิลลิลิตร นำไปฉีดเครื่อง GC ชนิดหัวตรวจวัด ECD

4.1.2 กลุ่มออร์กาโนฟอสฟอรัส กลุ่มคาร์บาเมท และกลุ่มไทรอาซีนใช้วิธีการสกัดเช่นเดียวกับวิธีการสกัดสารพิษกลุ่มออร์กาโนคลอรีนและไพรีทรอยด์ในน้ำในข้อ 4.1.1 แต่จะเปลี่ยนในส่วนของสารเคมีที่ใช้ในการสกัดจาก hexane เป็น ethyl acetate และนำสารสกัดที่ได้ฉีดเครื่อง GC ชนิดหัวตรวจวัด FPD เพื่อตรวจวิเคราะห์สารพิษกลุ่มออร์กาโนฟอสฟอรัส และฉีดเครื่อง GC ชนิดหัวตรวจวัด NPD เพื่อตรวจวิเคราะห์สารพิษกลุ่มคาร์บาเมทและกลุ่มไทรอาซีน

4.2 การสกัดสารพิษในตะกอน

4.2.1 การหาความชื้นในตะกอน ตัวอย่างตะกอนที่นำมาตรวจวิเคราะห์จะต้องคำนวณเปอร์เซนต์ความชื้นตามวิธีการ (Back C.A., 1965) เพื่อนำไปลบน้ำหนักตัวอย่างตะกอนที่มีความชื้นจะได้น้ำหนักตะกอนแห้งสุทธิ สำหรับใช้คำนวณในขั้นตอนการหาปริมาณสารพิษ ซึ่งจะแบ่งตัวอย่างส่วนหนึ่งสำหรับคำนวณเปอร์เซนต์ความชื้นพร้อม ๆ กับแบ่งไปทำการสกัด โดยชั่งและบันทึกน้ำหนัก petri dish และชั่งตัวอย่างตะกอนใส่ใน petri dish นี้ 50 กรัม นำไปอบในตู้อบอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง นำไปใส่ใน desiccator ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ชั่งและบันทึกน้ำหนักตัวอย่างตะกอนพร้อม petri dish และนำตัวอย่างอบต่ออีกประมาณ 3 - 4 ชั่วโมง ชั่งและบันทึกน้ำหนักครั้งที่ 2 ถ้าน้ำหนักที่หายไปจากการอบครั้งที่ 1 และ 2 แตกต่างกันไม่เกิน 1 เปอร์เซนต์ แสดงว่าน้ำระเหยออกจากตัวอย่างหมดแล้ว ถ้ามากกว่า 1 เปอร์เซนต์ จะต้องนำไปอบต่ออีก 3 - 4 ชั่วโมง จนกระทั่งน้ำหนักที่หายไปแตกต่างกันไม่เกิน 1 เปอร์เซนต์ จึงจะนำไปคำนวณเปอร์เซ็นต์ความชื้นและน้ำหนักตะกอนแห้ง

4.2.2 วิธีการสกัด

ชั่งตัวอย่าง 20 กรัม ใส่ใน Erlenmeyer flask ขนาด 250 มิลลิลิตร เติม ethyl acetate (AR) 75 มิลลิลิตร ปิดฝาให้แน่น นำไปเขย่าด้วย shaker นาน 5 ชั่วโมง กรองสารสกัดผ่าน sodium sulfate anhydrous ใส่ใน round bottom flask ขนาด 250 มิลลิลิตร ล้างขวดใส่ตัวอย่างด้วย ethyl acetate 20 มิลลิลิตร 2 ครั้ง

