

การตรวจติดตามและเฝ้าระวังสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูข้าวตกค้างในผลผลิตข้าว จากพื้นที่ปลูกข้าวภาคกลางของประเทศไทย

Monitoring and Surveillance of Pesticide Residues in Rice Products from Central Thailand

ผกามาศ วงศ์เตย์¹⁾ รัตนวรรณ จันทร์ศิริ¹⁾ ชัยรัตน์ จันทน์หนู²⁾ กฤษณ์กมล เปาทอง³⁾ ปราณี มณีนิล⁴⁾ พยอมน โคเบลลี⁵⁾

กัลยาณี วงษ์พาสกลาง¹⁾ ณรงค์ฤทธิ์ กลุ่มเขียว¹⁾ ศศิวรรณ นุชศิริ¹⁾

Pakamas Wongtay¹⁾ Rattanawan Jansasithorn¹⁾ Chairat Channoo²⁾ Kritkamol Paothong³⁾ Pranee Maneenil⁴⁾

Payorm Cobelli⁵⁾ Kanyanee Wongphatkang¹⁾ Narongrit Klunkhiao¹⁾ Sasiwan Nuchsir¹⁾

Abstract

Rice is one of the most important agricultural export commodities of Thailand. However, intensive pest management practices may lead to pesticide residue in rice, which can pose concerns for food safety and international trade. Therefore, monitoring pesticide residues in rice is essential to ensure consumer safety and compliance with maximum residue limits (MRLs). This study aimed to monitor pesticide residues in rice samples and investigate pesticide use in rice production systems in central Thailand by interviewing farmers about rice pests and diseases, including types of pesticides and the application period. Additionally, pesticide residues in 277, 263 and 259 rice samples collected during the planting seasons of 2022/23, 2023/24 and 2024/25 respectively, were analyzed using LC-MS/MS and GC-MS/MS. The results showed that 155 (56%), 89 (34%) and 90 (35%) rice samples from the 2022/23, 2023/24 and 2024/25 planting seasons, respectively, contained detectable pesticide residues including propiconazole, tricyclazole, tebuconazole, cypermethrin, ethiprole and carbendazim. Among these, propiconazole was the most frequently detected pesticide residue and exceeding the maximum residue limits (MRLs). These results corresponded to monitoring information that farmers applied these chemicals during the rice maturation stages. Among 334 samples with detected residue, 102 samples exceeded the maximum residue limits (MRLs) established by the National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards (ACFS). In contrast, when evaluated according to the European Commission Maximum Residue Limits (EU MRLs), 123 rice samples exceeded the permitted limits. These findings indicate a relationship between pesticide use practices and residue occurrence in rice, highlighting the need for continuous monitoring to ensure consumer safety and improve the quality standard of Thai rice.

Keywords: rice, pesticide, pesticide residue, maximum residue limit, interviewing farmer, central region

Received: April 23, 2026/ Revised: June 2, 2026/ Accepted: June 2, 2026

* corresponding author E-mail: plapakamas@gmail.com

¹⁾ สถาบันวิทยาศาสตร์ข้าวแห่งชาติ อ.เมือง จ.สุพรรณบุรี 72000 โทร. 0-3555-5340

Thailand Rice Science Institute, Mueang, Suphan Buri 72000 Tel. 0-3555-5340

²⁾ ศูนย์วิจัยข้าวชัยนาท อ.เมือง จังหวัดชัยนาท 17000 โทร. 0-5601-9771

Chai Nat Rice Research Center, Mueang, Chai Nat 17000 Tel. 0-5601-9771

³⁾ ศูนย์วิจัยข้าวพระนครศรีอยุธยา อ.พระนครศรีอยุธยา จ.พระนครศรีอยุธยา 13000 โทร. 0-3570-9051

Phra Nakhon Si Ayutthaya Rice Research Center, Phra Nakhon Si Ayutthaya, Phra Nakhon Si Ayutthaya 13000 Tel. 0-3570-9051

⁴⁾ ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110 โทร. 02-577-1688

Pathum Thani Rice Research Center, Thanyaburi, Pathum Thani 12110 Tel. 0-2577-1688

