การทดสอบและพัฒนาอุปกรณ์เก็บเกี่ยวผลผลิตมะพร้าวแบบท่อด้ามยาวถอดประกอบได้สำหรับการเก็บเกี่ยวมะพร้าวต้นสูง

Testing and Development of Pipe-Type Coconut Harvesting Equipment for Tall Coconut Trees

สราวุฒิ ปานทน[1*] วุฒิพล จันทร์สระคู[1] ธนาวัฒน์ ทิพย์ชิต[1] วิไลวรรณ ทวิชศรี[2] ทิพยา ไกรทอง[3] หยกทิพย์ สุดารีย์[3] และ ดารากร เผ่าชู[3]

Parnthon, S.[1*], Chansakoo, W.[1], Tipchit, T.[1], Twishsri, W.[2], Kraithong, T.[3], Sudaree, Y.[3] and Paochoo, D.[3]

[1] ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมสุราษฎร์ธานี เลขที่ 1 หมู่ 5 ตำบลคันธุลี อำเภอท่าชนะ จังหวัดสุราษฎร์ธานี 84170

[1] Surat Thani Agricultural Engineering Research Center 1 Khuntuli Subdistrict, Tha chana District, Surat Thani 84170

[2] สถาบันวิจัยพืชสวน เลขที่ 50 ถนนหพลโยธิน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร 12000

[2] Horticulture Research Institute, 50 Phahonyothin Road, Ladyao, Chatuchak, Bangkok 12000

[3] ศูนย์วิจัยพืชสวนชุมพร เลขที่ 70 หมู่ 2 ถนนเพชรเกษม ตำบลวิสัยใต้ อำเภอสวี จังหวัดชุมพร 86130

[3] Chumphon Horticultural Research Center, 70 Phetkasem Road., Wisai Tai Subdistrict, Sawi District, Chumphon 86130

**Corresponding author: sarawutpa@hotmail.com*

บทคัดย่อ

ด้วยผลกระทบจากข้อกล่าวหาขององค์กรประชาชนเพื่อการปฏิบัติต่อสัตว์อย่างมีจริยธรรมของสหรัฐอเมริกา (People for the Ethical Treatment of Animals: PETA) ในเรื่องการเก็บเกี่ยวมะพร้าวโดยใช้ลิงเป็นการทรมานสัตว์ ซึ่งส่งผลกระทบต่ออุตสาหกรรมที่เกี่ยวเนื่องกับมะพร้าวของไทยในการส่งออกไปจำหน่ายต่างประเทศ เพื่อส่วนหนึ่งในการแก้ไขปัญหาดังกล่าว จึงพัฒนาอุปกรณ์เก็บเกี่ยวมะพร้าวต้นสูงเพื่อทดแทนการใช้แรงงานลิง โครงการนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อพัฒนาอุปกรณ์เก็บเกี่ยวผลผลิตมะพร้าวต้นสูงและขยายผลการใช้เครื่องมือเก็บเกี่ยวมะพร้าวที่มีประสิทธิภาพทดแทนการใช้แรงงานลิงเก็บมะพร้าว ทำการคัดเลือกวัสดุที่ทำด้ามสอยมะพร้าว วัสดุที่ทำมีดเก็บเกี่ยวทะลายมะพร้าว และหารูปแบบของมีดเก็บเกี่ยวมะพร้าว จากการศึกษาและทดสอบ พบว่า ด้ามไม้สอยมะพร้าวที่ทำจากวัสดุคาร์บอนไฟเบอร์มีความคงทนแข็งแรง ทนต่อการบิดงอเสียรูปมากกว่าวัสดุชนิดอื่น เหล็กแบบ SUP9 เมื่อนำมาทำมีดเก็บเกี่ยวมะพร้าว จะสามารถรักษาความคมไว้ได้นานที่สุดเมื่อเทียบกับเหล็กชนิดอื่น ๆ ที่ทำการทดสอบ ในส่วนของรูปแบบมีดเก็บเกี่ยวนั้น มีดแบบที่ 3 เป็นรูปแบบมีดที่ใช้แรงในการเกี่ยวน้อยกว่าแบบอื่น ๆ ปลายมีดยาวทำให้เกี่ยวทะลายที่อยู่ไม่ลึกมากโดยไม่ต้องสอดมีดเข้าไป ข้อดีของอุปกรณ์เก็บเกี่ยวมะพร้าวต้นสูงที่พัฒนาขึ้น คือ สามารถปรับความยาวของด้ามได้ตามความสูงของมะพร้าวที่จะทำการเก็บเกี่ยว สามารถใช้กับต้นมะพร้าวที่มีความสูงได้ 18-20 เมตร และในการขนย้ายยังย่อด้ามให้เหลือความยาวเพียง 6.5 เมตร ซึ่งช่วยให้เคลื่อนย้ายได้ง่าย

คำสำคัญ: มีดเกี่ยวมะพร้าว ไม้สอยมะพร้าว เหล็กตีมีด

Abstract

The impact of PETA (People for the Ethical Treatment of Animals) allegations regarding the use of monkeys in coconut harvesting, It has a huge impact on the Thai coconut export industry. Researchers have developed a coconut harvesting device to solve this problem. This project aims to develop equipment harvesting for tall coconut trees to replace the use of monkeys. Material types of stick handles, coconut harvesting knives and style of coconut harvesting knives were investigated. The results found that the coconut stick handle made from carbonfiber is stronger than other materials. The SUP9 steel for making coconut harvesting knives could maintain its sharpnes for a longer time than other types of steel. The third type of

coconut harvesting knife was easier to use and requires less force to harvest than other types. The coconut harvesting equipment developed the length of the handle could be adjusted. The coconut harvesting equipment could harvest coconuts 18-20 meters height. When transporting coconut harvesting equipment, the length could be adjusted to 6.5 meters for convenient to carry on.

Keywords: Coconut, Coconut Harvesting

บทนำ

ประเทศไทยมีการผลิตมะพร้าวได้ไม่เพียงพอต่อความต้องการของภาคอุตสาหกรรม ความต้องการใช้มะพร้าวในปี 2565 มีปริมาณ 1.146 ล้านตัน ในปี 2566 ประมาณการความต้องการใช้มะพร้าว 1.191 ล้านตัน เพิ่มจากปี 2565 ร้อยละ 3.93 โดยแบ่งเป็นความต้องการใช้ในประเทศ 0.455 ล้านตัน (ร้อยละ 38) และเพื่อการส่งออก 0.736 ล้านตัน (ร้อยละ 62) จึงได้มีการนำเข้าอย่างต่อเนื่อง ในช่วงเดือนมกราคม-ตุลาคม 2565 ประเทศไทยนำเข้ามะพร้าวผลแห้ง ปริมาณ 127,182 ตัน คิดเป็นมูลค่า 1,322 ล้านบาท กะทิสำเร็จรูป 34,756 ตัน คิดเป็นมูลค่า 1,776 ล้านบาท และกะทิแช่แข็ง 2,874 ตัน มูลค่า 105 ล้านบาท และการส่งออกในช่วงเดียวกัน พบว่ากะทิสำเร็จรูป 11,7557 ตัน มูลค่า 6,474 ล้านบาท และกะทิแช่แข็ง 53,976 ตัน มูลค่า 3,736 ล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2566) ซึ่งจะเห็นได้ว่ามูลค่าการส่งออกมีมูลค่าสูงมากกว่าการนำเข้าในช่วงเวลาเดียวกัน 3 เท่า

มะพร้าวต้นสูง อายุมากซึ่งมีสัดส่วนร้อยละ 60 ของพื้นที่ปลูกมะพร้าว (อรวรรณ, 2559) ทำให้มีผลต่อผลผลิตต่อไร่ต่ำ การเก็บเกี่ยวยาก และการดูแลรักษาเพื่อให้มีประสิทธิผลค่อนข้างยากต่อการจัดการ ปี 2564 ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกมะพร้าว 860,903 ไร่ และปี 2565 มีเนื้อที่ให้ผลผลิต 821,388 ไร่ (0.821 ล้านไร่) (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2565) ส่วนมากอยู่ในภาคใต้ของประเทศ ได้แก่ จ.ประจวบคีรีขันธ์ จ.ชุมพร จ.สุราษฎร์ธานี จ.นครศรีธรรมราช และจ.ปัตตานี พื้นที่ภาคใต้ตอนล่างยังมีการใช้ลิงเพื่อเก็บมะพร้าวบนต้นที่มีความสูงเกินกว่าจะใช้แรงงานคนเพื่อเก็บเกี่ยว จากรายงานของไพชนม์ (2559) พบว่าเกาะสมุยซึ่งเป็นแหล่งที่มะพร้าวมีอายุมาก ต้นสูง การเก็บเกี่ยวผลผลิตมะพร้าวของคนเกาะสมุย คือ ใช้ไม้สอยและใช้ลิงเก็บ ในส่วนที่ต้นมะพร้าวที่อายุมากมีต้นสูงทำให้ไม่สามารถใช้ไม้สอยได้จึงต้องใช้ลิง ส่วนลิงที่นำมาใช้ในการเก็บมะพร้าวในเกาะสมุยไม่ได้เป็นพันธุ์ดั้งเดิมของเกาะสมุย แต่เป็นการซื้อลิงมาจากที่อื่น โดยมี 2 ส่วน คือ เป็นลิงที่ผ่านการฝึกมาแล้วและแบบที่ต้องนำมาฝึกเอง ในระบบการรับจ้างเก็บมะพร้าว ผู้รับซื้อมะพร้าวจะรับจ้างเก็บมะพร้าวด้วย ส่วนค่าแรงในการเก็บผลผลิตมะพร้าวสมุยทั้งการเก็บด้วยการใช้ไม้สอยและใช้ลิงเก็บจะคิดราคาต่อผล ผลละ 3-4 บาท (นนทิภัค, 2560) ประมาณ 1,000 ลูกต่อวัน จะใช้ลิงประมาณ 3 ตัว ก็จะได้มะพร้าว 2,000-3,000 ลูกต่อวัน (แจ้ว, 2559) และอายุการใช้งานลิงจะอยู่ที่ 10 ปี ลิงที่ทำงานไม่ได้แล้วก็จะนำมาเลี้ยงดูไว้ที่บ้าน (ดุษดี, 2559)

