การประเมินผลกระทบสารกำจัดวัชพืชพาราควอตตกค้างในไร่ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ต่อสุขภาพเกษตรกร

Evaluation of the effects of paraquat residues in maize fields on the health of farmers

ปภัสรา คุณเลิศ *สิริพร เหลืองสุชนกุล* *ประกิจ จันทร์ติ๊บ* *มลิสา เวชยานนท์*

Paphatsara Khunlert *Siriporn Luengsuchonkul* *Prakit Chuntib* *Malisa Wetchayanon*

กลุ่มวิจัยวัตถุมีพิษการเกษตร กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร

ABSTRACT

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

Keywords : Impact assessment, Paraquat herbicide, Soil, Water, Health

บทคัดย่อ

ประเมินผลกระทบของสารกำจัดวัชพืชพาราควอต (paraquat) ตกค้างในไร่ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ทำการประเมินความเสี่ยงจากสารกำจัดวัชพืช paraquat ตกค้างในน้ำ และดิน ที่มีผลต่อสุขภาพของเกษตรกร ระหว่างเดือนตุลาคม 2562 ถึงเดือนกันยายน 2563 ได้ศึกษาระดับครัวเรือน โดยเลือกอำเภอที่เกษตรกรมีอาชีพปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในเชิงพาณิชย์ ในพื้นที่อำเภอหนองหม่วง จังหวัดลพบุรี อำเภอพุทธบาท และอำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี ใช้วิธีสัมภาษณ์เกษตรกร จำนวน 58 ราย โดยคัดเลือกตัวอย่างเกษตรกรแบบเฉพาะเจาะจงจำนวน 26 ราย ใช้วิธีการสำรวจ สุ่มเก็บตัวอย่าง น้ำ และดิน ร่วมกับการวิเคราะห์ทางห้องปฏิบัติการ ประเมินความเสี่ยงสารพิษตกค้าง ด้วยค่าดัชนีบ่งชี้อันตราย (Hazard quotient, HQ) และประเมินผลกระทบของสารกำจัดวัชพืช paraquat ที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ด้วยค่าดัชนีบ่งชี้อันตรายต่อสิ่งแวดล้อม (Risk Quotient (RQ) โดยสุ่มเก็บตัวอย่าง น้ำ และดิน รวมทั้งหมด 38 ตัวอย่าง ประกอบด้วยน้ำ 12 ตัวอย่าง และดิน 26 ตัวอย่าง ในฤดูฝน ช่วงเดือนกรกฎาคมมาตรวจวิเคราะห์หาสารพิษตกค้างด้วยเครื่อง Spectrophotometer และ Ultra-High Performance Liquid Chromatograph (UHPLC) ผลการตรวจวิเคราะห์หาปริมาณ paraquat พบสารตกค้าง 26 ตัวอย่าง (68%) ในน้ำไม่พบการตกค้างในทุกตัวอย่าง ในดิน ตรวจพบสาร paraquat ในทุกตัวอย่าง ปริมาณ 1.42 – 11.51 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จากแปลงข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในอำเภอพุทธบาท

จังหวัดสระบุรี นำมาประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพด้วยค่า HQ ในช่วงอายุ 6 – 12 ปี ได้ค่าสูงสุดเท่ากับ 1.53×10^{-2} และช่วงอายุ 70 ปี ได้ค่าสูงสุดเท่ากับ 3.93×10^{-3} ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 1 อยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้ และทำการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้วยค่า RQ มีค่าเท่ากับ 1.42×10^{-2}– 1.15×10^{-1} มีค่าน้อยกว่า 1 อยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้ สรุปได้ว่าการใช้สารกำจัดวัชพืช paraquat ไม่มีความเสี่ยงต่อสุขภาพของเกษตรกร และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในไร่ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

คำหลัก : การประเมินผลกระทบ สารกำจัดวัชพืชพาราครอต ดิน น้ำ สุขภาพ

คำนำ

พาราควอต (paraquat) เป็นสารกำจัดวัชพืช (Herbicide) ในกลุ่มไบไพริดิเลียม (Bipyridilium) ที่มีคุณลักษณะแบบสัมผัสตายและไม่เลือกทำลาย (non-selective contract) สามารถดูดซึมทางใบ ทำลายเยื่อหุ้มเซลล์ และไซโทพลาสซึม ทำให้พืชเกิดความผิดปกติ เช่น ใบเหลือง จนถึงใบแห้งตาย และยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ชนิดอื่นๆ (Leong *et al*., 2018) มีสูตรทางเคมี คือ $C_{12}H_{14}CL_2N_2$ มีมวลโมเลกุลเท่ากับ 257.2 ลักษณะทางกายภาพเป็นผงสีขาว มีจุดหลอมเหลวที่ 340 องศาเซลเซียส ละลายได้ดีในน้ำ เนื่องจากเป็นสารที่มีขั้วสูง ละลายน้ำได้ 620 กรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ความเป็นกรด-ด่าง อยู่ระหว่าง 5 – 9 จัดเป็นกลุ่มตามกลไกหรือตำแหน่งการออกฤทธิ์ตาม Toxicity class: II WHO (a.i.) เป็นพิษต่อปลา และสิ่งมีชีวิตในน้ำ ค่า Acute oral LD_{50} ในหนู (rat) เท่ากับ 58 - 113 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัว ค่า ADI /RfD เท่ากับ 0.005 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัว (Adam *et al*., 1990) คุณสมบัติทางกายภาพที่สำคัญของ paraquat คือยึดเกาะกับอนุภาคของดินที่มีประจุลบอย่างเหนียวแน่น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอินทรียวัตถุและองค์ประกอบของดิน ความเป็นกรด-ด่าง และความแรงของไอออนของอนุภาคในดินเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการดูดซับของสาร paraquat โดยเมื่อความเป็นด่างเพิ่มสูงขึ้น การดูดซับของสาร paraquat จะมีค่าลดลง ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับในดิน (K_{OC}) อยู่ระหว่าง 8,000 – 40,000,000 มิลลิลิตรต่อกรัม มีความคงทนสูง (Degradation time (DT_{50}) ตกค้างยาวนาน 7 – 20 ปี (Lu *et al*., 2016) paraquat สามารถเข้าสู่ร่างกายได้หลายช่องทาง สำหรับทางเกษตรกรรมส่วนใหญ่ จะเป็นการสัมผัสสารผ่านทางผิวหนัง ผลกระทบทางสุขภาพที่สำคัญ และพบบ่อยเมื่อสัมผัสได้แก่ ผิวหนังแตก หรือไหม้ คลื่นไส้อาเจียน หายใจลำบากแบบเฉียบพลัน เวียนหัว หายใจสั้น การบาดเจ็บของดวงตาและเล็บเสียหาย (พันธ์เทพ, 2558) สำหรับเกษตรกรจะได้รับสาร paraquat จากการสัมผัสระหว่างการพ่นสาร ในอากาศ ดิน และกระบวนการชะล้าง (run-off) ไปสู่แหล่งน้ำ ในประเทศไทยตามรายงานการตรวจพบ paraquat ในตัวอย่างน้ำจากแหล่งปลูกส้ม จังหวัดเชียงใหม่ จำนวน 31 ตัวอย่าง ปริมาณ 0.73 – 114.60 ไมโครกรัมต่อลิตร (ภิญญา และคณะ, 2554)