⁵⁾ กองวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว จตุจักร กรุงเทพฯ 10900 โทร. 0-2579-7892

Division of Rice Research and Development, Rice Department, Chatuchak, Bangkok 10900 Tel. 0-2579-7892

บทคัดย่อ

ข้าวเป็นสินค้าส่งออกทางการเกษตรที่สำคัญของประเทศไทย อย่างไรก็ตาม กระบวนการป้องกันจัดการศัตรูข้าวอาจนำไปสู่การตกค้างของสารในข้าว ซึ่งอาจก่อให้เกิดความกังวลต่อความปลอดภัยของอาหารและการค้าระหว่างประเทศ ดังนั้น การตรวจติดตามสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูข้าวตกค้างในผลผลิตข้าว จึงเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อสร้างความมั่นใจในความปลอดภัยของผู้บริโภค และปฏิบัติตามข้อกำหนดเรื่องปริมาณสารพิษตกค้างสูงสุด (Maximum Residue Limits: MRLs) การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจติดตามการตกค้างของสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูข้าวในข้าวและสำรวจการใช้สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูข้าวของระบบการผลิตข้าวในภาคกลางของประเทศไทย โดยการสัมภาษณ์เกษตรกรเกี่ยวกับปัญหาศัตรูข้าว รวมทั้งชนิดและช่วงเวลาที่ใช้สารเคมีป้องกันกำจัดแมลงศัตรูและโรคข้าว และสุ่มเก็บตัวอย่างข้าวเพื่อตรวจวิเคราะห์ เป็นระยะเวลา 3 ปีต่อเนื่องกัน ตั้งแต่ฤดูการผลิตปี 2565/66 ปี 2566/67 และปี 2567/68 จำนวน 259-277 ตัวอย่าง มาทำการตรวจวิเคราะห์ด้วยเครื่อง LC-MS/MS และ GC-MS/MS พบว่า ฤดูปลูกปี 2565/66, 2566/67 และ 2567/68 มีตัวอย่างข้าวพบการตกค้างของสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูข้าว จำนวน 155 ตัวอย่าง (ร้อยละ 56) ปี 2566/67 พบ 89 ตัวอย่าง (ร้อยละ 34) และปี 2567/68 พบ 90 ตัวอย่าง (ร้อยละ 35) โดยพบการตกค้างของสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูข้าวหลายชนิด เช่น สารป้องกันกำจัดโรค propiconazole, tricyclazole, tebuconazole และ carbendazim สารป้องกันกำจัดแมลง cypermethrin และ ethiprole โดยเฉพาะสาร propiconazole พบการตกค้างมากที่สุดและมีปริมาณการตกค้างเกินค่ากำหนดมาตรฐานสินค้าเกษตรของคณะกรรมการการยุโรป (EU MRLs) ซึ่งผลที่ได้มีความสอดคล้องกับข้อมูลการใช้สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูข้าวของเกษตรกรที่มีการใช้สารดังกล่าวในระยะข้าวสุกแก่ อย่างไรก็ตาม ตัวอย่างที่มีการตกค้างทั้งหมด 334 ตัวอย่าง มีตัวอย่างจำนวน 102 ตัวอย่าง ที่มีปริมาณสารตกค้างเกินข้อกำหนดมาตรฐานสินค้าเกษตร ปริมาณสารพิษตกค้างสูงสุด (MRLs) ของสำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ แต่ถ้าวัดจากค่ากำหนดของคณะกรรมการการยุโรป พบว่า ตัวอย่างข้าวจำนวน 123 ตัวอย่าง มีปริมาณเกินค่ากำหนดดังกล่าว สะท้อนให้เห็นถึงความจำเป็นในการควบคุมการใช้สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูข้าวอย่างเหมาะสม และเฝ้าระวังสารตกค้างในผลผลิตข้าวอย่างต่อเนื่อง เพื่อลดความเสี่ยงต่อผู้บริโภค และยกระดับมาตรฐานความปลอดภัยของข้าวไทย