ไม้สอยที่ใช้ในการเก็บเกี่ยวที่ผู้รับจ้างใช้งาน จะเป็นไม้ท่อนละ 6 เมตรต่อกัน 3 ท่อน การพัฒนาอุปกรณ์เก็บเกี่ยวนั้น TenAsia Corporation (2023) เป็นผู้บุกเบิกเทคโนโลยีเสาเก็บเกี่ยวปาล์มโปรกราไฟต์คอมโพสิตที่มีน้ำหนักเบาเป็นพิเศษ ซึ่งช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพการเก็บเกี่ยวปาล์มน้ำมันอย่างมาก เป็นการวิจัยและพัฒนาขึ้นในปี 2552 เพื่อค้นหาวิธีแก้ปัญหาสำหรับเสาเก็บเกี่ยวอะลูมิเนียม ที่จะเกิดการหักงอและเสียรูปได้ง่ายเมื่อเกิดอุบัติเหตุ และไม้ไผ่ที่แม้มีน้ำหนักเบามาก แต่มีอายุการใช้งานสั้น ในกระบวนการผลิตอุปกรณ์นี้ สามารถผลิตเสาที่ปรับแต่งความยาวได้ตามความต้องการในการเก็บเกี่ยวปาล์มน้ำมันต้นสูงตั้งแต่อายุ 8 ปี ขึ้นไปจนถึงอายุ 40 ปี ปัจจุบันมีใช้อยู่ในเกือบทุกประเทศผู้ผลิตปาล์มน้ำมัน ได้แก่ มาเลเซีย อินโดนีเซีย ไทย ปาปัวนิวกินี ศรีลังกา อินเดีย ละตินอเมริกา และแอฟริกากลาง

จากการที่องค์กรประชาชนเพื่อการปฏิบัติต่อสัตว์อย่างมีจริยธรรม ของสหรัฐอเมริกา (People for the Ethical Treatment of Animals: PETA) ได้กล่าวหา ประเทศไทยเรื่องการทรมานสัตว์ ในการเก็บเกี่ยวมะพร้าวโดยใช้แรงงานลิง อันเป็นส่วนหนึ่งของวิถีชีวิตดั้งเดิมของเกษตรกรผู้ปลูกมะพร้าวในพื้นที่จังหวัดชุมพร สุราษฎร์ธานี และจังหวัดใกล้เคียง ข้อกล่าวหาดังกล่าว ส่งผลกระทบต่ออุตสาหกรรมที่เกี่ยวเนื่องกับการส่งออกมะพร้าวของไทยไปต่างประเทศเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะการส่งออกมะพร้าวไปยังสหรัฐอเมริกา แคนาดา และกลุ่มประเทศยุโรป ในการแก้ปัญหาดังกล่าว กรมวิชาการเกษตรจึงได้จัดทำมาตรการป้องกันการใช้แรงงานลิงในกระบวนการผลิตมะพร้าวเพื่อการส่งออก (Monkey Free Plus) เพื่อตรวจสอบและรับรอง

กระบวนการผลิตมะพร้าวในระดับแปลงปลูกว่าไม่ได้ใช้แรงงานลิงเก็บเกี่ยวมะพร้าว โดยจะดำเนินการตรวจประเมินการใช้แรงงานลิงในแปลงเกษตรกรที่ได้การรับรอง GAP มะพร้าวเป็นลำดับแรก และตรวจประเมินแปลงเกษตรกรในเครือข่ายของบริษัทแปรรูปผลิตภัณฑ์มะพร้าวเพื่อการส่งออก และเพื่อเป็นส่วนหนึ่งในการแก้ปัญหาดังกล่าว จึงต้องพัฒนาอุปกรณ์เก็บเกี่ยวมะพร้าวต้นสูงทดแทนการใช้แรงงานลิง โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อพัฒนาอุปกรณ์เก็บเกี่ยวผลผลิตมะพร้าวต้นสูง และขยายผลการใช้เครื่องมือเก็บเกี่ยวมะพร้าวที่มีประสิทธิภาพ ทดแทนการใช้แรงงานลิงเก็บมะพร้าวไปสู่เกษตรกร ในกรอบของการศึกษา จะทำการคัดเลือกวัสดุที่เหมาะสมที่จะใช้ทำด้ามสอยมะพร้าว ตัวด้ามสอยมะพร้าวจะต้องปรับความยาวของด้ามได้ เพื่อความสะดวกทั้งในการใช้งานสอยมะพร้าวที่ระดับความสูงของต้นมะพร้าว สูง-ต่ำ ไม่เท่ากัน และสามารถปรับให้สั้น เพื่อความสะดวกปลอดภัยในการขนย้ายไปใช้งาน ศึกษาชนิดของเหล็กที่จะนำมาทำเป็นมีดเก็บเกี่ยวทะลายมะพร้าว ทดสอบการใช้งานและความคงทนในการรักษาความคม และศึกษาหารูปแบบของมีดเก็บเกี่ยวมะพร้าวที่เหมาะสมกับการใช้งาน

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. ท่อคาร์บอนไฟเบอร์
2. ท่ออะลูมิเนียม
3. เหล็กสำหรับทำมีดเก็บเกี่ยวมพะร้าว

วิธีการ

1. สำรวจอุปกรณ์เก็บเกี่ยวมะพร้าว รูปแบบการจับยึด ลักษณะใบมีดต่างๆ ขนาดและความยาวด้ามมีดขอเกี่ยว (Figure 1-2) ที่เกษตรกรนิยมใช้งานในพื้นที่จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ชุมพร และสุราษฎร์ธานี วิเคราะห์ข้อดี ข้อเสีย เพื่อหาแนวทางการออกแบบเครื่องมือให้มีประสิทธิภาพ เพื่อทดแทนแรงงานลิงเก็บมะพร้าว และช่วยลดภาระการใช้แรงงานคน

2. ออกแบบและพัฒนาเครื่องมือและอุปกรณ์ช่วยทุ่นแรงงานคนในการเก็บผลผลิตมะพร้าวจากต้นสูง โดยใช้วัสดุด้ามยาวทำจากท่อคาร์บอนไฟเบอร์สามารถสไลด์ และถอดประกอบได้ และออกแบบชุดล็อคใบมีดประกอบกับด้ามเสาเกี่ยว (Figure 3)

3. ทดสอบเครื่องมือและอุปกรณ์ช่วยทุ่นแรงงานคนในการเก็บผลผลิตมะพร้าวจากต้นสูง โดยศึกษาและทดสอบประสิทธิภาพ รูปแบบต่างๆของมีดตัด มุมใบมีด และทดสอบการใช้งานขอเกี่ยวด้ามทำจากท่อคาร์บอนไฟเบอร์สามารถถอดประกอบได้

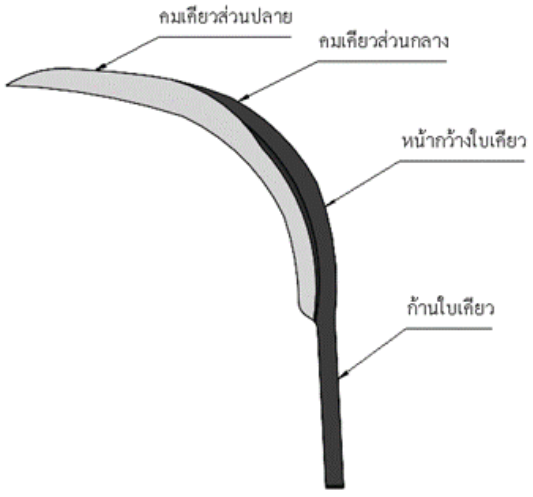

Figure 1: Blade characteristics

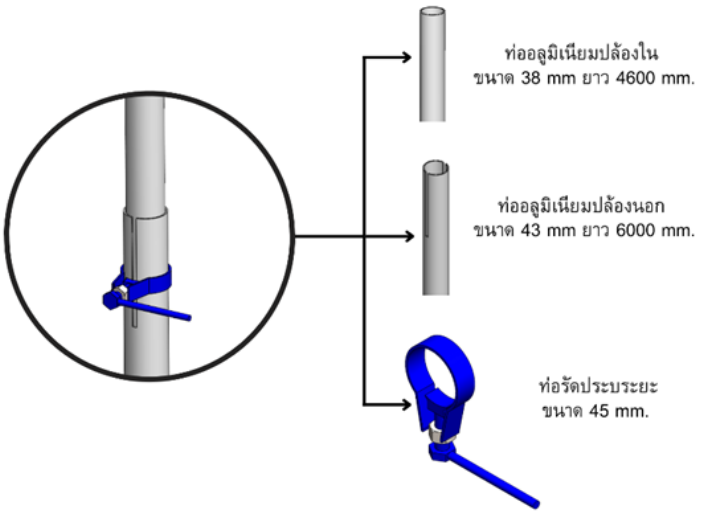

Figure 2: Pipe and fitting

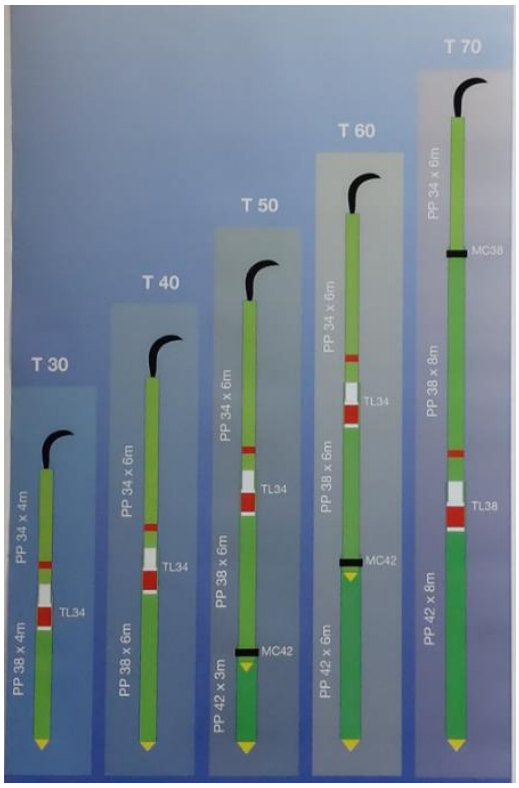

Figure 3: Carbon fiber pipe (TenAsia Corporation, 2023)

4. เก็บข้อมูลสมรรถนะ และประสิทธิภาพของเครื่องมือ เปรียบเทียบกับการเก็บเกี่ยวมะพร้าวโดยใช้แบบขอเกี่ยวด้ามไม้ไผ่ยาว และแบบขอเกี่ยวด้ามทำจากวัสดุอื่นๆ

