การประเมินผลกระทบของสารตกค้างไกลโฟเซต อะทราซีน และอะลาคลอร์ในดิน
Assessing the Impacts of Glyphosate, Atrazine and Alachlor Residues in Soil

มลิสา เวชยานนท์ *อำนาจ กะฐินเทศ* *จันทิมา ผลกอง* *สิริพร เหลืองสุชนกุล*
Malisa Wetchayanon *Amnaj Katintet* *Jantima Phonkong* *Siriporn Luengsuchonkul*

กลุ่มวิจัยวัตถุมีพิษการเกษตร กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร

ABSTRACT

Long-term continuous use of glyphosate, atrazine and alachlor may be have cause impacted on health and residue in the environment. This study was conducted to crop soil sampling in Central region of Thailand; Kanchanaburi, Nakhon Pathom, Lop Buri, Saraburi, and Suphan Buri province areas. The samples were collected in both dry and wet seasons from February to July 2021. Thirty-four sites were collected in total, 130 samples. High performance liquid chromatography (HPLC) and Gas chromatography (GC) were used for pesticide analysis including glyphosate, atrazine and alachlor. Health risks of non-carcinogenic and environmental risk effects were calculated using hazard quotient (HQ) and risk quotient (RQ), respectively. The results revealed that the concentration of atrazine and alachlor at <0.01 - 0.45 mg/kg (27%) and <0.01 - 0.02 mg/kg (2%), respectively. These concentrations of pesticide were detected less than the environmental quality standard of pesticides in soil. Long-term health risk assessments in children and adults revealed that HQ in the range 3.59×10^{-6} - 7.39×10^{-5} and ecological risk that RQ in the range 0.01 - 0.05. However, the pesticides indicated that low potential risk to human health and the environment (HQ and RQ <1).

Keywords : Pesticide residue, Glyphosate, Atrazine, Alachlor, Soil

บทคัดย่อ

การใช้สารกำจัดวัชพืชไกลโฟเซต อะทราซีน และอะลาคลอร์ต่อเนื่องเป็นเวลานาน อาจมีการตกค้าง รวมถึงส่งผลกระทบต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม การศึกษานี้ได้สุ่มเก็บตัวอย่างดินในแปลงปลูกพืชในเขตภาคกลาง พื้นที่จังหวัดกาญจนบุรี นครปฐม ลพบุรี สระบุรี และสุพรรณบุรี ในช่วงฤดูแล้งและฤดูฝน ระหว่างกุมภาพันธ์ถึงกรกฎาคม 2564 รวม 34 แปลง จำนวนตัวอย่างดินทั้งหมด 130 ตัวอย่าง วิเคราะห์สารตกค้างชนิดไกลโฟเซต อะทราซีน และอะลาคลอร์ด้วยเครื่องลิควิดโครมาโตกราฟ และเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟ รวมทั้งประเมินผลกระทบต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อมโดยใช้สัดส่วนความเสี่ยง (Hazard quotient; HQ) และ ค่าความเสี่ยง (Risk quotient; RQ) ตามลำดับผลการตรวจวิเคราะห์พบอะทราซีนและอะลาคลอร์ ปริมาณ <0.01 - 0.45 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ร้อยละ 27) และ <0.01 - 0.02 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ร้อยละ 2) ตามลำดับ ปริมาณที่ตรวจพบต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดให้มีได้ในดิน และเมื่อนำไปประเมินผลกระทบต่อสุขภาพในเด็กและผู้ใหญ่ และผลกระทบในระยะยาวต่อสิ่งแวดล้อม มีค่า HQ และ RQ เท่ากับ 3.59×10^{-6} - 7.39×10^{-5} และ 0.01 - 0.05 ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ปริมาณตกค้างในดินอยู่ในระดับความเสี่ยงต่ำต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม (HQ และ RQ <1)

คำหลัก : สารพิษตกค้าง ไกลโฟเซต อะทราซีน อะลาคลอร์ ดิน

คำนำ

ไกลโฟเซต ($C_3H_8NO_5P$) เป็นสารกำจัดวัชพืชชนิดดูดซึม (systematic herbicide) ไม่เลือกทำลาย อะทราซีน ($C_8H_{14}ClN_5$) เป็นสารป้องกันกำจัดวัชพืชชนิดดูดซึม แบบเลือกทำลาย ใช้ก่อนวัชพืชงอก (pre-emergence) และหลังวัชพืชงอกในระยะเริ่มต้น (early post-emergence) ส่วนอะลาคลอร์ ($C_{14}H_{20}ClNO_2$) นั้น เป็นสารป้องกันกำจัดวัชพืชชนิดดูดซึม ทำลายได้ทั้งวัชพืชประเภทใบแคบ และใบกว้าง ใช้ก่อนวัชพืชงอก (Turner, 2018) ในปี พ.ศ. 2563 มีปริมาณการนำเข้าไกลโฟเซตมากที่สุด โดยมีปริมาณสารสำคัญ 5,870,488.36 กิโลกรัม ส่วนอะทราซีนและอะลาคลอร์มีปริมาณการนำเข้าสารสำคัญ 2,735,030.56 และ 303,717.15 กิโลกรัม ตามลำดับ (สำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร, 2563) ความเป็นพิษของไกลโฟเซต อยู่ในระดับต่ำ LD_{50} (หนู) >5000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักตัว (Henderson, 2010) มีความคงทนในดินระดับปานกลาง ค่าครึ่งชีวิตของการสลายตัวในดิน (degradation time; DT_{50}) ระหว่าง 1 ถึง 197 วัน (Giesy *et al*., 2000; Laitinen *et al*., 2007; Lewis *et al*., 2016; Bento *et al*., 2016) สามารถสลายตัวโดยขบวนการย่อยสลาย (oxiredutase) ของแบคทีเรียในดินโดยเปลี่ยนเป็น aminomethylphosphonic acid (AMPA) (Van et al., 2018) ส่วนอะทราซีน มีค่า LD_{50} (หนู; ชนิดสารเข้มข้น) 1870 - 3090 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักตัว (Turner, 2018) ค่าครึ่งชีวิตในดิน 15.6 วัน (ประกิจและคณะ, 2556) สำหรับอะลาคลอร์มีค่าความเป็นพิษในระดับปานกลาง LD_{50} (หนู) 930 - 1350 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักตัว ค่า DT_{50} >17.1 วัน (ดินร่วนปนทราย, pH 7.5) (Turner, 2018)