คำสำคัญ: ข้าว สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืช สารพิษตกค้าง ปริมาณสารพิษตกค้างสูงสุด การสัมภาษณ์เกษตรกร ภาคกลาง

คำนำ

ข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญสำหรับประเทศไทย เนื่องจากเป็นสินค้าเกษตรส่งออกหลักของประเทศ โดยในปี พ.ศ. 2567 มีปริมาณการส่งออกข้าว 9.95 ล้านตัน ขยายตัวร้อยละ 13.4 เมื่อเปรียบเทียบกับปี พ.ศ. 2566 คิดเป็นสัดส่วนประมาณร้อยละ 56.8 ของปริมาณผลผลิตข้าวทั้งประเทศ มีอัตราการเติบโตเฉลี่ยในรอบ 5 ปี (พ.ศ. 2563-2567) ร้อยละ 14.8 ต่อปี โดยข้าวไทยที่มีปริมาณและมูลค่าการส่งออกมากที่สุด ได้แก่ ข้าวขาว ข้าวหอมมะลิ ข้าวหนึ่ง ปลายข้าว ข้าวเหนียว และข้าวกล้อง ตามลำดับ (สำนักงานนโยบายและยุทธศาสตร์การค้า, 2568) โดยภาคกลางเป็นแหล่งปลูกข้าวที่มีประสิทธิภาพด้านการผลิต มีสัดส่วนปริมาณของผลผลิตต่อไร่สูงเป็นอันดับต้นๆ ของประเทศ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2566) และ

นาชลประทานภาคกลางเป็นพื้นที่ปลูกข้าวเชิงพาณิชย์ที่สำคัญ ดังนั้นเกษตรกรส่วนใหญ่นิยมใช้สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูข้าวอย่างกว้างขวาง เพราะเป็นวิธีที่สามารถทำลายศัตรูพืชได้ผลรวดเร็ว และทุกระยะการเจริญเติบโต โดยการใช้สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูข้าวของเกษตรกรมีการใช้ตั้งแต่การเตรียมพื้นที่เพาะปลูกจนถึงเสร็จสิ้นการผลิต

Waiyaphat และ Kwonpongsagoon (2025) ได้ทำการประเมินความเข้มข้นของการใช้สารกำจัดศัตรูพืชในการผลิตข้าวในภาคกลางของประเทศไทย ข้อมูลถูกเก็บรวบรวมโดยใช้การสัมภาษณ์เกษตรกร และผู้ฉีดพ่นสารกำจัดศัตรูพืชตั้งแต่เดือนสิงหาคม 2564 ถึงกรกฎาคม 2565 พบว่า มีการใช้สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชจำนวน 50 ชนิด โดยสาร propanil, glyphosate, 2,4-D,

difenoconazole และ propiconazole เป็นสารเคมีที่ใช้จำนวนครั้งมากที่สุดในการปลูกข้าว และมีการใช้ในอัตราที่เกินกว่าคำแนะนำ เช่น สาร glufosinate สูงกว่าคำแนะนำ 1.5-9.5 เท่า และสารเคมีป้องกันกำจัดโรคข้าว 3 สาร (difenoconazole propiconazole และ propineb) สูงกว่าคำแนะนำ 1-3 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตรทั้งนี้การใช้สารเคมีไม่ถูกต้องตามคำแนะนำ โดยเฉพาะการใช้ในอัตราที่สูงเกินความจำเป็นและระยะเวลาไม่เหมาะสม ส่งผลให้เกิดสารพิษตกค้างในผลผลิตทางการเกษตรรวมทั้งสิ่งแวดล้อมได้ (ยงยุทธ และคณะ, 2553) ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อทั้งด้านสุขภาพของผู้บริโภค สิ่งแวดล้อม และด้านเศรษฐกิจของประเทศ เนื่องจากมีการกำหนดค่ามาตรฐานปริมาณสารพิษตกค้างสูงสุด (maximum residue limit; MRLs) คือปริมาณสารพิษตกค้างสูงสุดที่มีได้ในสินค้าเกษตร มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมสารพิษตกค้างต่อกิโลกรัมสินค้าเกษตร (mg/kg) เพื่อความปลอดภัย และเป็นเกณฑ์ในการตรวจสอบมาตรฐานสินค้าเกษตร และเป็นข้อกำหนดทางเทคนิค ที่เป็นมาตรการกีดกันทางการค้าโดยนำมาใช้แทนการกำหนดภาชนะนำเข้า โดยค่า MRLs ที่ใช้ในแต่ละประเทศจะมีความแตกต่างกันออกไป ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อสินค้าเกษตรที่จะส่งออก ซึ่งสินค้าเกษตรที่ส่งออกไปแต่ละประเทศมีการสุ่มตรวจวิเคราะห์ปริมาณสารเคมีทางการเกษตรตกค้าง