5. ทดสอบ ปรับปรุงและแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ และทดสอบสมรรถนะการทำงานของเครื่องมือต้นแบบในโรงปฏิบัติการ พื้นที่แปลงมะพร้าว ศูนย์วิจัยพืชสวนชุมพร และแปลงเกษตรกร

6. ออกแบบและปรับปรุงเครื่องมือและอุปกรณ์ช่วยทุ่นแรงงานคนในการเก็บผลผลิตมะพร้าวจากต้นสูง ได้แก่ ชุดใบมีดตัด อุปกรณ์จับยึดท่อคาร์บอนไฟเบอร์

7. นำเครื่องมือเก็บผลผลิตมะพร้าวต้นแบบไปทดสอบเพื่อหาสมรรถนะการทำงานในสวนมะพร้าวเกษตรกรพื้นที่จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ชุมพร และสุราษฎร์ธานี และประเมินการยอมรับเทคโนโลยีของเกษตรกร

8. สรุปผลการดำเนินงาน

ผลการทดลอง

สำรวจอุปกรณ์เก็บเกี่ยวมะพร้าวที่เกษตรกรใช้งาน รูปแบบการจับยึด ลักษณะใบมีดต่างๆ ขนาดและความยาวด้ามมีด เก็บเกี่ยวที่เกษตรกรนิยมใช้งานในพื้นที่จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ชุมพร และสุราษฎร์ธานี วิเคราะห์ข้อดี ข้อเสีย เพื่อหาแนวทางการออกแบบ ในการสำรวจรูปแบบมีดเก็บเกี่ยวมะพร้าวที่เกษตรกรใช้ แบบเป็น 3 รูปแบบ ดังนี้

- มีดแบบที่ 1 (**Type A**) เป็นมีดสำหรับเก็บเกี่ยวทะลายปาล์ม มีเกษตรกรบางกลุ่มนำมาดัดแปลงใช้งาน ใบทำจากวัสดุคุณภาพดี แต่ใบมีดมีขนาดใหญ่ น้ำหนักมาก ใบมีดบางใบจะมีตะขอด้านหลังเพื่อใช้เกี่ยวดึงทะลายปาล์ม ซึ่งไม่เหมาะกับการใช้สอยมะพร้าว

- มีดแบบที่ 2 (**Type B**) เป็นมีดที่เกษตรกรสั่งร้านตีมีด ตีขึ้นรูปมาใช้งาน นิยมใช้กันในแถบ จ.ชุมพร ตัวใบมีดมีความเล็กกะทัดรัด ด้ามมีดเรียวยาวทำให้มีน้ำหนักเบา ด้วยความที่ใบมีดมีขนาดเล็ก ในการเกี่ยวทะลายมะพร้าวจึงต้องสอดมีดเข้าไปเกี่ยวทะลายมะพร้าว จึงเหมาะกับการใช้กับด้ามไม้ไผ่ที่มีขนาดเล็กและให้ตัวได้มาก

- มีดแบบที่ 2 (**Type C**) เป็นมีดที่เกษตรกรสั่งร้านตีมีด ตีขึ้นรูปมาใช้งานเช่นกัน แต่ใบมีดจะมีความโค้งงอมาก ลักษณะคล้ายเคียว ด้วยความโค้งงอของมีดที่มาก ในการเกี่ยวบางครั้ง ปลายมีดจะไปเกี่ยวกับผลมะพร้าวก่อนคมมีดจะตัดทะลายมะพร้าวบ่อยครั้ง จึงไม่ค่อยได้รับความนิยมในการใช้งาน

Type A Type B Type C

Figure 4: Characteristics of various types of knives

จากการเปรียบเทียบวัสดุที่ใช้ทำด้ามไม้สอยมะพร้าว จำนวน 2 ชนิดที่มีในท้องตลาด คือ ด้ามที่ทำจากอะลูมิเนียมกราไฟต์ และด้ามที่ทำจากคาร์บอนไฟเบอร์ (Table 1) พบว่า ด้ามที่ทำจากวัสดุทั้งสองชนิดที่ขนาดด้ามเท่ากันจะมีน้ำหนักใกล้เคียงกัน ด้ามที่ทำจากอะลูมิเนียมกราไฟต์มีข้อดี คือราคาถูกกว่า แต่ในการใช้งานต้องมีความระมัดระวัง เนื่องจากตัวด้ามจะงอผิดรูปได้หากเกิดการกระแทกแรงๆ หรือระหว่างการเก็บแล้วทะลายมะพร้าวตกใส่ ส่วนด้ามที่ทำจากคาร์บอนไฟเบอร์ จะมีความแข็งแรงมากกว่า แม้จะเกิดการกระแทกหรือทะลายมะพร้าวตกใส่ ตัวด้ามก็ไม่บิดงอหรือเสียรูป แต่จะมีราคาสูงกว่า นอกจากนี้ ด้ามแบบคาร์บอนไฟเบอร์ยังมีถึง 4 ขนาด ทำให้สามารถต่อด้ามได้ยาวกว่าด้ามแบบอะลูมิเนียมกราไฟต์

ทำการศึกษา ทดสอบ และเลือกแบบอุปกรณ์ล็อกจับท่อ โดยด้ามแบบคาร์บอนไฟเบอร์จะเหมาะกับตัวล็อกแบบขันเกลียวล็อก โดยจะทำการผ่าท่อที่ใหญ่กว่ามีรูปสามเหลี่ยมตรงข้ามกันสองจุด จากนั้นจึงสวมท่อขนาดเล็กลงในท่อขนาดใหญ่ เมื่อขันล็อกแล้วตัวด้ามคาร์บอนสามารถให้ตัวได้ ทำให้ล็อกจุดต่อระหว่างท่อแต่ละท่อนได้อย่างแข็งแรง และสามารถคลายล็อกเพื่อปรับความยาวของด้ามสอยมะพร้าวได้อย่างสะดวก (Figure 4) ในการใช้ตัวล็อกแบบนี้ นอกจากจะทำให้จุดยึดระหว่างด้ามแต่ละขนาดมั่นคงแข็งแรงแล้ว ยังคลายล็อกเพื่อปรับความยาวด้ามได้ง่าย

Table 1 Compare size and weight of Aluminium pipe and carbon fiber pipe

Pipe diameter	weight (kg.)	
	Aluminium	Carbon fiber
∅ 45 mm. length 6 meter	3.27	2.87
∅ 38 mm. length 6 meter	2.75	2.67
∅ 32 mm. length 6 meter	2.26	2.23
∅ 29 mm. length 4 meter		1.29
รวม	8.28	9.06

Figure 5: Pipe fitting and Knife fitting

ดำเนินการออกแบบมีดเกี่ยวมะพร้าว ตามข้อมูลที่ได้ศึกษา และคำแนะนำที่ได้รับจากการทดสอบเบื้องต้นร่วมกับเกษตรกร เมื่อประมวลผลและวิเคราะห์ข้อมูลแล้ว จึงออกแบบมีดเกี่ยวมะพร้าว 3 รูปแบบ (Figure 6) โดยมีดแบบที่ ๑ จะมีขนาดเล็กที่สุด เพื่อให้มีความคล่องตัวในการเกี่ยวมะพร้าว ซึ่งรูปแบบของมีดที่เกษตรกรนิยมใช้ในพื้นที่ จ.ชุมพร มีดแบบที่ ๒ จะมีความยาวของใบมีดมากขึ้น เพื่อเพิ่มระยะการเกี่ยวให้มากขึ้น และมีดแบบที่ ๓ จะมีความยาวของใบมีดมากที่สุด รูปแบบของมีดจะมีลักษณะคล้ายมีดเก็บเกี่ยวทะลายปาล์ม แต่ขนาดของใบมีดจะมีขนาดที่เล็กกกว่า เพื่อให้เหมาะสมกับการใช้เก็บเกี่ยวทะลายมะพร้าว ทำการตีมีดตามแบบที่เขียนไว้ (Figure 7) เมื่อได้ใบมีดแล้ว จะต่อด้ามใบมีดด้วยท่อเหล็กขนาด ๓/๘ นิ้ว ยาว ๕๐ เซนติเมตร เพื่อเพิ่มความยาวช่วงคอมีด (Figure 8) ให้สามารถสอดมีดเข้าไปตัดทะลายมะพร้าวได้ง่าย และช่วงคอมีดที่ยาวและเรียบลื่น จะช่วยป้องกันที่ล็อคมีดกับด้ามไม่ให้ติดหรือขัดกับทะลายมะพร้าวระหว่างการสอย

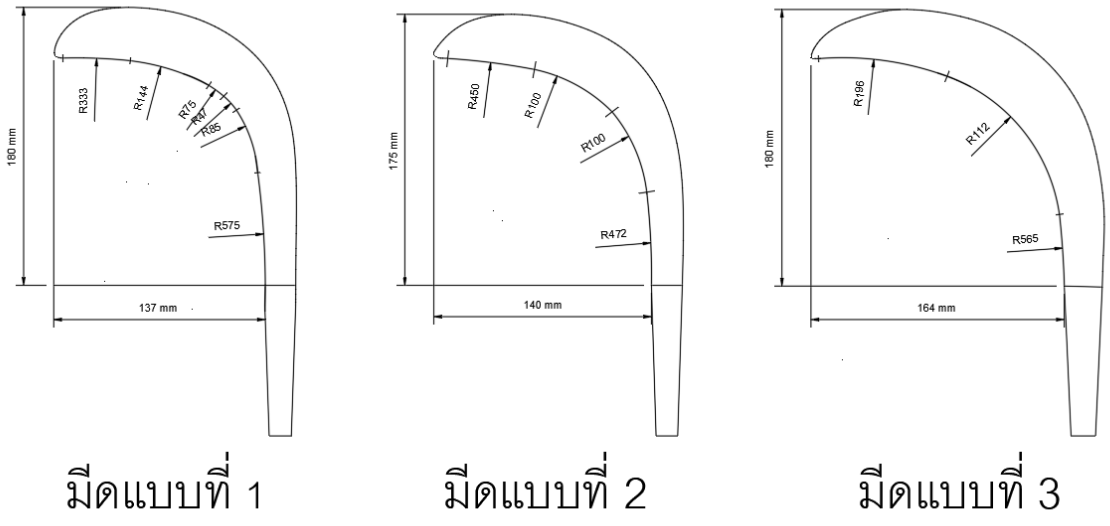

Figure 6: Model of knife

Figure 7: prototype knife

Figure 8:

