การประเมินผลกระทบสารกำจัดวัชพืชอะทราซีนตกค้างในไร่ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์
Assessment of the effects of atrazine residues in maize fields

ปภัสรา คุณเลิศ *สิริพร เหลืองสุชนกุล* *ประกิจ จันทร์ติ๊บ* *มลิสา เวชยานนท์*
Paphatsara Khunlert *Siriporn Luengsuchonkul* *Prakit Chuntib* *Malisa Wetchayanon*

กลุ่มวิจัยวัตถุมีพิษการเกษตร กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร

ABSTRACT

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 Nongmong, Lopburi Province, and Amphor Phutthabat and Amphor Kang, 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 1.57×10^{-4}, 0.60×10^{-1}), and for the age of 70 years (the highest value was 5.06×10^{-5} – 0.50×10^{-1}). Environmental risk assessment was also calculated using Risk Quotient (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 = 0.5×10^{-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.

Keywords : Impact assessment, Atrazine herbicide, Soil, Water, Mize

บทคัดย่อ

ประเมินผลกระทบสารกำจัดวัชพืชอะทราซีน (atrazine) ตกค้างในไร่ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ทำการประเมินความเสี่ยงสารกำจัดวัชพืช atrazine ตกค้างในดิน น้ำ ตะกอนดิน และข้าวโพด ที่มีผลต่อสุขภาพของเกษตรกร ระหว่างเดือน ตุลาคม 2563 ถึงเดือนกันยายน 2564 ได้ศึกษาระดับครัวเรือน โดยเลือกอำเภอที่เกษตรกรมีอาชีพปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในเชิงพาณิชย์ ในพื้นที่อำเภอหนองหม่วง จังหวัดลพบุรี อำเภอพุทธบาท และอำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี โดยเลือกตัวอย่างแปลงข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ของเกษตรกรแบบเฉพาะเจาะจงจำนวน 60 แปลง ใช้วิธีการสัมภาษณ์ สำรวจ สุ่มเก็บตัวอย่างดิน น้ำ ตะกอนดิน และข้าวโพด ร่วมกับการวิเคราะห์ทางห้องปฏิบัติการ ประเมินความเสี่ยงสารพิษตกค้างด้วยค่าดัชนีบ่งชี้อันตราย (Hazard quotient, HQ) และประเมินผลกระทบของสารกำจัดวัชพืช atrazine ที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยสุ่มเก็บตัวอย่างดิน 120 ตัวอย่าง น้ำ 40 ตัวอย่าง ตะกอนดิน 4 ตัวอย่าง และข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ 19 ตัวอย่าง ในฤดูแล้ง และฤดูฝน ช่วงเดือนกุมภาพันธ์ และกรกฎาคม รวมทั้งหมด 183 ตัวอย่าง มาตรวจวิเคราะห์หาสารพิษตกค้างด้วยเครื่อง Gas Chromatography ชนิดตัวตรวจวัด Nitrogen-Phosphorus Detector (GC-NPD) ผลการตรวจวิเคราะห์หาปริมาณ atrazine พบสารตกค้าง 59 ตัวอย่าง (32%) ในดินปริมาณ 0.03 – 0.92 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

ในน้ำปริมาณ 0.02 – 91.73 ไมโครกรัมต่อลิตร ซึ่งพบการตกค้างสูงสุดในฤดูแล้ง จากแปลงข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในอำเภอพุทธบาท จังหวัดสระบุรี ในตัวอย่างตะกอนดินและข้าวโพดไม่พบการตกค้างในทุกตัวอย่าง เมื่อนำผลการตรวจวิเคราะห์มาประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพด้วยค่า HQ ช่วงอายุ 6 – 12 ปี ได้ค่าสูงสุดเท่ากับ 1.57×10^{-4} , 0.60×10^{-1} และช่วงอายุ 70 ปี ได้ค่าสูงสุดเท่ากับ 5.06×10^{-5} , 0.50×10^{-1} ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 1 อยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้ และทำการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้วยค่า RQ ในฤดูแล้ง และฤดูฝน ในดิน มีค่าน้อยกว่า 1 อยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้ ในน้ำ ฤดูฝนมีค่า RQ น้อยกว่า 1 อยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้ และฤดูแล้ง มีค่า RQ เท่ากับ 0.5×10^{-2} – 9.17 มีค่ามากกว่า 1 พบว่ามีความเสี่ยง สรุปได้ว่าการใช้สารกำจัดวัชพืช atrazine ไม่มีความเสี่ยงต่อสุขภาพของเกษตรกร และมีความบ่งชี้อันตรายต่อสิ่งแวดล้อมจากการตกค้างของ atrazine ในน้ำ ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในไร่ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

คำหลัก : การประเมินผลกระทบ สารกำจัดวัชพืชอะทราซีน ดิน น้ำ ข้าวโพด

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 จะเกิดอาการคลื่นเหียน อาเจียน ท้องร่วง กล้ามเนื้อล้า และน้ำลายฟูมปาก atrazine เป็นสารรบกวนการทำงานของต่อมไร้ท่อ (endocrine disruptor chemical; EDC) ทำให้เกิดมลภาวะทางฮอร์โมนเพศ (sex-hormone pollution) เกิดพฤติกรรมเบี่ยงเบนทางเพศ มีผลกระทบต่อระบบสืบพันธุ์ ทั้งในคน ปลา และสัตว์ครึ่งบกครึ่งน้ำ atrazine มีความคงทนในดินสูง มีค่าครึ่งชีวิตเฉลี่ย 6 - 12 เดือน มีโอกาสสามารถเคลื่อนย้ายจากดินสู่แหล่งน้ำใต้ดิน ส่วนในพืช สาร atrazine จะดูดซึมเข้าสู่พืชโดยทางราก แต่สามารถผ่านเข้าทางใบได้บ้างเล็กน้อย จากนั้นจะเคลื่อนย้ายขึ้นไปสู่ยอดและเข้าไปสะสมบริเวณเนื้อเยื่อเจริญ ในพืชที่อ่อนแอต่อสาร atrazine จะแสดงอาการใบเหลืองซีดและแห้ง (Turner*l*., 2018) ในแปลงข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ตามรายงานการตรวจพบ atrazine ตกค้างในดินเฉลี่ย 133.59 - 183.23 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม และพบตกค้างในน้ำเฉลี่ย 4.70 ไมโครกรัมต่อลิตร มีค่าสูงกว่าเกณฑ์ค่าสูงสุดที่ยอมให้มีการปนเปื้อนในน้ำ (ไม่เกิน 3 ไมโครกรัมต่อลิตร) อรอนงค์และคณะ (2554)

ในปี 2563 มีปริมาณการนำเข้า atrazine คิดเป็นปริมาณ เป็นลำดับที่ 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 การใช้สารกำจัดวัชพืช atrazine อย่างต่อเนื่อง ทำให้เกิดความเสี่ยงต่อสุขภาพของเกษตรกร และสิ่งแวดล้อม เพราะสารกำจัดวัชพืช atrazine สามารถเข้าสู่ร่างกายมนุษย์โดยตรงจากการสัมผัสดิน น้ำ และอากาศ (จารุพงศ์ และคณะ, 2562)

ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญของประเทศไทย ผลผลิตประมาณ 94 เปอร์เซ็นต์ ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ (สุมิตร และคณะ, 2561) ปัจจุบันพบว่าผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ผลิตภายในประเทศมีปริมาณไม่เพียงพอกับความต้องการของตลาดในประเทศ จึงต้องนำเข้าจากต่างประเทศ โดยในปี 2562 ประเทศไทยมีการนำเข้าข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ 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 ตะกอนดิน และข้าวโพด ในแปลงข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ โดยเลือกพื้นที่ทำการทดลองในภาคกลาง ที่อำเภอแก่งคอย และอำเภอพระพุทธบาท จังหวัดสระบุรี มีเนื้อที่เพาะปลูกประมาณ 190,451 ไร่ เนื้อที่เก็บ

เกี่ยว 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 ซึ่งเกษตรกรผู้ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์จะปลูกต่อเนื่องตลอดปี และมักพบปัญหาวัชพืช โรค และแมลงศัตรูพืช โดยเฉพาะวัชพืชก่อนปลูก เช่น หญ้าแห้วหมู หญ้าตีนกา หญ้าคา และหญ้าขจรจบดอกเล็ก ขึ้นอย่างหนาแน่น เนื่องจากแปลงมีขนาดใหญ่ เกษตรกรจึงเลือกใช้สารกำจัดวัชพืช atrazine ซึ่งอาจพบการตกค้างในสิ่งแวดล้อม เช่น ดิน และแหล่งน้ำ โดยเฉพาะภายในแปลงปลูกที่เกษตรกรสัมผัสโดยตรงขณะปฏิบัติงานภายในแปลง

ดังนั้น การทดลองนี้จึงมีวัตถุประสงค์ เพื่อประเมินความเสี่ยงจากการได้รับสารกำจัดวัชพืช atrazine ในสิ่งแวดล้อมต่อสุขภาพเกษตรกร และประเมินผลกระทบของสารกำจัดวัชพืช atrazine ที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยข้อมูลที่ได้จากการศึกษา จะนำไปใช้ในการวางแผนผลกระทบต่อสุขภาพที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อนักวิจัย และเป็นข้อมูลสำหรับกรมวิชาการเกษตร สามารถนำข้อมูลไปศึกษาต่อยอดเพื่อใช้ในการกำหนดนโยบายสาธารณะของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง โดยมุ่งเน้นเพื่อการแก้ไขปัญหาผลกระทบต่อสุขภาพที่อาจเกิดขึ้นต่อเกษตรกร และสิ่งแวดล้อม เพื่อใช้ประกอบการพิจารณาบริหารจัดการควบคุมวัตถุมีพิษทางการเกษตรที่มีอันตราย ในการเข้มงวดการใช้ การจำกัดการใช้ หรือการห้ามใช้ เพื่อความปลอดภัยของผู้ใช้ ผู้บริโภค และสิ่งแวดล้อมต่อไป

วิธีดำเนินการ

อุปกรณ์

1. เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในแปลงทดลอง ได้แก่ อุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่างน้ำ และตะกอน ได้แก่ แครงตักน้ำและตะกอน ขวดพลาสติกชนิด PTFE ใส่ตัวอย่างน้ำ เครื่องมือเก็บตัวอย่างดิน (soil auger) และถุงพลาสติกใส่ตัวอย่างดิน เครื่องมือเก็บตัวอย่างดิน (soil auger) และถุงพลาสติกใส่ตัวอย่างดิน เครื่องมือวัดคุณภาพน้ำ และ เครื่องมือที่มีระบบระบุตำแหน่งบนพื้นโลกด้วยดาวเทียม (Global Positioning System; GPS)

2. เครื่องแก้วที่ใช้ในการสกัด ได้แก่ volumetric flask, volumetric pipette, cylinder, beaker, erlenmeyer flask, round bottom flask, graduated tube, glass vial for auto sampler, separatory funnel, erlenmeyer flask และ glass funnel

3. เครื่องแก้วที่ใช้ในการเตรียมสารมาตรฐาน ได้แก่ auto pipette volumetric pipette และ volumetric flask class A

4. สารเคมี ได้แก่ สารมาตรฐานของอะทราซีน (atrazine) $C_8H_{14}ClN_5$ 99.5%, acetonitrile (CH_3CN), hexane (C_6H_{14}), acetone (C_3H_6O), ethyl acetate ($C_4H_8O_2$), anhydrous magnesium sulfate (Mg_2SO_4) เผาที่ 500 ^{o}C นาน 5 ชั่วโมง, sodium chioride (NaCl), sodium hydroxide (NaOH), trisodium citrate dehydrate ($C_6H_5Na_3O_7.2H_2O$), disodium hydrogencitrate sesquihydrate ($C_6H_6Na_2O_7.1.5H_20$), primary secondary amines (PSA) และ น้ำกลั่น (distilled water)

5. เครื่องมือวิทยาศาสตร์ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ ได้แก่ เครื่องชั่งไฟฟ้า (electrical balances) ชนิดทศนิยม 5 ตำแหน่ง และ 2 ตำแหน่งที่สอบเทียบแล้ว ตู้เย็นแช่แข็ง (Deep Freezer) ที่ควบคุมอุณหภูมิได้ที่ -20 องศาเซลเซียส เครื่องบดตัวอย่าง (Food processor) เตาเผา (muffle furnace) ตู้อบ (hot air oven) เครื่องผสมตัวอย่าง (vortex mixer) เครื่องปั่นเหวี่ยง (centrifuge) พร้อมด้วย adapter สำหรับหลอดทดลองขนาด 50 มิลลิลิตร เครื่องลดปริมาตร (Rotary Evaporator) เครื่องลดปริมาตรโดยการเป่าด้วยแก๊สไนโตรเจน (nitrogen evaporator) เครื่องเขย่าสำหรับสกัดตัวอย่างน้ำ (separatory funnel shaker) เครื่องเขย่าสำหรับสกัดตัวอย่างดิน (ultra sonic bath) เครื่อง Gas Chromatograph (GC) บริษัท Agilent technologies รุ่น 7890B ซึ่งมีหัวตรวจวัดชนิด Nitrogen-Phosphorus Detector (GC-NPD)

วิธีการ

1. การสำรวจและกำหนดจุดเก็บตัวอย่าง

เลือกพื้นที่ไร่ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ในจังหวัดสระบุรี และลพบุรี ประสานหน่วยงานในพื้นที่ เกษตรอำเภอ เพื่อขอข้อมูลและความร่วมมือระหว่างดำเนินการ ทำการสัมภาษณ์ และเก็บข้อมูลเกษตรกรผู้ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์จำนวน 58 ราย ใน 3 อำเภอ 2 จังหวัด คือ อำเภอหนองม่วง จังหวัดลพบุรี อำเภอพุทธบาท และอำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี ได้ข้อมูลเกษตรกรที่มีความเสี่ยงจากการใช้สารกำจัดวัชพืช atrazine จำนวน 34 ราย กำหนดจุดเก็บตัวอย่างในพื้นที่ ใช้เครื่องมือที่มีระบบระบุตำแหน่งพื้นโลกด้วยดาวเทียม (Global Positioning System; GPS) ซึ่งงานวิจัยนี้ได้เก็บตัวอย่าง 2 ครั้ง ในฤดูแล้ง และฤดูฝน ระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ และ กรกฎาคม 2564 ทำการเก็บตัวอย่างดิน น้ำ ตะกอนดิน และข้าวโพดในแปลงข้าวโพดเลี้ยงสัตว์จากอำเภอหนองม่วง จังหวัดลพบุรี จำนวน 39 แปลง อำเภอพุทธบาท และอำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี จำนวน 21 แปลง รวมทั้งหมด 60 แปลง