ในปี 2562 มีปริมาณการนำเข้า paraquat คิดเป็นมูลค่าเป็นลำดับที่ 4 ปริมาณ 9,943,932.80 กิโลกรัม คิดเป็นมูลค่า 794,856,810.98 ล้านบาท (สำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร, 2562) ประโยชน์ ใช้กำจัดวัชพืช ในอ้อย สับปะรด ปาล์ม ยางพารา และมะพร้าว อย่างไรก็ตาม การใช้สารกำจัดวัชพืช paraquat อย่างต่อเนื่อง อาจทำให้เกิดความเสี่ยงต่อสุขภาพของเกษตรกร และสิ่งแวดล้อม เพราะ paraquat สามารถเข้าสู่ร่างกายมนุษย์โดยตรงจากการสัมผัสดิน น้ำ และอากาศ (จารุพงศ์ และคณะ, 2562)

ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญของประเทศไทย ผลผลิตประมาณ 94 เปอร์เซ็นต์ ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ (สุมิตร และคณะ, 2561) ในขณะที่ความต้องการข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่พื้นที่ปลูกมีแนวโน้มลดลง โดยในปีเพาะปลูกปี 2562/63 มีพื้นที่ปลูกข้าวโพด 6,533,971 ไร่ ลดลงจากปีการเพาะปลูก 2560/61 ที่มีพื้นที่ปลูก 6,579,194 ไร่ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2563) ในงานวิจัยนี้ จึงได้ทำการสำรวจ สัมภาษณ์เกษตรกร และสุ่มเก็บตัวอย่างดิน และน้ำ ในแปลงข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ โดยเลือกพื้นที่ทำการทดลองในภาคกลาง ที่อำเภอแก่งคอย และอำเภอพระพุทธบาท จังหวัดสระบุรี มีเนื้อที่เพาะปลูกประมาณ 190,451 ไร่ เนื้อที่เก็บเกี่ยว 190,263 ไร่ ให้ผลผลิต 145,970 ตัน ผลผลิตเฉลี่ย 766 กิโลกรัมต่อไร่ และอำเภอหนองม่วง จังหวัดลพบุรี เนื้อที่เพาะปลูกประมาณ 262,295 ไร่ เนื้อที่เก็บเกี่ยว 262,459 ไร่ ให้ผลผลิต 193,985 ตัน ผลผลิตเฉลี่ย 738 กิโลกรัมต่อไร่ พันธุ์ที่เกษตรกรนิยมปลูกได้แก่ CPDK 888, ไพโอเนีย และ NK 48 โดยเกษตรกรจะปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ 2 รุ่น รุ่นที่ 1 จะนิยมปลูกในฤดูฝน ตั้งแต่เดือนพฤษภาคมถึงตุลาคม ผลผลิตเก็บเกี่ยวในช่วงเดือนกันยายน และรุ่นที่ 2 จะนิยมปลูกในฤดูแล้ง เดือนพฤศจิกายนถึง

เมษายน ผลผลิตจะเก็บเกี่ยวในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ ซึ่งเกษตรกรผู้ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ จะปลูกต่อเนื่องตลอดปี และมักพบปัญหาวัชพืช โรค และแมลงศัตรูพืช โดยเฉพาะวัชพืชก่อนปลูก เช่น หญ้าแห้วหมู หญ้าตีนกา หญ้าคา และหญ้าขจรจบดอกเล็ก ขึ้นอย่างหนาแน่น เนื่องจากแปลงมีขนาดใหญ่ เกษตรกรจึงเลือกใช้สารกำจัดวัชพืช paraquat ซึ่งอาจพบการตกค้างในสิ่งแวดล้อม เช่น ดิน และแหล่งน้ำ โดยเฉพาะภายในแปลงปลูกที่เกษตรกรสัมผัสโดยตรงขณะปฏิบัติงานภายในแปลง

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

วิธีดำเนินการ

อุปกรณ์

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

2. เครื่องแก้วที่ใช้ในการสกัด ได้แก่ volumetric flask, volumetric pipette, cylinder, beaker, erlermeyer flask, round bottom flask, graduated plastic tube, plastic vial for auto sampler, cuvette, filter paper No. 42, polytetrafluoroethylene (PTFE), filter membrane ขนาด 0.45 ไมโครเมตร เม็ดแก้ว Buchner funnel, desiccator, glass funnel และ คอลัมน์ Primesep AB ชนิด zwitterionic reversed-phase ความยาว 150 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 4.6 มิลลิเมตร สารเคลือบหนา 5 ไมโครเมตร รูพรุนของอนุภาคขนาด 100 อังสตรอม

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

4. สารเคมี ได้แก่ สารมาตรฐาน ชนิด พาราควอต ไดคลอไรด์ (paraquat dichloride) $C_{12}H_{14}Cl_2N_2$ ความบริสุทธิ์ 99.5%, acetonitrile (CH_3CN), methanol (CH_3OH), ammonium chloride (NH_4Cl), sodium chioride (NaCl), sodium hydroxide (NaOH), ammonium formate (NH_4HCO_2), sulfuric acid (conc.H_2SO_4), hydrochloric acid (HCl), octan-2-ol ($C_8H_{18}O$), phosphoric acid (H_3PO_4), trifluoroacetic acid (TFA; CF_3CO_2H), formic acid (CH_2O_2), sodium dithionite ($Na_2S_2O_4$) น้ำกลั่น (distilled water) เรซิน ประจุบวก ขนาด 50 – 100 mesh (cation exchange resin), สารช่วยกรองชนิดซีไลท์ ขนาด 0.02 – 1 มิลลิเมตร (celite), วัสดุสำหรับสกัดด้วยตัวดูดซับของแข็งประกอบด้วยคาร์บอน 18 อะตอม (C_{18} SPE cartridge) ซิลิกา (Si-OH SPE cartridge) และ เอนไว-คาร์บ (ENVI-Carb ^{TM} SPE cartridge) ขนาด 250 มิลลิกรัม 3 มิลลิลิตร

5. เครื่องมือวิทยาศาสตร์ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ ได้แก่ เครื่องชั่งไฟฟ้า (electrical balances) ชนิดทศนิยม 5 ตำแหน่ง และ 2 ตำแหน่งที่สอบเทียบแล้ว ตู้เย็นแช่แข็ง (Deep Freezer) ที่ควบคุมอุณหภูมิได้ที่ -20 องศาเซลเซียส เตาเผา (muffle furnace) ตู้อบ (hot air oven) เครื่องผสมตัวอย่าง (vortex mixer) เครื่องให้ความร้อนแบบเตาหลุมพร้อมชุด condenser เครื่องกรองแบบสุญญากาศ เครื่อง Spectrophotometer ยี่ห้อ Hitachi รุ่น UH5300 และเครื่อง Ultra-High Performance Liquid Chromatograph (HPLC) ยี่ห้อ Agilent technologies รุ่น 1290

วิธีการ

1. การสำรวจและกำหนดจุดเก็บตัวอย่าง

เลือกพื้นที่ไร่ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ในจังหวัดสระบุรี และลพบุรี ประสานหน่วยงานในพื้นที่ เกษตรอำเภอ เพื่อขอข้อมูล และความร่วมมือระหว่างดำเนินการ ทำการสัมภาษณ์ และเก็บข้อมูลเกษตรกรผู้ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์จำนวน 58 ราย ใน 3 อำเภอ 2 จังหวัด คือ อำเภอหนองม่วง จังหวัดลพบุรี อำเภอพุทธบาท และอำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี ประเด็นหลักในการสัมภาษณ์ คือ ข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง ข้อมูลศัตรูพืชและการใช้สารป้องกันกำจัดศัตรูพืช ความรู้เกี่ยวกับการใช้สารป้องกันกำจัดศัตรูพืช ข้อมูลด้านความเชื่อและทัศนคติการใช้สารป้องกันกำจัดศัตรูพืช และข้อมูลด้านการปฏิบัติตนในการใช้สารป้องกันกำจัดศัตรูพืช ได้ข้อมูลเกษตรกรที่มีความเสี่ยงจากการใช้สารกำจัดวัชพืชพาราควอตจำนวน 26 ราย กำหนดจุดเก็บตัวอย่างในพื้นที่ ใช้เครื่องมือที่มีระบบระบุตำแหน่งบนพื้นโลกด้วยดาวเทียม (Global Positioning System; GPS) ซึ่งงานวิจัยนี้ได้เก็บตัวอย่าง 1 ครั้ง ในฤดูฝน เดือนกรกฎาคม ทำการเก็บตัวอย่างดิน และน้ำ ในไร่ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์จากอำเภอหนองม่วง จังหวัดลพบุรี จำนวน 10 แปลง อำเภอพุทธบาท และอำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี จำนวน 16 แปลง รวมทั้งหมด 26 แปลง จุดเก็บแสดงดังตารางภาคผนวกที่ 2