ทดสอบการใช้งานมีดเกี่ยวเบื้องต้นร่วมกับเกษตรกร และเจ้าหน้าที่ของ ศูนย์วิจัยเมล็ดพันธุ์พืชสุราษฎร์ธานี และศูนย์วิจัยพืชสวนชุมพร ที่มีหน้าที่สอยมะพร้าว เพื่อเก็บข้อมูลเปรียบเทียบการใช้งานของมีดทั้ง ๓ แบบ จากข้อมูลการทดสอบพบว่า มีดแบบที่ 1 มีความโค้งน้อยกะทัดรัด มีความคล่องตัวเข้าถึงคอทะลายมะพร้าวได้ง่าย แต่ต้องออกแรงมากกว่ามีดแบบที่ 2 และมีดแบบ 3 มีดแบบที่ 3 มีความโค้งมากคล้ายมีดเกี่ยวปาล์ม มีปลายยาว ทำให้ออกแรงน้อยกว่ามีดแบบที่ 1 และแบบที่ 2 แต่เข้าถึงคอทะลายมะพร้าวได้ยาก เกษตรกรจะเกี่ยวมะพร้าวบางลูกลงมาเพื่อให้เห็นคอทะลายมะพร้าว จึงเกี่ยวทะลายมะพร้าว จากผลการทดสอบ ยังพบอีกว่า เกษตรกรบางส่วนที่ชอบมีดแบบที่ 1 ยังชอบมีดแบบที่ 3 ด้วย

ดำเนินการทดสอบการรักษาความคมของมีด เพื่อเปรียบเทียบความคงทนในการรักษาคมมีดของเหล็กทั้ง 3 ชนิด ที่นำมาทำมีดเก็บเกี่ยวมะพร้าว คือ เหล็ก ***SUP9***, ***545C*** และ ***SCM440*** ในการทดสอบจะเริ่มจากการลับมีดให้คมที่สุด ทดสอบความคมของมีดด้วยการตัดกระดาษ มีดจะต้องตัดกระดาษได้โดยกระดาษไม่ฉีกขาด จากนั้นจะใช้มีดตัดทางใบมะพร้าว เมื่อตัดทางใบมะพร้าวครบทุกๆ 10 ครั้ง จะทดสอบการรักษาความคมของมีดด้วยการนำไปตัดกระดาษ เพื่อดูการรักษาความคมของเหล็กแต่ละชนิดที่ใช้ทำมีด ทำการทดสอบตัดทางใบมะพร้าว จำนวน 100 ครั้ง หรือจนกว่ามีดจะตัดกระดาษไม่เข้า จากการทดสอบ พบว่า มีดที่ทำจากเหล็ก ***SUP9*** สามารถรักษาความคมได้ดีมาก หลังจากผ่านการตัดทางมะพร้าวไป 100 ครั้ง ยังสามารถตัดเฉือนกระดาษได้ดี แสดงถึงการรักษาความคมไว้ได้ดีมาก มีดที่ทำจากเหล็ก ***SCM440*** เมื่อตัดทางใบมะพร้าวครบ ยังสามารถรักษาความความคมได้ดีในระดับหนึ่ง แต่เมื่อนำมีดไปตัดกระดาษ จะมีรอยย่นของกระดาษบริเวณที่ตัด แสดงว่า ความคมของมีดลดลงจากการใช้งาน ส่วนมีดที่ทำจากเหล็ก ***545C*** รักษาความคมได้น้อยที่สุด เมื่อตัดทางใบมะพร้าวไป 70 ครั้ง นำไปตัดกระดาษจะตัดกระดาษเข้านิดเดียวแล้วทำให้กระดาษฉีกขาด ทดสอบตัดกระดาษอีกครั้งเมื่อตัดทางใบ 80 ครั้ง พบว่า ไม่สามารถตัดกระดาษได้เลย

วิจารณ์ผล

จากผลการทดสอบการใช้มีดเก็บเกี่ยวมะพร้าวทั้ง 3 แบบ พบว่า แม้ผลการทดสอบของมีดแบบที่ 1 กับมีดแบบที่ 3 จะมีคะแนน ความชอบของเกษตรกรใกล้เคียงกัน แต่มีเกษตรกรบางรายที่ชอบมีดแบบที่ 1 ซึ่งมีขนาดกะทัดรัดกว่า ให้ความคล่องตัวในการสอยมะพร้าวกว่า แต่ก็ชอบมีดแบบที่ 3 ด้วย เพราะรู้สึกว่าออกแรงในการตัดน้อยกว่า ความยาวของใบมีดที่มากกว่าให้สะดวก

ในการเกี่ยวมากกว่า โดยในกลุ่มที่ชอบแบบที่ 1 อาจจะเพราะคุ้นเคยกับรูปทรงมีดมาก่อน ในส่วนของวัสดุที่ใช้ทำด้ามสอยมะพร้าวนั้น ท่อคาร์บอนไฟเบอร์ให้มีความคงทน แข็งแรงมากกว่า แม้จะเกิดอุบัติเหตุระหว่างทดสอบ เช่น ทะลายมะพร้าวตกใส่ด้ามสอยมะพร้าว หรือทำด้ามมะพร้าวล้มลงฟาดกับพื้นก็ยังไม่มีความเสียหาย ในขณะที่ด้ามที่ทำจากอะลูมิเนียมแกรไฟท์จะเสียรูปทรง งอ หรือพับในทันที ทำให้ไม่สามารถใช้งานต่อได้ แต่ด้ามแบบอะลูมิเนียมกราไฟท์ ก็มีราคาถูกกว่าถึง 1 ใน 4

สรุปผล

จากการทดสอบอุปกรณ์เก็บเกี่ยวสอยมะพร้าวต้นสูง เมื่อเปรียบเทียบด้ามที่ทำจากคาร์บอนไฟเบอร์และอะลูมิเนียมกราไฟต์ พบว่า ด้ามที่ทำจากคาร์บอนไฟเบอร์จะมีความคงทนแข็งแรงมากกว่าด้ามแบบอะลูมิเนียมกราไฟต์ สามารถทนแรงกระแทกและป้องกันการหักงอได้ดี ด้ามจากวัสดุทั้ง 2 ชนิด มีน้ำหนักใกล้เคียงกัน แต่ด้ามแบบคาร์บอนไฟเบอร์จะมีราคาสูงกว่า ในส่วนของมีดเก็บเกี่ยวนั้น เกษตรกรที่ชอบมีดที่กะทัดรัด มีความคล่องแคล่วในการสอยจะชอบมีดแบบที่ 1 แต่เกษตรกรที่ชอบมีดที่ใช้แรงในการเกี่ยวน้อยกว่า ปลายมีดยาวกว่าทำให้เกี่ยวทะลายที่อยู่ไม่ลึกมากโดยไม่ต้องสอดมีดเข้าไป จะชอบมีดแบบที่ 3 และเหล็กที่ใช้ทำมีดแล้วสามารถรักษาความคมไว้ได้ดีที่สุด คือ เหล็ก SUP9 แม้จะตัดทางมะพร้าวไป 100 ครั้ง ยังรักษาความคมได้ดีมาก ข้อดีของอุปกรณ์เก็บเกี่ยวมะพร้าวต้นสูงที่พัฒนาขึ้น คือ สามารถปรับความยาวของด้ามได้ตามความสูงของมะพร้าวที่จะทำการเก็บเกี่ยว สามารถใช้กับต้นมะพร้าวที่มีความสูงได้ 18-20 เมตร และในการขนย้ายยังย่อด้ามให้เหลือความยาวเพียง 6.5 เมตร ซึ่งช่วยให้เคลื่อนย้ายได้ง่าย

คำขอบคุณ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมสุราษฎร์ธานี ที่ช่วยทดสอบ เก็บข้อมูลการทดสอบ พัฒนาและปรับปรุงต้นแบบอุปกรณ์เก็บเกี่ยวมะพร้าวต้นสูงจนแล้วเสร็จ เจ้าหน้าศูนย์วิจัยพืชสวนชุมพร ที่ได้ให้ข้อมูลในเชิงสรีระศาสตร์ของต้นมะพร้าวที่สำคัญ รวมถึงเอื้อเฟื้อสถานที่ทดสอบและเข้าร่วมการทดสอบ และที่ขาดไม่ได้ คือ เกษตรกรทั้งที่เอื้อเฟื้อสถานที่ให้ทดสอบ และเข้าร่วมการทดสอบ รวมถึงการให้ข้อมูลด้านการใช้งานที่เป็นประโยชน์ นอกจากนี้ต้องขอขอบคุณเกษตรกร เจ้าหน้าที่และหน่วยงานต่างๆ ที่ไม่ได้เอ่ยนาม ที่ได้เอื้อเฟื้อทั้งข้อมูล ความรู้ และให้คำแนะนำต่างๆ จนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

แจ้ว ศรีฟ้า. สัมภาษณ์. เกษตรกรชาวสวนมะพร้าว. เมื่อวันที่ 23 กันยายน 2559 ณ อำเภอเกาะสมุย จังหวัดสุราษฎร์ธานี.

ดุษดี โยธารส. สัมภาษณ์. รับจ้างเก็บมะพร้าวโดยการใช้ลิง. เมื่อวันที่ 23 กันยายน 2559 ณ อำเภอเกาะสมุย จังหวัดสุราษฎร์ธานี.

นนทิภัค เพียรโรจน์. 2560. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ กลยุทธ์การพัฒนาความเชื่อมโยงระหว่างมะพร้าวสมุยกับการท่องเที่ยวเชิงสร้างสรรค์. สนับสนุนโดยสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.).

ไพชนม์ แย้มบาน. สัมภาษณ์. อดีตเกษตรอำเภอเกาะสมุย. เมื่อวันที่ 23 กันยายน 2559 ณ อำเภอเกาะสมุย จังหวัดสุราษฎร์ธานี.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร 2565. รายงานสรุปข้อมูลสินค้าเกษตรและผลิตภัณฑ์ฉบับผู้บริหาร (Executive summary) ประจำไตรมาส 4/2565 จัดทำโดย คณะทำงานพัฒนาสารสนเทศการเกษตรระดับประเทศ จำนวน 2 หน้า

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร 2566. รายงานการประชุม คณะอนุกรรมการบริหารจัดการสินค้ามะพร้าว ครั้งที่ 2/2565 วันที่ 27 ธ.ค. 2565 ณ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ จำนวน 26 หน้า

อรวรรณ วิชัยลักษณ์ และณัฐธิดา ห้าวหาญ. 2559. การเพิ่มศักยภาพการปลูกมะพร้าวพันธุ์ดีทดแทนสวนเก่า. กรมส่งเสริมการเกษตร. 144 น.