2. วิธีการเก็บตัวอย่าง

2.1 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)

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

2.3 ตัวอย่างตะกอนดิน ใช้แครงสุ่มตักตัวอย่างตะกอนดินจากท้องน้ำบริเวณเดียวกับจุดเก็บน้ำให้ได้ประมาณ 0.5-1 กิโลกรัม นำใส่ในขวดแก้วที่มีฝาปิดสนิท หุ้มด้วยกระดาษหรือวัสดุกันกระแทกใส่ลงถุงพลาสติกขณะนำส่งห้องปฏิบัติการให้แช่ตัวอย่างไว้ในถังน้ำแข็ง หากยังไม่สกัดตัวอย่างให้นำแช่ไว้ในตู้เย็น

2.4 ตัวอย่างข้าวโพด สุ่มเก็บตัวอย่างปริมาณ 2 กิโลกรัม นำใส่ในถุงพลาสติก ขณะนำส่งห้องปฏิบัติการให้แช่ตัวอย่างไว้ในถังน้ำแข็ง หากยังไม่สกัดตัวอย่างให้นำแช่ไว้ในตู้เย็นหรือตู้แช่แข็ง เมื่อจะทำการเตรียมตัวอย่างให้นำออกจากตู้เย็นหรือตู้แช่แข็งตั้งไว้ให้ได้อุณหภูมิห้อง จากนั้นเตรียมตัวอย่างโดยหั่นตัวอย่างข้าวโพดเป็นชิ้นเล็กๆ นำไปปั่นละเอียดด้วยเครื่องปั่นย่อย (Food Processer) ก่อนนำไปทดสอบ

3. วิธีการตรวจวิเคราะห์ตัวอย่างในห้องปฏิบัติการ

ตรวจวิเคราะห์ชนิดและปริมาณสารพิษตกค้างประเภทสารกำจัดวัชพืชด้วยเทคนิคทางโครมาโทกราฟฟีด้วยเครื่อง Gas chromatography ชนิดตัวตรวจวัด Nitrogen Phosphorus detector (GC-NPD) โดยวิธีการตรวจวิเคราะห์มีดังนี้

3.1 การตรวจวิเคราะห์สารพิษตกค้างในตัวอย่างน้ำ

สกัดตัวอย่างน้ำ โดยใช้วิธี In-house method based on EPA method 8141A, rev.1, 1994. (U.S. EPA, 1994) ตวงตัวอย่างน้ำปริมาตร 800 มิลลิลิตรใส่ใน separatory funnel ขนาด 1000 มิลลิลิตร เติม ethyl acetate (AR) 100 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน หลังจากนั้นนำไปเขย่าด้วยเครื่อง separatory funnel shaker นาน 3 นาที ทิ้งไว้ให้แยกชั้น ไขเก็บชั้น ethyl acetate ผ่านกระดาษกรองที่บรรจุ sodium sulfate ไว้ด้านบน ทำการสกัดซ้ำอีก 2 ครั้งด้วย ethyl acetate (AR) ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ล้างด้วย ethyl acetate (AR) 2 ครั้งๆ ละ 10 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปลด

ปริมาตรด้วยเครื่อง rotary evaporator ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ระเหยจนเกือบแห้ง ปรับปริมาตรด้วย ethyl acetate (PR) ปริมาตร 1 มิลลิลิตรใส่ในขวด vial นำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Gas Chromatography ชนิดตัวตรวจวัด Nitrogen-Phosphorus Detector (GC-NPD)

3.2 การตรวจวิเคราะห์สารพิษตกค้างในตัวอย่างดินและตะกอนดิน

(1) การหาความชื้นในตัวอย่างดิน (Back, 1965) นำตัวอย่างดินที่ชั่งใส่ใน petri dish ที่มีฝาปิด นำเข้าอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 ± 5 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง แล้วนำออกมาวางใส่โถดูดความชื้น (desiccator) ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ชั่งและบันทึกน้ำหนักตัวอย่างดินพร้อม petri dish และนำตัวอย่างอบต่ออีกประมาณ 3 - 4 ชั่วโมง แล้วนำออกใส่โถดูดความชื้น (desiccator) ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ชั่งและบันทึกน้ำหนักครั้งที่ 2 ถ้าน้ำหนักที่หายไปจากการอบครั้งที่ 1 และ 2 แตกต่างกันไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าน้ำระเหยออกจากตัวอย่างหมดแล้ว ถ้ามากกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ จะต้องนำไปอบต่อ 3 - 4 ชั่วโมง จนกระทั่งน้ำหนักที่หายไปแตกต่างกันไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์ จึงจะนำไปคำนวณหาความชื้นและน้ำหนักตะกอนแห้ง

(2) สกัดตัวอย่างดินและตะกอนดิน ประยุกต์ใช้วิธี ultrasonic (Babic *et. al.*, 1998) นำตัวอย่างดินและตะกอนที่ชั่งไว้น้ำหนัก 20 ± 0.05 กรัม ในขวด erlenmeyer flask ขนาด 250 มิลลิลิตร เติม ethyl acetate (AR) 75 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันด้วย voter mixer นาน 1 นาที นำไปใส่ในเครื่อง ultra sonic bath เป็นเวลา 25 นาที หลังจากนั้นยกลงตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน แล้วกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1 ที่บรรจุ sodium sulfate ไว้ด้านบน ล้างด้วย ethyl acetate (AR) 2 ครั้งๆ ละ 20 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปลดปริมาตรด้วยเครื่อง rotary evaporator อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ระเหยจนเกือบแห้ง ปรับปริมาตรด้วย ethyl acetate (PR) ปริมาตร 2 มิลลิลิตรใส่ในขวด vial นำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Gas Chromatography ชนิดตัวตรวจวัด Nitrogen-Phosphorus Detector (GC-NPD)