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

3. วิธีการตรวจวิเคราะห์ตัวอย่างในห้องปฏิบัติการ

ตรวจวิเคราะห์ชนิดและปริมาณสารพิษตกค้างประเภทสารกำจัดวัชพืชด้วยเทคนิคทางโครมาโทกราฟฟีด้วยเครื่อง Spectrophotometer ยี่ห้อ Hitachi รุ่น UH5300 และยืนยันผลด้วยเครื่อง Ultra-High Performance Liquid Chromatograph (HPLC) ยี่ห้อ Agilent technologies รุ่น 1290 โดยวิธีการตรวจวิเคราะห์ มีดังนี้

3.1 การตรวจวิเคราะห์สารพิษตกค้างในตัวอย่างน้ำ

สกัดตัวอย่างน้ำ (Kennedy, 1986) เตรียมตัวอย่างโดยตวงน้ำ 500 มิลลิลิตร จากนั้นทำการ clean-up ดังนี้เตรียม Burette ขนาด 50 มิลลิลิตร (เส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร) อุดปลายด้วย glass wool ใช้เป็น column ชั่ง cation exchange resin 5 กรัม ละลายน้ำเทใส่ใน column ไขน้ำทิ้งให้เหลือท้องน้ำแตะที่ส่วนบนของ cation exchange resin อย่าให้ cation exchange resin แห้ง Rinse column ด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว 50 มิลลิลิตร ไขทิ้ง อัตราการไหล 5 - 10 มิลลิลิตรต่อนาที ให้เหลือท้องน้ำแตะที่ส่วนบนของ cation exchange resin แล้ว rinse column ด้วยน้ำ deionized water 50 มิลลิลิตร ไขทิ้ง ให้เหลือท้องน้ำแตะที่ส่วนบนของ cation exchange resin ค่อยๆ เทสารละลายตัวอย่างลงใน column เปิดปลาย column อัตราการไหล 10 - 12 มิลลิลิตรต่อนาที จนตัวอย่างหมด ให้เหลือท้องน้ำแตะที่ส่วนบนของ cation exchange resin Rinse column ด้วยน้ำ deionized water 50 มิลลิลิตร ไขทิ้ง อัตราการไหล 5 มิลลิลิตรต่อนาที ตามด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริค 2 นอร์มอล 50 มิลลิลิตร ไขทิ้ง อัตราการไหล 5 มิลลิลิตรต่อนาที ตามด้วยน้ำ deionized water 50 มิลลิลิตร ไขทิ้ง อัตราการไหล 5 มิลลิลิตรต่อนาที ตามด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร 50 มิลลิลิตร ไขทิ้ง อัตราการไหล 5 มิลลิลิตรต่อนาที

และตามด้วยน้ำ deionized water 50 มิลลิลิตร ไขทิ้ง อัตราการไหล 5 มิลลิลิตรต่อนาที Elute ตัวอย่างด้วยสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์อิ่มตัว 50 มิลลิลิตร อัตราการไหล 1 มิลลิลิตรต่อนาที เก็บสารละลายที่ได้ในขวดปริมาตรที่มีฝาปิดขนาด 50 มิลลิลิตร นำไปตรวจวัดด้วยวิธี Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 396 นาโนเมตร

วิธีการตรวจวิเคราะห์ Paraquat ด้วยเครื่อง Spectrophotometer

เตรียมสารละลายโซเดียมไดไธโอไนต์ ร้อยละ 1 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร (ละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 นอร์มอล) โดยเมื่อเตรียมแล้วสารละลายจะใช้ได้ 30 นาที (เตรียมให้พอใช้กับจำนวนครั้งที่ตรวจวัด โดยใช้ 1 มิลลิลิตรต่อการวัด 1 ครั้ง) ใช้สารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์อิ่มตัวเป็นตัวอย่างอ้างอิง (reference cell) ดูดสารละลายที่ได้จากการ clean-up 5 มิลลิลิตร ใส่ test tube ดูดสารละลายโซเดียมไดไธโอไนต์ ร้อยละ 1 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร (ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 นอร์มอล) 1 มิลลิลิตร ใส่ใน test tube ผสมให้เข้ากัน โดยค่อยๆกลับ test tube 1 ครั้ง วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 396 นาโนเมตร ด้วยวิธี Spectrophotometer และตรวจยืนยันผลด้วย UHPLC-DAD

3.2 การตรวจวิเคราะห์สารพิษตกค้างในตัวอย่างดิน

สกัดตัวอย่างดิน (Kennedy, 1986) นำตัวอย่างดินที่ชั่งไว้ 25 ± 0.05 กรัม ใส่ Round bottom flask ขนาด 500 มิลลิลิตร (ถ้าตัวอย่างเป็นดินแห้ง ให้เติมน้ำ 10 มิลลิลิตร) เติมน้ำ 65 มิลลิลิตร ค่อยๆ เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 35 มิลลิลิตร จากนั้นเติม Octane-2-ol(octanol) 1 มิลลิลิตร ใส่เม็ดแก้ว 10 เม็ด นำไปตั้ง Reflux นาน 4 ชั่วโมง ในขณะที่ Reflux ให้เขย่า Round bottom flask เป็นครั้งคราว เพื่อไม่ให้ตัวอย่างไหม้และเกิดความร้อนสูงเป็นบางจุด เมื่อครบ 4 ชั่วโมงแล้วทิ้งไว้ให้เย็น จากนั้นล้าง reflux condenser ด้วยน้ำกลั่นครั้งละ 50 มิลลิลิตร จำนวน 2 ครั้ง นำตัวอย่างมากรองด้วยการ Suction โดยชั่ง Celite 10 กรัม ผสมน้ำ 150 มิลลิลิตร คนให้ละลายแล้วเทลงบน Buchner funnel ที่มีกระดาษกรอง เบอร์ 42 จำนวน 2 แผ่น เปลี่ยน Erlenmeyer flask ใหม่แล้วกรองสารละลายตัวอย่าง ล้างตัวอย่างที่กรองด้วยน้ำกลั่น 2 ครั้งๆละ 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรตัวอย่างด้วยน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 500 มิลลิลิตร เก็บตัวอย่างที่อยู่ในรูปสารละลายไป clean-up ตามวิธีการ Clean-up Paraquat

