รายงานผลงานเรื่องเต็มการทดลองที่สิ้นสุด

---

1. **ชุดโครงการวิจัย** -
2. **โครงการวิจัย** การใช้วัตถุอันตรายทางการเกษตรที่ส่งผลกระทบต่อผู้ใช้และผู้บริโภค
   กิจกรรม การประเมินความเสี่ยงจากการใช้วัตถุอันตรายทางการเกษตร
   กิจกรรมย่อย -
3. **ชื่อการทดลอง** การประเมินความเสี่ยงจากการใช้สารกำจัดแมลงคาร์บาริล (carbaryl) ต่อผู้ใช้ผู้บริโภค และสิ่งแวดล้อม
   Risk Assessment of Carbaryl Insecticide Used to Farmer, Consumption and Environment
4. **คณะผู้ดำเนินงาน**

หัวหน้าการทดลอง	นายอำนาจ กะฐินเทศ	กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร
ผู้ร่วมการทดลอง	นางสาวปภัสรา คุณเลิศ	กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร
	นางผกาสินี คล้ายมาลา	กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร

5. **บทคัดย่อ**

คาร์บาริลจัดอยู่ในกลุ่มคาร์บาเมต เป็นสารกำจัดแมลงศัตรูพืชได้หลากหลายชนิดในทางเกษตร มีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำประเภทปลาและแมลงที่มีประโยชน์ในธรรมชาติ เช่น ผึ้ง กลไกการออกฤทธิ์จะยับยั้งการทำงานของเอนไซม์อะเซทิลโคลีนเอสเทอเรส ทำให้สารสื่อประสาทอะเซทิลโคลีนถูกทำลาย เกิดอาการพิษทำให้แมลงเป็นอัมพาตและตายในที่สุด ในงานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาประสิทธิภาพของวิธีวิเคราะห์คาร์บาริลในน้ำ ดิน และมะม่วงด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟฟี ตรวจวัดด้วยตัวตรวจวัดไนโตรเจน-ฟอสฟอรัส ศึกษาระยะเวลาการสลายตัวค่าครึ่งชีวิต และประเมินความเสี่ยงต่อผู้ใช้และผู้บริโภคผลผลิตการเกษตร ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการตรวจวิเคราะห์ในน้ำ ดิน และมะม่วง พบค่าต่ำสุดที่สามารถวิเคราะห์ได้อย่างถูกต้องเท่ากับ 0.10 µg/L, 0.01 mg/kg และ 0.06 mg/kg ค่าเฉลี่ยของร้อยละการได้คืนกลับเท่ากับ 103.90, 92.33 และ 80.57% ตามลำดับ ผลการประเมินระยะเวลาสารพิษตกค้างในน้ำ 7 วัน ดิน 30 วัน และมะม่วง 5 วัน ผลการประเมินค่าครึ่งชีวิตในน้ำ 5 วัน ดิน 13 วัน และมะม่วง 5 วัน ผลประเมินความเสี่ยงต่อผู้ใช้คาร์บาริลพบว่าเป็นความเสี่ยงที่ยอมรับได้ เกษตรกรสามารถปฏิบัติงานได้อย่างปลอดภัย และประเมินความเสี่ยงต่อผู้บริโภคสามารถบริโภคมะม่วงได้อย่างปลอดภัย

Abstract

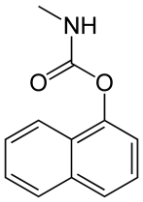
Carbaryl is classified a carbamate group used chiefly as an agricultural insecticide. It has toxic effect for animals such as fish and bee. The mechanism of carbamate is resulting in inhibiting the Acetylcholinesterase (AChE) enzyme and destroying the Acetylcholinesterase

neurotransmitter that causing to insecticides are paralyzed and dead. In this work, study the efficiency of the carbaryl analysis method in water, soil and mango samples by Gas Chromatography with Nitrogen-Phosphorus detector (GC-NPD). Study for disintegration times, half-life and risk assessment in farmer and consumer. Analysis results of the limit of detection (LOD) are 0.10 µg/L, 0.01 mg/kg and 0.06 mg/kg and average recoveries 103.90, 92.33 and 80.57% respectively. The disintegration times were 7, 30 and 5 days. The half-life was found 5, 13 and 5 days. For risk assessment studies will be safe for the farmer and mango consumption

6. คำนำ

มะม่วง (Mango) ชื่อวิทยาศาสตร์ Mangifera Indica มีเนื้อที่การปลูกทั้งหมด 614,178 ไร่ พื้นที่ปลูก 69 จังหวัด ผลผลิตรวม 530,370 ตัน จังหวัดพิษณุโลกเป็นแหล่งปลูกมากที่สุด (กุหลาบ, 2559) โดยมะม่วงเป็นไม้ผลเมืองร้อนและเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย มีมูลค่าทางเศรษฐกิจและสามารถส่งออกไปขายในต่างประเทศ ได้แก่ จีน เกาหลีใต้เวียดนาม และญี่ปุ่น ศัตรูที่สำคัญคือ เพลี้ยจั๊กจั่นมะม่วง เพลี้ยไฟ หนอนแมลงวันกินดอกมะม่วง และหนอนเจาะผล เกิดปัญหาทำให้ผลผลิตเสียหาย เกษตรกรไทยจึงมีการนำสารกำจัดแมลงศัตรูพืชชนิด คลอไพริฟอส (Chlorpyrifos) อะบาเม็กติน (abamectin) และคาร์บาริล (carbaryl) มาใช้ในการกำจัดแมลงศัตรูพืช

คาร์บาริล (carbaryl) ชื่อทางเคมี 1-naphthyl methylcarbamate สูตรโมเลกุล $C_{12}H_{11}NO_2$ มวลโมเลกุลเท่ากับ 201.23 กรัมต่อโมล สูตรโครงสร้างแสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 สูตรโครงสร้าง Carbaryl (ที่มา: https://en.wikipedia.org/wiki/Carbaryl)