กรองสารสกัดผ่าน sodium sulfate anhydrous เก็บใน round bottom flask ใบเดิม นำไปลดปริมาตรโดยใช้ rotary evaporator จนเกือบแห้ง ปรับปริมาตรด้วย ethyl acetate (PR) ลดปริมาตรสารสกัดด้วย nitrogen evaporator และปรับปริมาตรด้วย ethyl acetate (PR) ให้ได้ 2 มิลลิลิตร ดูดสารสกัด 1 มิลลิลิตร ใส่ vial for auto sampler ขนาด 2 มิลลิลิตร นำไปฉีดเครื่อง GC ชนิด FPD เพื่อตรวจวิเคราะห์สารพิษกลุ่มออร์กาโนฟอสฟอรัส และฉีดเครื่อง GC ชนิด NPD เพื่อตรวจวิเคราะห์สารพิษกลุ่มคาร์บาเมทและกลุ่มไทรอาซีน ส่วนสารสกัดที่เหลือ 1 มิลลิลิตร นำไปลดปริมาตรจนเกือบแห้งด้วย nitrogen evaporator และปรับปริมาตรด้วย hexane (PR) ให้ได้ 2.5 มิลลิลิตร นำไปฉีดเครื่อง GC ชนิด ECD เพื่อตรวจวิเคราะห์สารพิษกลุ่มออร์กาโนคลอรีนและกลุ่มไพรีทรอยด์

4.3 การสกัดสารพิษในพืชน้ำ (ปรับจากวิธีการของ steinwandter, 1985)

4.3.1 การสกัดตัวอย่าง ชั่งตัวอย่างพืชบด 25 กรัม ใส่ขวดปริมาตร 250 มิลลิลิตร เติม acetone 50 มิลลิลิตร ปั่นตัวอย่างโดยใช้ homogenizer นาน 1 นาที เติม dichloromethane 40 มิลลิลิตร และ sodium chloride 8 กรัม ปั่นต่อด้วย homogenizer อีก 1 นาที รินเก็บสารละลายส่วนที่ใสแล้วเติม sodium sulfate anhydrous 15 กรัม ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 20 นาที กรองผ่านกระดาษกรองที่บรรจุ sodium sulfate anhydrous แบ่งสารละลาย 50 มิลลิลิตร ใส่ round bottom flask ขนาด 250 มิลลิลิตร นำไปลดปริมาตรด้วย rotary evaporator เกือบแห้ง ปรับปริมาตรสารสกัดด้วย ethyl acetate (PR) ให้ได้ 10 มิลลิลิตร แบ่งสารสกัด 2 มิลลิลิตร ไปตรวจวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณสารพิษกลุ่มออร์กาโนฟอสฟอรัส กลุ่มคาร์บาเมท และกลุ่มไทรอาซีน สารสกัดที่เหลือ4 มิลลิลิตร เก็บไว้สำรอง ส่วนสารสกัดอีก 4 มิลลิลิตร นำไปขจัดสิ่งปนเปื้อน

4.3.2 การขจัดสิ่งปนเปื้อน (clean up)

ชั่ง siliga gel ที่ deactivated ด้วยน้ำ 10 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 1 กรัม ใส่ในคอลัมน์เส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร ปิดทับ siliga gel ด้วย sodium sulfate anhydrous สูงประมาณ 1 เซนติเมตร ล้างคอลัมน์ด้วยhexane 5 มิลลิลิตร ดูดสารสกัดตัวอย่างลงในคอลัมน์ ชะตัวอย่างในคอลัมน์ ด้วยสารผสมของ hexane : dichloromethane (4:1) 5 มิลลิลิตร และสารผสมของ hexane : dichloromethane (1:1) 10 มิลลิลิตร เก็บสารละลายที่ได้ใน round bottom flask นำไปลดปริมาตรจนเกือบแห้ง ปรับปริมาตรให้ได้ 2 มิลลิลิตรด้วย hexane (PR) ดูดสารสกัดใส่ vial นำไปฉีดเครื่อง GC ชนิดหัวตรวจวัด ECD เพื่อตรวจวิเคราะห์สารพิษกลุ่มออร์กาโนคลอรีนและกลุ่มไพรีทรอยด์

4.4 การสกัดสารพิษในเนื้อปลา ใช้วิธีการของ FEEI SUN (2000)

