

รายงานผลงานเรื่องเต็มการทดลองที่สิ้นสุด

1. ชุดโครงการวิจัย -
2. โครงการวิจัย การใช้วัตถุอันตรายทางการเกษตรที่ส่งผลกระทบต่อผู้ใช้และผู้บริโภค
กิจกรรม การประเมินความเสี่ยงจากการใช้วัตถุอันตรายทางการเกษตร
กิจกรรมย่อย -
3. ชื่อการทดลอง การประเมินความเสี่ยงจากการใช้สารกำจัดวัชพืชอะมีทริน (Ametryn) ต่อผู้ใช้ ผู้บริโภค และสิ่งแวดล้อม
Risk Assessment of Ametryn Herbicide Used to Farmer, Consumption and Environment
4. คณะผู้ดำเนินงาน
หัวหน้าการทดลอง นางสาวปัทมรา คุณเลิศ กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร
ผู้ร่วมการทดลอง นายวัชรพงษ์ วงศ์สุวรรณ กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร
นายประกิจ จันทร์ดีบ กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร
นางผกาสินี คล้ายมาลา กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร
5. บทคัดย่อ

ศึกษาสารกำจัดวัชพืชอะมีทริน (ametryn) ในไร่ข้าวโพดของเกษตรกร ทำการประเมินความเสี่ยงจากการใช้ในแปลงทดลอง ระหว่างเดือนตุลาคม 2561 ถึงเดือนกันยายน 2562 โดยใช้อัตราการพ่นสารกำจัดวัชพืชตามการปฏิบัติงานจริงของเกษตรกร หลังจากปลูกข้าวโพด 2 วัน ใช้สาร ametryn สูตร 80% WG พ่นด้วยเครื่องพ่นสารแบบสะพายหลังแรงดันน้ำสูง หลังพ่น เก็บแผ่นผ้าที่ติดบนส่วนต่างๆ ของร่างกาย น้ำล้างมือ และน้ำล้างเท้า รวมทั้งสวมเก็บตัวอย่างน้ำ ดิน ตะกอน และข้าวโพดที่ระยะเก็บเกี่ยว มาตรวจวิเคราะห์หาสารพิษตกค้างด้วยเครื่อง Gas Chromatography ชนิดตัวตรวจวัด Nitrogen-Phosphorus Detector (GC-NPD) ผลการวิเคราะห์หาปริมาณ ametryn ที่ปนเปื้อนบนร่างกายผู้พ่น มีปริมาณปนเปื้อน 12.8161 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัวต่อวัน นำข้อมูลที่ได้มาประมวลกับข้อมูลทางพิษวิทยาของสาร ametryn เพื่อประเมินความเสี่ยง พบว่ามีระดับความเสี่ยงอยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้ ผลการตรวจวิเคราะห์น้ำ ดิน และตะกอน ตรวจพบสาร ametryn ในน้ำปริมาณ 0.080 – 0.858 ไมโครกรัมต่อลิตร มีปริมาณสารพิษตกค้างสูงสุดหลังพ่น 2 ชั่วโมง ในดินปริมาณ <0.01 – 1.655 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม พบการตกค้างสูงสุดหลังพ่น 1 วัน และในตะกอนปริมาณ <0.01 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม มีปริมาณค่อนข้างต่ำ ค่าครึ่งชีวิต (half life; $t_{1/2}$) ของ ametryn ในน้ำเท่ากับ 21 วัน และในดินเท่ากับ 15 วัน ผลการตรวจ

วิเคราะห์ตัวอย่างข้าวโพดจากแหล่งผลิตและแหล่งจำหน่าย ไม่พบการตกค้างในทุกตัวอย่าง สรุปได้ว่าการใช้สาร ametryn พ่นกำจัดวัชพืชในแปลงข้าวโพด ไม่มีความเสี่ยงด้านสุขภาพจากการบริโภคข้าวโพดในระยะเก็บเกี่ยว

Abstract

Risk assessment of ametryn herbicide in corn field was conducted during October 2018 to September 2019. The spraying of herbicide followed the real application rate of farmer was used after planting 2 days. The 80% WG of ametryn was sprayed by high pressure power sprayer. After spraying, pad attached on different position on body, water from hand and foot washing were collected. The water, soil, sediment and corn in harvest stage were collected and analyzed by Gas Chromatography with Nitrogen-Phosphorus Detector (GC-NPD). The result showed that, ametryn contaminated on sprayer was 12.8161 mg/kg body weight per day. The data were processed together with toxicological data of ametryn for risk assessment, the result of risk assessment is in acceptable level. In the water, ametryn was found at 0.080 – 0.858 µg/L which has the highest of pesticide residue after spraying for 2 hours. In the soil, ametryn was found at <0.01 – 1.655 µg/L with the maximum residue after 1 day of spraying. In the sediment, ametryn was found at <0.01 µg/L. The half-life of ametryn in the water and soil were 21 and 15 days, respectively. The samples from the production and distribution sources was not found ametryn in all samples. It can be concluded that the ametryn usage for weed control in corn fields has no health risk in term of corn consumption during the harvest period.

6. คำนำ

อะมีทริน (ametryn) เป็นสารกำจัดวัชพืช (Herbicide) ในกลุ่ม Triazines ที่มีคุณลักษณะแบบ selective systemic ประเภทดูดซึม สามารถดูดซึมจากรากไปทางท่อน้ำเลี้ยงไปสะสมไว้ที่ใบ ออกฤทธิ์ยับยั้งกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง โดยจับกับ specific site ในคลอโรฟิลล์ มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช ทำให้พืชเกิดความผิดปกติ เช่น ใบเหลือง จนถึงใบแห้งตาย และยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ชนิดอื่นๆ (Ana *et al.*, 2016) มีสูตรทางเคมี คือ $C_9H_{17}O_4N_5S$ มีชื่อ IUPAC ว่า *N*²-ethyl-*N*⁴-isopropyl-6-(methylthio)-1,3,5-triazine-2,4-dimine มีมวลโมเลกุลเท่ากับ 227.35 ลักษณะทางกายภาพเป็นผงสีขาว มีจุดหลอมเหลวที่ 86.3 - 87 องศาเซลเซียส ละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น acetone 610 กรัมต่อลิตร, hexane 12 กรัมต่อลิตร, methanol 510 กรัมต่อลิตร, n-octanol 220 กรัมต่อลิตร และ toluene 470 กรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 20 – 25 องศาเซลเซียส จัดเป็นกลุ่มตามกลไกหรือตำแหน่งการออกฤทธิ์ตาม Toxicity class: II WHO (a.i.); EPA (all formulations) class: III เป็นพิษปานกลางต่อปลา สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม แต่มีพิษร้ายแรงต่อกุ้งและหอย ค่า Acute oral LD₅₀ ในหนู (rat) เท่ากับ 1,160 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัว (technical grade) ค่า ADI /RfD เท่ากับ 0.015 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัว (Tamires *et al.*, 2015)

คุณสมบัติทางกายภาพที่สำคัญของ ametryn คือละลายได้ดีในน้ำที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ปริมาณ 185 มิลลิกรัมต่อลิตร มีความคงทนสูง (Degradation time (DT₅₀) เท่ากับ 62 วัน ในดินแปลงทดลอง) มีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับ (K_{oc}) เท่ากับ 3.45 (Sabir *et al.*, 2018) มีความสามารถเคลื่อนย้ายได้ปานกลางถึงสูงในดินเหนียวหรือดินที่มีอินทรีย์วัตถุต่างๆ เกิดการเคลื่อนย้ายได้สูงด้วยกระบวนการชะล้าง (run-off) จากฝนสู่น้ำผิวดินและน้ำใต้ดินตามลำดับ (Rafal *et al.*, 2018) ในสิ่งแวดล้อม ในประเทศไทยตามรายงานการตรวจพบ ametryn ในตัวอย่างน้ำจากวิทยาลัยพยาบาลพิพัตน์ จังหวัดลพบุรี ช่วงฤดูฝนปริมาณ 0.01 - 0.03 ไมโครกรัมต่อลิตร (รัศมีและคณะ, 2558) และในต่างประเทศมีรายงานการตรวจพบในตัวอย่างหอยจากแม่น้ำ mogi-guaci รัฐ Sao Paulo ประเทศบราซิล (Analu *et al.*, 2009) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Geng-Ruei chang *et al.* (2016) ตรวจพบในหอย 2 ตัวอย่าง ในเมือง Taichung, Kaohsiung ปริมาณ 19.9 - 32.1 นาโนกรัมต่อกรัม