ลักษณะทางกายภาพมีลักษณะเป็นของแข็ง ใสไม่มีสี จากการทบทวนงานวิจัยพบว่าค่าครึ่งชีวิต (half life, $t_{1/2}$) ในน้ำขึ้นอยู่กับค่า pH โดยค่า pH เท่ากับ 6 มีค่าครึ่งชีวิต 406 วัน และ pH เท่ากับ 7 มีค่าครึ่งชีวิต 10-16 วัน และค่าครึ่งชีวิตในดินประมาณ 21-27 วัน (Canadian Council of Ministers of the Environment, 2009) ซึ่ง carbaryl มีพิษเฉียบพลัน (Acute oral) ค่า LD_{50} ในหนูเพศผู้ 264 mg/kg หนูเพศเมีย 500 mg/kg (Tomlin, 2006) กลไกการออกฤทธิ์คือ ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์อะเซทิลโคลีนเอสเทอเรส (Acetylcholinesterase inhibitor) ทำให้สารสื่อประสาทอะเซทิลโคลีนถูกทำลาย เกิดอาการเป็นพิษเนื่องจากการทำงานของระบบสื่อประสาทโคลิเนอร์จิค (cholinergic neurotransmission) ทำงานมากเกินไป อาการเมื่อได้รับสัมผัส carbaryl ได้แก่ ปวดศีรษะ วิงเวียน กล้ามเนื้ออ่อนแรง กระตุกหรือสั่น หัวใจเต้นช้าลง รู้สึกบวมหรือแน่นหน้าอก เหงื่อออก คลื่นไส้ นอกจากนี้ยังมีผลต่อตาคือระคายเคืองตา ทำให้สายตาขาดความคมชัด ตาแดง น้ำตาไหล การควบคุมกล้ามเนื้อตาลำบากและม่านตาหด โดย carbaryl จัดอยู่ในกลุ่มคาร์บาเมต (carbamate) เป็นสารกำจัดแมลงศัตรูพืช (insecticide)

ได้หลากหลายชนิด ได้แก่ เพลี้ยไฟ เพลี้ยแป้ง เพลี้ยอ่อน เพลี้ยจั๊กจั่นมะม่วง หนอนเจาะขั้ว และแมลงปีกแข็งต่างๆ ซึ่งนิยมนำมาใช้กำจัดแมลงศัตรูพืชในไม้ผล และพืชตระกูลถั่ว ด้วยคุณสมบัติของสารที่ใช้ได้หลากหลาย เกษตรกรจึงนำมาใช้ในทางเกษตร เกิดปัญหาสารพิษตกค้างในสิ่งแวดล้อมและผลผลิตทางการเกษตร มีผลกระทบต่อการส่งสินค้าไปขายในต่างประเทศ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจทำการศึกษาหาปริมาณสารพิษ carbaryl ที่ตกค้างในสิ่งแวดล้อมและผลผลิตทางการเกษตร ประเมินค่าครึ่งชีวิตและประเมินความเสี่ยงต่อผู้ใช้และผู้บริโภคในแปลงมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง

7. วิธีดำเนินการ

7.1 อุปกรณ์

7.1.1 วัสดุและอุปกรณ์

- ขวดพลาสติกสำหรับเก็บตัวอย่างน้ำและน้ำล้างมือล้างเท้าชนิด high density polyethylene (HDPE) ขนาด 1 ลิตร
- ถุงพลาสติกสำหรับเก็บตัวอย่างดินและตัวอย่างมะม่วง
- ขวดแก้วสำหรับเก็บตัวอย่างตะกอนและตัวอย่างแผ่นผ้า ขนาด 250 มิลลิลิตร
- อุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่างน้ำและตะกอน ได้แก่ แครงตักน้ำและตักตะกอน
- อุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่างมะม่วง ได้แก่ กรรไกรเก็บมะม่วง
- แผ่นผ้าฝ้ายขนาด 10x10 ตารางเซนติเมตร พร้อมเข็มกลัดซ่อนปลาย
- ชุดเสื้อแขนยาวและกางเกงขายาวสีน้ำเงินสำหรับผู้พ่นสาร
- ป้ายสำหรับติดแสดงสถานการณ์ทดลอง
- เครื่องหาพิกัดทางภูมิศาสตร์ GPS (Global positioning system)
- เครื่องมือเก็บตัวอย่างดิน (soil auger)
- เครื่องมือวัดคุณภาพน้ำ ได้แก่ pH meter และ DO meter
- สารป้องกันกำจัดแมลงกลุ่มคาร์บาเมตชนิดคาร์บาริล สูตร 85% WP ชื่อทางการค้า เซฟวิน 85

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

7.1.3 เคมีภัณฑ์ชนิดต่างๆ

- สารเคมีชนิด analytical grade (AR grade) ได้แก่ anhydrous sodium sulfate (anh. Na_2SO_4), ethyl acetate และ sodium hydrogen carbanate ($NaHCO_3$)
- สารเคมีชนิด ultra resi-analyzed (PR grade) ได้แก่ ethyl acetate
- สารพิษมาตรฐาน carbaryl สารเคมี ที่มีความบริสุทธิ์ 99.50%

7.1.4 เครื่องมือวิทยาศาสตร์

- ตู้ดูดความชื้น (desiccator)
- ตู้อบสารเคมี (oven)
- เครื่องเขย่าสกัดวัตถุมีพิษ (separatory funnel shaker)
- เครื่องเขย่าโฮโมจีไนเซอร์ (shaker homogenizer)
- เครื่อง ultrasonic bath
- เครื่อง centrifuge
- เครื่องลดปริมาตร (rotary evaporator)
- เครื่องระเหยสารชนิดไนโตรเจน (nitrogen evaporator)
- เครื่องผสมสารละลาย (vortex mixer)

- ตู้เย็น (refrigerator) อุณหภูมิ 5±3 องศาเซลเซียส

- ตู้แช่ (Freezer) อุณหภูมิ -20±5 องศาเซลเซียส

- เครื่องชั่งความละเอียดทศนิยม 2 และ 5 ตำแหน่ง

- คอลัมน์ GC ชนิด DB-35 (30 m length x 0.25 mm i.d. x 0.25 µm film thickness)

- เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ Gas Chromatograph ตัวตรวจวัดชนิด Nitrogen-Phosphorus Detector (GC-NPD) รุ่น 7890B บริษัท Agilent Technology