4.4.1 การสกัด ชั่งตัวอย่างเนื้อปลาบด 10 กรัม ใส่ขวดปริมาตร 125 มิลลิลิตร เติม acetonitrile 50 มิลลิลิตร สกัดโดยใช้ homogenizer 1 นาที กรองผ่านกระดาษกรองด้วยระบบสุญญากาศ (vacuum pump) ใส่ใน Erlenmeyer flask ล้างขวดใส่ตัวอย่างด้วย acetonitrile 100 มิลลิลิตร ตวงแบ่งสารสกัด 50 มิลลิลิตร ใส่ใน round bottom flask นำไปลดปริมาตรจนเกือบแห้ง เติม acetonitrile 15 มิลลิลิตร นำไปขจัดสิ่งปนเปื้อน (clean up)

4.4.2 การขจัดสิ่งปนเปื้อน (clean up) ใช้ SPE ชนิด C18 ต่อกับ SPE ชนิด florisil ที่บรรจุเพิ่มด้วย anh. sodium sulfate 2 กรัม เป็นคอลัมน์สำหรับขจัดสิ่งปนเปื้อน ล้างคอลัมน์ด้วย acetonitrile 6 มิลลิลิตร ดูดตัวอย่าง

จากข้อ 4.4.1 ใส่คอลัมน์และปรับอัตราการไหล 3 หยดต่อวินาที ใส่ใน graduated tube ลดปริมาตรสารสกัดด้วย nitrogen evaporator และปรับปริมาตร ด้วย ethyl acetate (PR) ให้ได้ 1 มิลลิลิตร แบ่งสารสกัด 0.5 มิลลิลิตร นำไปตรวจวิเคราะห์กลุ่มออร์กาโนฟอสฟอรัส โดยใช้เครื่อง GC ชนิด FPD และตรวจวิเคราะห์สารพิษกลุ่มคาร์บาเมทและไทรอาซีน โดยใช้เครื่อง GC ชนิด NPD สารสกัดที่เหลือ 0.5 มิลลิลิตร นำไปลดปริมาตรจนเกือบแห้งด้วย nitrogen evaporator และปรับปริมาตรด้วย hexane (PR) ให้ได้ 0.5 มิลลิลิตร นำไปฉีดเครื่อง GC ชนิด ECD เพื่อตรวจวิเคราะห์สารพิษกลุ่มออร์กาโนคลอรีนและกลุ่มไพรีทรอยด์

ระยะเวลา เดือนตุลาคม 2552 ถึง เดือนกันยายน 2553

สถานที่ทำการทดลอง กลุ่มวิจัยวัตถุมีพิษการเกษตร สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร

ผลการทดลองและวิจารณ์

จากการสุ่มเก็บตัวอย่างน้ำ ตะกอน พืชน้ำและสัตว์น้ำ เพื่อศึกษาการสะสมสารพิษตกค้างในสิ่งแวดล้อมบริเวณเกษตรกรรมของลุ่มแม่น้ำป่าสักในช่วงเดือนธันวาคม 2552 กุมภาพันธ์ เมษายน และมิถุนายน 2553 ทั้งหมด 4 ครั้ง รวมตัวอย่างที่สุ่มเก็บทั้งหมด 242 ตัวอย่าง เป็นตัวอย่างน้ำ ตะกอน พืชน้ำ และสัตว์น้ำ จำนวน 99, 99, 29 และ 15 ตัวอย่าง ตามลำดับ ตรวจวิเคราะห์สารพิษตกค้าง 5 กลุ่ม แบ่งเป็นสารกำจัดแมลง 4 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มออร์กาโนคลอรีน 20 ชนิด กลุ่มออร์กาโนฟอสฟอรัส 21 ชนิด กลุ่มไพรีทรอยด์ 7 ชนิด และกลุ่มคาร์บาเมท 7 ชนิด และสารกำจัดวัชพืชกลุ่มไทรอาซีน 3 ชนิด ผลการตรวจวิเคราะห์พบสารพิษตกค้างในตัวอย่างน้ำ 81 ตัวอย่าง คิดเป็น 81 เปอร์เซ็นต์ สารพิษที่ตรวจพบเป็นสารกำจัดแมลงกลุ่มออร์การ์โนคลอรีน จำนวน 10 ตัวอย่าง ซึ่งสารพิษที่ตรวจพบส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่มสารมลพิษที่มีฤทธิ์ตกค้างยาวนาน (Persistant Organic Pollutants; POPs) ในสิ่งแวดล้อมได้แก่ ชนิด DDT & metabolites และ dieldrin ปริมาณ < 0.01 – 0.02 และ < 0.01 – 0.01 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ นอกจากนี้ยังตรวจพบ endosulfan ซึ่งเป็นวัตถุอันตรายประเภทที่ 4 ที่ประกาศห้ามใช้ตั้งแต่ปี 2547 ปริมาณ 0.01 – 0.04 ไมโครกรัมต่อลิตร ทั้งนี้น่าจะเกิดจากการที่เกษตรกรลักลอบนำมาใช้กำจัดหอยเชอรี่ในนาข้าว ส่วนสารพิษกลุ่มออร์กาโนฟอสฟอรัสจะตรวจพบมากในการสุ่มเก็บตัวอย่าง ครั้งที่ 2 ในเดือนกุมภาพันธ์ ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่เข้าสู่ฤดูแล้ง ปริมาณน้ำในบางจุดค่อนข้างน้อย ประกอบกับในบางพื้นที่ยังมีการทำไร่และปลูกผัก จึงทำให้ตรวจพบสารพิษกลุ่มนี้ ได้แก่ ชนิด chlorpyrifos, diazinon, EPN, ethion, omethoate และ profenofos ปริมาณ 0.04, 0.06 – 0.24, 0.04 – 0.10, 0.02 – 0.28, 0.13 – 0.44 และ 0.11 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ จำนวน 9 ตัวอย่าง นอกจากนี้ยังตรวจพบสารกำจัดแมลงกลุ่มคาร์บาเมทชนิด carbaryl, carbofuran, fenobucarb และ metalaxyl ปริมาณ 0.19 – 0.44, 0.07 – 0.22, 0.03 – 0.08 และ 0.11 - 0.017 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ จำนวน 11 ตัวอย่าง และสารกำจัดวัชพืชกลุ่มไทรอาซีนชนิด ametryn, atrazine และ metribuzin ปริมาณ 0.01 – 8.04, 0.03 – 29.55 และ 0.11 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ จำนวน 75 ตัวอย่าง ซึ่งกลุ่มสารกำจัดวัชพืชกลุ่มนี้จะตรวจพบทุกครั้ง และเกือบทุกตัวอย่างในการสุ่มเก็บตัวอย่างทั้ง 4 ครั้ง

ตัวอย่างตะกอน 99 ตรวจพบสารพิษ 22 ตัวอย่าง คิดเป็น 22 เปอร์เซ็นต์ เป็นสารกำจัดแมลงกลุ่มออร์กาโนคลอรีนชนิด DDT & metabolites และ chlordane ปริมาณ < 0.01 และ < 0.01 – 0.04 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ จำนวน 8 ตัวอย่าง กลุ่มออร์กาโนฟอสฟอรัสชนิด ethion ปริมาณ < 0.01 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จำนวน 1 ตัวอย่าง และสารกำจัดวัชพืชกลุ่มไทรอาซีนชนิด ametryn และ atrazine ปริมาณ 0.03 – 0.08 และ < 0.01 – 0.70 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ จำนวน 16 ตัวอย่าง