ในปี 2561 มีปริมาณการนำเข้าคิดเป็นมูลค่าเป็นลำดับที่ 4 ปริมาณ 2,976,726 กิโลกรัม คิดเป็นมูลค่า 503,948,640.99 ล้านบาท (สำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร, 2562) ประโยชน์ใช้หลังวัชพืชงอก (post-emergence) ในอ้อย สับปะรด ข้าวโพด ชา และกาแฟ เพื่อกำจัดวัชพืชใบแคบ เช่น หญ้าตีนนก หญ้าตีนกา หญ้าปากควาย หญ้านกสีชมพู หญ้าตีนติด หญ้าดอกขาว และหญ้ารงนก และวัชพืชประเภทใบกว้าง เช่น ปอวัชพืช กะเพราผี น้านมราชสีห์เล็ก ผักเบี้ยใหญ่ และผักโขมป้องกันวัชพืชและหญ้าใบกว้าง

ข้าวโพดข้าวเหนียวจัดเป็นพืชเศรษฐกิจพื้นบ้านของประเทศไทย นิยมนำมารับประทานกันมากขึ้น เนื่องจากมีรสชาติดี มีความเหนียวนุ่ม ปัจจุบันเป็นสินค้าที่มีความต้องการสูงทั้งในและต่างประเทศ เช่น จีน เวียดนาม ใต้หวัน และเกาหลีใต้ โดยมียอดส่งออกเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดข้าวเหนียวไม่ต่ำกว่าปีละ 70 - 80 ล้านบาท (บุญฤทธิ์ และคณะ, 2559) เกษตรกรนิยมปลูกกันทั่วทุกภาคของประเทศไทย ปลูกมากที่สุดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ รองลงมาคือภาคกลาง และกระจายไปยังภาคอื่นๆ ในพื้นที่ภาคกลางจังหวัดสุพรรณบุรี ที่อำเภอด่านช้างและอำเภออุทุมพร มีพื้นที่ปลูกประมาณ 121,765 ไร่ ให้ผลผลิตรวมประมาณ 110,563 ตัน ผลผลิตเฉลี่ย 689 กิโลกรัมต่อไร่ พันธุ์ที่เกษตรกรนิยมปลูกได้แก่ พันธุ์ข้าวโพดลูกผสมต่างๆ เช่น ข้าวโพดข้าวเหนียวลูกผสมตราครุฑ ข้าวโพดข้าวเหนียวลูกผสมพันธุ์ชัยนาท ข้าวโพดหวานลูกผสม เป็นต้น โดยเกษตรกรจะปลูก 2 รุ่น รุ่นแรกจะนิยมปลูกในเดือนพฤษภาคมหรือเรียกว่า ข้าวโพดรุ่นต้นฝน และอีกรุ่นหนึ่งจะนิยมปลูกในเดือนสิงหาคม ซึ่งเรียกว่า ข้าวโพดรุ่นปลายฝน ซึ่งในขั้นตอนการปลูกก่อนข้าวโพดงอกจะพ่นสารกำจัดวัชพืชประเภทก่อนงอก คือ ametryn (80% WG) อัตรา 400 - 450 กรัม ผสมน้ำ 60 - 80 ลิตร พ่นในพื้นที่ 1 ไร่

ดังนั้น การทดลองนี้จึงมีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาพฤติกรรม ความเสี่ยงอันตรายจากการพ่นสาร ต่อผู้ใช้ ผู้บริโภค และสิ่งแวดล้อม โดยข้อมูลที่ได้จากการศึกษา จะนำไปใช้ในการวางแผนผลกระทบต่อสุขภาพที่เกิดจากการพ่นที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อนักวิจัย และเป็นข้อมูลสำหรับกรมวิชาการเกษตร สามารถนำข้อมูลไปศึกษาต่อยอดเพื่อใช้ในการกำหนดนโยบายสาธารณะของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง โดยมุ่งเน้นเพื่อการแก้ไขปัญหาผลกระทบต่อสุขภาพที่อาจเกิดขึ้นต่อเกษตรกร ประชาชน และสิ่งแวดล้อม เพื่อใช้ประกอบการพิจารณาบริหารจัดการควบคุมวัตถุพิษทางการเกษตรที่มีอันตราย ในการเข้มงวดการใช้ การจำกัดการใช้ หรือการห้ามใช้ เพื่อความปลอดภัยของผู้ใช้ ผู้บริโภค และสิ่งแวดล้อมต่อไป

7. วิธีดำเนินการ

7.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

7.1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในแปลงทดลอง

- 7.1.1.1 อุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่างน้ำ และตะกอน ได้แก่ แครงตักน้ำและตะกอน
- 7.1.1.2 ขวดพลาสติกชนิด PTFE ใส่ตัวอย่างน้ำ และขวดแก้วสำหรับใส่ตัวอย่างตะกอน
- 7.1.1.3 เครื่องมือเก็บตัวอย่างดิน (soil auger) และถุงพลาสติกใส่ตัวอย่างดิน
- 7.1.1.4 เครื่องมือวัดคุณภาพน้ำ
- 7.1.1.5 เครื่องมือที่มีระบบระบุตำแหน่งบนพื้นโลก (Global Positioning System; GPS)
- 7.1.1.6 เครื่องวัดความเร็วลม
- 7.1.1.7 นาฬิกาจับเวลา
- 7.1.1.8 เครื่องพ่นสารกำจัดวัชพืช (spray equipment) แบบเครื่องยนต์สะพายหลัง

(knapsack electrical sprayer)

- 7.1.1.9 แผ่นผ้าฝ้ายขนาด 10x10 ตารางเซนติเมตร จำนวน 16 แผ่น พร้อมเข็มกลัดซ่อนปลาย

7.1.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ

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

7.1.2.2 เครื่องแก้วและอุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมสารมาตรฐาน ได้แก่ auto pipette volumetric pipette และ volumetric flask class A

7.1.3 สารเคมี

7.1.3.1 สารมาตรฐานของอะมีทริน (ametryn) $C_9H_{17}O_4N_5S$ ความบริสุทธิ์ 99.5%

7.1.3.2 ผลิตภัณฑ์สารกำจัดวัชพืชอะมีทริน (ametryn) 80% WG ชื่อการค้า อามีทริน ผลการทดสอบเปอร์เซ็นต์สารออกฤทธิ์ โดย กลุ่มงานพัฒนาระบบตรวจสอบคุณภาพวัตถุเมพิษการเกษตร กลุ่มวิจัยวัตถุเมพิษการเกษตร กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร เท่ากับ 79.7% W/W

7.1.3.3 acetonitrile (CH_3CN), hexane (C_6H_{14}), acetone (C_3H_6O), ethyl acetate ($C_4H_8O_2$)

7.1.3.4 anhydrous magnesium sulfate (Mg_2SO_4) เเผาที่ 500 °C นาน 5 ชั่วโมง

7.1.3.5 sodium chloride (NaCl)

7.1.3.6 sodium hydroxide (NaOH)

7.1.3.7 trisodium citrate dehydrate ($C_6H_5Na_3O_7 \cdot 2H_2O$)

7.1.3.8 disodium hydrogencitrate sesquihydrate ($C_6H_6Na_2O_7 \cdot 1.5H_2O$)

7.1.3.9 primary secondary amines (PSA)

7.1.3.10 carbon SPE bluk sorbent (GCB)

7.1.3.11 น้ำกลั่น (distilled water)

7.1.4 อุปกรณ์ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ ได้แก่ separatory funnel, cylinder, erlenmeyer flask, beaker, round bottom flask, graduated tube, volumetric flask และ auto pipette

7.1.5 เครื่องมือวิทยาศาสตร์ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ

7.1.5.1 เครื่องชั่งไฟฟ้า (electrical balances) ชนิดทศนิยม 5 ตำแหน่ง และ 2 ตำแหน่งที่สอบเทียบแล้ว

7.1.5.2 ตู้เย็นแช่แข็ง (Deep Freezer) ที่ควบคุมอุณหภูมิได้ที่ -20 องศาเซลเซียส

7.1.5.3 เครื่องบดตัวอย่าง (Food processor)

7.1.5.4 เตาเผา (muffle furnace) และตู้อบ (hot air oven)

7.1.5.5 เครื่องผสมตัวอย่าง (vortex mixer)

7.1.5.6 เครื่องปั่นเหวี่ยง (centrifuge) พร้อมด้วย adapter สำหรับหลอดทดลองขนาด 50

มิลลิลิตร

7.1.5.7 เครื่องลดปริมาตร (Rotary Evaporator)

7.1.5.8 เครื่องลดปริมาตรโดยการเป่าด้วยแก๊สไนโตรเจน (nitrogen evaporator)

7.1.5.9 เครื่องเขย่าสำหรับสกัดตัวอย่างน้ำ (separatory funnel shaker)

7.1.5.10 เครื่องเขย่าสำหรับสกัดตัวอย่างดินและแผ่นผ้า (shaker homogenizer)