7.2 วิธีการ

7.2.1 การปฏิบัติงานในแปลงทดลอง

7.2.1.1 การสำรวจข้อมูลแปลงมะม่วง ในจังหวัดสุพรรณบุรี

ได้เลือกแปลงทดลองเกษตรไร่มะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองที่มีความเหมาะสมของนางจริน มะเจียกจร บ้านเลขที่ 368/7 ม.4 ตำบลสนามคลี อำเภอเมือง จังหวัดสุพรรณบุรี มีพื้นที่ทั้งหมด 10 ไร่ ขนาดร่องละ 1 ไร่ ยาว 165 เมตร กว้าง 26.2 เมตร แต่ละร่องปลูกมะม่วงจำนวน 90 ต้น โดยระยะห่างระหว่างต้นประมาณ 4 เมตร มีร่องน้ำตรงกลางระหว่างร่องขนาด 1.5 เมตร ใช้น้ำจากคลองชลประทาน ลักษณะทางกายภาพของแปลงพบว่าดินมีลักษณะเป็นดินเหนียว ดินบนเป็นดินร่วนหรือดินร่วนปนเหนียว สีเทา มีค่า pH เป็นกรดจัดถึงกรดปานกลางประมาณ 5.5-6.0 (โกศล, 2558) ซึ่งน้ำในร่องแปลงมีค่า pH เท่ากับ 7.70 ศัตรูพืช ได้แก่ เพลี้ยจั๊กจั่นมะม่วง เพลี้ยไฟ และหนอนแมลงวันกินดอกมะม่วง จากการสำรวจพบว่าเกษตรกรใช้ carbaryl เพื่อป้องกันเพลี้ยจั๊กจั่นมะม่วง เพลี้ยไฟ และหนอนแมลงวันกินดอกมะม่วง และเมื่อพบการระบาด จะพ่น carbaryl ก่อนดอกบาน พ่นซ้ำ 1-2 ครั้ง ตามความจำเป็น และพ่นหลังผลมีขนาดประมาณ 5-10 มิลลิเมตร หรือเท่าหัวแม่มือ การใช้จะพ่นสาร carbaryl ตามอัตราคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตร สูตร 85% WP ในปริมาณ 60 กรัมต่อน้ำสะอาด 20 ลิตร (ไพศาลและคณะ, 2549) โดยใช้เทคนิคการพ่นด้วยเครื่องยนต์แบบแรงดันน้ำสูง (high pressure pump sprayer)

7.2.1.2 การสุ่มตัวอย่าง

7.2.1.2.1 เก็บตัวอย่าง control ก่อนพ่น carbaryl ได้แก่ น้ำ ดิน ตะกอน และมะม่วง ตัวอย่างละ 10 ตัวอย่าง โดยการเก็บตัวอย่างต่อหนึ่งตัวอย่างจะนับจำนวนต้นมะม่วงเป็นเกณฑ์ คือ 1 ตัวอย่างต่อมะม่วง 10 ต้น สำหรับตัวอย่างมะม่วงจะเก็บตามขนาดทรงพุ่มจำนวน 4-5 ลูกต่อ 1 ตัวอย่าง วิเคราะห์ปริมาณ carbaryl ใช้เป็นค่าอ้างอิงผลการทดสอบ

7.2.1.2.2 เก็บตัวอย่างหลังพ่น carbaryl เพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณ carbaryl ที่ตกค้าง

พ่นครั้งที่ 1 วันที่ 9 มกราคม 2561 เก็บตัวอย่างน้ำ ดินและตะกอน ที่ระยะเวลาหลังการพ่น 2 ชั่วโมง เก็บตัวอย่างที่ 0 1 3 5 7 10 15 20 และ 30 วัน

พ่นครั้งที่ 2 วันที่ 8 กุมภาพันธ์ 2561 เก็บตัวอย่างน้ำ ดิน ตะกอน มะม่วงและน้ำล้างมือคนเก็บมะม่วง ที่ระยะเวลาหลังการพ่น 2 ชั่วโมง เก็บตัวอย่างที่ 0 1 3 5 7 10 15 20 และ 30 วัน

ติดแผ่นผ้าขนาด 10x10 ตารางเซนติเมตร บนเสื้อผ้าและกางเกงบริเวณส่วนต่างๆ ของร่างกายผู้พ่นสาร carbaryl จำนวน 16 จุด เก็บตัวอย่างแผ่นผ้าและน้ำล้างมือล้างเท้าครั้งที่ 1 และ 2

7.2.2 การปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการ

7.2.2.1 การเตรียมตัวอย่างดิน

นำตัวอย่างดินมาแยกเศษหิน กรวด และอินทรียวัตถุออก ผึ่งให้มีความชื้นประมาณ 10-20 เปอร์เซ็นต์ บดตัวอย่างดินเป็นเนื้อเดียวกัน นำไปชั่งวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์ความชื้นและวิเคราะห์ปริมาณสารพิษตกค้าง carbaryl

7.2.2.2 การหาความชื้นในตัวอย่างดิน (Back, 1965)

ชั่งตัวอย่างดิน 50.00 กรัมลงใน Petri dish นำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 105±5 ℃ นาน 24 ชั่วโมง นำออกมาวางไว้ใน Desiccator ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ชั่งน้ำหนักและบันทึก นำตัวอย่างดินไปอบต่ออีก 3-4 ชั่วโมง เพื่อให้น้ำหนักคงที่ ทิ้งไว้ให้เย็น ชั่งน้ำหนักและบันทึก

สูตรคำนวณเปอร์เซ็นต์ความชื้น

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

7.2.2.3 เตรียมสารละลายมาตรฐาน carbaryl ทดสอบความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง (linearity)

7.2.2.4 ทดสอบค่าต่ำสุดที่สามารถตรวจวิเคราะห์ได้ (Limit of Detection; LOD) ค่าต่ำสุดที่วิเคราะห์ได้อย่างถูกต้อง (Limit of Quantitation: LOQ) และค่าร้อยละการได้คืนกลับ (%recovery) สารพิษตกค้าง carbaryl ในตัวอย่างน้ำ ดิน แผ่นผ้าและมะม่วง เกณฑ์การยอมรับ recovery อยู่ระหว่าง 70-120% (SANTA/11813, 2017)

7.2.2.5 การตรวจวิเคราะห์ carbaryl ในน้ำใช้วิธี In-house method based on EPA method 8141A, rev.1, 1994. (EPA, 1994)

ตวงตัวอย่างน้ำปริมาตร 800 มิลลิลิตรใส่ใน separatory funnel ขนาด 1000 มิลลิลิตร เติม ethyl acetate (AR grade) 100 มิลลิลิตร เขย่าด้วยเครื่อง separatory funnel shaker นาน 3 นาที ทิ้งไว้ให้แยกชั้น ไขเก็บชั้น ethyl acetate ผ่านตัวกรอง anh. Na_2SO_4 สกัดซ้ำอีก 2 ครั้งด้วย ethyl acetate ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ล้างด้วย ethyl acetate 10 มิลลิลิตร แล้วนำตัวอย่างไปลดปริมาตรด้วยเครื่อง rotary evaporator ที่อุณหภูมิ 40 ℃ ให้เกือบแห้ง และปรับปริมาตรให้เป็น 1 มิลลิลิตรด้วย ethyl acetate (PR grade) นำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC-NPD

7.2.2.6 การตรวจวิเคราะห์ carbaryl ในดินและตะกอนใช้วิธี In-house method based on AOAC method 970.52. (AOAC, 2016)