ตัวอย่างพืชน้ำเป็นชนิดที่นำมาบริโภคเป็นผักได้แก่ ผักบุ้งน้ำ *(Ipomoea aquatica)* จำนวน 26 ตัวอย่าง และ ผักกระเฉด *(Neptunia oteracea)* จำนวน 3 ตัวอย่าง รวม 29 ตัวอย่าง ตรวจพบสารพิษ 5 ตัวอย่าง คิดเป็น 17 เปอร์เซ็นต์ เป็นสารกำจัดแมลงกลุ่มออร์กาโนคลอรีน ชนิด DDT & metabolites และ dieldrin ปริมาณ 0.01 – 0.02 และ < 0.01 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ จำนวน 3 ตัวอย่าง กลุ่มคาร์บาเมท ชนิด carbaryl และสารกำจัดวัชพืชกลุ่มไทรอาซีนชนิด ametryn ปริมาณ 0.06 และ 0.03 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ จำนวนกลุ่มละ 1 ตัวอย่าง

ตัวอย่างสัตว์น้ำ 15 ตัวอย่าง แบ่งเป็นปลากราย *(Notopterus notopterus)* ปลากดคัง *(Hemibagrus wyckioides)* ปลาช่อน *(Channa striata)* ปลาตะเพียนขาว *(Puntius gonionotus)* ปลาตะเพียนทอง *(Barbonymus altus)* ปลาสร้อย (*Cirrhina jullieni)* ปลากระมัง *(Puntioplites protozsron)* ปลากา *(Morulius chysophekdion)* และปลาหมอ *(Anabas testudineus)* ตรวจพบสารพิษ 12 ตัวอย่าง คิดเป็น 80 เปอร์เซ็นต์ เป็นสารกำจัดแมลงกลุ่มออร์กาโนคลอรีนชนิด DDT & metabolites และ endosulfan ปริมาณ < 0.01 และ < 0.01 – 0.11 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ จำนวน 7 ตัวอย่าง กลุ่มออร์กาโนฟอสฟอรัส ชนิด chlorpyrifos ปริมาณ 0.02 – 0.03 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จำนวน 2 ตัวอย่าง กลุ่มไพรีทรอยด์ชนิด cypermethrin ปริมาณ 0.01 – 0.09 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จำนวน 6 ตัวอย่าง และสารกำจัดวัชพืชกลุ่มไทรอาซีนชนิด ametryn ปริมาณ 0.09 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จำนวน 1 ตัวอย่าง (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 1. ที่ตั้งของจุดเก็บตัวอย่าง ใช้ระบบกำหนดตำแหน่งพื้นโลกด้วยดาวเทียม Global Positioning System; GPS)