7.1.5.11 เครื่อง Gas Chromatograph (GC) บริษัท Agilent technologies รุ่น 7890B ซึ่งมีหัวตรวจวัดชนิด Nitrogen-Phosphorus Detector (GC-NPD)

7.2 วิธีการ

7.2.1 การทำแปลงทดลอง

7.2.1.1 การสำรวจแปลงและวางแผนการทดลอง

สำรวจแปลงปลูกข้าวโพดของเกษตรกร เพื่อวางแผนการทดลอง การปฏิบัติงาน และกำหนดเวลาพ่นสารกำจัดวัชพืช ในจังหวัดสุพรรณบุรี ติดต่อขอความร่วมมือจากศูนย์วิจัยพืชไร่สุพรรณบุรี เลขที่ 159 หมู่ 10 ถนนกาญจนาบุรี-อู่ทอง ตำบลจรเข้สามพัน อำเภออู่ทอง จังหวัดสุพรรณบุรี ทำการทดลองระหว่างเดือนตุลาคม 2561 - กันยายน 2562 แปลงขนาด 1 ไร่ 65 ตารางวา ลักษณะแปลงปลูกยกเป็นร่องดินขึ้น ระยะระหว่างแถวปลูก 1 เมตร ระหว่างต้น 0.2 เมตร ใช้น้ำจากคลองชลประทานเข้าแปลง ลักษณะทางกายภาพของดินเป็นดินร่วนปนดินทราย มีอินทรีย์วัตถุสูงปานกลาง (2.5%) ดินมีค่า pH เท่ากับ 6.2 ถึง 6.3 น้ำในร่องน้ำ มีค่า pH เท่ากับ 7 ถึง 8 มีของแข็งละลายน้ำ (Total Dissolved Solid; TDS) ระหว่าง 159 ถึง 400 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ค่าการนำไฟฟ้า (conductivity) เท่ากับ 325 ถึง 800 μs และค่าออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen; DO) ระหว่าง 3.9 ถึง 5.9 มิลลิกรัมต่อลิตร ศัตรูพืชในแปลงข้าวโพด ได้แก่ หนอนเจาะลำต้นและฝักข้าวโพด หนอนกะทู้ และหนอนซอนไบ โรคพืชที่สำคัญ ได้แก่ โรคราน้ำค้าง และโรคใบไหม้แผลใหญ่ และมีการดูแลแปลง โดยรดน้ำแปลงข้าวโพด วันละหนึ่งครั้ง รดวันเว้นวัน ส่วนวันที่พ่นสารให้เว้นรดน้ำเป็นเวลา 2 วัน

7.2.2 การปฏิบัติงานในแปลงทดลอง

7.2.2.1 การเตรียมแปลงทดลอง ทำการติดตั้งป้ายเก็บตัวอย่าง เพื่อกำหนดพื้นที่ในการเก็บตัวอย่าง แปลงทดลองพิกัด 47P, $x = 592813$, $y = 1581558$ มีขนาดกว้าง x ยาว เท่ากับ 32.92×55.38 ตารางเมตร แบ่งออกเป็น 20 แถว โดยกำหนดให้ 2 แถวเป็น 1 ตัวอย่าง รวมทั้งหมด 10 ตัวอย่าง สำหรับเก็บตัวอย่างดิน และตัวอย่างข้าวโพด สำหรับตัวอย่างน้ำและตะกอน กำหนดพื้นที่ในการเก็บตัวอย่างในคลองชลประทาน บ่อพักน้ำ และคลองระบายน้ำ รวมทั้งหมด 7 ตัวอย่าง

7.2.2.2 ปลุกข้าวโพดข้าวเหนียวหวานลูกผสม พันธุ์สวีทไวโอเล็ต F1 วันที่ 26 พฤศจิกายน 2561 ภายในศูนย์วิจัยพืชไร่สุพรรณบุรี พื้นที่ขนาด 1 ไร่ 65 ตารางวา ชื่อทางการค้าครแดง ปริมาณ 1 กิโลกรัม คลุกเมล็ดพันธุ์ด้วยสารเคมี 4 ชนิด คือ เมทาแลกซิล (metalyxyl) 35% XL ปริมาณ 1.65 กรัมต่อกิโลกรัม, ไธแรม (thiram) 80% WP ปริมาณ 0.99 กรัมต่อกิโลกรัม, คาร์บาริล (carbaryl) 85% WP ปริมาณ 0.05 กรัมต่อกิโลกรัม และไธอะมีโธแซม (thiamethoxam) 350FS ปริมาณ 2.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ก่อนปลุกคลุกเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดด้วยปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟิอาร์ 1 จากกลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา

7.2.2.3 เก็บตัวอย่างก่อนพ่นสารกำจัดวัชพืชอะมีทริน (ametryn) ในวันที่ 27 พฤศจิกายน 2561 ไว้เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ก่อนและหลังพ่นสารกำจัดวัชพืชอะมีทริน (ametryn) คือ ดิน จำนวน 10 ตัวอย่าง น้ำและตะกอนจำนวนตัวอย่างละ 7 ตัวอย่าง

7.2.2.4 ศึกษาปริมาณการปนเปื้อนสารพิษบนร่างกายผู้พ่นสาร ทำตามวิธีการทดลอง Methods for measuring dermal exposure; Patch method (US.EPA, 1992 and OECD,1997) โดยก่อนพ่นสารติดแผ่นผ้าฝ้ายขนาด 10×10 ตารางเซนติเมตร บนเสื้อผ้าตามส่วนต่างๆ ของร่างกายผู้พ่นสาร ได้แก่ หมวก แผ่นผ้าปิดจมูก ออกเสื้อ ด้านในอกเสื้อ ป่า สอก หลังเสื้อ ด้านในของหลังเสื้อ ต้นขา หน้าแข้ง และด้านในหน้าแข้ง

7.2.2.5 พ่นสารกำจัดวัชพืชอะมีทริน (ametryn) หลังจากปลุกข้าวโพด 2 วัน ในวันที่ 28 พฤศจิกายน 2561 ด้วยเครื่องพ่นสารแบบสะพายหลังแรงดันน้ำสูงขนาด 25 ลิตร โดยใช้อัตราส่วน 135 กรัม ต่อน้ำ 25 ลิตร รวมทั้งหมด 5 ถัง รวมอัตราส่วนที่ใช้ทั้งหมด 675 กรัมต่อน้ำ 125 ลิตร อัตราการพ่น 4 ลิตรต่อนาที ใช้เวลาทั้งหมด 22 นาที

7.2.2.6 หลังพ่นสารกำจัดวัชพืชอะมีทริน (ametryn) เก็บตัวอย่างแผ่นผ้าที่ติดตามร่างกายผู้พ่นสารแต่ละชิ้นลงในขวดแก้วที่มีฝาปิด น้ำล้างมือ น้ำล้างเท้าของผู้พ่น และสุ่มเก็บตัวอย่างดิน น้ำ และตะกอนที่ระยะเวลาหลังพ่น คือ 0 วัน (2 ชั่วโมงหลังพ่น), 1, 3, 5, 7, 10, 14, 21, 28, 35, 49, 63 และ 77 วัน นำมาตรวจวิเคราะห์ปริมาณสารพิษตกค้าง

7.2.2.7 เก็บตัวอย่างข้าวโพดที่ระยะเก็บเกี่ยวหลังพ่นสาร 68 วัน สุ่มเก็บตัวอย่างข้าวโพดกระจายให้ทั่วทั้งแปลงทดลอง ให้ได้น้ำหนักรวมไม่น้อยกว่า 2 กิโลกรัมจำนวน 10 ตัวอย่าง

7.2.2.8 การเก็บรักษาตัวอย่างเพื่อนำส่งห้องปฏิบัติการ ตัวอย่างทุกชนิดหลังจากเก็บจากแปลงทดลอง จะเก็บในถุงพลาสติกหรือภาชนะที่เหมาะสม มีป้ายบ่งชี้ตัวอย่าง ประกอบด้วย รหัสการทดลอง ชื่อตัวอย่าง ชื่อสารกำจัดวัชพืช วันที่เก็บตัวอย่าง พร้อมทั้งเวลาที่สุ่มเก็บตัวอย่าง ปิดถุงให้แน่นบรรจุลงในกล่องที่บรรจุน้ำแข็ง ก่อนนำไปตรวจวิเคราะห์ ณ ห้องปฏิบัติการ

7.2.2.9 การบันทึกข้อมูล การบันทึกข้อมูลในการปฏิบัติงานในแปลงทดลอง ดังนี้ ระยะเวลาในการพ่น ความเร็วลม ตัวอย่างน้ำ วัดค่า pH ค่าการนำไฟฟ้า (conductivity) ของแข็งละลายน้ำ (Total Dissolved Solid) และค่าออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen) และตัวอย่างดิน วัดค่า pH และหาปริมาณอินทรีย์วัตถุ