สารกำจัดวัชพืชชนิดไกลโฟเซต พบว่ามีผลกระทบในระยะยาวทำให้เกิดมะเร็งในสัตว์ทดลอง (Chruscielska *et al*., 2000; Portier *et al*., 2020) ทั้งนี้ ยังไม่เป็นที่แน่ชัดที่จะทำให้เกิดมะเร็งในมนุษย์ (Henderson, 2010) สำหรับพิษของอะทราซีนนั้น เมื่อได้รับที่ความเข้มข้นสูง จะเกิดอาการคลื่นเหียน อาเจียน ท้องร่วง กล้ามเนื้อล้าและน้ำลายฟูมปาก รวมทั้งรบกวนการทำงานของต่อมไร้ท่อ (endocrine disruptor chemical; EDC) ทำให้เกิดมลภาวะทางฮอร์โมนเพศ (sex-hormone pollution) เกิดพฤติกรรมเบี่ยงเบนทางเพศ มีผลกระทบต่อระบบสืบพันธุ์ในสัตว์ทดลอง (Song et al., 2014) ส่วนสารกำจัดวัชพืชอะลาคลอร์นั้น ถูกจัดให้อยู่ในกลุ่มสารที่เฝ้าระวังและเชื่อได้ว่าก่อให้เกิดมะเร็งต่อมนุษย์หากมีการใช้ในปริมาณสูง (US. EPA, 1998; Catherine *et al*., 2018)

จากปริมาณการนำเข้า รวมถึงความเป็นพิษของไกลโฟเซต อะทราซีน และอะลาคลอร์ ทำให้เกิดความกังวลต่อสุขภาพของผู้รับสัมผัสและการตกค้างในสิ่งแวดล้อม ซึ่งจะต้องมีการเฝ้าระวังผลกระทบที่อาจจะเกิดขึ้นในระยะยาว โดยการตรวจวิเคราะห์ปริมาณการตกค้างในพื้นที่เสี่ยง รวมทั้งประเมินความเสี่ยงจากปริมาณสารที่ตกค้างนี้ต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม เพื่อเป็นการเฝ้าระวังความเป็นอันตรายต่อสุขภาพ และสิ่งแวดล้อมให้มีความปลอดภัยจากการใช้สาร และนำไปสู่การบริหารจัดการเกี่ยวกับการจำกัดการใช้ การเข้มงวด และการยกเลิกการใช้ต่อไป

วิธีดำเนินการ

อุปกรณ์

1. เครื่องแก้วและวัสดุวิทยาศาสตร์ ได้แก่ beaker, centrifuge tube, cylinder, desiccator, eppendorf, filter paper No. 1, funnel, graduated tube, laboratory bottle, micro-pipette, pasture pipette, round bottom flask, vial for auto sampler, volumetric flask, polytetrafluoroethylene (PTFE) filter membrane ขนาด 0.45 ไมโครเมตร พลั่วสแตนเลส ถุงพลาสติก คอลัมน์ BDS Hypersil™ C18 ยาว 250 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 4.6 มิลลิเมตร สารเคลือบ 5 ไมโครเมตร รูพรุนของอนุภาค 130 อังสตรอม คอลัมน์ DB-1701 ยาว 30 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.32 มิลลิเมตร สารเคลือบ 0.25 ไมโครเมตร คอลัมน์ DB-35 ยาว 30 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.25 มิลลิเมตร สารเคลือบ 0.25 ไมโครเมตร

2. เคมีภัณฑ์ชนิดต่าง ๆ

2.1 สารเคมีชนิด analytical grade ได้แก่ กรดไฮโดรคลอริก (hydrochloric acid; HCl) ไดโซเดียม เตตระบอเรต เดคาไฮเดรต (di-sodium tetraborate decahydrate; $Na_2B_4O_7$•10 H_2O) ไดโซเดียม ไฮโดรเจน ฟอสเฟต (disodium hydrogen phosphate; Na_2HPO_4) ไดเอทิล อีเทอร์ (diethyl ether; C_4H_{10O}) ไตรโซเดียม ซิเตรท (trisodium citrate; $Na_3C_6H_5O_7$) น้ำกลั่น (distilled water; distilled H_2O) บอเรต บัฟเฟอร์ (borate buffer)

ฟลูออเรนิลเมทิลออกซีคาร์บอนิล คลอไรด์ (fluorenylmethyloxycarbonyl chloride (Fmoc-Cl); $C_{15}H_{11}ClO_2$) อะซีโตน (acetone; C_3H_6O) อะซีโตไนไตรล์ (acetonitrile; C_2H_3N) เอทิล อะซิเตท (ethyl acetate; $C_4H_8O_2$) แอนไฮดรัส โซเดียมซัลเฟต (anhydrous sodium sulfate; anh. Na_2SO_4) ไอโซ-ออกเทน (iso-octane; C_8H_{18}) และ เฮกเซน (hexane; C_6H_{14})

2.2 สารเคมีชนิด HPLC grade ได้แก่ อะซิโตไนไตรล์ (acetonitrile; CH_3CN) เมทานอล (methanol; CH_3OH) และน้ำ (water; H_2O)

2.3 สารมาตรฐาน pesticide grade ความบริสุทธิ์สูง

2.3.1 กลุ่ม glycine ชนิด ไกลโฟเซต (glyphosate; $C_3H_8NO_5P$) และ อนุพันธ์ ชนิดอะมิโน เมทิลฟอสฟอนิค แอซิด (AMPA, aminomethylphosphonic acid; CH_6NO_3P)

2.3.2 กลุ่ม triazine ชนิด อะทราซีน (atrazine; $C_8H_{14}ClN_5$)

2.3.3 กลุ่ม chloroacetamide ชนิด อะลาคลอร์ (alachlor; $C_{14}H_{20}ClNO_2$)

3. เครื่องมือวิทยาศาสตร์ ได้แก่ เครื่อง gas chromatograph ชนิดตัวตรวจวัด electron capture detector (GC-μECD) และ nitrogen phosphorus detector (GC-NPD) เครื่อง high performance liquid chromatograph ชนิดตัวตรวจวัด fluorescence detector (FLD) เครื่องกรองระบบสุญญากาศ (vacuum filtration apparatus) เครื่องเขย่าผสมสาร (votex mixer) เครื่องเขย่าสาร (shaker) เครื่องชั่ง (analytical balance) เครื่องปั่นเหวี่ยงตกตะกอน (centrifuge) เครื่องลดปริมาตรสารละลาย (rotary evaporator) เครื่องลดปริมาตรสารละลายด้วยแก๊สไนโตรเจน (nitrogen evaporator) เครื่องล้างความถี่สูง (ultrasonic bath)