TenAsia Corporation Sdn Bhd. Palm Oil Harvesting Pole, PalmPro® Graphite - A60 Combination. From https://www.averest.com.my/TenAsia-Corporation-Sdn-Bhd-Palm-Oil-Harvesting-Pole-PalmPro-Graphite A60-Combination. [accessed on 19 February 2023].

การสำรวจและประเมินความเสี่ยงสารพิษตกค้างในดินจากแหล่งปลูกมะม่วง ในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน

Survey and Risk Assessment of Pesticide Residues in Soil from Mangoes Crop at Upper Northeast of Thailand

ณัฏฐ์ชยธร ขัตติยะพุฒิเมธ[1*] จารุพงศ์ ประสพสุข[1] ประภัสสร สีลารักษ์[1] และ วัชราพร ศรีสว่างวงศ์[1]

Khattiyaphutthimet, N.[1*], Prasopsuk, J.[1], Seelarak, P.[1] and Srisawangwong, W.[1]

[1] สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 3 อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40000

[1] Office of Agricultural Research and Development Region 3, Development of Agricultural, Khon Kaen, 40000

**Corresponding author: natkhat223@gmail.com*

บทคัดย่อ

การใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชเพื่อป้องกันกำจัดศัตรูพืชแล้ว อาจทำให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์และสัตว์ การปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม ส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศและห่วงโซ่อาหาร งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสำรวจปริมาณสารพิษตกค้างในดินจากแหล่งปลูกมะม่วงต่อความเสี่ยงที่มีต่อสุขภาพเกษตรกรในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน โดยสุ่มเก็บตัวอย่างดินจากแปลงปลูกมะม่วงในพื้นที่ จังหวัดกาฬสินธุ์ ขอนแก่น ชัยภูมิ สกลนคร และ อุดรธานี ระหว่างเดือนมกราคม - พฤษภาคม 2566 จำนวน 48 ตัวอย่าง ตรวจวิเคราะห์สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืช จำนวน 178 ชนิดสาร ด้วยเครื่อง LC-MS/MS ผลการตรวจวิเคราะห์พบสารพิษตกค้าง 25 ตัวอย่าง (52%) พบสารกำจัดศัตรูพืช 18 ชนิด ได้แก่ ametryn, azoxystrobin, bufrofezin, cabaryl, carbendazim, chlofenapyr, chlorantraniliprole, clothianidin, difenoconazole, fipronil, sulfone, hexaconazole, imidacloprid, lambda-cyhalothrin, prochloraz, Spinosad D, thiamethoxam และ thiram ปริมาณ 0.01-0.93 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อประเมินความเสี่ยงสารพิษตกค้างในดินด้วยค่าดัชนีบ่งชี้อันตราย (Hazard Index, HI) มีค่าน้อยกว่า 1 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ แต่อย่างไรก็ตามเกษตรกรควรตระหนักถึงการตกค้างของสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชที่ใช้ในการปลูกพืช

คำสำคัญ: สารพิษตกค้างในดิน การประเมินความเสี่ยง มะม่วง

Abstract

The used of pesticide for prevent and eliminate pests. They are harmful to health of humans and animals and the pesticides contaminate the environmental which effects to ecology and food chain. The main objective of the study was to survey of pesticide residues in soil from mangoes crops, on the health impact from pesticide risk on farmers at Upper Northeast of Thailand. The sample of soil from Kalasin, Khon Kaen, Chaiyaphum, Sakon Nakhon and Udon Thani provinces were collected and prepared for pesticide residues analysis. This study was conducted from January to May 2023. A total of 48 samples were prepared and analyzed by liquid chromatography-tandem mass spectrometry (LC-MS/ MS) determination. The results showed that the level of pesticide residues in 25 sample (52% of all samples) (0.01-0.93 mg/kg) pesticide residues of 18 pesticide was found. They were ametryn, azoxystrobin, bufrofezin, cabaryl, carbendazim, chlofenapyr, chlorantraniliprole, clothianidin, difenoconazole, fipronil, sulfone, hexaconazole, imidacloprid, lambda-cyhalothrin, prochloraz, Spinosad D, thiamethoxam and thiram. The health risk assessment was

calculated using Hazard Index (HI) were less than 1 which the acceptable level (HI<1). However, farmer should be realized the residues of these insecticides used in cultivation.

Keywords: Pesticide residues in soil, Risk assessment, Mango

บทนำ

มะม่วง (*Mangifera indica*) เป็นไม้ยืนต้นสกุล Mangifera เป็นไม้ผลเมืองร้อนอยู่ในวงศ์ Anacardiaceae มีถิ่นกำเนิดในภูมิภาคอินเดีย บังคลาเทศ และทางแถบตะวันตกเฉียงเหนือของพม่า สามารถรับประทานได้ทั้งดิบและสุก สามารถนำไปแปรรูปได้ เช่น มะม่วงอบแห้ง มะม่วงกวน เป็นต้น มีหลายสายพันธุ์ เช่น พันธุ์เขียวเสวย แรด ฟ้าลั่น น้ำดอกไม้ อกร่อง มหาชนก และแก้ว เป็นต้น ประเทศไทยมีพื้นที่ในการขึ้นทะเบียนเกษตรกรผู้ปลูกมะม่วงทั่วประเทศ จำนวน 599,369.61 ไร่ เกษตรกร จำนวน 121,039 ครัวเรือน โดยมีพื้นที่ปลูกมะม่วงในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 100,076.32 ไร่ (ศูนย์สารสนเทศและการสื่อสาร กรมส่งเสริมการเกษตร, 2563; กรมส่งเสริมการเกษตร, 2565) โรคและแมลงศัตรูมะม่วงที่สำคัญ ได้แก่ โรคแอนแทรคโนส โรคราแป้ง โรคราดำ เพลี้ยไฟ เพลี้ยจักจั่นมะม่วง เพลี้ยแป้ง เพลี้ยหอย ด้วงงวงเจาะเมล็ดมะม่วง และแมลงวันผลไม้ ส่งผลต่อผลผลิตและคุณภาพของมะม่วง การป้องกันกำจัดมีการใช้สารเคมีที่เป็นวัตถุอันตรายทางการเกษตร ทำให้เกิดการตกค้างในผลผลิตและสิ่งแวดล้อมได้ วัชราพรและคณะ (2559) ศึกษาชนิดและปริมาณสารพิษตกค้างในตัวอย่างพืชผักและผลไม้ของเกษตรกรที่ผ่านการรับรองการปฏิบัติทางการเกษตรที่ดี (GAP) ในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน ในปีงบประมาณ 2554-2558 โดยสุ่มเก็บตัวอย่างจากแปลงเกษตรกรที่ผ่านการรับรอง GAP จากแหล่งรวบรวมผลผลิตและจากแหล่งจำหน่ายผลผลิตที่ได้รับเครื่องหมายรับรองมาตรฐานสินค้าเกษตร (Q) ประกอบด้วย พืชผักและผลไม้ จำนวน 24 ชนิด ได้แก่ กวางตุ้ง กะเพรา กะหล่ำปลี ขึ้นฉ่าย คะน้า แคนตาลูป แตงกวา แตงร้าน ถั่วฝักยาว บล็อคเคอรี่ บวบ ป่วยเล้ง ผักกาดขาวปลี ผักกาดหอม ผักกาดฮ่องเต้ ผักโขม ฝรั่ง พริก ฟิลเล่ย์ไอซ์เบริก มะเขือ มะเขือเทศ มะม่วง หน่อไม้ฝรั่งและโหระพา ตรวจวิเคราะห์สารพิษตกค้าง 4 กลุ่ม คือ กลุ่มออร์กาโนฟอสฟอรัส ออร์กาโนคลอรีน ไพรีทรอยด์และคาร์บาเมต ผลการวิเคราะห์สารพิษตกค้างพบว่า ตัวอย่าง 850 ตัวอย่าง พบสารพิษตกค้าง 384 ตัวอย่าง คิดเป็น 45.2% ซึ่งในการสุ่มเก็บตัวอย่างมะม่วงทั้งหมด 482 ตัวอย่าง พบสารพิษตกค้าง 169 ตัวอย่าง คิดเป็น 35.06%

ผกาสินี และคณะ (2563) ได้ศึกษาการสำรวจสารพิษตกค้างในพืชและสิ่งแวดล้อม จากแหล่งปลูกพืชไร่บริเวณพื้นที่สูงในจังหวัดน่าน ได้แก่ ข้าว ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ และยางพารา ระหว่างเดือน มกราคม - กรกฎาคม พ.ศ. 2561 เกษตกรมีการใช้สารเคมีเพื่อป้องกันกำจัดศัตรูพืชในบริเวณพื้นที่ปลูกพืชหลายชนิด อาจทำให้เกิดสารตกค้างในดินหรือตะกอน ที่เป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดการปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำ เพิ่มสะสมในสิ่งมีชีวิตในน้ำ วิเคราะห์ตัวอย่างด้วยเทคนิคทางโครมาโตกราฟฟีและสเปคโตรโฟโตมิเตอร์รวม 57 ชนิด จากตัวอย่างทั้งหมด 98 ตัวอย่าง ได้แก่ ตัวอย่างน้ำ ตะกอน ดิน และพืช จำนวน 34 26 18 และ 20 ตัวอย่าง ตามลำดับ พบสารตกค้างจำนวน 67 ตัวอย่าง (68% ของตัวอย่างทั้งหมด) ตัวอย่างน้ำพบการตกค้าง 31 ตัวอย่าง ชนิดสารที่พบเป็นสารกำจัดวัชพืช ได้แก่ atrazine, glyphosate และ aminomethylphosphonic acid (AMPA, เมตาโบไลต์ ของ glyphosate) ปริมาณ 0.03 - 2.76, 3.10 - 9.56 และ 1.45 – 25.50 µg/l ตามลำดับ ปริมาณที่ตรวจพบในตัวอย่างน้ำต่ำกว่าระดับสูงสุดที่ยอกให้มีได้ในน้ำ ตัวอย่างตะกอนดิน พบสารกำจัดวัชพืช paraquat จำนวน 18 ตัวอย่าง ปริมาณ 0.07 – 1.80 mg/kg ในตัวอย่างดินพบการตกค้างของสารกำจัดวัชพืช paraquat ในทุกตัวอย่าง ปริมาณ 0.68 – 11.53 mg/kg และมีการตรวจพบการตกค้างของสารอื่นๆอีกหลายชนิด แสดงว่าพื้นที่เกษตรกรรมของจังหวัดน่านมีการใช้สารกำจัดวัชพืชพาราควอตจำนวนมาก ในตัวอย่างพืชนั้นมีการพบสารตกคค้างเพียงชนิดเดียวเป็นสารกลุ่มไพรีทรอยด์ คือ permethrin ปริมาณ 0.05 mg/kg โดยต่ำกว่าค่า Codex MRLs ในถั่ว (เมล็ดแห้ง) ที่กำหนดไว้ 0.1 mg/kg

การใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชในการผลิตพืช ทำให้เกิดข้อกังวลต่อสุขภาพของผู้รับสัมผัสและการตกค้างในสิ่งแวดล้อม ซึ่งส่วนใหญ่เป็นสารมลพิษที่ตกค้างยาวนาน (Persistent Organic Pollutants : POPs) ประกอบด้วย สารเคมีที่ใช้ในการกำจัดแมลง (Insecticides) สารกำจัดวัชพืช (Herbicides) สารกำจัดสัตว์ฟันแทะ (Rodenticides) และสารกำจัดเชื้อรา (Fungicides) (Chopra *et al,* 2010; Ozekeke *et al,* 2015) ซึ่งควรมีการเฝ้าระวังถึงผลกระทบที่อาจจะเกิดขึ้น ดังนั้น การวิจัยครั้งนี้จึงมี

วัตถุประสงค์เพื่อสำรวจสารพิษตกค้างในดินแปลงปลูกมะม่วงและประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของเกษตกรอยู่ในระดับที่จะก่อให้เกิดอันตรายหรือไม่ เพื่อให้สามารถดำเนินการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นให้ลดลงหรือหมดไปในอนาคต

อุปกรณ์และวิธีการ

สำรวจปริมาณสารพิษตกค้างในดินจากแหล่งปลูกมะม่วงต่อความเสี่ยงที่มีต่อสุขภาพเกษตรกรในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน ระหว่างเดือนมกราคม - พฤษภาคม 2566 โดยสุ่มเก็บตัวอย่างดินในพื้นที่ จังหวัดกาฬสินธุ์ ดินแปลงปลูกมะม่วงมหาชนก จำนวน 13 ตัวอย่าง จังหวัดขอนแก่น ดินแปลงปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้จำนวน 17 ตัวอย่าง จังหวัดชัยภูมิ ดินแปลงปลูมะม่วงฟ้าลั่น 2 ตัวอย่าง ดินแปลงปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้ 6 ตัวอย่าง จังหวัดสกลนคร ดินแปลงปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้ 9 ตัวอย่าง และ จังหวัดอุดรธานี ดินแปลงปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้ 1 ตัวอย่าง รวม 48 ตัวอย่าง สุ่มเก็บตัวอย่างดิน การเก็บให้กระจายจุดที่จะเก็บทั่วพื้นที่โดยกำหนดให้ไม่น้อยกว่า 25 จุด ต่อพื้นที่ 25 ไร่ หรือเก็บตัวอย่างดิน 1-2 จุด ต่อพื้นที่ 1 ไร่ ทำความสะอาดบริเวณจุดที่กำหนด ใช้เสียมขุดดินรูปตัววี (V) ให้มีความลึกในแนวดิ่ง 6 นิ้ว ส่วนที่เป็นตัววีทิ้ง ใช้เสียมแซะขอบด้านหนึ่งของตัว V ให้มีความหนาประมาณ 1 นิ้ว โดยกดเสียมให้ลึกจนถึงก้นหลุม งัดดินขึ้น แบ่งดินด้านข้างทั้งสองของพลั่วออกทิ้งไป นำดินส่วนที่เหลือใส่ภาชนะ คลุกเคล้าดินให้เข้ากัน (กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี, 2548) ตรวจวิเคราะห์สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืช จำนวน 178 ชนิดสาร ด้วยเครื่อง LC-MS/MS วิเคราะห์ตัวอย่างดินด้วยวิธีการสกัด แบบ QuEChERS (BSI., 2008) ตรวจวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณสารพิษตกค้าง จำนวน 178 ชนิดสาร ครอบคลุมสารกำจัดวัชพืช (Herbicide) สารกำจัดแมลง (Insecticide) และ สารป้องกันกำจัดโรคพืช (Fungicide) ด้วยเครื่อง Liquid chromatography-tandem mass spectrometry (LC-MS/MS) ชั่งตัวอย่างดิน 10 กรัม ใช้ acetonitrile สกัดแบบขั้นตอนเดียวและทำการแยกน้ำในตัวอย่างด้วย $MgSO_4$ ทำให้สะอาดขึ้นด้วย Dispersive-Solid-phase extraction (dispersive-SPE) เพื่อกำจัดกรดอินทรีย์ น้ำส่วนเกินและส่วนประกอบอื่น ๆ ด้วย primary secondary amine (PSA) C18 และ $MgSO_4$ ทำให้เป็นกรดโดยการเติมกรดฟอร์มิก สารสกัดขั้นสุดท้ายนำไปวิเคราะห์ด้วย LC-MS/MS สำหรับตัวอย่างรอวิเคราะห์เก็บในสภาวะเย็นที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส และวิเคราะห์ตัวอย่างภายใน 24 ชั่วโมง

การปรับสภาพเครื่อง LC-MS/MS

เครื่อง LC-MS/MS รุ่น Compact ESI-Q-TOF ยี่ห้อ Bruker และ เครื่อง liquid chromatography (HPLC Ultimate 3000 series, Thermo Sciencetific) ต่อเชื่อมแบบ electrospray ionization (ESI). แยกสารด้วย column C18 Thermo scientific AcclaimTM RSLC C18 120, 120A° 2.1x100 mm, and 2.2 μm particle sizes. Column Temperature 30 °C, Injection volume 5 μl, flow rate, 0.2 ml/min Mobile Phase: A เตรียมจาก 10% MeOH, 5 mM ammonium formate และ 0.01% formic acid 99% Mobile Phase: B เตรียมจาก MeOH, 5 mM ammonium formate และ 0.01% formic acid 1% Total cycle time: 20 min MS Conditions, Source: ES End Plate Offset: 500 V, Capillary: 4500V, Spray condition: Positive mode, Dry Gas: 8.0 L/min, Dry Temp: 180 °C and Nebulizer: 2.0 Bar

การประเมินความเสี่ยงสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างในดินต่อสุขภาพของเกษตรกร

ค่าประเมินความเสี่ยงเป็นการรวมค่า HQ (hazard quotient) ของแต่ละชนิดสารที่พบตกค้างในดิน คำนวณจากค่า LADD (ปริมาณสารพิษน้อยที่สุดที่ร่างกายรับได้จากการกลืนดินปนเปื้อนสารพิษต่อน้ำหนักต่อวัน) เทียบกับค่า RfD (ค่าอ้างอิง คือ ค่าปริมาณสารพิษที่น้อยสุดที่ร่างกายรับได้โดยไม่ทำให้เกิดอันตรายหรือเป็นพิษต่อร่างกาย) เมื่อรวมค่า HQ แล้วจะได้ค่า hazard index (HI) เป็นค่าดัชนีชี้วัดความเสี่ยง การได้รับสารพิษสู่ร่างกายประเมินจากความเข้มข้นของสารพิษตกค้าง อัตราการกลืนกิน ความถี่ในการสัมผัส ระยะเวลาที่รับสาร โดยคำนวณการได้รับสารพิษตามแนวทางของ U.S.EPA (2008) และ U.S.EPA (2003) สมการคำนวณดังนี้

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

เมื่อ: LADD ปริมาณสารพิษเฉลี่ยต่อวันจากสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้าง (mg/kg-day)

Csoil ความเข้มข้นของสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างในดินที่แปลงปลูกพืช (mg/kg)

CF unit conversion factor = 10^{-6} kg/mg

IRsoil อัตราการได้รับสารพิษที่ตกค้างในดิน (mg/day), 100 mg /day สำหรับผู้ใหญ่ (U.S. EPA. 2008)

EF ความถี่ของการสัมผัส (365 days/year)

ED ระยะเวลาที่สัมผัส (years) 70 years สำหรับผู้ใหญ่, (U.S. EPA. 2003)

BW ค่าเฉลี่ยน้ำหนักตัว (kg); สำหรับผู้ใหญ่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ น้ำหนักเฉลี่ย 62.64 kg (ผู้หญิง= 68.8 kg, ผู้ชาย =56.48 kg) (Wells et al., 2012) AT; ระยะเวลาที่ใช้เฉลี่ย (days) (EF x ED)

การคำนวณค่าความเสี่ยงจากสารพิษตกค้างได้จากค่า hazard quotient (HQ) ซึ่งคำนวณจากค่า LADD และค่า RfD ดังสมการต่อไปนี้:

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

เมื่อ RfD: the reference dose for particular compound in mg/kg-day (Kumar et al., 2014; Farina et al., 2016; U.S. EPA, 2003) เป็นค่าอ้างอิง

ใช้ค่า RfD ตามข้อมูลของ Pesticide Properties Database (PPDB) (IUPAC, 2019) และ IRIS Assessment (U.S. EPA, 2017)