7.2.3 สํารวจและเก็บตัวอย่างข้าวโพดจากแหล่งปลูกและจำหน่ายใกล้เคียงกับสถานที่ทำแปลงทดลอง จำนวน 20 ตัวอย่าง ในพื้นที่จังหวัดสุพรรณบุรี นครปฐม ราชบุรี ปทุมธานี และชัยนาท ตัวอย่างละ 2 กิโลกรัม

7.2.4 การปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการ

7.2.4.1 การเตรียมตัวอย่าง

1) ตัวอย่างดิน ก่อนนำไปสกัด นำตัวอย่างดินและตะกอนใส่ภาตสแตนเลสตากไว้ในที่ร่ม ให้มีความชื้นประมาณ 10 - 20 เปอร์เซ็นต์ กรณีที่มีการปนเปื้อนของหินหรือเศษซากพืช ให้แยกออก จากนั้นนำไปบดให้ละเอียด เพื่อให้ตัวอย่างมีความเป็นเนื้อเดียวกัน ทำการชั่งตัวอย่าง ตัวอย่างละ 2 ช้า น้ำหนัก 20 ± 0.05 กรัม ลงในขวด Erlenmeyer flask ขนาด 250 มิลลิลิตร จากนั้นนำตัวอย่างที่ชั่งแล้วไปสกัดและตรวจวิเคราะห์หาปริมาณสารพิษตกค้าง และชั่งตัวอย่างดิน 50 ± 0.05 กรัม ใส่ใน petri dish ที่มีฝาปิด สำหรับนำไปตรวจหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นดิน

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

7.2.5 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน

7.2.5.1 เตรียม stock solution ของสารละลายมาตรฐาน ametryn โดยชั่งสารมาตรฐานให้ได้ น้ำหนักที่แน่นอนใน volumetric flask ขนาด 10 มิลลิลิตร และนำค่า %purity มาคำนวณกลับเป็นน้ำหนักสารที่แท้จริง ให้มีความเข้มข้นของสารมาตรฐานประมาณ 1,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยใช้ ethyl acetate PR grade เป็นตัวทำละลาย

7.2.5.2 เตรียม mix standard solution ของสารละลายมาตรฐาน ametryn ความเข้มข้น 100, 10 และ 5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยการผสม stock solution ของสารละลายมาตรฐาน ametryn จากความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานในข้อ 2.3.2.1 ให้ได้ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานผสม 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาตร 25 มิลลิลิตร โดยใช้อุปกรณ์ดูด-จ่ายสารละลาย (auto pipette) ที่สอบเทียบแล้ว แล้วทำการเจือจางสารละลายมาตรฐานให้มีความเข้มข้นเท่ากับ 5 และ 1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยใช้ ethyl acetate PR grade เป็นตัวทำละลาย

7.2.5.3 เตรียม working mix standard in matrix solution จากความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานในข้อ 7.2.4.2 mix standard solution นำมาเตรียมให้ได้ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานที่ 8 ระดับความเข้มข้น เท่ากับ 0.01, 0.02, 0.03, 0.05, 0.1, 0.3, 0.5 และ 1.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยใช้ matrix solution จากการสกัดตัวอย่างควบคุม (control) เป็นตัวทำละลาย เพื่อสร้างกราฟความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง

ระหว่างความเข้มข้นของสารมาตรฐาน ametryn (แกน x) กับ peak area (แกน y) ซึ่งมีค่า correlation ของ linear regression (r) ไม่น้อยกว่า 0.995

7.2.6 การหาประสิทธิภาพของวิธีการวิเคราะห์

เพื่อทดสอบหาวิธีการที่เหมาะสมในการสกัดตัวอย่างในการทดลอง โดยเติมสารมาตรฐาน ametryn ที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอนในตัวอย่างแผ่นผ้า น้ำ ดิน และข้าวโพดที่ไม่มีสารพิษตกค้างของ ametryn โดยทำการทดสอบที่ความเข้มข้น 0.01, 0.02, 0.03, 0.05, 0.1, 0.3, 0.5 และ 1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ความเข้มข้นละอย่างน้อย 7 ซ้ำ (Eurachem, 2014) แล้วนำมาวิเคราะห์โดยใช้การสกัด การขจัดสิ่งปนเปื้อน และตรวจวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Gas Chromatography ชนิดตัวตรวจวัด Nitrogen-Phosphorus Detector (GC-NPD) ตามวิธีการวิเคราะห์ในข้อ 7.2.7 - 7.2.11 เพื่อทดสอบหาประสิทธิภาพการเอาสารกลับคืน (recovery) สามารถพิสูจน์ความแม่นยำ (accuracy) และความเที่ยง (precision) ของวิธีการสกัด

7.2.7 การสกัดสารกำจัดวัชพืช ametryn ในตัวอย่างแผ่นผ้า (US EPA, 1987)

นำขวด erlenmeyer flask ขนาด 250 มิลลิลิตรที่มีแผ่นผ้า เติม ethyl acetate (AR) 100 มิลลิลิตร ปิดฝาขวด เขย่าให้เข้ากันด้วย voter mixer นาน 1 นาที นำไปใส่เครื่อง shaker ความเร็วรอบ 210 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นยกลงตั้งทิ้งไว้ แล้วกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1 ที่บรรจุ sodium sulfate ไว้ด้านบนลงใน cylinder จดปริมาตร แล้วเทใส่ round bottom flask ขนาด 250 มิลลิลิตร แล้วทำการสกัดซ้ำด้วย ethyl acetate (AR) 25 มิลลิลิตร ปิดฝาขวด เขย่าให้เข้ากันด้วย voter mixer นาน 1 นาที นำไปใส่เครื่อง shaker ความเร็วรอบ 210 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที ปิดฝาขวด เขย่าให้เข้ากันด้วย voter mixer นาน 1 นาที นำไปใส่เครื่อง shaker ความเร็วรอบ 210 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที กรองสารละลายและจดบันทึกปริมาตร จากนั้นนำไปลดปริมาตรด้วยเครื่อง rotary evaporator อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ระเหยจนเกือบแห้ง ปรับปริมาตรด้วย ethyl acetate (PR) ปริมาตร 2 มิลลิลิตรใส่ในขวด vial นำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC-NPD

7.2.8 การตรวจวิเคราะห์ ametryn ในตัวอย่างน้ำ โดยใช้วิธี In-house method based on EPA method 8141A, rev.1, 1994. (US 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 จากนั้นนำไปลดปริมาตรด้วยเครื่อง rotary evaporator ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ระเหยจนเกือบแห้ง ปรับปริมาตรด้วย ethyl acetate (PR) ปริมาตร 1 มิลลิลิตรใส่ในขวด vial นำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Gas Chromatography ชนิดตัวตรวจวัด Nitrogen-Phosphorus Detector (GC-NPD)

7.2.9 การหาความชื้นในตัวอย่างดิน (Back, 1965)

นำตัวอย่างดินที่ซั่งใส่ใน petri dish ที่มีฝาปิด นำเข้าอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 ± 5 องศาเซลเซียส

นาน 24 ชั่วโมง แล้วนำออกมาวางใส่โถดูดความชื้น (desiccator) ที่ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ชั่งและบันทึกน้ำหนักตัวอย่างดิน พร้อม petri dish และนำตัวอย่างอบต่ออีกประมาณ 3 - 4 ชั่วโมง แล้วนำออกใส่โถดูดความชื้น (desiccator) ที่ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ชั่งและบันทึกน้ำหนักครั้งที่ 2 ถ้าน้ำหนักที่หายไปจากการอบครั้งที่ 1 และ 2 แตกต่างกันไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าน้ำระเหยออกจากตัวอย่างหมดแล้ว ถ้ามากกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ จะต้องนำไปอบต่อ 3 - 4 ชั่วโมง จนกระทั่งน้ำหนักที่หายไปแตกต่างกันไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์ จึงจะนำไปคำนวณหาความชื้นและน้ำหนักตะกอนแห้ง

สูตรคำนวณเปอร์เซ็นต์ความชื้น

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความชื้น} = \frac{(\text{น้ำหนักดินก่อนอบ} - \text{น้ำหนักดินหลังอบ}) \times 100}{(\text{น้ำหนักดินหลังอบ} - \text{น้ำหนัก Petri dish})}$$

โดย น้ำหนักดินก่อนอบ มาจาก น้ำหนัก petri dish รวมกับน้ำหนักดิน 50.0 กรัม

น้ำหนักดินหลังอบ มาจาก น้ำหนัก petri dish รวมกับน้ำหนักดินหลังอบที่ชั่งได้

สูตรคำนวณน้ำหนักดินและตะกอนแห้ง

$$\text{น้ำหนักดินแห้ง (กรัม)} = \frac{\text{น้ำหนักดินเปียก} - (\text{น้ำหนักดินเปียก} \times \% \text{ความชื้นดิน})}{100}$$