วิธีการ

1. กำหนดจุดเก็บตัวอย่าง (Sampling sites)

แปลงปลูกพืชที่มีประวัติการใช้สารกำจัดวัชพืชชนิดไกลโฟเซต อะทราซีน และอะลาคลอร์ในพื้นที่จังหวัดกาญจนบุรี นครปฐม ลพบุรี สุพรรณบุรี และสระบุรี โดยใช้พิกัดภูมิศาสตร์ ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างดินในช่วงฤดูแล้ง (กุมภาพันธ์ถึงมีนาคม 2564) และฤดูฝน (มิถุนายนถึงกรกฎาคม 2564) จำนวน 34 แปลง (ภาคผนวก; Table 1)

2. การสุ่มเก็บตัวอย่าง (Sample collection)

สุ่มเก็บตัวอย่างดินในแปลงปลูกพืชโดยวิธีการสุ่ม (random sampling) (กลุ่มวิจัยวัตถุมีพิษการเกษตร, 2564) ถางหญ้าหรือเศษพืชบริเวณที่ต้องการเก็บตัวอย่างออก ใช้พลั่วสแตนเลสขุดดินเป็นหลุมลึกรูปตัววี (V) ประมาณ 6 - 9 นิ้ว จากผิวดิน สุ่มเก็บอย่างน้อย 7 - 10 จุด รวมให้ได้น้ำหนักดินประมาณ 2 กิโลกรัม ใส่ถุงพลาสติก ติดฉลาก เก็บรักษาสภาพในถังน้ำแข็ง (4 องศาเซลเซียส) ระหว่างนำส่งห้องปฏิบัติการ จำนวนตัวอย่างรวมทั้งหมด 130 ตัวอย่าง

3. การสกัดตัวอย่าง (Sample preparation)

คำนวณความชื้นในตัวอย่างดิน และคำนวณน้ำหนักดินแห้งสุทธิ (dry weigh; dw) โดยชั่งตัวอย่างดิน 50 กรัม บันทึกน้ำหนักตัวอย่างดินก่อนอบ และหลังอบ 24 ชั่วโมง (Back, 1965) นำไปคำนวณความชื้นและน้ำหนักดินแห้งในช่วงเวลาเดียวกับนำตัวอย่างดินสกัดสารพิษตกค้าง สารกำจัดวัชพืชชนิดไกลโฟเซต และอนุพันธ์ สกัดโดยชั่งตัวอย่างดิน 10 กรัม สกัดด้วยสารละลายผสมระหว่าง 0.03M Disodium hydrogen phosphate และ 0.01M Trisodium citrate ปรับปริมาตร 50 มิลลิลิตร และ Derivatization ด้วย 0.02M FMOC-Cl วิเคราะห์ปริมาณด้วยเครื่อง high performance Liquid chromatograph (Sun et al., 2017) ส่วนสารกำจัดวัชพืชชนิดอะทราซีน และอะลาคลอร์ ชั่งตัวอย่างดิน 20 กรัม สกัดด้วย ethyl acetate ลดปริมาตร และปรับปริมาตร 2 มิลลิลิตร วิเคราะห์ปริมาณด้วยเครื่อง gas chromatograph (AOAC, 2016)

4. การวิเคราะห์สารตกค้าง (Sample analysis)

4.1 วิเคราะห์สารกำจัดวัชพืชชนิดไกลโฟเซต และอนุพันธ์ ดัดแปลงวิธีทดสอบของ Sun et al. (2017) ส่วนการวิเคราะห์สารกำจัดวัชพืชชนิดอะทราซีน และอะลาคลอร์ดัดแปลงจากวิธีทดสอบของ AOAC (2016)

4.2 เตรียมสารละลายของสารมาตรฐาน stock standard solution ของสารพิษแต่ละชนิดให้มีความเข้มข้นประมาณ 1000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร เตรียม intermediate standard solution ให้ได้สารละลายของสารมาตรฐานความเข้มข้นอยู่ในช่วง 20 - 80 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร และเตรียม working standard solution ที่ 5 ระดับความเข้มข้นของสารไกลโฟเซต อะทราซีน และอะลาคลอร์ ให้ได้ความเข้มข้นประมาณ 0.10 - 2.00, 0.02 - 1.50 และ 0.01 - 0.50 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ

4.3 สภาวะการทำงานของเครื่อง High Performance Liquid Chromatograph (HPLC) และ Gas Chromatograph (GC) เพื่อตรวจวิเคราะห์สารแต่ละชนิด

4.3.1 ตรวจวิเคราะห์สารพิษชนิดไกลโฟเซตและอนุพันธ์ ปรับสภาวะการทำงานของเครื่อง HPLC ดังนี้

Column : BDS Hypersil™ C18, 250 mm x 4.6 mm, particle size 5 μm, pore size 130 A°

Detector : Fluorescence (FLD)

Excitation wavelength, λ_{ex} : 270 nm; Emission wavelength, λ_{em} : 315 nm

Column temperature : 40 °C, Injection volume : 20 μL

Run time : 14 minutes

Gradient cretic system :

Time (minutes)	Mobile phase (Ratio)		Flow rate (mL/min)
	50mM KH_2PO_4 (pH = 5.50)	acetonitrile	
0	70	30	0.7
5	50	50	0.7
8	20	80	0.7
10	70	30	0.7

4.3.2 ตรวจวิเคราะห์สารพิษชนิดอะทราซีน ปรับสภาวะการทำงานของเครื่อง GC ดังนี้

Column : DB-35, 30 m length x 0.25 mm id. x 0.25 μm film thickness

Detector : NPD, Injection mode : pulsed splitless

Temperature conditioning : injector = 230 °C, detector = 300 °C

Oven program : 55 °C (1 min) $\xrightarrow{10°C/min}$ 195 °C (2 min) $\xrightarrow{10°C/min}$ 230 °C (1 min) $\xrightarrow{20°C/min}$ 250 °C (1 min) $\xrightarrow{15°C/min}$ 280 °C (1 min)