ชั่งตัวอย่างดิน 20 กรัม ใส่ใน Erlenmeyer flask เติม ethyl acetate (AR grade) 75 มิลลิลิตร เขย่าด้วย shaker นาน 4 ชั่วโมง กรองผ่าน anh. Na_2SO_4 ล้างด้วย ethyl acetate 20 มิลลิลิตร 2 ครั้ง นำตัวอย่างไปลดปริมาตรด้วยเครื่อง rotary evaporator ที่อุณหภูมิ 40 ℃ ให้เกือบแห้ง และปรับปริมาตรให้เป็น 2 มิลลิลิตรด้วย ethyl acetate (PR grade) นำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC-NPD

7.2.2.7 การตรวจวิเคราะห์ carbaryl ในมะม่วงใช้วิธี การหาปริมาณสารพิษตกค้างในผักและผลไม้โดยวิธี ethyl acetate ด้วยเทคนิค LC-MS/MS (ลักษมี, 2560)

ชั่งตัวอย่างมะม่วง 10 กรัม เติม ethyl acetate (PR grade) 20 มิลลิลิตร เติม 3 กรัม $NaHCO_3$ และ 10 กรัม Na_2SO_4 เขย่าด้วย vortex mixer 1 นาที นำไป ultrasonic นาน 3 นาที หลังจากนั้นนำไป centrifuge ที่ความเร็ว 4000 รอบต่อนาที นาน 3 นาที ปิเปตสารละลาย 1 มิลลิลิตรนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC-NPD

7.2.2.8 ตรวจวัดด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ Gas Chromatograph ตัวตรวจวัดชนิด Nitrogen-Phosphorus Detector (GC-NPD) โดยสภาวะการทำงานของเครื่องดังนี้

GC Column : DB-35 (30 m length x 0.25 mm i.d. x 0.25 µm film thickness)

Temperature conditioning : injector = 230 ℃, detector = 300 ℃

Mode : Splitless

Oven program : 80 ℃ (1 นาที) $\xrightarrow{20℃/นาที}$ 200℃ (1 นาที) $\xrightarrow{20℃/นาที}$ 230℃ (1 นาที) $\xrightarrow{20℃/นาที}$ 280℃ (2 นาที)

Injection volumn : 1 ไมโครลิตร

Carrier gas : helium ; flow rate 1.4 มิลลิลิตร/นาที

Ignite gas : hydrogen 2 มิลลิลิตร/นาที, air 120 มิลลิลิตร/นาที

7.2.2.9 คำนวณหาเวลาที่สารพิษสลายตัวลดลงจนมีปริมาณครึ่งหนึ่ง (Half-life, $t_{1/2}$) ในตัวอย่างน้ำ ดิน ตะกอนและมะม่วง จากสมการ $t_{1/2} = -0.693/b$ โดย b ได้มาจากสมการ $y = ae^{bx}$ ซึ่งหาได้จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารพิษและระยะเวลาหลังการพ่นสารพิษในช่วงเวลาต่าง

7.2.2.10 ประเมินสารพิษที่ปนเปื้อนบนร่างกายผู้พ่นสาร carbaryl และประเมินความเสี่ยงจากการใช้วัตถุมีพิษ คำนวณค่าขอบเกณฑ์ความปลอดภัยจากการได้รับสารพิษ (Margin of Exposure, MOE) ตามหลักเกณฑ์ของ US. EPA โดยนำค่า NOAEL (No observed adverse effect level) หารด้วยปริมาณที่ได้รับ (exposure) ค่า MOE ที่คำนวณได้ให้นำมาเปรียบเทียบกับค่า Pesticide uncertainty factor หากค่า MOE มีค่าต่ำกว่าค่า Pesticide uncertainty factor จะถือว่ามีความเสี่ยง และค่า MOE มากกว่าหรือเท่ากับ 100 ถือว่าเป็นความเสี่ยงที่ยอมรับได้

7.2.2.11 ประเมินความเสี่ยงจากการบริโภคผลผลิตการเกษตร (Hazard Quotient, HQ) โดยคำนวณหาค่าปริมาณเฉลี่ยของสารพิษในผลผลิตการเกษตรที่คนได้รับจากการบริโภคต่อวันต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัว (Average Daily Dose, ADD) หารด้วยปริมาณสารเคมีที่มนุษย์สามารถรับเข้าสู่ร่างกายได้ทุกวัน โดยไม่ทำให้เกิดความผิดปกติใดๆ ต่อสุขภาพอนามัย (Reference Dose, RfD) หากค่า HQ เท่ากับ 1 ถือว่าปริมาณสารพิษที่ตกค้างในผลผลิตการเกษตรมีความเสี่ยงต่อผู้บริโภค

7.3 เวลาและสถานที่

ระยะเวลา เริ่มต้นตุลาคม 2560 สิ้นสุดกันยายน 2561

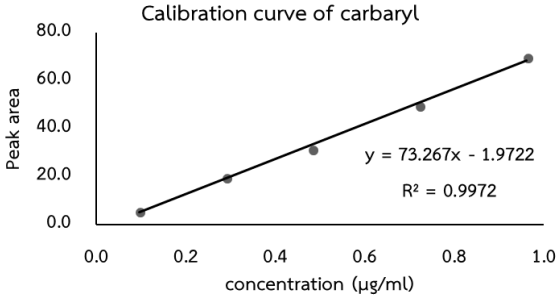
สถานที่ทำการทดลอง 1. แปลงมะม่วงจังหวัดสุพรรณบุรี

2. ห้องปฏิบัติการกลุ่มงานวิจัยผลกระทบจากการใช้วัตถุมีพิษการเกษตร กลุ่มวิจัยวัตถุมีพิษการเกษตร กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร

8. ผลการทดลองและวิจารณ์

8.1 เตรียมสารละลายมาตรฐาน carbaryl ทดสอบความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง (linearity)

เตรียมสารละลายมาตรฐานที่ระดับ 5 ความเข้มข้น ได้แก่ 0.0962, 0.2886, 0.4810, 0.7215 และ 0.9620 µg/ml ผลการทดสอบมีค่า correlation coefficient (R^2) เท่ากับ 0.9972 แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 กราฟมาตรฐาน carbaryl

8.2 ทดสอบค่าต่ำสุดที่สามารถตรวจวิเคราะห์ได้ (Limit of Detection; LOD) ค่าต่ำสุดที่วิเคราะห์ได้อย่างถูกต้อง (Limit of Quantitation; LOQ) และค่าร้อยละการได้คืนกลับ (recovery) สารพิษตกค้าง carbaryl ในตัวอย่างน้ำ ดิน แผ่นผ้าและมะม่วง