ค่าการประเมินความเสี่ยงได้จากค่า Hazard index (HI) คำนวณจากสมการดังนี้

$$HI = \sum HQi \quad \text{(สมการ 3)}$$

เมื่อ HQi: Hazard quotient ของสารพิษi

เกณฑ์ความเสี่ยง HI >1: หมายถึงสารพิษตกค้างอยู่ในระดับเสี่ยงต่อเกษตรกร

HI <1, แสดงว่าสารพิษตกค้างอยู่ในระดับยอมรับได้

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

ผลการตรวจวิเคราะห์สารพิษตกค้างในดินแปลงปลูกมะม่วง จำนวน 48 ตัวอย่าง พบสารพิษตกค้าง 25 ตัวอย่าง (52%) พบสารกำจัดศัตรูพืช 18 ชนิด ได้แก่ ametryn, azoxystrobin, bufrofezin, cabaryl, carbendazim, chlofenapyr, chlorantraniliprole, clothianidin, difenoconazole, fipronil, sulfone, hexaconazole, imidacloprid, lambda-cyhalothrin, prochloraz, Spinosad D, thiamethoxam และ thiram ปริมาณ 0.01-0.93 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Table 1) เช่นเดียวกับรายงานการตรวจพบสารพิษตกค้างดินแหล่งปลูกพืชผักในพื้นที่อำเภอจอมบึง จังหวัดราชบุรี พบสารกำจัดศัตรูพืช 6 ชนิด ได้แก่ atrazine, ametryn, acetochlor, profenofos, cypermethrin และ permethrin ปริมาณ 0.02-0.10 mg/kg (ปภัสราและคณะ, 2565) และรายงานการตรวจพบสารพิษตกค้างในดินแปลงปลูกคะน้าในพื้นที่ อ.เมือง จังหวัดขอนแก่น จำแนกเกษตรกรเป็น 2 กลุ่ม คือ เกษตรกรที่เข้าร่วมโครงการ GAP และไม่เข้าร่วมโครงการ GAP (non-GAP) พบว่า ดินแปลงปลูกคะน้าทั้งสองแบบพบสารตกค้างทุกแปลง ชนิดของสารที่ตรวจพบในแปลง GAP จำนวน 7 ชนิดสาร ได้แก่ alachlor, carbosulfan, chlorantraniliprole, cypermethrin, imidacloprid, metalaxyl และ profenofos ปริมาณ 0.01-0.006 mg/kgและตัวอย่างดินจากแปลง non-GAP พบสารพิษ 14 ชนิดสาร ได้แก่ acetamiprid, acetochlor, alachlor, carbaryl, carbosulfan, chlofenapyr, chlorantraniliprole, chlorpyrifos, cypermethrin, dinotefuran, imidacloprid, indoxacarb, profenofos และ tofenpyred ปริมาณ 0.003-0.22 mg/kg สารเคมีที่ใช้กำจัดแมลงที่ตรวจพบมากที่สุด 11 ชนิดสาร ได้แก่ bufrofezin, cabaryl, chlofenapyr, chlorantraniliprole, clothianidin, fipronil, sulfone, imidacloprid, lambda-cyhalothrin, Spinosad D และ thiamethoxam สารที่ตรวจพบเป็นอันดับสอง คือ สารเคมีที่ใช้เพื่อการกำจัดเชื้อรา 6 ชนิดสาร ได้แก่ azoxystrobin, carbendazim, difenoconazole, hexaconazole, prochloraz และ thiram และสารเคมีที่ใช้เพื่อการกำจัดวัชพืช 1 ชนิด ได้แก่ ametryn การใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชนอกจากจะมีประโยชน์ในการป้องกันกำจัดศัตรูพืชเป้าหมายและในอีกด้านทำให้เกิดอันตรายต่อคนและสัตว์ ทำให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพ ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม การตกค้างของสารพิษในผลผลิต ในสิ่งแวดล้อม เช่น ในแหล่งน้ำ ตะกอนดินและดิน ซึ่งจะหมุนเวียนในระบบกลับมาสู่พืชอาหารคนได้การได้รับสารพิษต่อเนื่องเป็นเวลานาน ทำให้เกิดการสะสมของสารพิษในร่างกายและแสดงอาการเจ็บป่วย เสียเงินค่ารักษาพยาบาล และขาดแรงงานในภาคเกษตร ส่งผลต่อเศรษฐกิจของประเทศได้ (ศรีจำนรรจ์ ศรีจรรยา และ พฤทธิชาติ ปุณวัฒโฑ, 2566) การตกค้างของสารพิษในน้ำและดิน ก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางดิน สารเคมีที่สลายตัวได้ช้าจะเกิดการตกค้างในดิน เมื่อโครงสร้างดินเปลี่ยนแปลง ทำให้ปริมาณธาตุอาหารในดินลดลง มีสารพิษเจือปน ดินเค็มและดินเปรี้ยว และอาจทำให้เกิดผลกระทบกับแหล่งน้ำจากการพัดพาหน้าดินทำให้เกิดการปนเปื้อนของสารเคมีในแหล่งน้ำอุปโภคและบริโภค มลพิษทางน้ำ อาจเกิดจากการฉีดพ่นของ

สารเคมีลงน้ำโดยตรง การชะล้างของดินที่เกิดจากฝน การทิ้งและล้างภาชนะที่บรรจุสารเคมีลงสู่แหล่งน้ำเป็นต้น ทำให้ปลาและสิ่งมีชีวิตในน้ำตายได้ (สุธาสินี อั้งสูงเนิน, 2558) เมื่อประเมินความเสี่ยงสารพิษตกค้างในดินด้วยค่าดัชนีบ่งชี้อันตราย (Hazard Index, HI) ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.31 x 10^{-3} (Table 2) มีค่าน้อยกว่า 1 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ แต่อย่างไรก็ตามเกษตรกรควรตระหนักถึงการใช้สารเคมีอย่างปลอดภัย โดยต้องรู้จักศัตรูพืช การเลือกหัวฉีดพ่น เครื่องพ่นสารและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องให้เหมาะสม เทคนิคกและสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมในการฉีดพ่น การเลือกสารเคมีให้ตรงกับศัตรูพืช และความปลอดภัยจากการใช้สารเคมีเพื่อลดการตกค้างของสารพิษในผลผลิต การสะสมของสารพิษในมนุษย์และสัตว์ และการตกค้างในสิ่งแวดล้อม

สรุปผล

จากการสำรวจปริมาณสารพิษตกค้างในดินจากแหล่งปลูกมะม่วง พบสารพิษตกค้างถึง 52% เมื่อประเมินความเสี่ยงสารพิษตกค้างในดินด้วยค่าดัชนีบ่งชี้อันตราย (Hazard Index, HI) มีค่าน้อยกว่า 1 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ เพื่อให้เกิดความปลอดภัยต่อเกษตรกรและสิ่งแวดล้อม การใช้สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชควรปฏิบัติตามคำแนะนำบนฉลากอย่างเคร่งครัด เพื่อป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้น และการกระจายของสารเคมีสู่สิ่งแวดล้อม โดยไม่ควรใช้เกินอัตราที่กำหนด

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณหน่วยงานสวพ.3 กรมวิชาการเกษตร ศวพ.กาฬสินธุ์ ศวพ.ชัยภูมิ ศวพ.อุดรธานี ศวพ.สกลนคร สำนักงานเกษตรอำเภอเปือยน้อย จังหวัดขอนแก่น ขอบคุณหน่วยงานสนับสนุนทุนวิจัย กองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.)

เอกสารอ้างอิง

กรมส่งเสริมการเกษตร. การผลิตมะม่วงคุณภาพเพื่อการส่งออก. เข้าถึงได้จาก: https://mediatank.doae.go.th/medias/file_upload/12-2022/3-1751705114510091.pdf [เข้าถึงเมื่อ 10 มกราคม 2567].

กลุ่มวิจัยวัตถุมีพิษการเกษตร สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร. (2548). คู่มือการใช้บริการตรวจวิเคราะห์สารพิษตกค้าง คุณภาพวัตถุมีพิษการเกษตรและสารธรรมชาติ. ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด.

จารุพงศ์ ประสพสุข, สุวิทย์ เลาหศิริวงศ์, อรุณี พรมคำบุตร และชุลีมาศ บุญไทย อิวาย. 2562. การประเมินความเสี่ยงสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างในดินต่อสุขภาพของเกษตรกรผู้ปลูกคะน้าในจังหวัดขอนแก่น.วารสารวิชาการเกษตร. 37(3), 272-285.

ปภัสรา คุณเลิศ, ประกิจ จันตร์ติ๊บ และผกาสินี คล้ายมาลา. (2565). ใน ผลการปฏิบัติงานประจำปี 2565 กองวิจัยและพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร. หน้า 61-78. กลุ่มบริการโครงการวิจัย กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร.

วัชราพร ศรีสว่างวงศ์, จารุพงศ์ ประสพสุข และปริยานุช สายสุพรรณ์. (2559). รายงานผลงานเรื่องเต็มการทดลองที่สิ้นสุด วิจัยชนิดและปริมาณสารพิษตกค้างในพืชผักผลไม้ในพื้นที่ สวพ.3 หลังการรับรองระบบ GAP. สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 3 ขอนแก่น กรมวิชาการเกษตร.

ผกาสินี คล้ายมาลา, ประกิจ จันทร์ติ๊บ, จันทิมา ผลกอง และมลิสา เวชยานนท์. (2563). ใน ผลการปฏิบัติงานประจำปี 2562 กองวิจัยและพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตรกรมวิชาการเกษตร. หน้า 295-316. กลุ่มบริการโครงการวิจัย กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร.

ศรีจำนรรจ์ ศรีจรรยา และ พฤทธิชาติ ปุณวัฒโท. 2566. ใน เอกสารวิชาการ คำแนะนำการป้องกันกำจัดแมลง-ศัตรูพืชอย่างปลอดภัยจากงานวิจัย ปี 2566. หน้า 1-2. กลุ่มบริหารศัตรูพืช/กลุ่มกีฏและสัตววิทยา สำนักวิจัยและพัฒนาการอารักขาพืช. กรมวิชาการเกษตร.

สุธาสินี อั้งสูงเนิน. 2558. ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช. วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 9 (1) : 50-63.

Agriculture and Environment Research Unit [AERU]. Pesticide Properties Database (PPDB). Available from: https://sitem.herts.ac.uk /aeru/ppdb/. [accessed on July 20, 2023].

British Standards [BSI]. 2008. Foods of plant origin Determination of pesticide residues using GC- MS and/or LC-MS-MS following acetonitrile extraction/partitioning and clean up by dispersive SPE- QuEChERS-method. BS EN 15662:2008. London: BSI Group, Chiswick High Road.

Chopra, A. K., Sharma, M. K., & Chamoli, S. (2010). Bioaccumulation of organochlorine pesticides in aquatic sys-tem—an overview. Environmental Monitoring and Assessment, 173, 905–916.

Gadalla, S.A., N.M. Loutfy, A.H. Shenโdy, and M.T. Ahmed. 2015. Hazard Index, a Tool for a Long-term Risk Assessment of Pesticide 3 Residues in Some Commodities, a Pilot Study. Regulatory Toxicology and Pharmacology, 73(3), 985- 991.

Łozowicka, B., P. Kaczynski, E. Rutkowska, M. Jankowska, and I. Hrynko. 2013. Evaluation of pesticide residues in fruit from Poland and health risk assessment. Agricultural Sciences 2013, 4(5B), 106-111.

Ogbeide, O., Tongo, I., and Ezemonye, L. 2015. Risk assessment of agricultural pesticides in water, sediment and fish from Owan River, Edo State, Nigeria. Environmental Mornitoring and Assessment 187: 654 1-16.