Carrier gas : helium flow 1.4 mL/min

Ignite gas : hydrogen 2 mL/min, air 120 mL/min

Injection volume : 1 μL, run time: 26.5 minutes

4.3.3 ตรวจวิเคราะห์สารพิษชนิดอะลาคลอร์ ปรับสภาวะการทำงานของเครื่อง GC ดังนี้

Column : DB-1701, 30 m length x 0.32 mm id. x 0.25 μm film thickness

Detector : μECD, Injection mode: splitless

Temperature conditioning : injector = 230 °C, detector = 300 °C

Oven program : 80 °C (1 min) $\xrightarrow{20 °C/min}$ 220 °C (2 min) $\xrightarrow{1 °C/min}$ 235 °C (1 min) $\xrightarrow{20 °C/min}$ 240 °C (1 min) $\xrightarrow{25 °C/min}$ 265 °C (12 min) $\xrightarrow{20 °C/min}$ 280 °C (8 min)

Carrier : helium flow 1.4 mL/min

Injection volume : 1 μL, run time: 49 minutes

4.4 การคำนวณปริมาณสารพิษตกค้าง

ปริมาณสารพิษตกค้างในตัวอย่างคำนวณจาก

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

เมื่อ C (concentration) คือ ความเข้มข้นของสารพิษในตัวอย่างดินแห้ง (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) R_x คือ response (area) ของสารพิษในตัวอย่าง, B_0 คือ intercept ของ calibration curve, A_0 คือ slope ของ calibration curve (มิลลิลิตร/ไมโครกรัม), V (volume) คือ ปริมาตรสุดท้ายของสารละลายตัวอย่าง (มิลลิลิตร), W (weight) คือ น้ำหนักตัวอย่างดินแห้ง (กรัม) และ D (dilution factor) คือ จำนวนเท่าการเจือจาง

5. การประเมินผลกระทบ

5.1 การประเมินผลกระทบต่อสุขภาพ

ใช้สมการทางคณิตศาสตร์ในการคาดการณ์หรือทำนายแนวโน้มของผลกระทบที่อาจจะเกิดขึ้นเพื่อบ่งชี้ระดับความเป็นอันตรายของสารพิษ โดยสมการคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการคำนวณผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์จะใช้สูตรคำนวณค่า Hazard quotient (HQ) (US. EPA, 2011) ดังนี้

$$HQ = ADI/RfD$$

เมื่อ ADI (average daily intake) คือ ปริมาณสารพิษเข้าสู่ร่างกายอย่างต่อเนื่องต่อน้ำหนักตัวกิโลกรัม, RfD (reference dose of the contaminant) คือ ปริมาณสารที่รับเข้าสู่ร่างกายได้ทุกวันโดยไม่ทำให้เกิดความผิดปกติใด ๆ ต่อสุขภาพอนามัย โดย ADI คำนวณจาก

$$ADI = (C \times IR \times EF \times ED)/(BW \times AT)$$

เมื่อ C (concentration) คือ ความเข้มข้นเฉลี่ยสารพิษในตัวอย่าง (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม), IR (ingestion rate) คือ ปริมาณการรับสัมผัส (มิลลิกรัมต่อวัน), EF (exposure frequency) คือ ความถี่ของการรับสัมผัส (วันต่อปี ; 350/ปี), ED (exposure duration) คือ ระยะเวลาที่รับสัมผัส (ปี) (เด็ก 6 ปี ผู้ใหญ่ 30 ปี), BW (body weight) คือ น้ำหนักของร่างกาย (กิโลกรัม) (เด็ก (child) อายุ 6 ปี น้ำหนักเฉลี่ย 33.38 กิโลกรัม และผู้ใหญ่ (adult) อายุ 70 ปี น้ำหนักเฉลี่ย 55.77 กิโลกรัม) (มกอช., 2559), AT (average time) คือ ระยะเวลาเฉลี่ยที่รับสัมผัสตลอดช่วงอายุ (วัน) (เด็ก 2190 วัน ผู้ใหญ่ 10950 วัน) การแปรผลจากค่าที่คำนวณได้ HQ $\leq$1 คือ ไม่มีผลกระทบต่อสุขภาพอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ (acceptable risk) HQ >1 คือ มีผลกระทบหรือมีความเสี่ยงต่อสุขภาพ (risk)

5.2 การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

ประเมินผลกระทบในระยะยาวต่อมีชีวิตในดินชนิด earthworm (ECB, 2003; ECHA, 2008) โดยใช้ค่าความเสี่ยง (Risk quotient; RQ) จากสมการ

$$RQ = MEC/PNEC$$

เมื่อ MEC (measured environment concentration) คือ ความเข้มข้นของสารในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม), PNEC (predicted no effect concentration) คือ ความเข้มข้นสูงสุดของสารที่ไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิต (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) (assessment factor เท่ากับ 10) ค่า RQ <1 คือ ไม่มีความเสี่ยงต่อสิ่งแวดล้อม (no immediate concern), RQ = 1-10 คือ มีความเสี่ยงต่อสิ่งแวดล้อมเล็กน้อย แต่หากมีการเพิ่มปริมาณสารพิษที่ใช้ ต้องคำนึงถึงความเสี่ยงมากขึ้น (of concern if supply volumes increase), RQ = 10-100 คือ มีความเสี่ยง ต้องทำการลดความเสี่ยง (Further data require), RQ >100 คือ มีความเสี่ยงมากและจำเป็นต้องลดความเสี่ยงนั้นทันที (reduce risk immediate)

6. การควบคุมคุณภาพผลการทดสอบ (Quality assurance)

6.1 แต่ละชุดของการตรวจวิเคราะห์ ทำการทดสอบความเป็นเส้นตรงของสารละลายของสารมาตรฐานที่ 5 ระดับความเข้มข้น ได้ค่า correlation coefficient อยู่ระหว่าง 0.997 - 0.999 (เกณฑ์การยอมรับ $\geq$0.995)

6.2 แต่ละชุดของการวิเคราะห์ ทำการทดสอบ reagent blank, sample blank (พบสาร <LOD) และหาค่าการได้กลับคืนมาของสาร (เกณฑ์การยอมรับ %recovery 70-120%; SANTE/12682, 2019) ผลการทดสอบแสดงใน Table 1

Table 1 Quality assurance of analysis

Pesticides	Conc. (mg/kg)	Recovery (%)	LOD (mg/kg)	LOQ (mg/kg)
glyphosate	1.03	81.00	0.05	0.17
alachlor	1.58	87.60	0.05	0.10
atrazine	0.10	93.63	0.001	0.01

LOD means limit of detection,
LOQ means limit of quantitation

7. การบันทึกข้อมูล

7.1 ข้อมูลภาคสนาม ได้แก่ อัตราการใช้สาร จำนวนครั้งในการพ่นสาร ข้อมูลการใช้สารไกลโฟเซต อะทราซีน และอะลาคลอร์จากการสัมภาษณ์เกษตรกร พิกัดจุดเก็บตัวอย่างดิน และคุณสมบัติทางเคมี-ฟิสิกส์ของดิน