ผลการทดสอบในน้ำ ดิน แผ่นผ้าและมะม่วง ค่า LOD เท่ากับ 0.04 µg/L, 0.003 mg/kg, 0.05 µg/100 cm^2 และ0.02 mg/kg ค่า LOQ เท่ากับ 0.10 µg/L, 0.01 mg/kg, 0.17 µg/100 cm^2 และ 0.06 mg/kg และ recovery มีค่าเฉลี่ย 103.90, 92.33, 93.87 และ 80.57% ตามลำดับ ซึ่งวิธีการตรวจวิเคราะห์ carbaryl มีความถูกต้อง และแม่นยำ แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การทดสอบค่าต่ำสุดที่สามารถตรวจวิเคราะห์ได้ (Limit of Detection; LOD) ค่าต่ำสุดที่วิเคราะห์ได้อย่างถูกต้อง (Limit of Quantitation: LOQ) และค่าร้อยละการได้คืนกลับ (% recovery) สารพิษตกค้าง carbaryl ในตัวอย่างน้ำ ดิน แผ่นผ้าและมะม่วง

วิธีวิเคราะห์ carbaryl	ความเข้มข้นที่ fortified	LOD	LOQ	ค่าเฉลี่ย recovery (%)	ค่า Horrat (≤2)
น้ำ	0.0800 µg/ml	0.04 µg/L	0.10 µg/L	103.90	0.32
ดิน	0.1600 µg/ml	0.003 mg/kg	0.01 mg/kg	92.33	0.35
แผ่นผ้า	0.1600 µg/ml	0.05 µg/100 cm^2	0.17 µg/100 cm^2	93.87	1.50

มะม่วง	1.2025 µg/ml	0.02 mg/kg	0.06 mg/kg	80.57	0.25

8.3 การตรวจวิเคราะห์สารพิษตกค้าง carbaryl ในน้ำ

ผลการวิเคราะห์สารพิษตกค้าง carbaryl ในน้ำ พ่นครั้งที่ 1 พบว่า carbaryl ตกค้างที่ประมาณ 7 วัน หลังจากนั้นจะสลายตัวหมดไป และการพ่นครั้งที่ 2 พบว่า carbaryl ตกค้างที่ประมาณ 7 วัน หลังจากนั้นจะสลายตัว ต่อมามีตรวจพบการตกค้างในวันที่ 20 จากการสอบถามเกษตรกรพบว่ามีการพ่นสารซ้ำในช่วงวันเวลาดังกล่าวในบริเวณรอบแปลง แสดงดังตารางที่ 2 จากงานวิจัยรายงานค่าการสลายตัวของน้ำที่ pH 7-9 ประมาณ 10-17 วัน (Aly et al., 1971)

ตารางที่ 2 การตรวจวิเคราะห์สารพิษตกค้าง carbaryl ในน้ำ พ่นครั้งที่ 1 และ 2

พ่นครั้งที่	ค่าเฉลี่ยปริมาณสารพิษตกค้าง carbaryl (µg/L)								
	0 วัน	1 วัน	3 วัน	5 วัน	7 วัน	10 วัน	15 วัน	20 วัน	30 วัน
1	21.47±19.25	10.85±5.29	5.19±2.56	0.13±0.11	0.07±0.03	ND	ND	ND	ND
2	8.67±3.75	4.12±1.47	0.77±0.38	0.09±0.04	0.06±0.03	0.09±0.01	0.07±0.02	1.17±0.29	ND

ND = Not detected

8.4 การตรวจวิเคราะห์สารพิษตกค้าง carbaryl ในดินและตะกอน

ผลการตรวจวิเคราะห์สารพิษตกค้าง carbaryl ในตะกอน พบว่าไม่มีการตกค้างเนื่องจากคุณสมบัติ carbaryl ละลายได้ดีในน้ำ จะลอยอยู่บริเวณผิวน้ำและเกิดปฏิกิริยา hydrolysis ได้ง่าย ส่วนในดินจะตกค้างที่ประมาณ 30 วัน และค่อยๆ สลายตัว ซึ่งเกิดปฏิกิริยา photolysis ในสิ่งแวดล้อม (Das, 1990b) แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การตรวจวิเคราะห์สารพิษตกค้าง carbaryl ในดิน พ่นครั้งที่ 1 และ 2

พ่นครั้งที่	ค่าเฉลี่ยปริมาณสารพิษตกค้าง carbaryl (mg/kg)								
	0 วัน	1 วัน	3 วัน	5 วัน	7 วัน	10 วัน	15 วัน	20 วัน	30 วัน
1	0.85±1.39	0.43±0.64	0.16±0.25	0.15±0.28	0.14±0.10	0.23±0.26	0.08±0.10	0.43±0.41	0.05±0.08
2	0.10±0.13	0.07±0.07	0.10±0.15	0.07±0.07	0.05±0.08	0.04±0.06	0.06±0.10	0.04±0.03	0.005±0.01

8.5 การตรวจวิเคราะห์สารพิษตกค้าง carbaryl ในมะม่วง

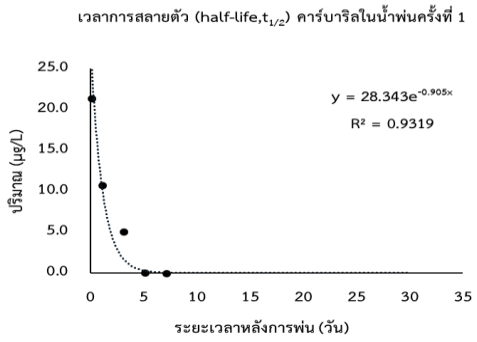
ผลการตรวจวิเคราะห์สารพิษตกค้าง carbaryl ในมะม่วง พบว่ามีการตกค้างประมาณ 5 วัน หลังจากนั้นจะสลายตัว เนื่องจากคุณสมบัติทางเคมี carbaryl จะสลายตัวได้ง่ายเมื่อเกิดปฏิกิริยา hydrolysis และ photolysis ในสิ่งแวดล้อม จากรายงานสำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติได้กำหนดค่าปริมาณสารพิษตกค้างสูงสุด (Maximum Residue Limits; MRL_s) ในมะม่วงเท่ากับ 3 mg/kg (สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2559) แสดงดังตารางที่ 4