3.3 การตรวจวิเคราะห์สารพิษตกค้างในตัวอย่างข้าวโพด

สกัดตัวอย่างข้าวโพด ประยุกต์ใช้วิธี EN Extraction: EN Method 15662 (Zeying *et al.*, 2015) นำตัวอย่างข้าวโพดที่ชั่งไว้น้ำหนัก 5 ± 0.05 กรัม ในหลอดทดลองขนาด 50 มิลลิลิตร เติมน้ำ (purified water) 10 มิลลิลิตร จากนั้นเติม ceramic ทำการเขย่าให้เข้ากันด้วย voter mixer นาน 1 นาที ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที จากนั้นเติม acetonitrile 10 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันด้วย voter mixer นาน 1 นาที เติมสารสกัด anhydrous magnesium sulfate (anh.$MgSO_4$) 4.0 กรัม และ 1 กรัม sodium citrate, 0.5 กรัม sodium hydrogencitrate sesquihydrate และ 1 กรัม sodium chloride (NaCl) เขย่า และ voter mixer เป็นเวลา 1 นาที นำสารละลายที่สกัดได้ไป centrifuge ที่ความเร็วรอบ 4,000 รอบต่อนาที นาน 10 นาที ใช้ auto pipette ดูดสารละลายส่วนบน 6 มิลลิลิตร ใส่ใน centrifuge tube ขนาด 15 มิลลิลิตร ที่มี 150 มิลลิกรัม PSA, 150 มิลลิกรัม C18 และ 900 มิลลิกรัม anhydrous magnesium sulfate (anh.$MgSO_4$) เขย่าให้เข้ากันด้วย voter mixer นาน 1 นาที นำสารละลายที่สกัดได้ไป centrifuge ที่ความเร็วรอบ 4,000 รอบต่อนาที นาน 10 นาที ใช้ auto pipette ดูดสารละลายส่วนบน 3 มิลลิลิตรใส่ในหลอดทดลอง นำไประเหยให้แห้งด้วยเครื่อง nitrogen evaporator อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และปรับปริมาตรด้วย ethyl acetate (PR) ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตรใส่ในขวด vial นำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Gas Chromatography ชนิดตัวตรวจวัด Nitrogen-Phosphorus Detector (GC-NPD)

4. การคำนวณความเสี่ยงจากการได้รับสารกำจัดวัชพืช atrazine ในน้ำ ตะกอนดิน ดิน และข้าวโพดต่อสุขภาพของเกษตรกร

ค่าความเสี่ยงประเมินจากดัชนีชี้วัดความเสี่ยง หรือดัชนีบ่งชี้ความอันตราย (HQ) มีเกณฑ์กำหนด คือ HQ มากกว่า 1 หมายถึง สารกำจัดวัชพืช atrazine ตกค้างอยู่ในระดับเสี่ยงต่อสุขภาพของเกษตรกร หาก HQ น้อยกว่าหรือเท่ากับ 1 แสดงว่าสารกำจัดวัชพืช atrazine ตกค้างอยู่ในระดับยอมรับได้ ค่า HQ ของสารที่พบตกค้างในดิน และน้ำ โดยค่า HQ คำนวณจากค่า ADD (ปริมาณค่าเฉลี่ยที่เกษตรกรได้รับสารป้องกันกำจัดวัชพืชต่อวัน) เทียบกับค่า RfD (ค่าอ้างอิง คือค่าปริมาณสารพิษที่น้อยสุดที่ร่างกายรับได้โดยไม่ทำให้เกิดอันตรายหรือเป็นพิษต่อร่างกาย) มีสมการคำนวณ ดังนี้

ADD = (Csoil*CF*IRsoil*EF*ED)/(BW*AT) .....(สมการ 1)

เมื่อ: ADD คือ ปริมาณสารพิษเฉลี่ยต่อวันจากสารกำจัดวัชพืช atrazine ตกค้างในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน),

Csoil คือ ความเข้มข้นของสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชตกค้างในดินที่แปลงปลูกพืช (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม),

CF คือ unit conversion factor = 10^{-6} กิโลกรัมต่อมิลลิกรัม

IRsoil คือ อัตราการได้รับสารพิษที่ตกค้างในดิน (มิลลิกรัมต่อวัน), 200 มิลลิกรัมต่อวัน สำหรับเด็ก, 100 มิลลิกรัมต่อวัน สำหรับผู้ใหญ่ (US. 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 .....(สมการ 2)

เมื่อ: RfD คือ reference dose เฉพาะของสารกำจัดวัชพืช atrazine มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน 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

5. การคำนวณและวิเคราะห์ความเสี่ยงที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

การคำนวณดัชนีบ่งชี้ความเสี่ยงต่อสิ่งแวดล้อม (risk quotient, RQ) คำนวณจากสมการที่ 3 โดย RQ คือ ค่าความเสี่ยง (risk quotient, RQ), MEC (measured environment concentration) คือ ความเข้มข้นของสารที่วัดในสิ่งแวดล้อม และ PNEC (predicted no effect concentration) คือ ความเข้มข้นสูงสุดของสารที่ไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิต

RQ = MEC/PNEC .....(สมการ 3)

เกณฑ์การตัดสิน กำหนดให้ RQ ≤ 0.1 หมายถึง มีความเสี่ยงต่ำ

RQ >0.1 – 1.0 หมายถึง มีความเสี่ยงระดับปานกลาง

RQ >1 หมายถึง มีความเสี่ยงสูง

RQ >10 หมายถึง มีความเสี่ยงสูงมาก (U.S. EPA., 2014)

การบันทึกข้อมูล

1. ข้อมูลสารกำจัดวัชพืช atrazine ตกค้างในตัวอย่างน้ำ หน่วยเป็น ไมโครกรัมต่อลิตร (µg/L)
2. ตัวอย่างดิน ตะกอนดิน และข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ หน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (mg/kg) และร้อยละของจำนวนตัวอย่างที่ตรวจพบสารพิษตกค้าง

ระยะเวลา เริ่มต้น เดือน ตุลาคม 2562 สิ้นสุด เดือน กันยายน 2564

สถานที่ทำการทดลอง 1) แปลงทดลองข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ในจังหวัดลพบุรี และสระบุรี

2) ห้องปฏิบัติการกลุ่มงานวิจัยผลกระทบจากการใช้วัตถุมีพิษการเกษตร กลุ่มวิจัยวัตถุมีพิษการเกษตร กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. ปริมาณสารกำจัดวัชพืช atrazine ตกค้างที่ตรวจพบในตัวอย่างดิน

ได้สุ่มเก็บตัวอย่างดินครั้งที่ 1 ในฤดูแล้ง ช่วงเดือนกุมภาพันธ์ - มีนาคม 2564 จำนวน 60 ตัวอย่าง ตรวจพบสาร atrazine จำนวน 16 ตัวอย่าง (27%) ปริมาณ <0.03 – 0.92 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งปริมาณที่ตรวจพบการตกค้างสูงสุด เป็นตัวอย่างดินจากแปลงข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ในอำเภอพุทธบาท จังหวัดสระบุรี และครั้งที่ 2 ในฤดูฝน ช่วงเดือนกรกฎาคม 2564 จำนวน 60 ตัวอย่าง ตรวจพบสาร atrazine จำนวน 28 ตัวอย่าง (47%) ปริมาณ <0.03 – 0.20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งปริมาณที่ตรวจพบการตกค้างสูงสุด เป็นตัวอย่างดินจากแปลงข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ในอำเภอพุทธบาท จังหวัดสระบุรี สรุปผลการตรวจวิเคราะห์ในตัวอย่างดินทั้งหมด 120 ตัวอย่าง พบการตกค้าง 44 ตัวอย่าง (37%) ในฤดูฝนมากกว่าฤดูแล้ง (ตารางที่1) ซึ่งปริมาณ atrazine ที่ตรวจพบมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์ค่าสูงสุดที่ยอมให้มีการปนเปื้อนของ atrazine ในดินเพื่อเกษตรกรรมของ กรมควบคุมมลพิษ (2547) (ไม่เกิน 22 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) สอดคล้องกับรายงานการตรวจพบ atrazine ในตัวอย่างดินพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ในบริเวณลุ่มน้ำห้วยกะโปะ อำเภอน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์ ในช่วงฤดูน้ำหลาก (เดือนสิงหาคม ถึงพฤศจิกายน 2551) พบ atrazine ตกค้างในดิน เฉลี่ย 133.59 - 183.23 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม (อรอนงค์ และคณะ, 2554)