7.2 ผลการตรวจวิเคราะห์ปริมาณสารพิษตกค้างในดิน หน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (mg/kg)

7.3 ผลกระทบของสารพิษจากการคำนวณ และการเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน

ระยะเวลา เริ่มต้น ตุลาคม 2563 สิ้นสุด กันยายน 2564

สถานที่ทำการทดลอง

1. แปลงปลูกพืชในเขตภาคกลางพื้นที่จังหวัดกาญจนบุรี นครปฐม ลพบุรี สระบุรี และสุพรรณบุรี
2. สกัดและตรวจวิเคราะห์ตัวอย่างที่ห้องปฏิบัติการกลุ่มวิจัยวัตถุมีพิษการเกษตร กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. สารตกค้างไกลโฟเซต อะทราซีน และอะลาคลอร์ในดิน

จากการสุ่มเก็บตัวอย่างดินในแปลงปลูกพืชในเขตภาคกลางพื้นที่จังหวัดกาญจนบุรี นครปฐม ลพบุรี สระบุรี และสุพรรณบุรี รวม 34 แปลง จำนวนตัวอย่างดินรวมทั้งหมด 130 ตัวอย่าง ในช่วงฤดูแล้ง (กุมภาพันธ์ถึงมีนาคม 2564) พบอะทราซีน ปริมาณ <0.01 - 0.42 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จำนวน 15 ตัวอย่าง และในช่วงฤดูฝน (มิถุนายนถึงกรกฎาคม 2564) พบอะทราซีน ปริมาณ <0.01 - 0.45 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จำนวน 20 ตัวอย่าง และพบอะลาคลอร์ปริมาณ <0.01 - 0.02 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จำนวน 2 ตัวอย่าง รวมจำนวนตัวอย่างที่ตรวจพบสารพิษตกค้างคิดเป็น ร้อยละ 28 ของจำนวนตัวอย่างทั้งหมด โดยตรวจพบอะทราซีนในช่วงฤดูฝนมีจำนวนตัวอย่างมากกว่าในฤดูแล้ง แต่ปริมาณที่ตรวจพบนั้นใกล้เคียงกัน ซึ่งสอดคล้องกับการใช้อะทราซีนกำจัดวัชพืชในช่วงต้นฤดูฝน เพื่อควบคุมวัชพืชก่อนงอก (pre-emergent) สำหรับเตรียมแปลงปลูกพืชไร่ ได้แก่ อ้อย ข้าวโพด เป็นต้น (PPDB, 2022a) ข้อมูลการตกค้างที่ยาวนานในสิ่งแวดล้อมของอะทราซีนที่มีค่าการสลายตัวของอะทราซีนในดิน DT_{50} เท่ากับ 115 วัน (ผกาสินีและคณะ, 2555) ซึ่งหากมีการใช้อย่างต่อเนื่องจะทำให้มีตกค้างได้นานขึ้น อย่างไรก็ตาม ปริมาณที่ตรวจพบนี้ ต่ำกว่าค่ามาตรฐานคุณภาพดินของประเทศไทย ที่กำหนดค่ามาตรฐานของอะทราซีนในดินเพื่อที่อยู่อาศัยและเกษตรกรรมต้องไม่เกิน 22 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, 2547) สำหรับสารกำจัดวัชพืชชนิดอะลาคลอร์ที่ตรวจพบการตกค้างในปริมาณต่ำนั้น ด้วยคุณสมบัติการละลายน้ำได้ปานกลาง 240 มิลลิกรัมต่อลิตร รวมทั้งค่า DT_{50} ในดินที่มีขบวนการย่อยสลายของแบคทีเรียจะอยู่ในช่วงสั้น ๆ ที่ 6 - 15 วัน (Vencill, 2002) จึงทำให้พบปริมาณการตกค้างค่อนข้างต่ำ ซึ่งสอดคล้องกับการวิเคราะห์สารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างในดินแปลง GAP ในพื้นที่จังหวัดขอนแก่น ที่พบการตกค้างของสารกำจัดวัชพืชชนิดอะลาคลอร์ในปริมาณต่ำที่ 0.01 - 0.06 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (จารุพงศ์และคณะ, 2562) ส่วนสารกำจัดวัชพืชชนิดไกลโฟเซตนั้น ไม่พบการตกค้างในตัวอย่างทั้ง 2 ฤดู ทั้งนี้ เนื่องจากการสลายตัวโดยจุลินทรีย์ดิน รวมทั้งปัจจัยทางด้านสภาพแวดล้อม (Van et al., 2018)

และคุณสมบัติการละลายน้ำได้ดีมากที่ 100 กรัมต่อลิตร รวมทั้งค่าการสลายตัว DT_{50} ของไกลโฟเซตค่อนข้างสั้นที่ 6.45 วัน (field) (PPDB, 2022b) ประกอบกับคุณสมบัติของดินในพื้นที่ศึกษาเป็นกรดปานกลางถึงด่างปานกลาง pH ระหว่าง 6.0 - 8.3 (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553) และเนื้อดินส่วนใหญ่เป็นดินเหนียว (ภาคผนวก; Table 2) มีความสามารถในการอุ้มน้ำได้ดี ทำให้น้ำละลายสารไกลโฟเซตจากชั้นดิน จึงทำให้ไม่พบการตกค้างของไกลโฟเซตและอนุพันธ์ดังกล่าว

2. ผลกระทบของสารตกค้างไกลโฟเซต อะทราซีน และอะลาคลอร์ในดิน

จากการประเมินผลกระทบต่อสุขภาพจากการรับสัมผัสที่มีการปนเปื้อนของสารพิษตกค้างที่ไม่ใช่สารก่อมะเร็ง โดยใช้ Hazard quotient (HQ) สำหรับเด็กอายุ 6 ปี และผู้ใหญ่อายุ 70 ปี และประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยใช้ Risk quotient (RQ) จากปริมาณสารพิษที่ตรวจพบมีปริมาณค่อนข้างต่ำ <0.01 - 0.45 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อประเมินผลกระทบทั้งต่อสุขภาพ และสิ่งแวดล้อม พบว่าค่า HQ และ RQ ของอะทราซีนและอะลาคลอร์ที่พบตรวจนั้น มีค่า HQ ≤1 แสดงว่า เป็นความเสี่ยงระดับต่ำที่ยอมได้ (acceptable risk) (Table 2) โดยสอดคล้องกับการตรวจพบอะลาคลอร์ตกค้างในดินแปลงปลูกคะน้าในจังหวัดขอนแก่น และได้ทำการประเมินผลกระทบต่อสุขภาพของเกษตรกร พบว่าอยู่ในระดับต่ำเป็นความเสี่ยงที่ยอมรับได้ (HQ ≤1) (จารุพงศ์และคณะ, 2562)