การ Clean-up Paraquat ในตัวอย่างดิน

เตรียม Burette ขนาด 50 มิลลิลิตร (เส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร) อุดปลายด้วย glass wool ใช้เป็น column ชั่ง cation exchange resin 5 กรัม ละลายน้ำ เทใส่ในคอลัมน์ ไขน้ำทิ้งให้เหลือท้องน้ำแตะที่ส่วนบนของ cation exchange resin ระวังอย่าให้ cation exchange resin แห้ง Rinse column ด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว 50 มิลลิลิตร ไขทิ้ง อัตราการไหล 5-10 มิลลิลิตรต่อนาที ให้เหลือท้องน้ำแตะที่ส่วนบนของ cation exchange resin แล้ว rinse column ด้วยน้ำ deionized water 50 มิลลิลิตร ไขทิ้ง ให้เหลือท้องน้ำแตะที่ส่วนบนของ cation exchange resin ค่อยๆ เทสารละลายตัวอย่างลงใน column เปิดปลาย column ปรับให้ได้อัตราการไหล 10-12 มิลลิลิตรต่อนาที จนตัวอย่างหมด ให้เหลือท้องน้ำแตะที่ส่วนบนของ cation exchange resin Rinse column ด้วยน้ำ deionized water 25 มิลลิลิตร ไขทิ้ง อัตราการไหล 5 มิลลิลิตรต่อนาที สารละลายกรดไฮโดรคลอริค 2 นอร์มอล 100 มิลลิลิตร ไขทิ้ง อัตราการไหล 5 มิลลิลิตรต่อนาที จากนั้นเป็นน้ำ deionized water 25 มิลลิลิตร ไขทิ้ง อัตราการไหล 5 มิลลิลิตรต่อนาที ตามด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร 25 มิลลิลิตร ไขทิ้ง อัตราการไหล 5 มิลลิลิตรต่อนาที และน้ำ deionized water 25 มิลลิลิตร ไขทิ้ง อัตราการไหล 5 มิลลิลิตรต่อนาที Elute ตัวอย่างด้วยสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์อิ่มตัว 50 มิลลิลิตร อัตราการไหล 1 มิลลิลิตรต่อนาที เก็บสารละลายที่ได้ในขวดปริมาตรที่มีฝาปิด ขนาด 50 มิลลิลิตร นำไปตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 396 นาโนเมตร ด้วยวิธี Spectrophotometer และตรวจยืนยันผลด้วย UHPLC-DAD

4. การคำนวณความเสี่ยงจากการได้รับสารกำจัดวัชพืช paraquat ในน้ำ และดิน ต่อสุขภาพของเกษตรกร

ค่าความเสี่ยงประเมินจากดัชนีชี้วัดความเสี่ยง (HQ) มีเกณฑ์กำหนด คือ HQ มากกว่า 1 หมายถึง สารกำจัดวัชพืช paraquat ตกค้างอยู่ในระดับเสี่ยงต่อสุขภาพของเกษตรกร หาก HQ น้อยกว่า 1 แสดงว่าสารกำจัดวัชพืช paraquatตกค้างอยู่ในระดับยอมรับได้ค่า HQ ของสารที่พบตกค้างในดิน และน้ำ โดยค่า HQ คำนวณจากค่า ADD (ปริมาณค่าเฉลี่ยที่เกษตรกรได้รับสารป้องกันกำจัดวัชพืชต่อวัน) เทียบกับค่า RfD (ค่าอ้างอิง คือค่าปริมาณสารพิษที่น้อยสุดที่ร่างกายรับได้โดยไม่ทำให้เกิดอันตรายหรือเป็นพิษต่อร่างกาย) มีสมการคำนวณ ดังนี้

$$ADD = (Csoil*CF*IRsoil*EF*ED)/(BW*AT) \quad \text{.....(สมการ 1)}$$

เมื่อ: ADD คือ ปริมาณสารพิษเฉลี่ยต่อวันจากสารกำจัดวัชพืช paraquat ตกค้างในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน),

Csoil คือ ความเข้มข้นของสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชตกค้างในดินที่แปลงปลูกพืช (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม),

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

IRsoil คือ อัตราการได้รับสารพิษที่ตกค้างในดิน (มิลลิกรัมต่อวัน), 200 มิลลิกรัมต่อวัน สำหรับเด็ก, 100 มิลลิกรัมต่อวัน สำหรับผู้ใหญ่ (U.S. EPA., 2008)

EF คือ ความถี่ของการสัมผัส (365 วัน/ปี),

ED คือ ระยะเวลาที่สัมผัส (years) สำหรับเด็กอายุ 6-12 ปี และ 70 ปี สำหรับผู้ใหญ่ (U.S. EPA., 2003)

BW คือ ค่าเฉลี่ยน้ำหนักตัว (กิโลกรัม); สำหรับเด็กอายุ 6-12 ปี (33.38 กิโลกรัม), ผู้ใหญ่ (52 กิโลกรัม) จากค่าเฉลี่ยแบบสอบถาม

AT คือ ระยะเวลาที่ใช้เฉลี่ย (365 วัน) (EF*ED)

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

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

เมื่อ: RfD คือ reference dose เฉพาะของสารกำจัดวัชพืช paraquat 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

การบันทึกข้อมูล

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

ระยะเวลา เริ่มต้น เดือน ตุลาคม 2562 สิ้นสุด เดือน กันยายน 2563

สถานที่ทำการทดลอง 1) แปลงทดลองข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ในจังหวัดลพบุรี และสระบุรี

2) ห้องปฏิบัติการกลุ่มงานวิจัยผลกระทบจากการใช้วัตถุมีพิษการเกษตร กลุ่มวิจัยวัตถุมีพิษการเกษตร กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร

ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลการวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 2 ด้าน คือด้านสำรวจเก็บข้อมูลจากการสัมภาษณ์เกษตรกรผู้ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ และด้านการวิเคราะห์ทางกายภาพและปริมาณสารตกค้างในตัวอย่างน้ำและดิน เพื่อประเมินความเสี่ยงสารกำจัดวัชพืช paraquat ตกค้างต่อสุขภาพของเกษตรกรและประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ผลการวิจัยมีดังนี้

1. ผลการสำรวจเก็บข้อมูลจากการสัมภาษณ์เกษตรกรผู้ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

จากการสัมภาษณ์เกษตรกรผู้ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ จำนวน 58 ราย ใน 3 อำเภอ 2 จังหวัด คือ อำเภอหนองม่วง จังหวัดลพบุรี อำเภอพุทธบาท และอำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี พบว่า กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่เป็นเพศชาย มีอายุระหว่าง 46 – 64 ปี มีรายได้เฉลี่ยต่อปี 50,001 – 250,000 มีจำนวนไร่ข้าวโพดประมาณ 11 – 36 ไร่ เกษตรกรส่วนใหญ่มีปัญหาเรื่องศัตรูพืชและโรคระบาด โดยแมลงที่พบส่วนใหญ่ ได้แก่ หนอนกะทู้ข้าวโพด เพลี้ยอ่อน หนอนเจาะลำต้นข้าวโพด และหนอนเจาะฝักข้าวโพด สำหรับวัชพืชที่พบ ได้แก่ หญ้าแห้วหมู หญ้าตีนกา หญ้าคา และหญ้าขจรจบดอกเล็ก โรคพืชที่พบคือ โรคราน้ำค้าง และโรคใบไหม้แผลใหญ่ ซึ่งสารกำจัดวัชพืชที่นิยมใช้ คือสาร paraquat ใช้ 1 ครั้งต่อฤดูการปลูก ช่วงเดือนพฤษภาคม - มิถุนายน ใช้อัตรา 1 ลิตรต่อไร่ ใช้ในรูปแบบการพ่นยาน้ำหรือสารละลาย โดยพ่นสารกำจัดศัตรูพืชด้วยตนเอง ในช่วงเช้าหรือช่วงเย็น กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่มีโรคประจำตัว ซึ่งส่วนมากเป็นโรคความดันและเบาหวาน นอกจากนี้กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่ในรอบ 1 ปีที่ผ่านมา ไม่เคยตรวจเลือดหาสารป้องกันกำจัดศัตรูพืช