2. ปริมาณสารกำจัดวัชพืช atrazine ตกค้างที่ตรวจพบในตัวอย่างน้ำ และตะกอนดิน

ได้สุ่มเก็บตัวอย่างน้ำครั้งที่ 1 ในฤดูแล้ง ช่วงเดือนกุมภาพันธ์ - มีนาคม 2564 จำนวน 22 ตัวอย่าง ตรวจพบสาร atrazine จำนวน 2 ตัวอย่าง (9%) ปริมาณ 0.05 – 91.73 ไมโครกรัมต่อลิตร ซึ่งปริมาณที่ตรวจพบการตกค้างสูงสุด เป็นตัวอย่างน้ำจากถังที่เกษตรกรใช้สำหรับผสมระหว่างพ่นสารในแปลงปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ในอำเภอพุทธบาท จังหวัดสระบุรี และครั้งที่ 2 ในฤดูฝน ช่วงเดือนกรกฎาคม 2564 จำนวน 18 ตัวอย่าง ตรวจพบสาร atrazine จำนวน 11 ตัวอย่าง (61%) ปริมาณ <0.02 – 5.94 ไมโครกรัมต่อลิตร ซึ่งปริมาณที่ตรวจพบการตกค้างสูงสุด เป็นตัวอย่างน้ำจากแปลงข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ในอำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี สรุปผลการตรวจวิเคราะห์ในตัวอย่างน้ำทั้งหมด 40 ตัวอย่าง พบการตกค้าง 13 ตัวอย่าง (33%) ในฤดูฝนมากกว่าฤดูแล้ง (ตารางที่1) ซึ่งปริมาณ atrazine ที่ตรวจพบมีค่าสูงกว่าเกณฑ์ค่าสูงสุดที่ยอมให้มีการปนเปื้อนของ atrazine ในน้ำดื่มตามค่า maximum contamination level (MCL) ของ US.EPA (2018) (ไม่เกิน 3 ไมโครกรัมต่อลิตร) พบความเข้มข้นของ atrazine ในแหล่งน้ำมีปริมาณสูง จำนวน 2 แปลง ในอำเภอหนองม่วง จังหวัดลพบุรี ปริมาณ 4.62 ไมโครกรัมต่อลิตร และอำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี ปริมาณ 5.94 ไมโครกรัมต่อลิตร เนื่องจากสภาพพื้นที่แปลงปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มีความลาดเอียง จึงเป็นไปได้ที่จะเกิดการเคลื่อนย้าย atrazine จากพื้นที่เพาะปลูกรอบๆ ที่มีการใช้สารดังกล่าวลงสู่แปลงปลูกที่มีความลาดต่ำกว่า นอกจากนี้ยังอาจเกิดจากการชะละลายหรือการไหลบ่าของน้ำจากบริเวณแปลงข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ หรือซึมละลายไปกับน้ำในดินลงสู่แหล่งน้ำใต้ดิน เพราะสาร atrazine เป็นสารที่มีศักยภาพในการปนเปื้อนลงสู่น้ำใต้ดินได้ เนื่องจากเกษตรกรส่วนใหญ่ใช้น้ำบาดาลในการเพาะปลูก ซึ่งสอดคล้องกับรายงานการตรวจพบ atrazine ในตัวอย่างน้ำจากวิทยาลัยชัยบาดาลพิพัฒน์ จังหวัดลพบุรี ทั้งสามฤดูในตัวอย่างน้ำ 10 ตัวอย่าง ในช่วง 0.14 - 0.82 ไมโครกรัมต่อลิตร (รัศมีและคณะ, 2558) เช่นเดียวกับ อรอนงค์ และคณะ (2554) ตรวจพบ atrazine ในตัวอย่างน้ำท่า บริเวณพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ลุ่มน้ำห้วยกะโปะ อำเภอน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์ ในช่วงฤดูน้ำหลาก (เดือนสิงหาคม ถึงพฤศจิกายน 2551) พบ atrazine ตกค้างในน้ำท่า 38 ตัวอย่าง (63%) มีค่าเฉลี่ย 4.70 ไมโครกรัมต่อลิตร และน้ำท่า 15 ตัวอย่าง (39%) (ไม่เกิน 3 ไมโครกรัมต่อลิตร) มีค่าสูงกว่าเกณฑ์ค่าสูงสุดที่ยอมให้มีการปนเปื้อนในน้ำ แต่ตรวจไม่พบสารกำจัดวัชพืช atrazine ในตัวอย่างตะกอนดินทั้ง 4 ตัวอย่าง

3. ปริมาณสารกำจัดวัชพืช atrazine ตกค้างที่ตรวจพบในตัวอย่างข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

ได้สุ่มเก็บตัวอย่างข้าวโพดระยะเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1 ในฤดูแล้ง ช่วงเดือนกุมภาพันธ์ - มีนาคม 2564 จำนวน 9 ตัวอย่าง และครั้งที่ 2 ในฤดูฝน ช่วงเดือนกรกฎาคม 2564 จำนวน 10 ตัวอย่าง เพื่อนำไปสกัดหาสารพิษตกค้าง atrazine ในข้าวโพดด้วยเครื่อง Gas Chromatography ชนิดตัวตรวจวัด Nitrogen-Phosphorus Detector (GC-NPD) ผลการตรวจวิเคราะห์ไม่พบสารพิษตกค้างในตัวอย่างข้าวโพดทั้งหมดที่ระดับ LOQ 0.05 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้อยกว่า

ค่าปริมาณสารพิษตกค้างสูงสุด (MRL) ของ atrazine ในข้าวโพดเมล็ดแห้ง เท่ากับ 0.1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2559) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Zeying *et al.* (2015) ในการสุ่มตรวจตัวอย่างสารกำจัดศัตรูพืช 200 ชนิด ในตัวอย่างข้าวโพด 20 ตัวอย่าง พบปริมาณสารพิษตกค้าง dichlorvos 9.58 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม แต่ไม่พบสารกำจัดวัชพืชในทุกตัวอย่าง

ตารางที่ 1 ผลการตรวจวิเคราะห์ปริมาณสาร atrazine ตกค้างตัวอย่างในดิน น้ำ ตะกอนดิน และข้าวโพด ในแปลงข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ จังหวัดนนทบุรีและสระบุรี

ช่วงเวลา	ชนิดตัวอย่าง	ตัวอย่างทั้งหมด	ตรวจพบ	ปริมาณสาร atrazine*	ค่ามาตรฐาน
ครั้งที่ 1	ดิน	60	16 (27%)	<0.03 – 0.92 mg/kg	22 mg/kg[1)]
เดือน ก.พ - มี.ค. 64	น้ำ	22	2 (9%)	0.05 – 91.73 µg/L	3[2),] ,2 [3)]µg/L
(ฤดูแล้ง)	ตะกอนดิน	2	0 (0%)	ND	-
	ข้าวโพด	9	0 (0%)	ND	0.1 mg/kg[4)]
ครั้งที่ 2	ดิน	60	28 (47%)	<0.03 – 0.20 mg/kg	22 mg/kg[1)]
เดือน ก.ค. 64	น้ำ	18	11 (61%)	<0.02 – 5.94 µg/L	3[2),] 2 [3)]µg/L
(ฤดูฝน)	ตะกอนดิน	2	0 (0%)	ND	-
	ข้าวโพด	10	0 (0%)	ND	0.1 mg/kg[4)]
รวมจำนวนตัวอย่างทั้งหมด		**183**	**59 (32%)**		