ข้อมูลรายงานการตกค้างของสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชในผลผลิตข้าวที่นำเข้าสหภาพยุโรปตั้งแต่ปี พ.ศ. 2566 พบตัวอย่างข้าวจากประเทศต่างๆ ที่นำเข้ามีปริมาณสารตกค้างเกินค่ากำหนดร้อยละ 5.1 (European Food Safety Authority, 2023) ซึ่งในปัจจุบันสหภาพยุโรปมีการปรับปริมาณสารตกค้างสูงสุด (MRLs) ของสารในกลุ่มที่เป็นสารขัดขวางการทำงานของต่อมไร้ท่อ (endocrine disruptors) โดยสารที่แนะนำให้ใช้ในการป้องกันกำจัดศัตรูข้าว เช่น สารป้องกันกำจัดแมลง malathion สารป้องกันกำจัดโรคพืช เช่น carbendazim, mancozeb, prochloraz, propiconazole, tebuconazole และ thiophanate-methyl เป็นต้น โดยปรับให้ค่า MRLs ของสารในกลุ่มดังกล่าวเหลือเพียง 0.01 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ppm) (พยอม และธีรดา, 2562) อย่างไรก็ตามเพื่อควบคุมปริมาณสารพิษตกค้างให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานปลอดภัยต่อผู้บริโภค รวมทั้งเพื่อเป็นการป้องกัน

ผลกระทบจากการกำหนดค่า MRLs ของวัตถุอันตรายทางการเกษตรต่อการส่งออกข้าวไทย และเฝ้าระวังควบคุมไปกับการควบคุมคุณภาพที่ระบบปลูก จึงมีความจำเป็นในการติดตามและเฝ้าระวังการตกค้างของสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชที่สำคัญดังกล่าวในผลผลิตข้าวในพื้นที่ปลูกข้าวเขตชลประทานภาคกลาง ซึ่งเป็นพื้นที่ปลูกข้าวสำคัญของประเทศไทย เพื่อเฝ้าระวังควบคุมปริมาณสารพิษตกค้างในผลผลิตข้าวให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานปลอดภัยต่อผู้บริโภค และเพื่อเป็นการป้องกันผลกระทบจากการกำหนดค่า MRLs ของวัตถุอันตรายทางการเกษตรต่อการส่งออกข้าวไทย ส่งเสริมให้เกิดภาพลักษณ์ที่ดีในสินค้าข้าวในการส่งออก รวมทั้งเพื่อหาแนวทางในการควบคุมการใช้สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูข้าวให้เหมาะสมต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

1. การสัมภาษณ์เกษตรกร และการเก็บตัวอย่างข้าว

การสัมภาษณ์เกษตรกร โดยเลือกจากกลุ่มเกษตรกรที่เข้าร่วมโครงการระบบส่งเสริมการเกษตรแบบแปลงใหญ่ มีการชี้แจงวัตถุประสงค์ในการทำการวิจัยนี้แก่เกษตรกร และข้อมูลส่วนตัวของเกษตรกรจะถูกเก็บเป็นความลับและนำเสนอในภาพรวม และเก็บตัวอย่างข้าวจากเกษตรกรที่ได้ทำการสัมภาษณ์ ในพื้นที่ปลูกข้าว 5 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดสุพรรณบุรี กาญจนบุรี ชัยนาท พระนครศรีอยุธยา และปทุมธานี เป็นเวลาต่อเนื่อง 3 ปี ตั้งแต่ฤดูการผลิตปี 2565 ถึง 2568 จำนวนรวม 799 ราย โดย