Table 2 Hazard quotient (HQ) and risk quotient (RQ) for detected pesticides

Pesticides	Concentration (mg/kg)		Hazard quotient (HQ)				Risk quotient (RQ)		Risk
	Dry season	Rainy season	Dry season		Rainy season		Dry season	Rainy season	
	(min - max)	(min - max)	Child	Adult	Child	Adult			
atrazine	<0.01-0.42	<0.01-0.45	6.89×10^{-5}	2.15×10^{-5}	7.39×10^{-5}	2.31×10^{-5}	0.04	0.05	acceptable risk
alachlor	ND	<0.01-0.02	-	-	1.15×10^{-5}	3.59×10^{-6}	-	0.01	acceptable risk

ND means not detected,

HQ ≤1 means no adverse health effects are expected as a result of exposure,

HQ >1 means adverse health effects are possible,

Average weight for 6-year-old child is 33.38 kilograms and 70-year-old adult is 55.77 kilograms (มกอช., 2559),

RQ <1 means no immediate concern, RQ = 1-10 means of concern if supply volumes increase, RQ = 10-100 means further data require, RQ >100 means reduce risk immediate

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ/คำแนะนำ

สารกำจัดวัชพืชไกลโฟเซต อะทราซีน และอะลาคลอร์ที่พบตกค้างในดินเขตภาคกลางพื้นที่จังหวัดนครปฐม สุพรรณบุรี กาญจนบุรี สระบุรี และลพบุรี ต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดให้มีได้ในดิน ผลกระทบต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อมอยู่ในระดับความเสี่ยงต่ำที่ยอมรับได้ อย่างไรก็ตาม หากมีการใช้สารเกินอัตราที่แนะนำ การตกค้างและความเสี่ยงอาจจะมีผลกระทบต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อมได้ ฉะนั้น เพื่อให้สุขภาพและสิ่งแวดล้อมมีความปลอดภัยควรปฏิบัติตามคำแนะนำการใช้สารด้วยความถูกต้อง เหมาะสม รวมถึงจะต้องมีการเฝ้าระวัง และตรวจติดตามการใช้อย่างต่อเนื่องต่อไป

การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

1. กรมวิชาการเกษตร ใช้กำหนดแนวทางสำหรับการบริหารจัดการเกี่ยวกับการใช้สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชเพื่อให้มีความปลอดภัย รวมทั้งกำหนดเป็นมาตรการในการลดผลกระทบจากการใช้สารป้องกันกำจัดศัตรูพืช

2. เกษตรกรที่มีส่วนร่วม เกิดการตระหนักรู้ มีจิตสำนึก และมีความระมัดระวังในการใช้สารป้องกันกำจัดศัตรูพืช เพื่อให้มีความปลอดภัยต่อสุขภาพ และสิ่งแวดล้อม ตลอดจนประชาชนผู้บริโภคได้บริโภคอาหารที่ปลอดภัย

3. ประชาชนทั่วไป สถานศึกษา องค์กรเอกชน และหน่วยงานราชการอื่นที่เกี่ยวข้อง ได้รับรู้ข้อมูลด้านวิชาการเกี่ยวกับผลกระทบของสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชที่มีต่อสุขภาพ และสิ่งแวดล้อม เป็นการเผยแพร่ข้อมูลในวงกว้าง ทำให้เกิดความร่วมมือในระหว่างภาคส่วนต่าง ๆ ในการช่วยลดผลกระทบที่เกิดขึ้น

เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาที่ดิน. 2553. คู่มือการปฏิบัติงานกระบวนการวิเคราะห์ตรวจสอบดินทางเคมี. 12 หน้า. [ระบบออนไลน์] สืบค้นจาก: https://www.ldd.go.th/PMQA/2553/Manual/OSD-03.pdf. (10 ก.พ. 2565).

กลุ่มวิจัยวัตถุมีพิษการเกษตร. 2564. ***คู่มือการใช้บริการตรวจวิเคราะห์สารพิษตกค้างในพืช ดิน น้ำ คุณภาพผลิตภัณฑ์วัตถุมีพิษการเกษตร และสารสกัดธรรมชาติ.*** 17 หน้า.

คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ. 2547. ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 25 พ.ศ. 2547. เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพดิน. ***ในราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 121*** ตอนพิเศษ 119 ง (ลงวันที่ 9 กันยายน 2547)

จารุพงศ์ ประสพสุข สุวิทย์ เลาหศิริวงศ์ อรุณี พรมคำบุตร และชุลีมาศ บุญไทย อิวาย. 2562. การประเมินความเสี่ยงสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างในดินต่อสุขภาพของเกษตรกรผู้ปลูกคะน้าในจังหวัดขอนแก่น. ***วารสารวิชาการเกษตร ปีที่ 37*** ฉบับที่ 3 กันยายน-ธันวาคม 2562

ประกิจ จันทร์ติ๊บ ผกาสินี คล้ายมาลา และวรวิทย์ สุจิรธรรม. 2556. ศึกษาการสลายตัว และสะสมสารกำจัดวัชพืชกลุ่ม Triazine ในดิน น้ำ และตะกอนในแหล่งปลูกพืชสวน และพืชไร่; ชนิด atrazine ในไร่สับปะรด. ***เอกสารผลการปฏิบัติงาน ประจำปีงบประมาณ 2555***. สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร. กรมวิชาการเกษตร. 201-211 หน้า.

ผกาสินี คล้ายมาลา ประกิจ จันทร์ติ๊บ และวรวิทย์ สุจิรธรรม. 2555. ศึกษาการสลายตัว และสะสมสารกำจัดวัชพืชกลุ่ม Triazine ในดิน น้ำ และตะกอนในแหล่งปลูกพืชสวน และพืชไร่; ชนิด atrazine ในไร่อ้อย. ***เอกสารผลการปฏิบัติงาน ประจำปีงบประมาณ 2554***. สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร. กรมวิชาการเกษตร. 115-126 หน้า.