***หมายเหตุ** : น้ำ : ปริมาณที่พบหน่วยเป็นไมโครกรัมต่อลิตร (µg/L), ดิน : ปริมาณที่พบหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (mg/kg)
ND : not detected คือ ตรวจไม่พบ

1) ค่ามาตรฐานคุณภาพดิน ในดินเพื่อเกษตรกรรม กำหนดค่า atrazine เท่ากับ 22 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (mg/kg) (กรมควบคุมมลพิษ, 2547)

2) ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำดื่มที่สำนักงานปกป้องสิ่งแวดล้อม (Environmental Protection Agency, EPA) กำหนดไว้ในน้ำดื่มตามค่า maximum contamination level (MCL) ของ atrazine เท่ากับ 3 ไมโครกรัมต่อลิตร (µg/L) (US. EPA., 2018)

3) ค่ามาตรฐานเกณฑ์เสนอแนะคุณภาพน้ำบริโภคเพื่อการเฝ้าระวัง กรมอนามัย พ.ศ. 2563 กำหนดไวในพื้นที่เกษตรกรรม (สารฆ่าศัตรูพืชและสัตว์) ของ atrazine เท่ากับ 2 ไมโครกรัมต่อลิตร (µg/L) (กรมอนามัย, 2563)

4) ค่าปริมาณสารพิษตกค้างสูงสุด (MRL) ของ atrazine ในข้าวโพดเมล็ดแห้ง เท่ากับ 0.1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (mg/kg) (สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2559)

4. การประเมินความเสี่ยงสารกำจัดวัชพืช atrazine ตกค้างต่อสุขภาพของเกษตรกรในวัยเด็ก และผู้ใหญ่

1) ความเสี่ยงของสารกำจัดวัชพืช atrazine ตกค้างที่ตรวจพบในตัวอย่างดิน

เมื่อนำผลการตรวจวิเคราะห์สารกำจัดวัชพืช atrazine ตกค้างในดิน จากการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 ในฤดูแล้ง (กุมภาพันธ์ – มีนาคม) และครั้งที่ 2 ในฤดูฝน (กรกฎาคม) มาคำนวณค่า HQ เพื่อประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของเกษตรกรผู้ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ในช่วงอายุ 6 – 12 ปี และ 70 ปี พบว่าในฤดูแล้งมีค่า HQ มากกว่าฤดูฝน เท่ากับ 1.57×10^{-4} และ 5.06×10^{-5} ซึ่งเป็นแปลงข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในอำเภอพุทธบาท จังหวัดสระบุรี ซึ่งค่า HQ จากการคำนวณใน ตารางที่ 2 พบว่าความเสี่ยงอยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้ (HQ < 1) ดังนั้นการประเมินความเสี่ยงสารกำจัดวัชพืช atrazine ตกค้างในดินแปลงปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ต่อสุขภาพเกษตรกรในช่วงอายุ 6 – 12 ปี และ 70 ปี สรุปได้ว่าการใช้สารกำจัดวัชพืช atrazine ไม่มีความเสี่ยงต่อสุขภาพของเกษตรกร

ตารางที่ 2 การประเมินความเสี่ยงสารกำจัดวัชพืช atrazine ตกค้างในดินแปลงปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ต่อสุขภาพเกษตรกร ช่วงฤดูแล้งและฤดูฝน

Season	Age	maize fields	atrazine (mg/kg)	ADD[1] (mg/kg-day)	RfD[2] (mg/kg-day)	HQ = ADD[3] / RfD	Health risk
Dry season	Child	25	0.11	6.59×10^{-7}	0.035	1.88×10^{-5}	accept
		26	0.32	1.92×10^{-6}	0.035	5.48×10^{-5}	accept
		51	0.92	5.52×10^{-6}	0.035	1.57×10^{-4}	accept
		53	0.06	3.60×10^{-7}	0.035	1.03×10^{-5}	accept
		57	0.51	3.06×10^{-6}	0.035	8.74×10^{-5}	accept
	Adult	25	0.11	6.59 x 10-7	0.035	1.88 x 10-5	accept
		26	0.32	1.92 x 10-6	0.035	5.48 x 10-5	accept
		51	0.92	5.52 x 10-6	0.035	1.57 x 10-4	accept
		53	0.06	3.60 x 10-7	0.035	1.03 x 10-5	accept
		57	0.51	3.06 x 10-6	0.035	8.74 x 10-5	accept
Wet season	Child	16	0.05	2.99 x 10-7	0.035	8.55 x 10-6	accept
		28	0.19	1.14 x 10-8	0.035	3.25 x 10-5	accept
		34	0.18	1.08 x 10-6	0.035	3.08 x 10-5	accept
		40	0.20	1.20 x 10-6	0.035	3.42 x 10-5	accept
		45	0.03	1.80 x 10-7	0.035	5.14 x 10-6	accept
		49	0.03	1.80 x 10-7	0.035	5.14 x 10-6	accept
		57	0.03	1.80 x 10-7	0.035	5.14 x 10-6	accept
	Adult	16	0.05	9.61 x 10-8	0.035	2.75 x 10-6	accept
		28	0.19	3.65 x 10-7	0.035	1.04 x 10-5	accept
		34	0.18	3.46 x 10-7	0.035	9.89 x 10-6	accept
		40	0.20	3.85 x 10-7	0.035	1.10 x 10-5	accept
		45	0.03	5.77 x 10-8	0.035	1.65 x 10-6	accept
		49	0.03	5.77 x 10-8	0.035	1.65 x 10-6	accept
		57	0.03	5.77 x 10-8	0.035	1.65 x 10-6	accept

หมายเหตุ : ช่วงอายุที่นำมาใช้ในการประเมินอายุ 6 -12 ปี และ 70 ปี
น้ำหนักเฉลี่ยที่นำมาใช้ในการประเมินเท่ากับ 33.38 กิโลกรัม และ 52 กิโลกรัม

1) ADD คือ ปริมาณสารพิษเฉลี่ยต่อวันจากสารกำจัดวัชพืช atrazine ตกค้างในดิน
2) Rfd คือ reference dose เฉพาะของสารกำจัดวัชพืช atrazine
3) HQ คือ ค่าความเสี่ยงประเมินจากดัชนีชี้วัดความเสี่ยง