จุดเก็บ	พิกัดภูมิศาสตร์			ที่ตั้ง
1	47 P	750498	1881522	บ.ตะกอย ต.ตะกอย อ. หล[illegible] จ. เพชรบูรณ์
2	47 P	746509	1883719	ห้วยน้ำข่า บ. ศิลา ต.ศิลา อ.หล[illegible] จ. เพชรบูรณ์
3	47 P	748204	1867505	บ. ห้วยศรีจันทร์ ต. ท[illegible] อ. หล[illegible] จ. เพชรบูรณ์
4	47 P	739336	1851287	บ. ปากห้วยขอนแก่น ต. ต[illegible] อ.หล[illegible] จ. เพชรบูรณ์
5	47 P	736126	1842321	บ.จางวาง ม.18 ต.ลานป่า อ.หล[illegible] จ. เพชรบูรณ์
6	47 P	736119	1830115	บ.ทากกตาล ม.11 ต.ดงมูลเหล็ก อ.เมือง จ. เพชรบูรณ์
7	47 P	728488	1793376	บ.หนองแหวน ต.ห้วยสะแก อ.เมือง จ. เพชรบูรณ์
8	47 P	727155	1769300	ต.หนองไผ่ อ.หนองไผ่ จ. เพชรบูรณ์
9	47 P	719750	1751825	บ.ลำตะคร้อ ต.กันจุ อ.บึงสามพัน จ. เพชรบูรณ์
10	47 P	725211	1732045	ต.ท่าโรง อ.วิเชียรบุรี จ.เพชรบูรณ์
11	47 P	725656	1710317	ต.โคกสลาด อ.ศรีเทพ จ.เพชรบูรณ์
12	47 P	737572	1695758	บ.ซับผาสุก ต.ศิลาทิพย์ อ.ชัยบาดาล จ.ลพบุรี
13	47 P	735489	1688703	บ.บัวชุม ต.บัวชุม อ.ชัยบาดาล จ.ลพบุรี
14	47 P	731194	1681066	บ.ท่ามะนาว ต.ท่ามะนาว อ.ชัยบาดาล จ.ลพบุรี
15	47 P	722042	1667180	บ.ถนนโค้ง ต.ท่าหลวง อ.ท่าหลวง จ.ลพบุรี
16	47 P	724314	1641006	บ.คำพราน ต.หนองบัว อ.พัฒนานิคม จ.ลพบุรี
17	47 P	721720	1630552	บ.หินซ้อน ต.หินซ้อน อ.แก่งคอย จ. สระบุรี
18	47 P	719844	1624709	บ. ท่าศาลา ต.ท่าคล้อ อ.แก่งคอย จ. สระบุรี
19	47 P	703714	1609091	บ. ดาวเรือง ต.ดาวเรือง อ.เมือง จ. สระบุรี
20	47 P	700095	1610085	ต. ท่าช้าง อ. เสาไห้ จ. สระบุรี
21	47 P	694110	1611231	บ. หมาก ต. บ้านยาง อ. เสาไห้ จ. สระบุรี
22	47 P	690415	1611095	คลองรพีพัฒน์ ต. ท่าหลวง อ. ท่าเรือ จ. สระบุรี
23	47 P	690769	1610598	บ.ช้าง ต.ท่าหลวง อ.ท่าเรือ จ.สระบุรี
24	47 P	670450	1592263	วัดเกาะแก้ว ต.บ่อโพง อ.นครหลวง จ.พระนครศรีอยุธยา
25	47 P	688070	1607231	คลองรพีพัฒน์ ต.ท่าหลวง อ.ท่าเรือ จ.พระนครศรีอยุธยา
26	47 P	673696	1600169	วัดใหม่ชุมพล ต.นครหลวง อ.นครหลวง จ.พระนครศรีอยุธยา

ตารางที่ 2. ผลการตรวจวิเคราะห์สารพิษตกค้างในตัวอย่างน้ำ ตะกอน พืชน้ำ และสัตว์น้ำในบริเวณพื้นที่เกษตรกรรมลุ่มแม่น้ำป่าสัก และคลองแยก

ตัวอย่าง	จำนวน		กลุ่มสารพิษ	ปริมาณ	ชนิดของสารพิษ
	ทั้งหมด (242)	ตรวจพบ (120)			
น้ำ	99	81	organochlorines (10)	< 0.01 – 0.02	dieldrin
				0.01 – 0.04	endosulfan
				0.02	o,p′-DDT
				< 0.01	p,p′-DDE
				< 0.01 – 0.01	p,p′-DDT
			organophosphorus (9)	0.04	chlorpyrifos
				0.06 – 0.24	diazinon
				0.04 – 0.10	EPN
				0.02 – 0.28	ethion
				0.13 – 0.44	omethoate
				0.11	profenofos
			carbamates (11)	0.19 – 0.44	carbaryl
				0.07 – 0.22	carbofuran
				0.03 – 0.08	fenobucarb
				0.11 – 0.17	metalaxyl
			triazines (75)	0.01 – 8.04	ametryn
				0.03 – 29.55	atrazine
				0.11	metribuzin
ตะกอน	99	22	organochlorines (8)	< 0.01 – 0.04	chlordane
				< 0.01	o,p′-DDT
				< 0.01	p,p′-DDE
				< 0.01	p,p′-DDT
			organophosphorus (1)	< 0.01	ethion
			triazines (16)	0.03 – 0.08	ametryn
				< 0.01 – 0.70	atrazine
พืชน้ำ	29	5	organochlorines (3)	< 0.01	dieldrin
				0.01 - 0.02	p,p′-DDT
			carbamates (1)	0.06	carbaryl
			triazines (1)	0.03	ametryn
สัตว์น้ำ	15	12	organochlorines (7)	< 0.01 – 0.04	endosulfan
			organophosphorus (2)	0.02 – 0.03	chlorpyrifos
			pyrethroids (6)	0.01 – 0.09	cypermethrin
			triazines (1)	0.09	ametryn