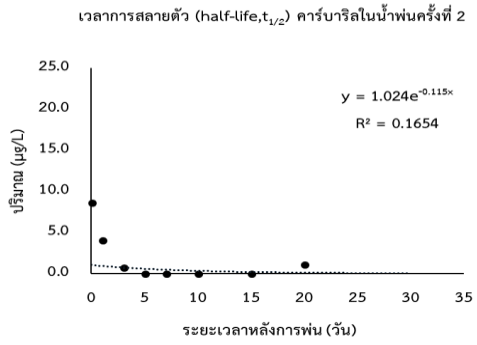
ตารางที่ 4 การตรวจวิเคราะห์สารพิษตกค้าง carbaryl ในมะม่วงพ่นครั้งที่ 2

พ่นครั้งที่	ค่าเฉลี่ยปริมาณสารพิษตกค้าง carbaryl (mg/kg)								
	0 วัน	1 วัน	3 วัน	5 วัน	7 วัน	10 วัน	15 วัน	20 วัน	30 วัน
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	0.08±0.05	0.07±0.04	0.08±0.08	0.04±0.004	ND	ND	ND	ND	ND

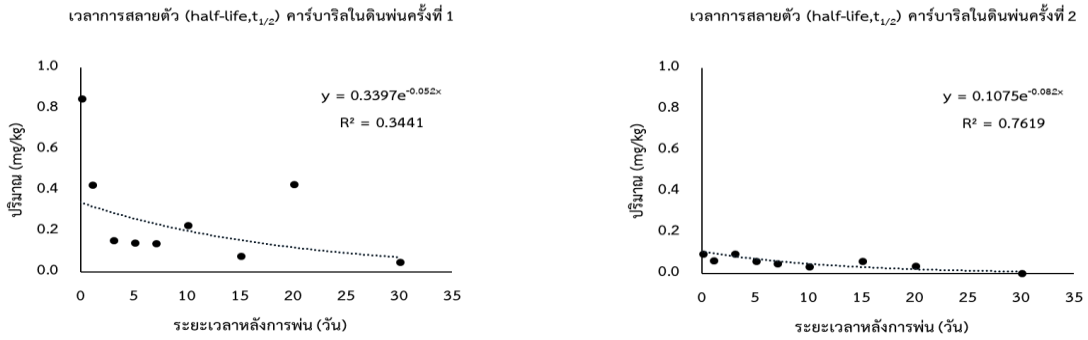
8.6 การทดสอบหาเวลาที่สารพิษสลายตัวลดลงจนมีปริมาณครึ่งหนึ่ง (Half-life, $t_{1/2}$) ในตัวอย่างน้ำ ดิน และมะม่วง

ผลการวิเคราะห์สารพิษตกค้าง carbaryl ในตัวอย่างน้ำ ดิน และมะม่วง นำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่าการสลายตัวลดลงจนมีปริมาณครึ่งหนึ่ง (Half-life, $t_{1/2}$) พบว่าค่า half-life ในน้ำประมาณ 5 วัน แสดงดังรูปที่ 3 ดินประมาณ 13 วัน แสดงดังรูปที่ 4 และมะม่วงประมาณ 5 วัน แสดงดังรูปที่ 5

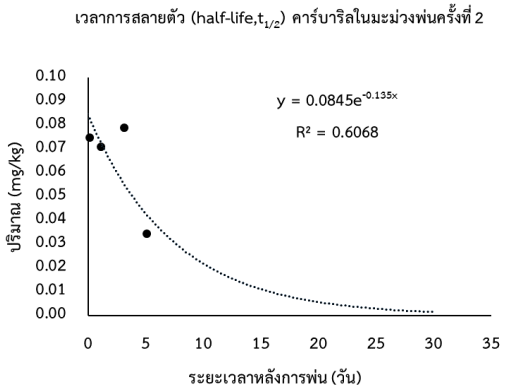




รูปที่ 3 เวลาที่สารพิษสลายตัวลดลงจนมีปริมาณครึ่งหนึ่ง (half-life, $t_{1/2}$) ในตัวอย่างน้ำ



รูปที่ 4 เวลาที่สารพิษสลายตัวลดลงจนมีปริมาณครึ่งหนึ่ง (half-life, $t_{1/2}$) ในตัวอย่างดิน



รูปที่ 5 เวลาที่สารพิษสลายตัวลดลงจนมีปริมาณครึ่งหนึ่ง (half-life, $t_{1/2}$) ในตัวอย่างมะม่วง

8.7 ศึกษาปริมาณสารพิษปนเปื้อนบนร่างกายเกษตรกรและประเมินความเสี่ยงจากการใช้ carbaryl ในแปลงมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง

ผลการวิเคราะห์สารพิษตกค้าง carbaryl ที่ปนเปื้อนบนแผ่นผ้าในบริเวณส่วนต่างๆ ของร่างกาย ได้แก่ ส่วนหัว (บริเวณหมวกและจมูก) บ่า อก (บริเวณอกในและอกนอก) ศอก หลัง (บริเวณหลังในและหลังนอก) ต้นขาและแข้ง (บริเวณแข้งในและแข้งนอก) ทั้ง 11 ส่วน พ่นครั้งที่ 1 พบว่ามีการปนเปื้อนในปริมาณ 723.48, 207.55, 64.37, 5.38, 9.44, 439.83, 0.63, 3.69, 300.17, 221.40 และ 62.94 µg/100 cm^2 และครั้งที่ 2 พบว่ามีการปนเปื้อนในปริมาณ 401.28, 73.78, 181.39, 2.31, 2.62, 160.35, 2.29, 12.94, 244.38, 121.22 และ 6.28 µg/100 cm^2 ตามลำดับ ส่วนน้ำล้างมือและน้ำล้างเท้าครั้งที่ 1 พบในปริมาณ 938.13 และ 6.48 µg/L และครั้งที่ 2 พบในปริมาณ 564.01 และ 7.99 µg/L แสดงดังภาคผนวกที่ 1 และ 2 จากผลการประเมินการพ่นสารในครั้งที่ 1 และ 2 บริเวณที่มีการปนเปื้อนมากและมีความเสี่ยงมากคือบริเวณส่วนหัวที่สวมหมวกซึ่งรับสัมผัส

สารโดยตรง ในปริมาณ 723.48 และ 401.28 µg/100 cm^2 และรองลงมาเป็นบริเวณศอกและต้นขา ส่วนน้ำล้างมือ จะพบการปนเปื้อนสูงมากในปริมาณ 938.13 และ 564.01 µg/L เนื่องจากต้องใช้มือในการผสมสาร carbaryl และจับสายยางพ่น (U.S.EPA., 1987, 1992)