ความรู้เกี่ยวกับการใช้สารป้องกันกำจัดศัตรูพืช กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่มีความรู้เกี่ยวกับการใช้สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชอยู่ในระดับปานกลาง โดยคำถามที่เกษตรกรตอบถูกต้องมากที่สุด คือ ขณะพ่นสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชเกษตรกรควรสวมเสื้อผ้ามิดชิด ใช้ผ้าปิดจมูก สวมถุงมือ และใส่รองเท้าบูท ข้อมูลด้านความเชื่อและทัศนคติการใช้สารป้องกันกำจัดศัตรูพืช เมื่อพิจารณาโดยภาพรวมพบว่ากลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่มีทัศนคติเกี่ยวกับการใช้สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชอยู่ในระดับปานกลาง ข้อมูลด้านการปฏิบัติตนในการใช้สารป้องกันกำจัดศัตรูพืช เมื่อพิจารณาโดยภาพรวมพบว่ากลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่มีพฤติกรรมก่อนการใช้ ขณะใช้ และหลังการใช้สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชอยู่ในระดับปานกลาง (ตารางผนวกที่ 1)

จากการสัมภาษณ์เกษตรกรจำนวน 58 ราย ได้ข้อมูลเกษตรกรที่มีความเสี่ยงจากการใช้สารกำจัดวัชพืช paraquat จำนวน 26 ราย ที่ทำการพ่นสารกำจัดวัชพืช paraquat ด้วยตนเอง

2. ผลการวิเคราะห์สารกำจัดวัชพืช paraquat ในน้ำ และดินในแปลงข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

ได้สุ่มเก็บตัวอย่างน้ำ และดิน ในแปลงข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ช่วงฤดูฝน ระหว่างเดือน กรกฎาคม 2563 ได้ตัวอย่างน้ำ จำนวน 12 ตัวอย่าง และตัวอย่างดิน จำนวน 26 ตัวอย่าง มาตรวจวิเคราะห์หาปริมาณสารพิษตกค้าง ผลการตรวจวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ ตรวจไม่พบการตกค้างของสาร paraquat ในน้ำทุกตัวอย่าง สำหรับผลการตรวจวิเคราะห์ดัชนีคุณภาพน้ำ แสดงค่าพารามิเตอร์ในน้ำไว้ในตารางผนวกที่ 3 ในตัวอย่างดิน ผลการตรวจวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของดินตรวจพบการตกค้างของสาร paraquat ในทุกตัวอย่าง ปริมาณ 1.42 – 11.51 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ดังตารางที่ 1 และผลการตรวจวิเคราะห์ปริมาณสาร paraquat ตกค้างในแต่ละจุดเก็บ แสดงดังตารางที่ 2 พบปริมาณตกค้างสูงสุดในแปลงข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ จากอำเภอพุทธบาท จังหวัดสระบุรี สอดคล้องกับรายงานการตรวจพบ paraquat ในตัวอย่างดินจากลุ่มแม่น้ำจังหวัดจันทบุรี ช่วงฤดูฝน ปริมาณ 1.30 – 9.15 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Poranee.P *et al*., 2012)

ตารางที่ 1 ผลการตรวจวิเคราะห์ปริมาณสาร paraquat ตกค้างในตัวอย่างดิน และน้ำ ในแปลงข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ จังหวัดลพบุรี และสระบุรี

ชนิดตัวอย่าง	จำนวนตัวอย่าง				ปริมาณ*
	ทั้งหมด	ตรวจพบ	กลุ่มสารพิษ	ชนิดสาร	
น้ำ	12	0 (0%)	Bipyridilium	paraquat	ND
ดิน	26	26 (100%)	Bipyridilium	paraquat	1.42 – 11.51
รวม	38	26 (72%)	ตัวอย่าง		

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

3. การประเมินความเสี่ยงสารกำจัดวัชพืช paraquat ตกค้างต่อสุขภาพของเกษตรกร

3.1 การประเมินความเสี่ยงสารกำจัดวัชพืช paraquat ตกค้างในดินต่อสุขภาพของเกษตรกรในวัยเด็ก

เมื่อนำผลการตรวจวิเคราะห์สารกำจัดวัชพืช paraquat ตกค้างในดินมาคำนวณค่า HQ เพื่อประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของเกษตรกรผู้ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในช่วงอายุ 6 – 12 ปี โดยมีค่า HQ มากที่สุดเท่ากับ 1.53×10^{-2} ซึ่งเป็นแปลงข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในอำเภอพุทธบาท จังหวัดสระบุรี และพบค่า HQ น้อยที่สุดเท่ากับ 1.89×10^{-3} ซึ่งเป็นแปลงข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในอำเภอหนองม่วง จังหวัดลพบุรี ซึ่งค่า HQ จากตารางที่ 2 พบว่าความเสี่ยงอยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้ (HQ < 1) ดังนั้นการประเมินความเสี่ยงสารกำจัดวัชพืช paraquat ตกค้างในดินแปลงปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ต่อสุขภาพเกษตรกรในช่วงอายุ 6 – 12 ปี สรุปได้ว่าเกษตรกรผู้ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มีความเสี่ยงอยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้

ตารางที่ 2 การประเมินความเสี่ยงสารกำจัดวัชพืช paraquat ตกค้างในดินแปลงปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ต่อสุขภาพเกษตรกร

maize fields	paraquat (mg/kg)	ADD[1)] (mg/kg-day)	RfD[2)] (mg/kg-day)	HQ = ADD[3)] / RfD	Health risk Child
1	3.92	2.35×10^{-5}	0.0045	5.22×10^{-4}	accept
2	3.25	1.95×10^{-5}	0.0045	4.33×10^{-3}	accept
3	1.42	8.51×10^{-6}	0.0045	1.89×10^{-3}	accept
4	1.79	1.07×10^{-5}	0.0045	2.37×10^{-3}	accept
5	7.17	4.30×10^{-5}	0.0045	9.55×10^{-3}	accept
6	9.51	5.70×10^{-5}	0.0045	1.27×10^{-2}	accept
7	1.56	9.35×10^{-6}	0.0045	2.08×10^{-3}	accept
8	7.28	4.37×10^{-5}	0.0045	9.71×10^{-3}	accept
9	8.22	4.93×10^{-5}	0.0045	1.09×10^{-2}	accept
10	1.92	1.15×10^{-5}	0.0045	2.55×10^{-3}	accept
9	8.22	4.93×10^{-5}	0.0045	1.09×10^{-2}	accept
10	1.92	1.15×10^{-5}	0.0045	2.55×10^{-3}	accept
11	8.01	4.80×10^{-6}	0.0045	1.07×10^{-2}	accept
12	5.00	2.99×10^{-6}	0.0045	6.64×10^{-3}	accept
13	5.55	3.33×10^{-5}	0.0045	7.40×10^{-3}	accept
14	6.96	4.17×10^{-5}	0.0045	9.27×10^{-3}	accept

maize fields	paraquat (mg/kg)	ADD[1)] (mg/kg-day)	RfD[2)] (mg/kg-day)	HQ = ADD[3)] / RfD	Health risk Child
16	11.51	6.90×10^{-5}	0.0045	1.53×10^{-2}	accept
17	6.63	3.97×10^{-5}	0.0045	8.82×10^{-3}	accept
18	6.83	4.09×10^{-5}	0.0045	9.09×10^{-3}	accept
19	3.54	2.12×10^{-5}	0.0045	4.71×10^{-3}	accept
20	2.01	1.20×10^{-5}	0.0045	2.66×10^{-3}	accept
21	6.11	3.67×10^{-5}	0.0045	8.15×10^{-3}	accept
22	4.91	2.95×10^{-5}	0.0045	6.55×10^{-3}	accept
23	1.86	1.11×10^{-5}	0.0045	2.47×10^{-3}	accept
24	1.81	1.08×10^{-5}	0.0045	2.40×10^{-3}	accept
25	1.90	1.14×10^{-5}	0.0045	2.53×10^{-3}	accept
26	2.66	1.59×10^{-5}	0.0045	3.53×10^{-3}	accept