มกอช. 2559. ข้อมูลการบริโภคอาหารของประเทศไทย (FOOD CONSUMPTION DATA OF THAILAND). สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. [ระบบออนไลน์]. สืบค้นจาก: https://www.acfs.go.th/files/files/attach-files/867_20190606145951_625162.pdf (10 ก.ย. 2563).

สำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร. 2563. รายงานสรุปวัตถุอันตรายที่มีการนำเข้าสูงสุด 10 อันดับ ปี 2563. กรมวิชาการเกษตร. [ระบบออนไลน์] สืบค้นจาก: https://www.doa.go.th/ard/?page_id=386 (5 ม.ค. 2564).

AOAC. 2016. Organophosphorus Pesticide. General Multiresidue Method. Association of Official Analytical Chemists Method 970.52

Back, C. K. 1965. Method of soil analysis: part I physical and mineralogical properties. American Society of Agronomy. Madison. Wisconsin. USA. 4 p.

Bento, C.P.M., X. Yang and G. Gort. 2016. Persistence of glyphosate and aminomethylphosphonic acid in loess soil under different combinations of temperature, soil moisture and light/darkness. ***Science of the Total Environment*** 572: 301-311.

Catherine, C. L., G. Andreotti, S. Koutros, W.J. Lee, J.N. Hofmann, D.P. Sandler, C.G. Parks, A. Blair, J. H. Lubin and L.E. Beane Freeman. 2018. Alachlor Use and Cancer Incidence in the Agricultural Health Study: An Updated Analysis. ***National Cancer Institute*** 110(9): 950-958.

Chruscielska, K.G.B., J. Brzezinski, K. Kita, B. Graffstein and P. A. Korzeniowski. 2000. Glyphosate: evaluation of chronic activity and possible far-reaching effects-Part 1. Studies on chronic toxicity. ***Pestycydy*** (3-4): 11-20.

ECB. 2003. Technical Guidance Document on Risk Assessment. Commission Directive 93/67/EEC on Risk Assessment for new notified substances. [Online]. European Chemicals Bureau. Available from: https://echa.europa.eu/documents/10162/987906/tgdpart2_2ed_en.pdf/138b7b71-a069-428e-9036-62f4300b752f (October 10, 2021)

ECHA. 2008. Guidance on information requirements and chemical safety assessment, chapter R.10: characterization of dose [concentration]-response for environment. [Online]. European Chemicals Agency. Available from: https://echa.europa.eu/documents/10162/13632/ information_ requirements_ r10_en.pdf/bb902be7-a503-4ab7-9036-d866b8ddce69 (October 10, 2021)

Giesy, J., S. Dobson and K. Solomon. 2000. Ecotoxicological risk assessment for Roundup herbicide. ***Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*** 167: 35-120.

Henderson, A. M., J. A. Gervais, B. Luukinen, K. Buhl, D. Stone, A. Cross and J. Jenkins. 2010. Glyphosate General Fact Sheet; National Pesticide Information Center, Oregon State University Extension Services. [Online]. Available from: http://npic.orst.edu/factsheets/glyphogen.html (April 10, 2021)

Laitinen, P., S. Rämö and K. Siimes. 2007. Glyphosate translocation from plants to soil-does this constitute a significant proportion of residues in soil? Plant Soil 300: 51- 60. [Online]. Available from: https://doi.org/10.1007/s11104-007-9387-1 (April 10, 2021)

Lewis, K.A., J. Tzilivakis, D.J. Warner and A. Green. 2016. An international database for pesticide risk assessments and management. ***Human and Ecological Risk Assessment*** 22: 1050-1064.

Portier, C.J.A. 2020. Comprehensive analysis of the animal carcinogenicity data for glyphosate from chronic exposure rodent carcinogenicity studies. ***Environ Health*** 19:18. 1-17.

PPDB. 2022a. Pesticide Properties DataBase; Atrazine. [Online]. Available from: http://sitem.herts.ac.uk/aeru/ ppdb/en/Reports/43.htm (February 20, 2022)

PPDB. 2022b. Pesticide Properties DataBase; Glyphosate. [Online]. Available from: http://sitem.herts.ac.uk/aeru/ ppdb/en/Reports/373.htm#1 (February 20, 2022)

SANTE/12682. 2019. Guidance document on analytical quality control and method validation procedures for pesticide residues and analysis in food and feed. [Online]. Available from: https://ec.europa.eu/ food/system/ files/2020-1/pesticides_mrl_guidelines_wrkdoc_2019-12682.pdf (April 3, 2021)

Song, Y., Z. C. JIA, J.Y. CHEN, J. X. HU and L. S. Zhang. 2014. Toxic Effects of Atrazine on Reproductive System of Male Rats. ***Biomedical and Environmental Sciences*** 27(4): 281-288.

Sun, L., D. Konga, W. Gud, X. Guoa, W. Taoa, Z. Shana, Y. Wangc and N. Wang. 2017. Determination of glyphosate in soil/sludge by high performance liquid chromatography. ***Chromatography A*** 1502: 8-13.

Turner, J. A. 2018. ***A World Compendium; The Pesticide Manual. 18th edition.*** British Crop Production Council; BCPC: UK. 1385 p.

US. EPA. 1998. Alachlor Fact sheet. [Online]. Available from: https://www3.epa.gov/pesticides/chem_search/ reg_actions/reregistration/ fs_PC-090501_1-Dec-98.pdf (March 1, 2021)

US. EPA. 2011. Exposure Factors Handbook: 2011 Edition. National Center for Environmental Assessment, Washington, DC; EPA/600/R-09/052F. [Online]. Available from: https://www.epa.gov/sites/ production/ files/2015-09/documents/efh-frontmatter.pdf (March 20, 2021)

Van, A.H.C., M.M. He, K. Shin, V. Mai, K.C. Jeong, M.R. Finckh and J.G. Morris. 2018. Environmental and health effects of the herbicide glyphosate. ***Sci. Total Environ.*** 616-617: 255-268.

Vencill, W.K. 2002. ***WSSA herbicide handbook (8th edition).*** Weed Science Society of America. Lawrence, KS, USA.