ผลการประเมินระดับความเสี่ยงจากปริมาณการได้รับสัมผัสสาร carbaryl เข้าสู่ร่างกายผู้พ่นสารในแปลงปลูกมะม่วง พ่นครั้งที่ 1 และ 2 โดยใช้เกณฑ์การประเมินจาก Pesticide Risk Assessment (US.EPA, 1999) กำหนดค่า (Benchmark Dose; $BMDL_{10}$) มีค่าเท่ากับ 30 mg/kg bw/day (Reaves, 2007) คำนวณหาค่าขอบเกณฑ์ความปลอดภัยจากการได้รับสารพิษ (MOE) มีค่าเท่ากับ 101.04 และ 128.18 ตามลำดับ ซึ่งค่า MOE มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 100 ถือว่าอยู่ในระดับความเสี่ยงที่ยอมรับได้ แสดงดังตารางที่ 5 โดยเกณฑ์ค่า MOE≥100 ถือว่าเป็นระดับความเสี่ยงที่ยอมรับ (US.EPA, 2011)

ตารางที่ 5 ระดับความเสี่ยงจากการรับสัมผัส carbaryl เข้าสู่ร่างกายของผู้พ่นสารในแปลงมะม่วง พ่นครั้งที่ 1 และ 2

ผู้ปฏิบัติงาน	ครั้งที่พ่นสาร	(mg/kg bw/day)	%Absorption	Absorbed dose (mg/kg bw/day) (exposure)	$BMDL_{10}$ (mg/kg bw/day)	MOE	ระดับความเสี่ยง
ผู้พ่นสาร	1	2.34	12.70	0.30	30	101.04	ยอมรับความเสี่ยง
ผู้พ่นสาร	2	1.84	12.70	0.23	30	128.18	ยอมรับความเสี่ยง

8.8 ประเมินความเสี่ยงจากการบริโภคผลมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง (Hazard Quotient, HQ)

การประเมินความเสี่ยงจากการบริโภคมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองที่ปนเปื้อน carbaryl คำนวณได้จากสูตร

HQ = ADI/Rfd

โดยค่า Acceptable Daily Intake (ADI) คำนวณได้จาก

$$ADI = \frac{C \times IR \times EF \times ED}{(body\ weight \times AT)}$$

$$ADI = \frac{(0.0754\ มก./กก. \times 0.00202\ กก./วัน \times 350\ วัน/ปี \times 70\ ปี)}{(70\ กก. \times 10950\ วัน)}$$

ADI = 0.0000049 มก./กก. น้ำหนักตัว/วัน

กำหนดค่า Rfd = 0.1 มก./กก. น้ำหนักตัว/วัน

$$HQ = \frac{(0.0000049\ มก./กก.\ น้ำหนักตัว/วัน)}{0.1\ มก./กก.\ น้ำหนักตัว/วัน}$$

HQ = 0.000049

ซึ่งค่า Hazard Quotient (HQ) มีค่าเท่ากับ 0.000049 น้อยกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ HQ เท่ากับ 1 จึงสรุปได้ว่าการใช้ carbaryl ในแปลงมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองมีความปลอดภัยต่อการบริโภค

9. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

การตรวจวิเคราะห์สารพิษตกค้าง carbaryl ในตัวอย่างน้ำ ดิน ตะกอน แผ่นผ้าและมะม่วง เป็นวิธีที่มีความถูกต้อง และแม่นยำ โดยในน้ำ ดิน แผ่นผ้าและมะม่วง มีค่า LOD เท่ากับ 0.04 µg/L, 0.003 mg/kg, 0.05 µg/100 cm^2 และ 0.02 mg/kg ค่า LOQ เท่ากับ 0.10 µg/L, 0.01 mg/kg, 0.17 µg/100 cm^2 และ 0.06mg/kg และ recovery ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 103.90, 92.33, 93.87 และ 80.57% ตามลำดับ ผลการประเมิน carbaryl ตกค้างในสิ่งแวดล้อม พบว่าตะกอนไม่มีการตกค้าง ในน้ำพบการตกค้างที่ 7 วัน ดิน 30 วัน และมะม่วง 5 วัน ผลการประเมิน half-life ในน้ำประมาณ 5 วัน ดินประมาณ 13 วัน และมะม่วงประมาณ 5 วัน ผลการประเมินปริมาณสารพิษปนเปื้อนบนร่างกายเกษตรกรที่พ่นสารจะพบการปนเปื้อนมากบริเวณศีรษะ รองลงมาเป็นบริเวณศอกและต้นขา จากการประเมินความเสี่ยงต่อผู้ใช้ เป็นความเสี่ยงที่ยอมรับได้ เกษตรกรสามารถปฏิบัติงานได้อย่างปลอดภัย และผลการประเมินความเสี่ยงต่อผู้บริโภคผลมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง สามารถบริโภคได้อย่างปลอดภัย ไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ พบการตกค้างในมะม่วง carbaryl ไม่เกินค่า MRL_s ที่ 3 mg/kg

10. การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

10.1 เป็นข้อมูลสำหรับเกษตรกรเพื่อให้การใช้สาร carbaryl เป็นไปอย่างระมัดระวังและถูกต้อง เพื่อความปลอดภัยต่อผู้บริโภค ตลอดจนสิ่งแวดล้อม

10.2 เป็นข้อมูลสำหรับกรมวิชาการเกษตร ใช้พิจารณาประเมินความเสี่ยงภัยจากการใช้สารพิษ carbaryl เพื่อใช้ประกอบการขอขึ้นทะเบียน หรือการห้ามใช้

10.3 เผยแพร่ข้อมูลที่ได้สู่สาธารณชน และหน่วยงานอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง ตลอดจนผู้ที่สนใจทั่วไป

10.4 เพื่อการบริหารจัดการควบคุมวัตถุมีพิษทางการเกษตรที่ก่อให้เกิดความเสี่ยงภัยสูง ตามภารกิจของกรมวิชาการเกษตร

11. เอกสารอ้างอิง

กุหลาบ หมายสุขกลาง. 2559. มะม่วง-สารสนเทศส่งเสริมการเกษตร. กรมส่งเสริมการเกษตร. สืบค้นจาก: http://www.agriinfo.doae.go.th>fruit2>mango [20 ม.ค. 2562].

โกศล เคนทะ. 2558. ชุดดิน...ภาคกลาง ความรู้พื้นฐานเพื่อการเกษตร. สืบค้นจาก: file:///C:/Users/HELLO-/Desktop/Risk%20carbaryl/ลักษณะดินสุพรรณบุรี%20สามคลี.pdf [7 ม.ค. 2562].

ไพศาล รัตนเสถียร, เตือนจิตต์ สัตยาวิรุทธ์, ศิริณี พูนไชยศรี, เกรียงไกร จำเริญมา, ลักขณา บำรุงศรี, พรรณเพ็ญ ชโยภาส และคณะ. 2549. การป้องกันกำจัดแมลงและสัตว์ศัตรูพืช. ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย: กรุงเทพฯ. 62 หน้า.