100

7.2.10 การสกัดสารกำจัดวัชพืช ametryn ในตัวอย่างดินและตะกอน ประยุกต์ใช้วิธี ultrasonic (Babic, s. et. al., 1998)

นำตัวอย่างดินและตะกอนที่ชั่งไว้หนัก 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)

7.2.11 การสกัดสารกำจัดวัชพืช ametryn ในตัวอย่างข้าวโพด ประยุกต์ใช้วิธี EN Extraction: EN Method 15662 (Zeying et al. 2015)

นำตัวอย่างข้าวโพดที่ชั่งไว้หนัก 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.MgSO₄) 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.MgSO₄) 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 ด้วยเครื่อง Gas Chromatography ชนิดตัวตรวจวัด Nitrogen-Phosphorus Detector (GC-NPD)

7.2.11 การวิเคราะห์หาปริมาณสารพิษตกค้าง ametryn ด้วยเครื่อง GC/NPD

ตรวจวิเคราะห์สารพิษตกค้างตกค้าง ametryn ตามวิธีการในข้อ 7.2.6 และ 7.2.10 ด้วยเครื่อง GC/NPD โดยกำหนดค่า Condition ของเครื่องวิเคราะห์ดังนี้

GC column	: column DB 1701 capillary, 30 m x 0.25 mm id, 0.25 µm film thickness
Oven temperature program	; Run time 20 min
Initial temp	: 80 °C hold 1 min
Rate	: 20 °C /min to 194 °C hold 1 min
Rate	: 2.0 °C/min to 197 °C hold 1 min
Rate	: 5.0 °C/min to 200 °C hold 1 min
Rate	: 1.0 °C/min to 210 °C hold 1 min
	: 5.0 °C/min to 250 °C hold 3 min
Flow rate	0.3 ml/min
Injection mode	: Splitless
Temperature condition	Detertor 250 °C, Inlet 230 °C
Make up gas	: Nitrogen flow 60 ml/min
Carrier gas	: Helium flow 1.2 ml/min
Injection volume	: 1 µl

ระยะเวลาและสถานที่ทำการทดลอง

ระยะเวลา เดือนตุลาคม 2561 ถึงเดือนกันยายน 2562

สถานที่ทำการทดลอง

1) แปลงทดลองข้าวโพดของศูนย์วิจัยพืชไร่สุพรรณบุรี

2) กลุ่มงานวิจัยผลกระทบจากการใช้วัตถุมีพิษการเกษตร กลุ่มวิจัยวัตถุมีพิษการเกษตร กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร เขตจตุจักร กรุงเทพฯ

8. ผลการทดลองและวิจารณ์

8.1 ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพของวิธีการวิเคราะห์

การทดสอบประสิทธิภาพของวิธีตรวจวิเคราะห์สารพิษตกค้าง ametryn) สามารถพิสูจน์ความแม่นยำ (accuracy) ของวิธีการสกัด ประเมินค่าจาก %recovery โดยผลของ %recovery อยู่ในช่วง 75 – 98% พบว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้คือ 70 – 120% (SANCO, 2013) สำหรับการพิสูจน์ความเที่ยง (precision) ประเมินจากค่าร้อยละส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD) พบว่าอยู่ในช่วง 3-6 % ซึ่งอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้คือ $\leq 20\%$ (ตารางที่ 1) ดังนั้นวิธีการตรวจวิเคราะห์ดังกล่าว สามารถนำมาสกัดตัวอย่างแผ่นผ้า น้ำ ดิน และข้าวโพดจากแปลงทดลองได้อย่างถูกต้อง และแม่นยำ โดยมีขีดจำกัดการตรวจวัด (Limit of detection, LOD) ในตัวอย่างแผ่นผ้า น้ำ ดิน และข้าวโพด เท่ากับ 0.004 และ 0.020 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (ประเมินค่า LOD เท่ากับ $3XSD$; Eurachem, 2014) และขีดจำกัดการตรวจวัดเชิงปริมาณ (Limit of Quantitation, LOQ) ในตัวอย่างแผ่นผ้า น้ำ ดิน และข้าวโพด เท่ากับ 0.01 และ 0.05 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ประเมินค่า LOD เท่ากับ $10XSD$; Eurachem, 2014)

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์สารพิษตกค้าง ametryn

No	ametryn ใน ตัวอย่าง	Linearity/ Range	Spike level	Replicate	%Recovery	%RSD	LOD (3SD) cal	LOQ (10SD) cal	
		(mg/kg)	(mg/kg)	(n)	(n = 10)	SD			
1	แผ่นผ้า	0.01 – 1.00	0.01	10	98	2.68	3	0.004	0.015
2	น้ำ	0.01 – 1.00	0.02	10	88	2.24	3	0.006	0.020
3	ดิน	0.01 – 1.00	0.01	10	86	4.72	6	0.004	0.010
4	ข้าวโพด	0.01 – 1.00	0.05	10	84	3.20	4	0.020	0.050

ศึกษาและประเมินความเสี่ยงจากการใช้สารกำจัดวัชพืช ametryn ในไร่ข้าวโพดต่อผู้ใช้ ผู้บริโภค และสิ่งแวดล้อม ภายหลังจากการพ่น เก็บตัวอย่างแผ่นผ้าฝ้ายที่ติดตามส่วนต่างๆ ของร่างกายผู้พ่น รวมทั้งน้ำล้างมือและน้ำล้างเท้า นอกจากนี้ยังสุ่มเก็บตัวอย่างดิน น้ำ และตะกอน ภายหลังจากการพ่นสาร 2 ชั่วโมง 1, 3, 5, 7, 10, 14, 21, 28, 35, 49, 63 และ 77 วัน และตัวอย่างข้าวโพดที่ระยะเก็บเกี่ยวที่ 68 วัน รวมทั้งสุ่มเก็บตัวอย่างข้าวโพดจากจุดรวบรวมผลผลิตก่อนส่งไปจำหน่าย เพื่อตรวจวิเคราะห์หาปริมาณสารพิษตกค้าง ผลการศึกษาสรุปได้ดังนี้

8.2 ผลการศึกษาปริมาณสารพิษปนเปื้อนบนร่างกายผู้พ่น ametryn ในไร่ข้าวโพด

ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารพิษตกค้าง ametryn บนแผ่นผ้าที่ติดตามส่วนต่างๆ ของร่างกายผู้พ่น พบการปนเปื้อนมากบริเวณหลังด้านหลังนอกปริมาณ 2,304.869 ไมโครกรัมต่อ 100 ตารางเซนติเมตร เนื่องจากในขณะพ่นสาร ถึงที่ใช้ในการพ่นเกิดการรั่วซึม ทำให้มีการปนเปื้อนมากที่สุด รองลงไปเป็น ต้นขาด้านใน หน้าแข้ง และข้อศอก ตามลำดับ ดังตารางที่ 2 ส่วนน้ำล้างมือและน้ำล้างเท้า ปนเปื้อนปริมาณ 1,381.358 และ 783.613 ไมโครกรัม ตามลำดับ

ตารางที่ 2 ปริมาณสารกำจัดวัชพืชอะมีทริน (ametryn) บนแผ่นผ้าที่ติดบนร่างกายผู้พ่นสาร

	ส่วนของร่างกาย ($\mu\text{g}/100 \text{ cm}^2$)												
	หมวก	จุก	อกด้านนอก	อกด้านใน	ไหล่	ข้อศอก	หลังด้านใน	หลังด้านนอก	ต้นขาด้านนอก	ต้นขาด้านใน	หน้าแข้ง	น้ำล้างมือ	น้ำล้างเท้า
คนพ่น	24.223	65.002	32.063	11.759	104.294	1,224.493	1,039.233	2,304.869	663.876	1,643.257	1,607.433	1,381.358	783.613

แผ่นผ้า ; Limit of Detection; LOD = 0.004 $\mu\text{g}/100 \text{ cm}^2$; Limit of Quantification; LOQ = 0.015 $\mu\text{g}/100 \text{ cm}^2$

น้ำล้างมือ น้ำล้างเท้า ; Limit of Detection; LOD = 0.006 $\mu\text{g}/\text{L}$; Limit of Quantification; LOQ = 0.02 $\mu\text{g}/\text{L}$