ภาคผนวก

Table 1 Locations of the samples collected in the Central region of Thailand

Site	Description of sampling sites	Location by GPS	
		UTM X	UTM Y
1	Khao Din Subdistrict, Doem Bang Nang Buat District, Suphan Buri Province	14.780394	100.200547
2	Khao Din Subdistrict, Doem Bang Nang Buat District, Suphan Buri Province	14.780283	100.201222
3	Khao Din Subdistrict, Doem Bang Nang Buat District, Suphan Buri Province	14.778587	100.195748
4	Khao Din Subdistrict, Doem Bang Nang Buat District, Suphan Buri Province	14.787972	100.196697
5	Chorakhe Samphan Subdistrict, U Thong District, Suphan Buri Province	14.302300	99.859616
6	Chorakhe Samphan Subdistrict, U Thong District, Suphan Buri Province	14.290789	99.853827
7	Chorakhe Samphan Subdistrict, U Thong District, Suphan Buri Province	14.307936	99.850833
8	Ban Yang Subdistrict, Mueang District, Nakhon Pathom Province	13.854114	99.930264
9	Ban Yang Subdistrict, Mueang District, Nakhon Pathom Province	13.856781	99.931736
10	Thung Luk Nok Subdistrict, Kamphaeng Saen District, Nakhon Pathom Province	14.016889	99.906042
11	Huai Mon Thong Subdistrict, Kamphaeng Saen District, Nakhon Pathom Province	13.988156	99.943144
12	Huai Mon Thong Subdistrict, Kamphaeng Saen District, Nakhon Pathom Province	13.986358	99.944553
13	Tha Mai Subdistrict, Tha Maka District, Kanchanaburi Province	13.891900	99.813522
14	Tha Mai Subdistrict, Tha Maka District, Kanchanaburi Province	13.892047	99.813906
15	Dan Makham Tia Subdistrict Dan Makham Tia District, Kanchanaburi Province	13.836777	99.392905
16	Dan Makham Tia Subdistrict Dan Makham Tia District, Kanchanaburi Province	13.841689	99.398687
17	Wang Dong Subdistrict, Mueang Kanchanaburi District, Kanchanaburi Province	14.226396	99.329406
18	Wang Dong Subdistrict, Mueang Kanchanaburi District, Kanchanaburi Province	14.229878	99.317606
19	Wang Dong Subdistrict, Mueang Kanchanaburi District, Kanchanaburi Province	14.230444	99.318125
20	Khao Wong Subdistrict, Phra Phutthabat District, Saraburi Province	14.661408	100.834603
21	Khao Wong Subdistrict, Phra Phutthabat District, Saraburi Province	14.661131	100.834719
22	Khao Wong Subdistrict, Phra Phutthabat District, Saraburi Province	14.660758	100.835658
23	Khao Wong Subdistrict, Phra Phutthabat District, Saraburi Province	14.661808	100.835292
24	Chon Saradet Subdistrict, Nong Muang District, Lopburi Province	15.183919	100.669925
25	Chon Saradet Subdistrict, Nong Muang District, Lopburi Province	15.192000	100.656603
26	Chon Saradet Subdistrict, Nong Muang District, Lopburi Province	15.189781	100.657386
28	Chon Saradet Subdistrict, Nong Muang District, Lopburi Province	15.188811	100.721950
29	Chon Saradet Subdistrict, Nong Muang District, Lopburi Province	15.188664	100.722558
30	Chon Saradet Subdistrict, Nong Muang District, Lopburi Province	15.190439	100.729756
31	Hin Son Subdistrict, Kengkoi District, Saraburi Province	14.744119	101.039186
32	Hin Son Subdistrict, Kengkoi District, Saraburi Province	14.760022	101.038906
33	Hin Son Subdistrict, Kengkoi District, Saraburi Province	14.773011	101.001133
34	Hin Son Subdistrict, Kengkoi District, Saraburi Province	14.772553	101.000036

Table 2 Physical and chemical properties of the soil samples

Site	pH	EC (dS/m)	OM (%)	Avail P (mg/kg)	Avail K (mg/kg)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Soil Texture
1	7.2	0.148	2.18	17	150	5.8	25.8	68.4	clay
2	6.6	0.195	3.22	49	127	11.6	26.3	62.1	clay
3	7.1	0.177	2.48	107	79	25.6	36.6	37.8	clay loam
4	8.0	0.125	2.08	82	239	21.6	38.6	39.8	clay loam
5	6.7	0.616	1.69	49	69	38.2	35.3	26.5	loam
6	6.2	0.081	1.42	7	60	31.6	42.8	25.6	loam
7	6.3	0.111	1.77	71	107	29.6	40.8	29.6	clay loam
8	6.9	0.099	1.50	98	107	40.8	34.9	24.3	loam
9	8.0	0.236	1.29	107	91	25.9	34.1	40.0	clay
10	7.6	0.172	1.27	290	168	28.0	44.0	28.0	clay loam
11	8.0	0.225	1.22	51	97	33.0	33.6	33.4	clay loam
12	8.0	0.225	1.22	51	97	33.0	33.6	33.4	clay loam
13	7.3	0.185	1.32	617	247	44.9	36.4	18.7	loam
14	6.7	0.145	1.44	26	92	40.6	39.0	20.4	loam
15	6.0	0.119	1.73	43	118	21.5	46.3	32.2	clay loam
16	6.2	0.052	1.15	191	77	51.6	30.1	18.3	loam
17	7.5	0.115	2.38	34	141	58.2	20.9	20.9	silty clay loam
18	6.5	0.037	1.86	9	188	46.0	27.0	27.0	silty clay loam
19	6.5	0.037	1.86	9	188	46.0	27.0	27.0	silty clay loam
20	7.7	0.196	3.23	565	322	21.0	39.5	39.5	clay loam
21	7.9	0.256	3.20	358	414	15.8	42.1	42.1	silty clay
22	8.2	0.145	2.46	274	264	23.0	38.5	38.5	clay loam
23	7.9	0.262	2.53	304	372	30.7	42.9	26.4	loam
24	8.1	0.120	2.56	33	97	30.5	42.8	26.7	loam
25	7.9	0.162	2.97	45	287	23.9	32.1	44.0	clay
26	7.8	0.157	2.82	30	179	19.9	16.9	63.2	clay
27	8.1	0.116	3.03	21	108	23.3	34.0	42.7	clay
28	7.5	0.711	2.10	54	304	20.0	27.2	52.8	clay
29	7.7	0.198	1.97	31	179	15.4	13.4	71.2	clay
30	8.0	0.134	2.97	17	340	18.0	28.3	53.7	clay
31	8.3	0.100	3.11	25	158	18.4	23.7	57.9	clay
32	7.7	0.166	2.66	51	200	22.8	16.2	61.0	clay
33	7.1	0.094	2.02	26	283	16.4	24.2	59.4	clay
34	7.0	0.119	1.58	52	222	35.1	25.7	39.2	clay loam

Figure 1 Interview farmers and soil sample collection from field study

Figure 2 Soil sample analysis