หมายเหตุ : ช่วงอายุที่นำมาใช้ในการประเมินอายุ 6 -12 ปี

น้ำหนักเฉลี่ยที่นำมาใช้ในการประเมินเท่ากับ 33.38 กิโลกรัม

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

3.2 การประเมินความเสี่ยงสารกำจัดวัชพืช paraquat ตกค้างในดินต่อสุขภาพของเกษตรกรในวัยผู้ใหญ่

เมื่อนำผลการตรวจวิเคราะห์สารกำจัดวัชพืช paraquat ตกค้างในดินมาคำนวณค่า HQ เพื่อประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของเกษตรกรผู้ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในช่วงอายุ 70 ปี โดยมีค่า HQ มากที่สุดเท่ากับ 3.93×10^{-3} ซึ่งเป็นแปลงข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในอำเภอพุทธบาท จังหวัดสระบุรี และพบค่า HQ น้อยที่สุดเท่ากับ 4.84×10^{-4} ซึ่งเป็นแปลงข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในอำเภอหนองม่วง จังหวัดลพบุรี ซึ่งค่า HQ จากตารางที่ 3 พบว่าความเสี่ยงอยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้ (HQ < 1) ดังนั้นการประเมินความเสี่ยงสารกำจัดวัชพืช paraquat ตกค้างในดินแปลงปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ต่อสุขภาพเกษตรกรในช่วงอายุ 70 ปี สรุปได้ว่าเกษตรกรผู้ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มีความเสี่ยงอยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้

ตารางที่ 3 การประเมินความเสี่ยงสารกำจัดวัชพืช paraquat ตกค้างในดินแปลงปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ต่อสุขภาพเกษตรกร

maize fields	paraquat (mg/kg)	ADD[1)] (mg/kg-day)	RfD[2)] (mg/kg-day)	HQ = ADD[3)] / RfD	Health risk Adult
1	3.92	6.03×10^{-6}	0.0045	1.34×10^{-3}	accept
2	3.25	5.00×10^{-6}	0.0045	1.11×10^{-3}	accept
3	1.42	2.18×10^{-6}	0.0045	4.84×10^{-4}	accept
4	1.79	2.75×10^{-6}	0.0045	6.11×10^{-4}	accept
5	7.17	1.10×10^{-5}	0.0045	2.44×10^{-3}	accept
6	9.51	1.46×10^{-5}	0.0045	3.24×10^{-3}	accept
7	1.56	2.40×10^{-6}	0.0045	5.33×10^{-4}	accept
8	7.28	1.12×10^{-5}	0.0045	2.48×10^{-3}	accept
9	8.22	1.26×10^{-5}	0.0045	2.80×10^{-3}	accept
10	1.92	2.95×10^{-6}	0.0045	6.55×10^{-4}	accept
11	8.01	1.23×10^{-5}	0.0045	2.73×10^{-3}	accept

ตารางที่ 3 การประเมินความเสี่ยงสารกำจัดวัชพืช paraquat ตกค้างในดินแปลงปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ต่อสุขภาพเกษตรกร (ต่อ)

maize fields	paraquat (mg/kg)	ADD[1] (mg/kg-day)	RfD[2] (mg/kg-day)	HQ = ADD[3] / RfD	Health risk Adult
12	5.00	7.69×10^{-6}	0.0045	1.71×10^{-3}	accept
13	5.55	8.54×10^{-6}	0.0045	1.90×10^{-3}	accept
14	6.96	1.07×10^{-5}	0.0045	2.37×10^{-3}	accept
15	4.20	6.46×10^{-6}	0.0045	1.43×10^{-3}	accept
16	11.51	1.77×10^{-5}	0.0045	3.93×10^{-3}	accept
17	6.63	1.02×10^{-5}	0.0045	2.26×10^{-3}	accept
18	6.83	1.05×10^{-5}	0.0045	2.33×10^{-3}	accept
19	3.54	5.44×10^{-6}	0.0045	1.21×10^{-3}	accept
20	2.01	3.09×10^{-6}	0.0045	6.86×10^{-4}	accept
21	6.11	9.40×10^{-6}	0.0045	2.08×10^{-3}	accept
22	4.91	7.55×10^{-6}	0.0045	1.68×10^{-3}	accept
23	1.86	2.86×10^{-6}	0.0045	6.35×10^{-4}	accept
24	1.81	2.78×10^{-6}	0.0045	6.17×10^{-4}	accept
25	1.90	2.92×10^{-6}	0.0045	6.48×10^{-4}	accept
26	2.66	4.09×10^{-6}	0.0045	9.08×10^{-4}	accept

หมายเหตุ : ช่วงอายุที่นำมาใช้ในการประเมินอายุ 70 ปี
น้ำหนักเฉลี่ยที่นำมาใช้ในการประเมินเท่ากับ 52 กิโลกรัม เป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากแบบสอบถาม
1) ADD คือ ปริมาณสารพิษเฉลี่ยต่อวันจากสารกำจัดวัชพืช paraquat ตกค้างในดิน
2) Rfd คือ reference dose เฉพาะของสารกำจัดวัชพืช paraquat
3) HQ คือ ค่าความเสี่ยงประเมินจากดัชนีชี้วัดความเสี่ยง

3.3 การประเมินผลกระทบของสารกำจัดวัชพืช paraquat ตกค้างในดินแปลงปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

เมื่อนำผลการตรวจวิเคราะห์ปริมาณสารกำจัดวัชพืช paraquat ตกค้างในดินที่พบปริมาณต่ำที่สุดและสูงที่สุดมาคำนวณค่า RQ เพื่อประเมินผลกระทบของสารกำจัดวัชพืช paraquat ตกค้างในดินแปลงปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยมีค่า RQ เท่ากับ 1.42×10^{-2}– 1.15×10^{-1} ซึ่งค่า RQ จากตารางที่ 4 พบว่าความเสี่ยงอยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้ (RQ < 1) ดังนั้นการประเมินผลกระทบของสารกำจัดวัชพืช paraquat ตกค้างในดินแปลงปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม สรุปได้ว่ามีความเสี่ยงอยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้

ตารางที่ 4 การประเมินผลกระทบของสารกำจัดวัชพืช paraquat ตกค้างในดินแปลงปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

สารกำจัดวัชพืช	MEC minimal[1] (mg/kg)	MEC ex[1] (mg/kg)	PNEC-soil[2] (mg/kg)	RQ m[3]	RQ ex[3]
paraquat	1.42	11.51	10	1.42×10^{-2}	1.15×10^{-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 paraquat ตกค้างในไร่ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ในพื้นที่อำเภอหนองม่วง จังหวัดลพบุรี อำเภอพุทธบาท และอำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี ในช่วงปี 2562 ถึงปี 2563 เกษตรกรใช้สารกำจัดวัชพืช paraquat ในแปลงช่วงเดือนพฤษภาคม ก่อนปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ สรุปได้ว่า พบการตกค้างของสารกำจัดวัชพืช paraquat ในดินทุกตัวอย่าง ปริมาณสูงสุด 11.51 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในแปลงข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ จากอำเภอพุทธบาท จังหวัดสระบุรี และเมื่อนำมาประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ และประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม พบว่าอยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้ ซึ่งสารกำจัดวัชพืช paraquat ตามประกาศราชกิจจานุเบกษา ให้ยกเลิกการใช้ตั้งแต่วันที่ 1 มิถุนายน 2563 ดังนั้นจึงควรมีการศึกษา ตรวจติดตามอย่างต่อเนื่อง เป็นการเฝ้าระวังการใช้สาร เพื่อความปลอดภัยของผู้บริโภค สิ่งมีชีวิต และสิ่งแวดล้อม

การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

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

เอกสารอ้างอิง

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

พันธ์เทพ เพชรผึ้ง. 2558. ผลกระทบทางสุขภาพจากการใช้พาราควอตและแนวทางจัดการความเสี่ยง กรณีศึกษาตำบลปงสนุก อำเภอเวียงสา จังหวัดน่าน. ***วารสารเภสัชกรรมไทย ปีที่7 เล่มที่ 2*** กุมภาพันธ์ - ธันวาคม 2558. น. 250 – 258.