ปริมาณ ametryn ที่ปนเปื้อนบนแผ่นผ้าจากส่วนต่างๆ ของร่างกาย รวมทั้งปนเปื้อนที่มือและเท้า เมื่อนำมาคำนวณเป็นปริมาณสารพิษต่อพื้นที่ทั้งหมดของร่างกาย (U.S.EPA 1987,1992) ที่ได้จากการทดลองเพื่อประเมินปริมาณ ametryn ปนเปื้อนบนร่างกาย (Potential Exposure) ภายหลังการพ่น คิดเป็นการปฏิบัติงานตามปกติในแต่ละวัน พบว่ามีปริมาณ ametryn ปนเปื้อน 12.8161 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัวต่อวัน

นำข้อมูลปริมาณสาร ametryn ที่ปนเปื้อนบนแผ่นผ้า ที่ได้จากการศึกษามาคำนวณเพื่อประเมินปริมาณสาร ametryn บนร่างกาย (Potential Exposure) เมื่อคิดเป็นการปฏิบัติงานทั้งวัน แล้วนำไปประเมินหาปริมาณสารพิษที่ดูดซึมเข้าสู่ร่างกาย (Absorption Dose) จากนั้นเปรียบเทียบกับค่า NOAEL ซึ่งเป็นค่าทางด้านพิษวิทยาของการทำให้เกิดพิษ แล้วคำนวณหาค่าขอบเขตความปลอดภัยจากการได้รับสารพิษ (MOE) ผลการประเมินระดับความเสี่ยงจากปริมาณการได้รับสัมผัสสาร ametryn เข้าสู่ร่างกายผู้พ่นสารในแปลงปลูกข้าวโพด โดยใช้เกณฑ์การประเมินอ้างอิงของ Pesticide Risk Assessment (US EPA, 2011) กำหนดค่า NOAEL มีค่าเท่ากับ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัวต่อวัน (US EPA, 2011) ค่าขอบเขตความปลอดภัยจากการได้รับสารพิษ (MOE) เท่ากับ 123.85 ซึ่งค่า MOE มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 100 ถือว่าอยู่ในระดับความเสี่ยงที่ยอมรับได้ ดังตารางที่ 3 และการคำนวณแสดงในตารางที่ 4 โดยเกณฑ์ค่า $\text{MOE} \geq 100$ ถือว่าเป็นระดับความเสี่ยงที่ยอมรับ (US.EPA, 2011)

ตารางที่ 3 ระดับความเสี่ยงจากปริมาณการได้รับ ametryn เข้าสู่ร่างกายของผู้พ่นสารในแปลงปลูกข้าวโพด

ผู้ปฏิบัติงาน	ametryn (mg/kg bw/day)	%Absorption	Absorbed dose (mg/kg bw/day)	NOAEL (mg/kg)	MOE	ระดับความเสี่ยง
ผู้พ่นสาร	12.8161	6.3	0.8074	100	123.85	ต่ำ

หมายเหตุ NOAEL = No Observed Adverse Effect Level คือ ค่าสูงสุดของปริมาณสารพิษที่ใช้ในการทดลองที่ไม่ทำให้เกิดผลอันไม่พึงประสงค์ทางพิษวิทยาของ ametryn

MOE = Margin of Exposure คือ ค่าขอบเขตความปลอดภัยจากการได้รับสารพิษ ค่ายิ่งต่ำยิ่งมีความเสี่ยงสูง

ตารางที่ 4 ปริมาณ ametryn บนแผ่นผ้าที่ปนเปื้อนบนร่างกาย น้ำล้างมือ และ น้ำล้างเท้าของผู้พ่นสาร

ตำแหน่งติดแผ่นผ้า (region of body)	พื้นที่ผิว (surface area) (cm ²)	ปริมาณปนเปื้อน บนแผ่นผ้า (µg/100 cm ²)	Penetration factor*	ปริมาณปนเปื้อน ที่สัมผัสร่างกาย*
หัว - หมวก	1300	24.22	1.00	579.69
- จมูก		65.00		
บ่า 2	2910	32.06	0.21	192.25
อก - ใน	3550	11.76	0.10	375.15
- นอก		104.29		
ศอก 2	1210	1224.49	0.21	3,052.85
หลัง - ใน	3550	1039.23	0.31	25,427.75
- นอก		2304.87		
ต้นขา 2	3820	663.88	0.97	24,599.27
แข้ง - ใน 2	2380	1643.26	0.51	19,339.25
- นอก 2		1607.43		
มือ				1,381.36
เท้า				783.61
รวมปริมาณสารพิษปนเปื้อนร่างกายระหว่างการฉีดพ่นนาน 22 นาที				75,731.45
ปริมาณสารพิษปนเปื้อนร่างกายระหว่างการฉีดพ่นนาน 22 นาที ต่อวัน				666,436.80
เกษตรกรมีน้ำหนักเฉลี่ย 52 kg จึงมีปริมาณสารพิษปนเปื้อนร่างกาย ต่อน้ำหนักตัว ต่อวัน				12.8161 mg/kg bw/day

8.2 ผลการศึกษาปริมาณสารพิษตกค้าง ametryn ในน้ำ ดิน และตะกอนหลังการพ่น

หลังจากพ่นสารกำจัดวัชพืช ametryn ได้สัมผัสกับตัวอย่างน้ำ ตะกอนรอบแปลงทดลอง รวมทั้งดิน ในแปลงทดลองข้าวโพด มาตรวจวิเคราะห์หาปริมาณสารพิษตกค้าง ผลการตรวจวิเคราะห์น้ำ ดิน และตะกอน ตรวจพบการตกค้างของสาร ametryn ในน้ำทุกตัวอย่าง ตั้งแต่หลังพ่น จนถึง 77 วัน ปริมาณ 0.080 - 0.858 ไมโครกรัมต่อลิตร มีปริมาณสารพิษตกค้างสูงสุดหลังพ่น 2 ชั่วโมง ในดินปริมาณ <0.01 - 1.655 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม พบการตกค้างสูงสุดหลังพ่น 1 วัน และในตะกอนปริมาณ <0.01 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม พบในปริมาณค่อนข้างต่ำ

ตารางที่ 5 ปริมาณสารพิษ ametryn ในน้ำ ดิน และตะกอนหลังพ่น

เวลาหลังการพ่น	ปริมาณสารพิษตกค้าง ametryn เฉลี่ย (N = 10)
----------------	--

(วัน)	น้ำ (µg/L)	ดิน (mg/kg)	ตะกอน (mg/kg)
0 ¹	0.858	0.620	<LOQ ²
1	0.806	1.655	<LOQ
3	0.455	0.255	<LOQ
5	0.427	0.116	<LOQ
7	0.523	0.101	ND ³
14	0.384	0.021	ND
21	0.243	0.011	ND
28	0.220	0.021	ND
35	0.182	0.011	ND
49	0.148	0.012	ND
63	0.040	0.067	ND
77	0.080	<LOQ ²	ND

หมายเหตุ: 1/ ระยะเวลา 2 ชั่วโมงหลังการพ่นสาร ametryn

2/ LOQ ในดินและตะกอน เท่ากับ 0.01 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