ลักษมี เดชานุรักษ์นุกูล. 2560. การหาปริมาณสารพิษตกค้างในผักและผลไม้โดยวิธี ethyl acetate ด้วยเทคนิค LC-MS/MS. ห้องปฏิบัติการกลุ่มวิจัยวัตถุมีพิษการเกษตร กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร.

สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. 2559. มาตรฐานสินค้าการเกษตร:สารพิษตกค้าง:ปริมาณสารพิษตกค้างสูงสุด. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

Aly, O.M. and M.A. El-Dib. 1971. Studies on the persistence of some carbamate insecticides in the aquatic environment. I. Hydrolysis of Sevin, Baygon, Pyrolan and Dimetilan in waters. Water Res. 5:1191-1205.

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

Canadian Council of Ministers of the Environment. 2009. Canadian water quality quidelines for the protection of aquatic life: Carbaryl. Canadian Environmental Quality Guidelines.

Das, Y.T. 1990b. Photodegradation of [1-naphthyl-14C]carbaryl on soil under artificial sunlight, Vol. 169-208 #87095, Department of Pesticide Regulation, Sacramento, CA. 12 Dorough, H.W. and J.E.Casida. 1964. Nature of certain carbamate metabolites of the insecticides, *J. Assoc. Off. Agric. Chem.,* 48(5), 927-937.

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

In-house method. 2016. Organochlorine and Organophosphorus Pesticide. General Multiresidue Method. AOAC Official Method 970.52, 2016.

Reaves, E. 2007. Carbaryl: Updated endpoint selection for single chemical risk assessment. June 29, 2007.

SANTE/11813. 2017. Guidance document on analytical quality control and method validation procedures for pesticide residues and analysis in food and feed. 21-22 November 2017 rev.0.Available:https://ec.europa.eu/food/sites/food/files/plant/docs/pesticides_mrl_guideline_wrkdoc_2017-11813.pdf, Accessed Jan 20, 2017.

Tomlin, C. 2006. The Pesticide Manual. 14th ed. BCPC: UK. 1349 p.

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. 1999. The role of use-related Information in pesticide risk Assessment and risk management. Office of Pesticide Program, Item:6039 (June 29, 1999).

US. EPA. 2011. Exposure factors handbook, final report, EPA/600-R09/052F, 2011, from http://www.epa.gov/ncea/efh/pdfs/efh-chapter08.pdf.

12. ภาคผนวก

ภาคผนวกที่ 1 ปริมาณ carbaryl บนแผ่นผ้าที่ปนเปื้อนบนร่างกาย น้ำล้างมือและน้ำล้างเท้าเกษตรกร ครั้งที่ 1

ตำแหน่งติดแผ่นผ้า region of body	ปริมาณปนเปื้อนบนแผ่นผ้า (µg/100 cm^2)	ปริมาณปนเปื้อนบนแผ่นผ้า (µg/cm^2)	ค่าเฉลี่ยปริมาณปนเปื้อนบนแผ่นผ้า (µg/100 cm^2)	Penetration factor	พื้นที่ผิว (sureface area) cm^2	ปริมาณปนเปื้อนที่สัมผัสร่างกาย µg/region	หน่วย
1. หัว							
- หมวก	723.48	7.23	4.66	1.00	1300	6051.63	
- จมูก	207.55	2.08					
2. บ่า	64.37	0.64	0.64	0.25	2910	476.17	
3. อก							
- อกใน	5.38	0.05	0.07	0.36	3550	121.65	
- อกนอก	9.44	0.09					
4. ศอก	439.83	4.40	4.40	0.25	1210	1352.87	
5. หลัง							
- หลังใน	0.63	0.01	0.02	0.15	3550	19.03	
- หลังนอก	3.69	0.04					
6. ต้นขา	300.17	3.00	3.00	0.78	3820	8928.24	
7. แข้ง							
- แข้งใน	221.40	2.21	1.42	0.78	2380	1166.39	
- แข้งนอก	62.94	0.63					
8. น้ำล้างมือ						938.13	
9. น้ำล้างเท้า						6.48	
รวมปริมาณสารพิษปนเปื้อนร่างกาย						19060.59	µg
ระยะเวลาในการพ่นสารนาน 23 นาที						175342.16	µg/day
เกษตรกรมีน้ำหนักเฉลี่ย 75 kg จึงมีปริมาณสารพิษปนเปื้อนร่างกาย ต่อน้ำหนักตัวต่อวัน						2.34	mg/kg bw/day

ภาคผนวกที่ 2 ปริมาณ carbaryl บนแผ่นผ้าที่ปนเปื้อนบนร่างกาย น้ำล้างมือและน้ำล้างเท้าเกษตรกร ครั้งที่ 2

ตำแหน่งติดแผ่นผ้า region of body	ปริมาณปนเปื้อนบนแผ่นผ้า (µg/100 cm^2)	ปริมาณปนเปื้อนบนแผ่นผ้า (µg/cm^2)	ค่าเฉลี่ยปริมาณปนเปื้อนบนแผ่นผ้า (µg/100 cm^2)	Penetration factor	พื้นที่ผิว (sureface area) cm^2	ปริมาณปนเปื้อนที่สัมผัสร่างกาย µg/region	หน่วย
1. หัว							
- หมวก	401.28	4.01	2.36	1.00	1300	3087.85	
- จมูก	73.78	0.74					
2. บ่า	181.39	1.81	1.81	0.31	2910	1633.78	
3. อก							
- อกใน	2.31	0.02	0.02	0.47	3550	43.63	
- อกนอก	2.62	0.03					
4. ศอก	160.35	1.60	1.60	0.31	1210	600.55	
5. หลัง							
- หลังใน	2.29	0.02	0.08	0.15	3550	68.97	
- หลังนอก	12.94	0.13					
6. ต้นขา	244.38	2.44	2.44	0.95	3820	8875.45	
7. แข้ง							
- แข้งใน	121.22	1.21	0.64	0.95	2380	142.07	
- แข้งนอก	6.28	0.06					
8. น้ำล้างมือ						564.01	
9. น้ำล้างเท้า						7.99	
รวมปริมาณสารพิษปนเปื้อนร่างกาย						15024.31	µg
ระยะเวลาในการพ่นสารนาน 23 นาที						138211.58	µg/day
เกษตรกรมีน้ำหนักเฉลี่ย 75 kg จึงมีปริมาณสารพิษปนเปื้อนร่างกาย ต่อน้ำหนักตัว ต่อวัน						1.84	mg/kg bw/day