น้ำ : ปริมาณที่พบหน่วยเป็น ไมโครกรัมต่อลิตร (µg/L)

ตะกอน พืชน้ำ และสัตว์น้ำ : ปริมาณที่พบหน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (mg/kg)

ตารางที่ 3. ค่าสูงสุดที่ยอมให้มีได้ (Maximum Allowable Concentration) ในน้ำ µg/L

วัตถุมีพิษ	ประเทศ	ระดับที่กำหนด	เงื่อนไขเฉพาะ
endosulfan &	ออสเตรเลีย	40	น้ำดื่ม [2]
metabolites	สหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมัน	3.0	น้ำดื่ม [2]
DDT & metabolites	ไทย	1.0 *	น้ำดื่ม [2]
		1.0	น้ำอุปโภคและใช้เพื่อการเกษตร [4]
	WHO	2.0	น้ำดื่ม [3]
chlordane	WHO	0.2	น้ำดื่ม [3]
	ออสเตรเลีย	6	น้ำดื่ม [2]
	แคนาดา	7	น้ำดื่ม [2]
	อังกฤษ	0.1	น้ำดื่ม [2]
	สหรัฐอเมริกา	2	น้ำดื่ม [2]
mevinphos	ออสเตรเลีย	6.0	น้ำดื่ม [2]
profenofos	ออสเตรเลีย	0.6	น้ำดื่ม [2]
methomyl	ออสเตรเลีย	60	น้ำดื่ม [2]
	สหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมัน	3	น้ำดื่ม [2]
promecarb	ออสเตรเลีย	60	น้ำดื่ม [2]
2.4-D	ไทย	100 *	น้ำดื่ม [1]
	ออสเตรเลีย	100	น้ำดื่ม [2]
	แคนาดา	100	น้ำดื่ม [2]
	สหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมัน	1	น้ำดื่ม [2]
		1,000	น้ำดื่ม [3]
	อังกฤษ	30	น้ำดื่ม [3]
	WHO		
paraquat	อังกฤษ	10	น้ำดื่ม [2]
	แคนาดา	10	น้ำดื่ม [2]
	ออสเตรเลีย	10	น้ำดื่ม [2]
atrazine	WHO	2	น้ำดื่ม [3]
	สหรัฐอเมริกา	3	น้ำดื่ม [3]
	แคนาดา	60	น้ำดื่ม [3]
	สหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมัน	3	น้ำดื่ม [3]
		2	น้ำดื่ม [3]
	อังกฤษ		
metribuzin	แคนาดา	80	น้ำดื่ม [2]
	อังกฤษ	10	น้ำดื่ม [2]
	ออสเตรเลีย	5	น้ำดื่ม [2]

1/ : นิรนาม, 2536
2/ : Gustafson, 1993
3/ : WHO (องค์การอนามัยโลก), 1996, 1998
4/ : นิรนาม, 2537
* : ($\mu g/dm^3$)

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ/คำแนะนำ

จากการสุ่มเก็บตัวอย่างน้ำและตะกอนในบริเวณลุ่มแม่น้ำป่าสักและคลองแยกต่างๆ พบสารพิษตกค้างส่วนใหญ่เป็นกลุ่มมลพิษที่ตกค้างยาวนาน (POPs) แต่อยู่ในระดับต่ำ ไม่เกินค่ากำหนดที่ยอมให้มีได้ (MAC) ในน้ำและไม่อยู่ในระดับที่เป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ โดยค่า LC_{50} (96 hour) กำหนดไว้ในปลา golden orfe 2 ไมโครกรัมต่อลิตร (Anonymous, 1994) แต่อย่างไรก็ตามสารกลุ่ม POPs ที่ตรวจพบในปริมาณต่ำนี้ก็ยังคงทนอยู่ในสภาพแวดล้อมได้นาน ส่งผลกระทบไปยังห่วงโซ่อาหารมนุษย์ในฐานะที่เป็นผู้บริโภคควรมีความระมัดระวังและพิจารณาที่จะบริโภคอาหารจากแหล่งเหล่านี้ ซึ่งเป็นเรื่องที่มีความจำเป็นที่จะต้องติดตามตรวจสอบการแพร่กระจาย และการสะสมของสารกลุ่มนี้อย่างต่อเนื่องต่อไป