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.

ภิญญา จุลินทร, วิภา ตั้งนิพนธ์, ประกิจ จันทร์ติ๊บ และเอกราช สิทธิมงคล. 2554. การสะสมและแพร่กระจายของสารพิษในสิ่งแวดล้อมแหล่งปลูกส้มพื้นที่ภาคเหนือ. ***รายงานผลการปฏิบัติงานประจำปีงบประมาณ 2554 เล่ม 2***. สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร: กรุงเทพมหานคร. น. 137 - 153.

สำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร. 2562. “รายงานสรุปการนำเข้าวัตถุอันตรายทางการเกษตรปี พ.ศ. 2562”. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.doa.go.th/ard/wp content /uploads /2019 /04 /HASTAT58_01 (19 พ.ย. 2563).

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2563. ***สถิติการเกษตรของประเทศไทย ป 2552***. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.กรุงเทพฯ. 206 น.

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

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

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)

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

Poranee. P., K. Duangta., and S. Kankanit. 2012. Paraquat contaminations in the Chanthaburi River and vicinity area, Chanthaburi province,thailand. ***Journal of Science, Technology, and Humanities***: Vol. 10, No. 1 pp. 17-24.

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

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

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

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

ภาคผนวก

ตารางภาคผนวกที่ 1 สรุปแบบสอบถามการใช้สารกำจัดวัชพืช paraquat ตกค้างในไร่ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในจังหวัดลพบุรี และสระบุรี (n = 58)

พารามิเตอร์		**ความถี่ (ร้อยละ)**
เพศ	ชาย	35 (60.3)
	หญิง	23 (39.7)
อายุ (ปี)	46 – 64	41 (70.7)
สถานภาพ	คู่	44 (75.9)
สถานภาพในครอบครัว	หัวหน้าครอบครัว	40 (69.0)
ระดับการศึกษา	จบประถมศึกษา (ป1 – ป6)	39 (67.2)
รายได้เฉลี่ยต่อปีจากการประกอบอาชีพเกษตรกรรม	50,001 - 250,000	34 (58.6)
จำนวนไร่ข้าวโพด	11 - 36 ไร่	31 (53.4)
ปัญหาเรื่องการประกอบอาชีพ	ปัญหาเรื่องศัตรูพืช/โรคระบาด	49 (84.5)
เกี่ยวข้องกับการทำไร่ข้าวโพดในขั้นตอนใด	การใส่ปุ๋ย	45 (77.6)
ปัญหาแมลง	หนอนกะทู้ข้าวโพด เพลี้ยอ่อน หนอนเจาะลำต้นข้าวโพด และหนอนเจาะฝักข้าวโพด	58 (100)
ปัญหาวัชพืช	หญ้าแห้วหมู หญ้าตีนกา หญ้าคา และหญ้าขจรจบดอกเล็ก	58 (100)
ปัญหาโรคพืช	โรคราน้ำค้าง และโรคใบไหม้แผลใหญ่	45 (77.6)
สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชที่นิยมใช้ในไร่ข้าวโพด	paraquat	58 (100)
	glyphosate	25 (43.1)
รูปแบบการใช้	การพ่นยาน้ำหรือสารละลาย	39 (67.2)
การใช้สารกำจัดศัตรูพืช	พ่นสารเอง	31 (53.4)
โรคประจำตัว	ความดันและเบาหวาน	29 (50.0)
อาการของการเกิดพิษจากสารกำจัดศัตรูพืช	ไม่เคย	28 (48.3)
	เคยมีอาการเล็กน้อย	27 (46.6)
วิธีการรักษาเมื่อมีอาการแพ้สารกำจัดศัตรูพืช	ปล่อยให้หายเอง	10 (17.2)
	ไปโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล	7 (12.1)

ตารางภาคผนวกที่ 1 สรุปแบบสอบถามการใช้สารกำจัดวัชพืช paraquat ตกค้างในไร่ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในจังหวัดลพบุรีและ สระบุรี (n = 58) (ต่อ)

พารามิเตอร์		ความถี่ (ร้อยละ)
แหล่งข้อมูลเกี่ยวกับสารกำจัดศัตรูพืช	เจ้าหน้าที่เกษตร	43 (74.1)
	โทรทัศน์	27 (46.6)
ในรอบ 1 ปีที่ผ่านมา เคยตรวจเลือดหาสารตกค้างหรือไม่	ไม่เคย	32 (55.2)
ความรู้เรื่องการใช้สารกำจัดศัตรูพืช	ระดับต่ำ	12 (20.7)
	ระดับปานกลาง	36 (62.1)
	ระดับสูง	10 (17.2)
ความเชื่อและทัศนคติในการใช้สารกำจัดศัตรูพืช	ระดับต่ำ	16 (27.6)
	ระดับปานกลาง	30 (51.7)
	ระดับสูง	12 (20.7)
การปฏิบัติตนในการใช้สารกำจัดศัตรูพืช	ระดับต่ำ	7 (12.1)
	ระดับปานกลาง	40 (69.0)
	ระดับสูง	11 (19.0)

ตารางผนวกที่ 2 ที่ตั้งของจุดเก็บตัวอย่างดิน และน้ำในจังหวัดลพบุรี และจังหวัดสระบุรี

จุดเก็บที่	ชื่อ – สกุล	เลขที่	หมู่ที่	ตำบล	อำเภอ	จังหวัด	ชนิดและรหัสตัวอย่าง		
							ดิน	น้ำ	ตะกอน
1	นายคอย เม่นเกิด	75	8	ชอนสารเดช	หนองม่วง	ลพบุรี	S 1	W 1	-
2	นายสมทรง วงษ์ษา	24	2	ชอนสารเดช	หนองม่วง	ลพบุรี	S 2	-	-
3	นายชัยณรงค์ คำชาติ	77	2	ชอนสารเดช	หนองม่วง	ลพบุรี	S 3	W 3	-
4	นายสุเทพ ฉิมมา	95	10	ชอนสารเดช	หนองม่วง	ลพบุรี	S 4	-	-
5	นายทวี โพธิ์เงิน	9	10	ยางโทน	หนองม่วง	ลพบุรี	S 5	W 5	-
6	นางสุรัตน์ วรเจริญ	48	6	ยางโทน	หนองม่วง	ลพบุรี	S 6	-	-
7	นายวินัย ใยบัวเอื่อม	5	2	ยางโทน	หนองม่วง	ลพบุรี	S 7	-	-
8	นายมานพ อิ่มชื่น	6/1	7	ยางโทน	หนองม่วง	ลพบุรี	S 8	-	-
9	นายอมรเดช อิ่มชื่น	6	7	ยางโทน	หนองม่วง	ลพบุรี	S 9	-	-
10	นายเสกสรรค์ ทองแดง	53	3	ยางโทน	หนองม่วง	ลพบุรี	S 10	-	-
11	นายนึง หนูทองแดง	2	7	เขาวง	พุทธบาท	สระบุรี	S 11	W 11	-
12	นางน้ำทิพย์ สุทธิรักษ์	47	7	เขาวง	พุทธบาท	สระบุรี	S 12	W 12	-
13	นายสมพร บุญมากุล	47/7	7	เขาวง	พุทธบาท	สระบุรี	S 13	-	-
14	นายสมบัติ ประดิษฐ์ภูมิ	18	7	เขาวง	พุทธบาท	สระบุรี	S 14	W 14	-
15	นายจำนงค์ นาบุญธันทร	39	7	เขาวง	พุทธบาท	สระบุรี	S 15	-	-
16	นายชาติชาย ปิดป้อง	20	7	เขาวง	พุทธบาท	สระบุรี	S 16	W 16	-
17	นายคำน้อย จันทระ	32/1	7	เขาวง	พุทธบาท	สระบุรี	S 17	W 17	-
18	นายประทุม เตมีองค์	7	7	เขาวง	พุทธบาท	สระบุรี	S 18	W 18	-
19	นายสมนึก อัมภิราย	44/1	7	เขาวง	พุทธบาท	สระบุรี	S 19	-	-
20	นายสมพิศ น้อยเชื้อ	12	7	เขาวง	พุทธบาท	สระบุรี	S 20	-	-