2) ความเสี่ยงของสารกำจัดวัชพืช atrazine ตกค้างที่ตรวจพบในตัวอย่างน้ำ

เมื่อนำผลการตรวจวิเคราะห์สารกำจัดวัชพืช atrazine ตกค้างในน้ำ จากการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 ในฤดูแล้ง (กุมภาพันธ์ – มีนาคม) และครั้งที่ 2 ในฤดูฝน (กรกฎาคม) มาคำนวณค่า HQ เพื่อประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของเกษตรกรผู้ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ในช่วงอายุ 6 – 12 ปี และ 70 ปี พบว่าในฤดูแล้งมีค่า HQ มากกว่าฤดูฝน เท่ากับ 0.60×10^{-1} และ 0.50×10^{-1} ซึ่งเป็นแปลงข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในอำเภอพุทธบาท จังหวัดสระบุรี ซึ่งค่า HQ จากการคำนวณในตารางที่ 3 พบว่าความเสี่ยงอยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้ (HQ < 1) ดังนั้นการประเมินความเสี่ยงสารกำจัดวัชพืช atrazine ตกค้างในน้ำแปลงปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ต่อสุขภาพเกษตรกรในช่วงอายุ 6 – 12 ปี และ 70 ปี สรุปได้ว่าการใช้สารกำจัดวัชพืช atrazine ไม่มีความเสี่ยงต่อสุขภาพของเกษตรกร

ตารางที่ 3 การประเมินความเสี่ยงสารกำจัดวัชพืช atrazine ตกค้างในน้ำแปลงปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ต่อสุขภาพเกษตรกร ช่วงฤดูแล้งและฤดูฝน

Season	Age	maize fields.	atrazine (ug/L)	ADD[1)] (mg/kg-day)	RfD[2)] (mg/kg-day)	HQ =ADD[3)] RfD	Health risk
Dry season	Child	50	0.09	2.05×10^{-3}	0.035	0.60×10^{-1}	accept
		51	0.5×10^{-4}	1.12×10^{-6}	0.035	3.20×10^{-5}	accept
	Adult	50	0.09	1.66×10^{-3}	0.035	0.50×10^{-1}	accept
		51	0.5×10^{-4}	9.07×10^{-7}	0.035	2.59×10^{-5}	accept
Wet season	Child	23	1.9 x 10-3	4.24 x 10-6	0.035	1.21 x 10-3	accept
		25	2.6 x 10-3	5.80 x 10-6	0.035	1.66 x 10-3	accept
		34	4.6 x 10-2	1.03 x 10-3	0.035	2.94 x 10-2	accept
		36	2.0 x 10-4	4.46 x 10-7	0.035	1.27 x 10-4	accept
		40	6.9 x 10-3	1.54 x 10-5	0.035	4.40 x 10-3	accept
		42	5.9 x 10-2	1.33 x 10-3	0.035	3.79 x 10-2	accept
		45	2.7 x 10-3	6.03 x 10-6	0.035	1.72 x 10-3	accept
		51	2.8 x 10-2	6.32 x 10-5	0.035	1.80 x 10-2	accept
		58	1.4 x 10-2	3.13 x 10-5	0.035	8.92 x 10-3	accept
		60	1.9 x 10-2	4.37 x 10-5	0.035	1.25 x 10-2	accept
	Adult	23	1.9 x 10-3	4.01 x 10-5	0.035	1.14 x 10-2	accept
		25	2.6 x 10-3	5.50 x 10-5	0.035	1.57 x 10-2	accept
		34	4.6 x 10-2	8.38 x 10-5	0.035	2.39 x 10-2	accept
		36	2.0 x 10-4	3.63 x 10-7	0.035	1.04 x 10-4	accept
		40	6.9 x 10-3	1.25 x 10-5	0.035	3.57 x 10-3	accept
		42	5.9 x 10-2	1.08 x 10-3	0.035	3.08 x 10-2	accept
		45	2.7 x 10-3	4.90 x 10-6	0.035	1.40 x 10-3	accept
		51	2.8 x 10-2	5.13 x 10-5	0.035	1.46 x 10-2	accept
		58	1.4 x 10-2	2.54 x 10-5	0.035	7.25 x 10-3	accept
		60	1.9 x 10-2	3.55 x 10-5	0.035	1.01 x 10-2	accept

หมายเหตุ : ช่วงอายุที่นำมาใช้ในการประเมินอายุ 6 -12 ปี และ 70 ปี
น้ำหนักเฉลี่ยที่นำมาใช้ในการประเมินเท่ากับ 33.38 กิโลกรัม และ 52 กิโลกรัม

1) ADD คือ ปริมาณสารพิษเฉลี่ยต่อวันจากสารกำจัดวัชพืช atrazine ตกค้างในดิน
2) Rfd คือ reference dose เฉพาะของสารกำจัดวัชพืช atrazine
3) HQ คือ ค่าความเสี่ยงประเมินจากดัชนีชี้วัดความเสี่ยง

5. ผลกระทบของสารกำจัดวัชพืช atrazine ต่อสิ่งแวดล้อม

นำผลการตรวจวิเคราะห์ปริมาณสารกำจัดวัชพืช atrazine ตกค้างในดินและน้ำที่พบปริมาณต่ำสุดและสูงสุด มาคำนวณค่า RQ เพื่อประเมินผลกระทบของสารกำจัดวัชพืช atrazine ตกค้างในดินและน้ำแปลงปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในฤดูแล้ง โดยในดินมีค่า RQ เท่ากับ 0.6×10^{-2} - 9.2×10^{-1} และในฤดูฝน มีค่า RQ เท่ากับ 0.3×10^{-2} - 0.2×10^{-1} ซึ่งค่า RQ จาก ตารางที่ 4 พบว่าความเสี่ยงอยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้ (RQ < 1) ในน้ำ ฤดูแล้ง มีค่า RQ เท่ากับ 0.5×10^{-2} - 9.17 และ ในฤดูฝน มีค่า RQ เท่ากับ 0.2×10^{-2} - 5.9×10^{-1} ซึ่งค่า RQ จาก ตารางที่ 5 พบว่ามีความเสี่ยง (RQ > 1) ดังนั้นการประเมินผลกระทบของสารกำจัดวัชพืช atrazine ตกค้างในดินและน้ำแปลงปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในฤดูแล้ง สรุปได้ว่าในดินมีความเสี่ยงอยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้ และในน้ำมีความเสี่ยงส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

ตารางที่ 4 การประเมินผลกระทบของสารกำจัดวัชพืช atrazine ตกค้างในดินแปลงปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

Season	Herbicides	MEC minimal[1)] (mg/kg)	MEC ex[1)] (mg/kg)	PNEC-soil[2)] (mg/kg)	RQ m[3)]	RQ ex[3)]
Dry season	atrazine	0.06	0.92	10	0.6×10^{-2}	9.2×10^{-1}
Wet season	atrazine	0.03	0.20	10	0.3×10^{-2}	0.2×10^{-1}

หมายเหตุ : 1) MEC (measured environment concentration) คือ ความเข้มข้นของสารที่วัดในสิ่งแวดล้อม
2) PNEC (predicted no effect concentration) คือ ความเข้มข้นสูงสุดของสารที่ไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิต
3) RQ ((risk quotient) คือ ดัชนีบ่งชี้ความเสี่ยงต่อสิ่งแวดล้อม

ตารางที่ 5 การประเมินผลกระทบของสารกำจัดวัชพืช atrazine ตกค้างในน้ำแปลงปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

Season	Herbicides	MEC minimal[1)] (µg/L)	MEC ex[1)] (µg/L)	PNEC-water[2)] (µg/L)	RQ m[3)]	RQ ex[3)]
Dry season	atrazine	0.05	91.73	10	0.5×10^{-2}	9.17
Wet season	atrazine	0.02	5.94	10	0.2×10^{-2}	5.9×10^{-1}