การนำไปใช้ประโยชน์

1. ใช้เป็นข้อมูลเพื่อเฝ้าระวังและติดตามสถานการณ์การใช้ การแพร่กระจาย และการสะสมของสารพิษการเกษตรในแหล่งแม่น้ำ และคลองแยกใกล้เคียง
2. เป็นข้อมูลในการติดตามสถานการณ์การปนเปื้อนของสารมลพิษตกค้างยาวนาน (POPs) ตามอนุสัญญาสตอกโฮล์ม
3. เกษตรกรและผู้อาศัยในเขตลุ่มแม่น้ำและคลองแยกที่เกี่ยวข้อง ได้ทราบข้อมูลการปนเปื้อน การแพร่กระจาย และการสะสมของสารพิษการเกษตร ทำให้เกิดความมั่นใจในการตัดสินใจที่จะใช้น้ำจากแหล่งดังกล่าวเพื่อการอุปโภคหรือบริโภค
4. ใช้ประกอบการพิจารณาการห้ามใช้ การยกเลิกการใช้สารพิษบางชนิด ในกรณีที่มีการตรวจพบสารพิษเหล่านี้ในสิ่งแวดล้อมเกินค่ามาตรฐานที่กำหนด

เอกสารอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ 2547 Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants (POPs) อนุสัญญาสตอกโฮล์มว่าด้วยสารมลพิษที่ตกค้างยาวนาน 99 หน้า

กรมควบคุมมลพิษ 2552 มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน

ปรีชา ฉัตรสันติประภา และพูลสุข หฤทัยธนาสันติ์ 2545 การแพร่กระจายของสารเอนโดซัลแฟนสู่แม่น้ำสาระสำคัญในเขตภาคกลาง เอกสารประกอบการประชุมวิชาการกองวัตถุมีพิษการเกษตร ครั้งที่ 4 หน้า 74-81.

พงศ์ศรี ใบอดุลย์ และพูลสุข หฤทัยธนาสันติ์ 2545 การพัฒนาวิธีตรวจวิเคราะห์สารกำจัดวัชพืชกลุ่ม Triazine ในดินและน้ำ เอกสารประกอบการประชุมวิชาการ กองวัตถุมีพิษการเกษตร ครั้งที่ 4 หน้า 240-246.

ภิญญา จุลินทร และคณะ 2545 การแพร่กระจายของวัตถุมีพิษจากแหล่งเกษตรกรรมลงสู่แม่น้ำสายหลักในประเทศไทย เอกสารประกอบการประชุมวิชาการ กองวัตถุมีพิษการเกษตร ครั้งที่ 4 หน้า 55-63.

Anonymous 1994. The Agrochemical Handbook Third Edition. The Royal Society of Chemical, Cambridge, England.

Anonymous 1998. Guilines for Drinking Water Quality, Vol. I – Recommendation. World Health Organization.

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

Organophosphorus Pesticide. General Multiresidue Method. AOAC Official Method 970.52, 1995.

Organochlorine Pesticides in Water, Gas Chromatographic Method. AOAC Official Method 990.06, 1999.

TNO 1993. Standard Operation Procedure, Zeist. The Netherlands

Steinwandter, H. 1985. Universal 5 min online Method for Extraction and Isolating Pesticide Residues and industrial Chemicals. Fresenius Z. Anal. Chem. 322: 752-754.