ตารางผนวกที่ 2 ที่ตั้งของจุดเก็บตัวอย่างดิน และน้ำในจังหวัดลพบุรี และจังหวัดสระบุรี (ต่อ)

จุดเก็บที่	ชื่อ – สกุล	เลขที่	หมู่ที่	ตำบล	อำเภอ	จังหวัด	ชนิดและรหัสตัวอย่าง		
							ดิน	น้ำ	ตะกอน
21	นายสมบัติ บุญแจ้ง	1	5	หินซ้อน	แก่งคอย	สระบุรี	S 21	-	-
22	นายทวี โสภา	116/1	9	หินซ้อน	แก่งคอย	สระบุรี	S 22	-	-
23	นายทวีวัฒน์ บัวละออ	48/1	2	หินซ้อน	แก่งคอย	สระบุรี	S 23	-	-
24	นายสนอง ธรรมวิเศษ	50	2	หินซ้อน	แก่งคอย	สระบุรี	S 24	W 24	-
25	นายจำเนียน มุขแจ้ง	5	5	หินซ้อน	แก่งคอย	สระบุรี	S 25	W 25	-
26	นายกิตติศักดิ์ เฆมา	125	9	หินซ้อน	แก่งคอย	สระบุรี	S 26	W 26	-

ตารางภาคผนวกที่ 3 ผลการตรวจวิเคราะห์ดัชนีคุณภาพน้ำจากค่าพารามิเตอร์ในน้ำ

รหัสตัวอย่าง	อุณหภูมิของน้ำ (°C)	กรด-ด่างของน้ำ (pH)	การนำไฟฟ้า (Conductivity, µs/cm)	ค่าของแข็งทั้งหมด (Total Dissolve Solid, ppm)	ค่าออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolve Oxygen, mg/L)
W 1	36.5	6.14	1,457	678	6.5
W 3	35.5	7.20	84	42	4.6
W 5	36.0	6.95	1,320	662	7.2
W 11	37.4	6.52	748	374	6.8
W 12	34.6	7.99	480	240	5.8
W 14	34.0	7.15	3,450	1,730	7.2
W 16	35.2	6.34	835	418	6.3
W 17	34.2	6.35	675	337	5.8
W 18	32.3	6.57	726	363	6.2
W 24	28.8	6.90	766	387	5.6
W 25	30.1	6.85	695	347	5.4
W 26	31.0	6.37	685	342	5.2

ตารางภาคผนวกที่ 4 ผลวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในดินแปลงข้าวโพดเลี้ยงสัตว์จังหวัดลพบุรี และสระบุรี

จุดเก็บที่	ชื่อ – สกุล	พารามิเตอร์ในการวิเคราะห์								
		pH	EC (ds/m)	OM (%)	Avail P (mg/kg)	Avail K (mg/kg)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	เนื้อดิน
1	นายคอย เม่นเกิด	6.7	0.179	2.30	29	130	13.3	37.8	48.9	ดินเหนียว
2	นายสมทรง วงษ์ษา	6.8	0.189	2.47	15	283	20.7	31.7	47.6	ดินเหนียว
3	นายชัยณรงค์ คำชาติ	6.9	0.219	2.59	25	246	18.6	33.6	47.8	ดินเหนียว
4	นายสุเทพ ฉิมมา	6.9	0.139	1.95	16	185	19.4	16.0	64.6	ดินเหนียว
5	นายทวี โพธิ์เงิน	6.9	0.101	1.90	13	115	17.5	20.0	62.5	ดินเหนียว
6	นางสุรัตน์ วรเจริญ	6.9	0.163	2.53	7	137	15.6	18.6	65.8	ดินเหนียว
7	นายวินัย ใยบัวเอื่อม	6.9	0.232	2.45	11	273	14.2	22.0	63.8	ดินเหนียว
8	นายมานพ อิ่มชื่น	6.7	0.429	2.19	29	165	19.0	19.1	61.9	ดินเหนียว
9	นายอมรเดช อิ่มชื่น	6.7	0.206	1.98	51	178	15.1	16.1	68.8	ดินเหนียว
10	นายเสกสรรค์ ทองแดง	6.6	0.380	2.20	19	119	18.8	18.5	62.7	ดินเหนียว
11	นายนึง หนูทองแดง	6.9	0.133	1.32	124	100	18.6	41.9	39.5	ดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง
12	นางน้ำทิพย์ สุทธิรักษ์	7.0	0.150	1.74	83	125	24.6	39.4	36.0	ดินร่วนเหนียว
13	นายสมพร บุญมากุล	7.0	0.120	1.96	227	78	17.6	35.9	46.5	ดินเหนียว
14	นายสมบัติ ประดิษฐ์ภูมิ	7.0	0.427	2.63	311	493	22.1	42.0	35.9	ดินร่วนเหนียว
15	นายจำนงค์ นาบุญธันทร	7.0	0.188	1.99	127	106	19.9	33.8	46.3	ดินเหนียว
16	นายชาติชาย ปิดป้อง	7.0	0.356	3.67	64	569	34.0	38.9	27.1	ดินร่วนเหนียว
17	นายคำน้อย จันทระ	7.2	0.118	168	196	90	22.9	35.3	41.8	ดินเหนียว
18	นายประทุม เตมีองค์	7.2	0.148	2.15	86	104	25.8	36.8	37.4	ดินร่วนเหนียว
19	นายสมนึก อัมภิราย	7.3	0.140	1.93	75	99	31.2	38.2	30.6	ดินร่วนเหนียว
20	นายสมพิศ น้อยเชื้อ	7.3	0.137	1.69	57	101	31.7	38.3	30.0	ดินร่วนเหนียว
21	นายสมบัติ บุญแจ้ง	6.2	0.079	2.13	64	175	21.3	32.1	46.6	ดินเหนียว
22	นายทวี โสภา	6.3	0.119	2.02	46	172	14.5	21.9	63.6	ดินเหนียว
23	นายทวีวัฒน์ บัวละออ	6.7	0.138	3.26	58	310	11.5	25.3	63.2	ดินเหนียว
24	นายสนอง ธรรมวิเศษ	6.7	0.217	2.36	23	241	17.9	30.8	51.3	ดินเหนียว
25	นายจำเนียน มุขแจ้ง	7.1	0.144	2.31	21	245	14.3	26.8	58.9	ดินเหนียว
26	นายกิตติศักดิ์ เขมา	7.1	0.201	2.65	39	197	14.3	26.3	59.4	ดินเหนียว