หมายเหตุ : 1) MEC (measured environment concentration) คือ ความเข้มข้นของสารที่วัดในสิ่งแวดล้อม
2) PNEC (predicted no effect concentration) คือ ความเข้มข้นสูงสุดของสารที่ไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิต
3) RQ (risk quotient) คือ ดัชนีบ่งชี้ความเสี่ยงต่อสิ่งแวดล้อม

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ/คำแนะนำ

การประเมินผลกระทบสารกำจัดวัชพืช atrazine ตกค้างในไร่ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ในพื้นที่อำเภอหนองม่วง จังหวัดลพบุรี อำเภอพุทธบาท และอำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี สรุปได้ว่า ผลการตรวจวิเคราะห์หาปริมาณ atrazine ตกค้างในตัวอย่างดิน และน้ำ รวมทั้งหมด 59 ตัวอย่าง ซึ่งพบการตกค้างสูงสุดในฤดูแล้ง จากแปลงข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในอำเภอพุทธบาท จังหวัดสระบุรี ในตัวอย่างตะกอนและข้าวโพดไม่พบการตกค้างในทุกตัวอย่าง และเมื่อนำมาประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ พบว่าอยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้ และประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม พบน้ำในฤดูแล้งมีความเสี่ยง ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในไร่ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ จากข้อมูลทำให้ทราบว่า เกษตรกรยังมีการใช้สารกำจัดวัชพืชในปริมาณมากในไร่ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ดังนั้นจึงควรมีการเก็บข้อมูลการใช้สารของเกษตรกร รวมถึงสำรวจเก็บตัวอย่างที่ต่อเนื่องเพื่อเป็นการเฝ้าระวังการใช้สารให้มีความปลอดภัยต่อผู้ใช้ ผู้บริโภค สิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม เพื่อลดความเสี่ยงต่อการได้รับสัมผัสสารกำจัดวัชพืชตกค้างของเกษตรกร

การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

1. เพื่อติดตามตรวจสอบสถานการณ์การตกค้างของกำจัดวัชพืช atrazine ตกค้าง จากการใช้สารในบริเวณแหล่งปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ในจังหวัดลพบุรี และสระบุรี
2. เพื่อเป็นข้อมูลทางวิชาการแก่นักศึกษา นักวิชาการใช้ประกอบในการทำวิจัยด้านสารพิษตกค้าง
3. ถ่ายทอดองค์ความรู้จากการวิจัยโดยการเผยแพร่ในรายงานผลการวิจัยประจำแต่ละปี และรายงานการประชุมวิชาการกรมวิชาการเกษตร

เอกสารอ้างอิง

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”. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา https://www.krc.go.th/files/com_service_new1/2020-08_5db9e45ed4a3fbf.pdf (11 กุมภาพันธ์ 2565).

กลุ่มวิจัยวัชพืช. 2554. ***คำแนะนำการป้องกันกำจัดวัชพืชและการใช้สารกำจัดวัชพืชปี 2554***. สำนักวิจัยการพัฒนาการอารักขาพืช กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพฯ. 133 น.

จารุพงศ์ ประสพสุข , สุวิทย์ เลาหศิริวงศ์ , อรุณี พรมคำบุตร และ ชุลีมาศ บุญไทย อิวาย. 2562. การประเมินความเสี่ยงสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างในดินต่อสุขภาพของเกษตรกร ผู้ปลูกคะน้าในจังหวัดขอนแก่น.***วารสารวิชาการเกษตร ปีที่ 37*** ฉบับที่ 3 กันยายน – ธันวาค***ม.*** น. 278 - 285.

รัศมี แสงศิริมงคลยิ่ง, มลิสา เวชยานนท์, ปภัสรา คุณเลิศ และพรชนก ชโลปกรณ์. 2558. การศึกษาการปนเปื้อนของสารกำจัดศัตรูพืชสู่สิ่งแวดล้อมในวิทยาลัยชัยบาดาลพิพัฒน์. ***วารสารวิจัยราชภัฏพระนคร ปีที่ 10*** ฉบับที่ 2 กรกฎาคม-ธันวาคม 2558. น. 22 – 37.

สุมิตร วิลัยพรม, ทวีพงษ์ ณ น่าน, ฉัตรสุดา เชิงอักษร และ ชัยกฤต พรมมา. 2561. ทดสอบการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์นครสวรรค์ 3 ในจังหวัดน่าน และจังหวัดเชียงใหม่. ***วารสารวิชาการเกษตร ปีที่ 36*** ฉบับที่ 2 พฤษภาคม - สิงหาคม 2561. น. 163 – 173.

สำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร. 2563. “รายงานสรุปการนำเข้าวัตถุอันตรายทางการเกษตรปี พ.ศ. 2563”. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.doa.go.th/ard/wp content /uploads /2019 /04 /HASTAT58_01 (3 พฤศจิกายน 2564).

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2563. ***สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปี 2563***. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.กรุงเทพฯ. 206 น.

สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. 2559.“ปริมาณสารพิษตกค้างสูงสุด” [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา https://www.acfs.go.th/standard/download/MAXIMUM-RESIDUE-LIMITS.pdf (11 กุมภาพันธ์ 2565).

อรอนงค์ ผิวนิล, ศุภมาศ พนิชศักดิ์ พัฒนา,นิพนธ์ ตังคณานุรักษ์, บงกชรัตน์ ปิติยนต์ และ น้ำเย็น ศิริพัฒน์. 2554. การศึกษาการตกค้างและเคลื่อนย้ายสารกำจัดวัชพืชอะทราซีนในดินพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ตะกอนดิน และน้ำท่าบริเวณลุ่มน้ำห้วยกะโปะ อำเภอน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์. ***การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 49***: สาขาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม,น. 1-11.

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.

IUPAC. 2019. “Global availability of information onagrochemicals. Pesticide Properties DataBase”. [online]. Available https://www. sitem.herts.ac.uk/aeru/iupac/atoz. htm. (March 25, 2019)

Turner, C. Ed. 2018. ***The Pesticide Manual***. British Crop Protection Council. 18th Ed.U.S. EPA. 2003. Example Exposure Scenarios. EPA/600/R-03/036. National Center for Environmental Assessment, Washington, DC. 124 pp.

US. EPA, 1994. ***Organophosphorus compound by Gas Chromatography capillary column technique***. In-house method. 2005. EPA method 8141A, Revision 1.

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

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

US. EPA. 2014. **Technical Overview of Ecological Risk Assessment Risk Characterization**. Washington, D.C.

US. EPA. 2018. "National Primary Drinking Water Regulations. United States Environmental Protection Agency." [online]. Available http://www.epa.gov/ground-water-and-drinking-water/national-primary-drinking-water-regulations (10 Feb. 2022)

US. EPA. 2019. "Integrated Risk Information System. IRIS Assessments". [online]. Available https://www.epa.gov/iris Accessed (10 Jul. 2020)

Zeying He, Lu Wang, Yi Peng, Ming Luo, Wenwen Wang and Xiaowei Liu. 2015. Multiresidue analysis of over 200 pesticides in cereals using a QuEChERS and gas chromatography–tandem mass spectrometry-based method. ***Food Chemistry***. 169: 372 - 380.

รูปภาพประกอบการเก็บตัวอย่าง