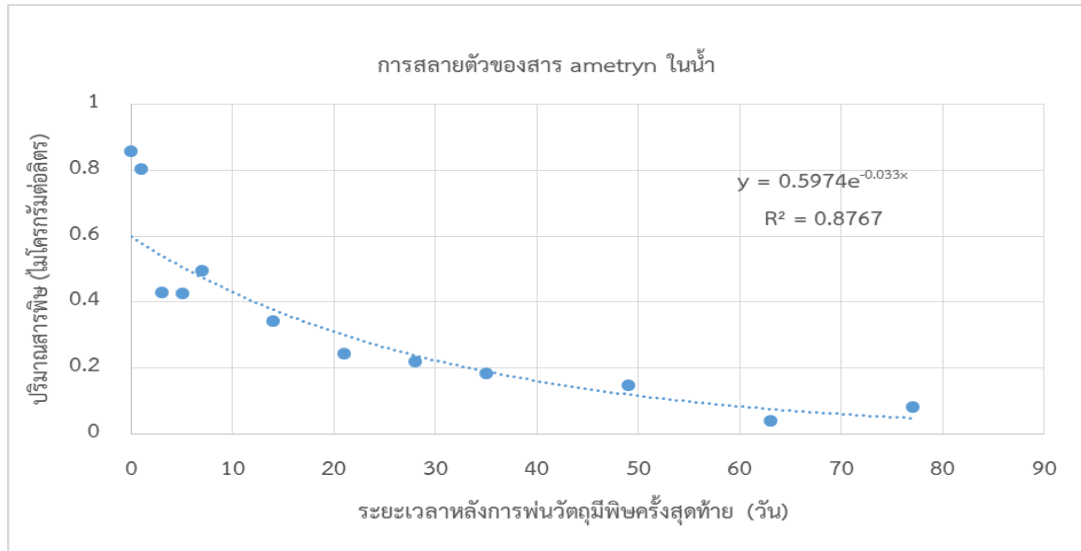
3/ ND คือ not detectable

LOQ ในน้ำ เท่ากับ 0.02 ไมโครกรัมต่อลิตร

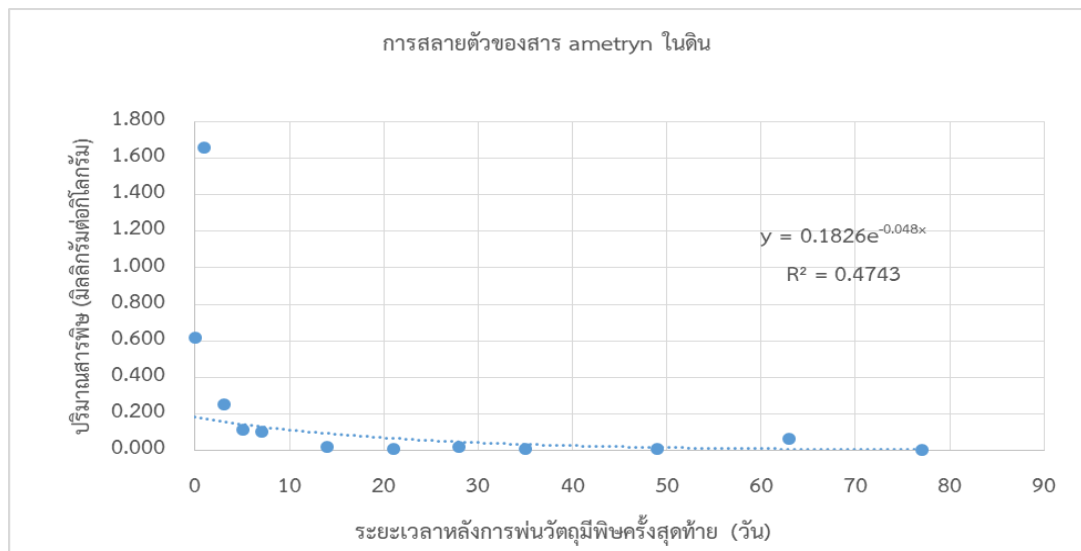
นำข้อมูลที่ได้จากตารางที่ 5 ไปคำนวณหาค่าการสลายตัวของ ametryn และหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารพิษตกค้างกับระยะเวลาหลังการพ่นสารพิษในช่วงเวลาต่างๆ จะได้สมการการสลายตัวของสารพิษในรูป Exponential ดังภาพที่ 1 และ 2 ซึ่งมีสมการการสลายตัวเป็น $y = ae^{bx}$ จากสมการนำไปคำนวณระยะเวลาที่สารพิษสลายตัวจนลดลงมีปริมาณครึ่งหนึ่ง (half life; $t_{1/2}$) ด้วยสมการ $t_{1/2} = -0.693/b$ จากภาพที่ 1 และ 2 จากผลการคำนวณหาค่าครึ่งชีวิต (half life; $t_{1/2}$) ของ ametryn ในน้ำและดิน มีค่าเท่ากับ 21 และ 15 วัน ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานการตรวจพบ ametryn ในตัวอย่างน้ำจากวิทยาลัยพยาบาลพิจิตร จังหวัดลพบุรี ช่วงฤดูฝนปริมาณ 0.01 - 0.03 ไมโครกรัมต่อลิตร (รัศมีและคณะ, 2558) สำหรับในต่างประเทศมีรายงานงานวิจัยของ Cerdeira *et al* (2005) ที่ตรวจวิเคราะห์พบการปนเปื้อน ametryn ในน้ำผิวดิน ในรัฐเซาเปาโล ประเทศบราซิล ปริมาณ 0.17 - 0.23 ไมโครกรัมต่อลิตร เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Analu *et al* (2009) พบการตกค้างของสาร ametryn ในตัวอย่างน้ำปริมาณ 50 นาโนกรัมต่อลิตร ตะกอนปริมาณ 0.13 นาโนกรัมต่อกรัม และหอยปริมาณ 1.44 นาโนกรัมต่อกรัม จากแม่น้ำ Mogi-Guaçu และในตะกอนจากแม่น้ำ Pardo ปริมาณ 0.56 นาโนกรัมต่อกรัม ในประเทศบราซิล สำหรับตัวอย่างตะกอนในแปลงทดลอง ตรวจพบสารพิษต่ำกว่า LOQ ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.01 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

จากการประมวลข้อมูลการตกค้างของสาร ametryn ที่ได้จากการตรวจวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ ดิน และตะกอน พบว่าสารพิษจะสลายตัวและมีปริมาณลดลงตามลำดับเป็นส่วนใหญ่ ยกเว้นบางช่วงเวลาหลังพ่นที่นานขึ้น กลับตรวจพบปริมาณเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากน้ำที่ใช้ในแปลงทดลองมาจากคลองชลประทาน ที่พื้นที่บริเวณโดยรอบ

เกษตรกรปลูกอ้อยและมันสำปะหลัง ที่มีการใช้สาร ametryn ในแปลง จึงเป็นไปได้ที่จะเกิดการเคลื่อนย้าย ametryn จากพื้นที่เพาะปลูกรอบๆ ปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำ และอีกส่วนหนึ่งอาจเกิดจากฝนตกหลังวันที่พ่นสารพิษ น้ำฝนจึงชะสารพิษจากดินลงในคูน้ำ ทำให้ปริมาณสาร ametryn ที่พบในน้ำและดินตั้งตารางที่ 5 มีความแปรปรวน โดยมีปริมาณสารพิษเพิ่มมากขึ้นในบางช่วงเวลา



ภาพที่ 1 แสดงปริมาณสารพิษตกค้าง ametryn ในน้ำ



ภาพที่ 2 แสดงปริมาณสารพิษตกค้าง ametryn ในดิน

8.3 ผลการศึกษาการศึกษาการสลายตัวและปริมาณสารพิษตกค้าง ametryn ในข้าวโพด

ระยะการเก็บเกี่ยวข้าวโพดเว้นช่วงห่างจากการพ่นครั้งสุดท้าย 68 วัน โดยสุ่มเก็บตัวอย่างข้าวโพดตลอดทั้งแปลง 10 ตัวอย่าง และตัวอย่างข้าวโพดจากแหล่งผลิตและแหล่งจำหน่ายจำนวน 20 ตัวอย่าง เพื่อนำไปสกัดหาสารพิษตกค้าง ametryn ในข้าวโพดด้วยเครื่อง Gas Chromatography ชนิดตัวตรวจวัด Nitrogen-Phosphorus Detector (GC-NPD) ผลการตรวจวิเคราะห์ไม่พบสารพิษตกค้างในตัวอย่างข้าวโพดทั้งหมดที่ระดับ LOQ 0.05 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Zeying *et al.* (2015) ในการสุ่มตรวจตัวอย่างสารกำจัดศัตรูพืช 200 ชนิด ในตัวอย่างข้าวโพด 20 ตัวอย่าง พบปริมาณสารพิษตกค้าง dichlorvos 9.58 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม แต่ไม่พบสารกำจัดวัชพืชในทุกตัวอย่าง