World Health Organization. 2020. WHO recommended classification of pesticides by hazard and guidelines to classification, 2019 edition. Geneva

Table 1 Frequencies of pesticides detected in soil from mangoes crop in Upper NorthEast Thailand

Pesticides detected	Type	WHO classification	Number of samples detected	Amount of pesticide detected (mg/กก.)
ametryn	HBC	II	1	0.04
azoxystrobin	FUC	U	3	0.01-0.09
bufrofezin	INS	III	4	0.01-0.31
cabaryl	INS	II	1	0.07
carbendazim	FUC	U	15	0.01-0.58
chlofenapyr	INS	II	1	0.02
chlorantraniliprole	INS	U	3	0.01-0.04
clothianidin	INS	II	3	0.01-0.03
difennoconazole	FUC	II	5	0.01-0.07
fipronil	INS	II	1	0.02
Fipronil sulfone	INS	Not listed	1	0.12
hexaconazole	FUC	III	4	0.01-0.04
imidacloprid	INS	II	19	0.02 - 0.93
lambda-cyhalothrin	INS	II	3	0.01-0.03
prochloraz	FUC	II	5	0.01-0.02
Spinosad D	INS	U	1	0.96
thiamethoxam	INS	II	10	0.02-0.24
thiram	FUC	II	4	0.03-022

II =Moderately hazardous, III =Slightly hazardous, U=Unlikely to present an acute hazard (World Health Organization, 2020), INS = insecticide, FUC = fungicide, HBC= herbicide

Table 2 Assessment of consumption risk for Soil from mangoes crop in Upper NorthEast Thailand

Plots No.	Pesticide	Residues (mg/kg)	LADD (mg/kg-day)	RfD	HQ (%)	HI =∑HQ (%)	Health Risk
1	buprofezin	0.01	1.60×10^{-8}	0.5	3.19×10^{-8}	1.45×10^{-5}	accept
	carbendazim	0.17	2.71×10^{-7}	0.02	1.36×10^{-5}		
	imidacloprid	0.03	4.79×10^{-8}	0.06	7.98×10^{-7}		
	thiamethoxam	0.03	4.79×10^{-8}	0.5	9.58×10^{-8}		
2	imidacloprid	0.02	3.19×10^{-8}	0.06	5.32×10^{-7}	5.32×10^{-7}	accept
3	carbendazim	0.02	3.19×10^{-8}	0.02	1.60×10^{-6}	2.39×10^{-6}	accept
	imidacloprid	0.03	4.79×10^{-8}	0.06	7.98×10^{-7}		
4	carbendazim	0.07	1.12×10^{-7}	0.02	5.59×10^{-6}	6.12×10^{-6}	accept
	imidacloprid	0.02	3.19×10^{-8}	0.06	5.32×10^{-7}		
5	imidacloprid	0.06	9.58×10^{-8}	0.06	1.60×10^{-6}	2.13×10^{-6}	accept
6	imidacloprid	0.02	3.19×10^{-8}	0.06	5.32×10^{-7}	5.32×10^{-7}	accept
7	carbendazim	0.03	4.79×10^{-8}	0.02	2.39×10^{-6}	3.83×10^{-6}	accept
	imidacloprid	0.03	4.79×10^{-8}	0.06	7.98×10^{-7}		
	prochloraz	0.01	1.60×10^{-8}	0.025	6.39×10^{-7}		
8	carbendazim	0.02	3.19×10^{-8}	0.02	1.60×10^{-6}	1.60×10^{-6}	accept
9	imidacloprid	0.03	4.79×10^{-8}	0.06	7.98×10^{-7}		
10	thiram	0.03	4.79×10^{-8}	0.025	1.92×10^{-6}	1.92×10^{-6}	accept
11	carbendazim	0.02	3.19×10^{-8}	0.02	1.60×10^{-6}	1.44×10^{-5}	accept
	thiram	0.2	3.19×10^{-7}	0.025	1.28×10^{-5}		

12	carbendazim	0.28	4.47×10^{-7}	0.02	2.23×10^{-5}	2.24×10^{-5}	accept
	buprofezin	0.02	3.19×10^{-8}	0.5	6.39×10^{-8}		
13	carbendazim	0.03	4.79×10^{-8}	0.02	2.39×10^{-6}	1.11×10^{-5}	accept
	hexaconazole	0.01	1.60×10^{-8}	0.0025	6.39×10^{-6}		
	imidacloprid	0.04	6.39×10^{-8}	0.06	1.06×10^{-6}		
	prochloraz	0.02	3.19×10^{-8}	0.025	1.28×10^{-6}		
14	chlorantraniliprole	0.01	1.60×10^{-8}	1.56	1.02×10^{-8}	7.0×10^{-6}	accept
	difenoconazole	0.01	1.60×10^{-8}	0.16	9.98×10^{-8}		
	hexaconazole	0.01	1.60×10^{-8}	0.0025	6.39×10^{-6}		
	imidacloprid	0.02	3.19×10^{-8}	0.06	5.32×10^{-7}		
15	azoxystrobin	0.01	1.60×10^{-8}	0.18	8.87×10^{-8}	3.63×10^{-5}	accept
	carbendazim	0.08	1.28×10^{-7}	0.02	6.39×10^{-6}		
	chlorantraniliprole	0.02	3.19×10^{-8}	1.56	2.05×10^{-8}		
	lambda-cyhalothrin	0.01	1.60×10^{-8}	0.005	3.19×10^{-6}		
	difenoconazole	0.02	3.19×10^{-8}	0.16	2.00×10^{-7}		
	hexaconazole	0.04	6.39×10^{-8}	0.0025	2.55×10^{-5}		
	imidacloprid	0.01	1.60×10^{-8}	0.06	2.66×10^{-7}		
	prochloraz	0.01	1.60×10^{-8}	0.025	6.39×10^{-7}		
16	ametryn	0.04	6.39×10^{-8}	0.015	4.26×10^{-6}	2.28×10^{-5}	accept
	carbendazim	0.02	3.19×10^{-8}	0.02	1.60×10^{-6}		
	chlofenapyr	0.02	3.19×10^{-8}	0.05	6.39×10^{-7}		
	difenoconazole	0.04	6.39×10^{-8}	0.16	3.99×10^{-7}		
	hexaconazole	0.02	3.19×10^{-8}	0.0025	1.28×10^{-5}		
	imidacloprid	0.07	1.12×10^{-7}	0.06	1.86×10^{-6}		
	prochloraz	0.02	3.19×10^{-8}	0.025	1.28×10^{-6}		
17	cabendazim	0.08	1.28×10^{-7}	0.02	6.39×10^{-6}	1.72×10^{-5}	accept
	clothianidin	0.03	4.79×10^{-8}	0.1	4.79×10^{-7}	1.08×10^{-5}	accept
	lambda-cyhalothrin	0.01	1.60×10^{-8}	0.005	3.19×10^{-6}		
	imidacloprid	0.24	3.83×10^{-7}	0.06	6.39×10^{-6}		
	thiamethoxam	0.24	3.83×10^{-7}	0.5	7.66×10^{-7}		
18	azoxystrobin	0.09	1.44×10^{-7}	0.18	7.98E-07	9.89×10^{-5}	accept
	buprofezin	0.31	4.95×10^{-7}	0.5	9.90×10^{-7}		
	carbendazim	0.58	9.26×10^{-7}	0.02	4.63×10^{-5}		
	clothianidin	0.01	1.60×10^{-8}	0.1	1.60×10^{-7}		
	lambda-cyhalothrin	0.03	4.79×10^{-8}	0.005	9.58×10^{-6}		
	difenoconazole	0.07	1.12×10^{-7}	0.16	6.98×10^{-7}		
	imidacloprid	0.93	1.48×10^{-6}	0.06	2.47×10^{-5}		
	Spinosad D	0.96	1.53×10^{-6}	0.1	1.53×10^{-5}		
	thiamethoxam	0.09	1.44×10^{-7}	0.5	2.87×10^{-7}		
19	carbaryl	0.07	1.12×10^{-7}	0.01	1.12×10^{-5}	4.47×10^{-5}	accept
	carbendazim	0.23	3.67×10^{-7}	0.02	1.84×10^{-5}		
	imidacloprid	0.57	9.10×10^{-7}	0.06	1.52×10^{-5}		
20	thiram	0.11	1.76×10^{-7}	0.025	7.02×10^{-6}	7.02×10^{-6}	accept
21	thiram	0.22	3.51×10^{-7}	0.025	1.40×10^{-5}	1.40×10^{-5}	accept
22	difenoconazole	0.06	9.58×10^{-8}	0.16	5.99×10^{-7}	2.99×10^{-6}	accept
	imidacloprid	0.09	1.44×10^{-7}	0.06	2.39×10^{-6}		

23	azoxystrobin	0.01	1.60×10^{-8}	0.18	8.87×10^{-8}	9.65×10^{-4}	accept
	buprofezin	0.01	1.60×10^{-8}	0.5	3.19×10^{-8}		
	chlorantraniliprole	0.04	6.39×10^{-8}	1.56	4.09×10^{-8}		
	clothianidin	0.02	3.19×10^{-8}	0.1	3.19×10^{-7}		
	fipronil	0.02	3.19×10^{-8}	0.009	3.55×10^{-6}		
	Fipronil sulfone	0.12	1.92×10^{-7}	0.0002	9.58×10^{-4}		
	imidacloprid	0.06	9.58×10^{-8}	0.06	1.60×10^{-6}		
	prochloraz	0.02	3.19×10^{-8}	0.025	1.28×10^{-6}		
	thiamethoxam	0.07	1.12×10^{-7}	0.5	2.23×10^{-7}		
24	carbendazim	0.01	1.60×10^{-8}	0.02	7.98×10^{-7}	1.66×10^{-6}	accept
	imidacloprid	0.03	4.79×10^{-8}	0.06	7.98×10^{-7}		
	thiamethoxam	0.02	3.19×10^{-8}	0.5	6.39×10^{-8}		
25	carbendazim	0.02	3.19×10^{-8}	0.02	1.60×10^{-6}	3.17×10^{-6}	accept
	imidacloprid	0.05	7.98×10^{-8}	0.06	1.33×10^{-6}		
	thiamethoxam	0.03	4.79×10^{-8}	0.2	2.39×10^{-7}		
					Average	**1.31×10^{-3}**	accept

Remark : RfD according to Pesticide Properties Database (PPDB) (IUPAC, 2019) and IRIS Assessment (U.S. EPA, 2018)