9. สรุปผลการทดลองและคำแนะนำ

การประเมินความเสี่ยงจากการใช้สารกำจัดวัชพืชอะมีทริน (ametryn) สูตร 80% WG ในแปลงข้าวโพดด้วยอัตรา 675 กรัมต่อน้ำ 125 ลิตร พ่นสารด้วยเครื่องพ่นแบบสะพายหลังแรงดันน้ำสูง หลังปลูกข้าวโพด 2 วัน ใช้เวลาพ่นนาน 22 นาที ภายหลังจากพ่น พบการปนเปื้อน ametryn บนร่างกายในปริมาณ 12.8161 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัวต่อวัน นำไปประเมินความเสี่ยงได้ค่า MOE สูง แสดงว่าผู้พ่นมีระดับความเสี่ยงอยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้ นอกจากนี้ยังเกิดการปนเปื้อนและสะสมในสิ่งแวดล้อม ส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่บริเวณใกล้เคียง ซึ่งมีปัจจัยจากทิศทางลมในขณะพ่น ปริมาณน้ำฝน แสง และอุณหภูมิอากาศ เป็นตัวแปรสำคัญในการสลายตัวของสารพิษ จากการศึกษาพบสารพิษปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำใกล้เคียงปริมาณ 0.080 - 0.858 ไมโครกรัมต่อลิตร ดิน ปริมาณ <math><0.01 - 1.655</math> มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และตะกอนปริมาณ <math><0.01</math> มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม มีปริมาณค่อนข้างต่ำ ค่าครึ่งชีวิต (half life; $t_{1/2}$) ของ ametryn ในน้ำเท่ากับ 21 วัน และในดินเท่ากับ 15 วัน รวมทั้งอาจถ่ายทอดสู่ห่วงโซ่อาหารไปยังพืชน้ำและสัตว์น้ำได้ ซึ่งสาร ametryn มีความเป็นพิษสูงต่อปลาและหอยที่เป็นอาหารของมนุษย์ ถึงแม้ว่าผลการวิเคราะห์ปริมาณสารพิษตกค้าง ametryn ในข้าวโพดที่ระยะเก็บเกี่ยวซึ่งห่างจากการพ่นที่ 68 วัน จากแหล่งผลิตและแหล่งจำหน่าย ตรวจไม่พบปริมาณสารพิษตกค้างที่ระดับ LOQ 0.05 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ดังนั้นการบริโภคข้าวโพดจะไม่มีความเสี่ยงต่อการรับสารพิษเข้าสู่ร่างกาย และสิ่งสำคัญที่สุด เกษตรกรควรระมัดระวัง ต้องปฏิบัติตามคำแนะนำบนฉลากอย่างเคร่งครัด เพื่อเป็นการป้องกันอันตรายจากการใช้วัชฎมีพิษ การเกษตร นอกจากนี้ประเทศไทยควรมีการเฝ้าระวังการเคลื่อนย้ายของ ametryn ในสิ่งแวดล้อม ที่อาจส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศได้ในอนาคต รวมทั้งเพิ่มมาตรการเข้มงวดการใช้สารกำจัดวัชพืช เช่น การขึ้นทะเบียนผู้ใช้สารกำจัดวัชพืช ฝึกอบรม และถ่ายทอดความรู้ด้านการใช้สารกำจัดวัชพืชแก่ร้านค้าจำหน่ายวัชฎมีพิษการเกษตร รวมถึงเกษตรกรผู้ใช้อย่างเป็นระบบ โดยเฉพาะการใช้ในพื้นที่ผลิตพืชเศรษฐกิจของประเทศ

10. การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

10.1 นำข้อมูลที่ได้ไปแนะนำเกษตรกรในการใช้สาร ametryn ในแหล่งปลูกข้าวโพดได้อย่างถูกต้องและเหมาะสม เพื่อป้องกันการเกิดปัญหาสารพิษตกค้างที่ส่งผลกระทบต่อทั้งสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของผู้บริโภค

10.2 นำผลการทดลองที่ได้ไปประกอบพิจารณาในการบริหารความเสี่ยงจากการใช้สาร ametryn

10.3 ถ่ายทอดองค์ความรู้จากการวิจัยโดยการเผยแพร่ในรายงานผลการวิจัยประจำปี และ รายงานการประชุมวิชาการกรมวิชาการเกษตร

11. คำขอบคุณ

ขอขอบคุณศูนย์วิจัยพืชไร่สุพรรณบุรีเจ้าของแปลงทดลองข้าวโพด กลุ่มงานพัฒนาระบบตรวจสอบคุณภาพวัตถุดิบพืชการเกษตร กลุ่มวิจัยวัตถุดิบพืชการเกษตร ที่ให้ความอนุเคราะห์วิเคราะห์ผลิตภัณฑ์สารกำจัดวัชพืชอะมีทริน (ametryn) กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา ที่ให้ความอนุเคราะห์ปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟิอาร์ 1 ในการคลุกเมล็ดข้าวโพดก่อนปลูก และกลุ่มวิจัยเกษตรเคมี ที่ให้ความอนุเคราะห์ชุดตรวจสอบปริมาณธาตุอาหารในดิน กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร ชุดทำยขอขอบคุณข้าราชการ พนักงานราชการของกลุ่มงานวิจัยผลกระทบจากการใช้วัตถุดิบพืชการเกษตร กลุ่มวิจัยวัตถุดิบพืชการเกษตร กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร ที่ได้ร่วมมือในการทำวิจัยครั้งนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

12. เอกสารอ้างอิง

- บุญฤทธิ์ สิ้นค้างาม, วรชมน มงคล และ สุรศักดิ์ วัฒนพันธุ์สอน. 2559. การพัฒนาสายพันธุ์แท้ข้าวโพดข้าวเหนียวต้านทานต่อโรคใบไหม้ แผลใหญ่ในโครงการปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดข้าวเหนียวลูกผสม. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 24 ฉบับที่ 5 (ฉบับพิเศษ).
- รัศมี แสงศิริมงคลยิ่ง, มลิสสา เวชยานนท์, ปัทสรา คุณเลิศ และพรชนก ชโลปกรณ์. 2558. การศึกษาการปนเปื้อนของสารกำจัดศัตรูพืชสู่สิ่งแวดล้อมในวิทยาลัยพยาบาลพิจิตร. วารสารวิจัยราชภัฏพระนคร ปีที่ 10 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม-ธันวาคม 2558.
- สำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร. 2562. รายงานสรุปการนำเข้าวัตถุอันตรายทางการเกษตรปี พ.ศ. 2561. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.doa.go.th/ard/wp-content/uploads/2019/04/HASTAT58_01 (19 พ.ย. 2562).
- Ana C.F. Vida, David J. Cocovi-Solberg, Elias A.G. Zagatto and Manuel Miró. 2016. Rapid estimation of readily leachable triazine residues in soils using automatic kinetic bioaccessibility assays followed by on-line sorptive clean-up as a front-end to liquid chromatography. *Talanta*. 156-157: 71–78.
- Analú E. Jacomini, Plinio B. de Camargo, Wagner E. P. Avelara and Pierina S. Bonato. 2009. Determination of Ametryn in River Water, River Sediment and Bivalve Mussels by Liquid Chromatography-Tandem Mass Spectrometry. *J. Braz. Chem. Soc.*, Vol. 20, No. 1, 107-116.
- Babic, S., Petrovic, M. and Kastelan-Macan., K. 1998. Ultrasonic solvent extraction of Pesticides from soil. *Journal of Chromatography Analysis*. Vol. 823 :1-2, Oct. 1998: 3-9.

- Back, C.A. 1965. "Method of soil analysis: part I physical and mineralogical properties". American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA.
- Cerdeira, A. L., Santos, N. A. G., Pessoa, M. C. P. Y.; Gomes, M. A. and Lanchote, V. L.; *J.* 2005. Herbicide leaching on a recharge area of the Guarany aquifer in Brazil. *Environ Sci Health, Part B.* 40: 159.
- Eurachem. 2014. *The Fitness for Purpose of Analytical Methods: A Laboratory Guide to Method Validation and Related Topics.*
- Geng-Ruei Chang, Hui-Shan Chen and Feng-Yi Lin. 2016. Analysis of banned veterinary drugs and herbicide residues in shellfish by liquid chromatography-tandem mass spectrometry (LC/MS/MS) and gas chromatography-tandem mass spectrometry (GC/MS/MS). *Marine Pollution Bulletin* 113: 579–584.
- US EPA, 1994. Organophosphorus compound by Gas Chromatography capillary column technique. In-house method. 2005. EPA method 8141A, Revision 1.
- Rafał Szewczyk, Anna Ksmierska and Przemysław Bernat. 2018. Ametryn removal by *Metarhizium brunneum*: Biodegradation pathway proposal and metabolic background revealed. *Chemosphere* 190: 174 -183.
- Sabir Kha, Sajjad Hussainc, Ademar Wonga, Marcos Vinicius Foguel, Luís Moreira Gonçalvesd, Maria Isabel Pividori Gurgoe and Maria del Pilar Taboada Sotomayor. 2018. Synthesis and characterization of magnetic-molecularly imprinted polymers for the HPLC-UV analysis of ametryn. *Reactive and Functional Polymers* 122: 175–182.
- SANCO. 2013. Guidance document on analytical quality control and validation procedures for pesticide residues analysis in food and feed. European Union, Health and Consumer Protection Directorate General.
- Tamires Santosa, Graziela Cancianb, Daniella N.R. Neodinib, Deiviston R.S. Manob, Cristina Capuchob, Fabricia S. Predesc, Renata Barbierib, Camila A. Oliveiraa , Acácio A. Pigosob , Heidi Dolderd and Grasiela D.C. Severi-Aguiara. 2015. Toxicological evaluation of ametryn effects in Wistar rats. *Experimental and Toxicologic Pathology* 67: 525–532.
- US. EPA. 1987. Pesticide Assessment Guidelines, Subdivision K. Exposure: Re-entry Protection, US.EPA. Washington D.C.
- US. EPA. 1992. Dermal exposure assessment: principles and application, U.S. Environmental Protection Agency, Washington D.C.
- US. EPA. 2011. Exposure factors handbook, final report, EPA/600-R09/052F, 2011, from <http://www.epa.gov/ncea/efh/pdfs/efh-chapter08.pdf>
- 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.