ฤดูการผลิตปี 2565/66 (เริ่มเก็บตัวอย่างตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน 2565-มีนาคม 2566) จำนวน 277 ตัวอย่าง

ฤดูการผลิตปี 2566/67 (เริ่มเก็บตัวอย่างตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน 2566-มีนาคม 2567) จำนวน 263 ตัวอย่าง

ฤดูการผลิตปี 2567/68 (เริ่มเก็บตัวอย่างตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน 2567-มีนาคม 2568) จำนวน 259 ตัวอย่าง มีรายละเอียดดังนี้

จำนวนเกษตรกร/ตัวอย่างข้าว (ราย/ตัวอย่าง)

ปีการผลิต	สุพรรณบุรี	กาญจนบุรี	ชัยนาท	พระนครศรีอยุธยา	ปทุมธานี
2565/66	50	51	50	50	76
2566/67	50	58	50	50	55
2567/68	50	54	50	50	55

การเก็บตัวอย่างข้าวเปลือกดำเนินการในระยะเก็บเกี่ยวที่ระดับความชื้น 12-14 เปอร์เซ็นต์จากเกษตรกร

ที่ได้ทำการสัมภาษณ์ นำมาบรรจุลงพลาสติกซีปล็อคทำการติดฉลาก จดบันทึกและบันทึกข้อมูลตัวอย่างให้สมบูรณ์ ก่อนนำข้าวเปลือกมากะเทาะเปลือกและขัดสีออกเป็นข้าวสาร แล้วนำมาคัดเล็อกเมล็ดข้าวสารที่สมบูรณ์ เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ก่อนนำมาวิเคราะห์หาสารเคมีทางการเกษตรที่ตกค้างในผลผลิตต่อไป

2. การสำรวจข้อมูลการใช้สารเคมีป้องกันกำจัดแมลงศัตรูและโรคข้าวของเกษตรกร

การสำรวจข้อมูลการใช้สารเคมีป้องกันกำจัดแมลงศัตรูและโรคข้าวของเกษตรกร ดำเนินการโดยใช้แบบสัมภาษณ์เกษตรกรในจังหวัดสุพรรณบุรี กาญจนบุรี ชัยนาท พระนครศรีอยุธยา และปทุมธานี หาสมาชิกตัวอย่างโดยใช้สูตร Yamane ที่ระดับช่วงความเชื่อมั่น 95% เพื่อประมาณค่าสัดส่วนหลักของประชากร (Yamane, 1973) ตามอัตราส่วนประชากรของแต่ละจังหวัดที่ขึ้นทะเบียนเกษตรกรในการทำนากับกรมส่งเสริมการเกษตร โดยใช้สูตร ดังนี้

$$n = \frac{N}{1 + Ne^2}$$

n = ขนาดของกลุ่มตัวอย่าง

N= ขนาดของประชากร

e = ค่าความคลาดเคลื่อนของการสุ่มตัวอย่าง

ข้อมูลที่จัดเก็บ ได้แก่ ปัญหาแมลงศัตรูและโรคข้าว การใช้สารเคมีในการควบคุมแมลงศัตรูและโรคข้าวของเกษตรกร โดยระบุชนิด/ชื่อการค้าของสารเคมี ระยะการเจริญเติบโตของต้นข้าวที่ทำการฉีดพ่น ในฤดูปลูกล่าสุด และฤดูปลูกเดียวกับตัวอย่างข้าวที่ทำการสุ่มเก็บมาตรวจวิเคราะห์หาปริมาณสารเคมีทางการเกษตรที่ตกค้างในผลผลิตต่อไป

3. การตรวจวิเคราะห์ปริมาณสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูข้าวที่ตกค้างในตัวอย่างข้าว

ตัวอย่างข้าวที่ทำการสุ่มเก็บจากแปลงนาของเกษตรกรที่ทำการสัมภาษณ์ จำนวนรวม 799 ตัวอย่าง นำมาตรวจวิเคราะห์สารเคมีป้องกันกำจัดแมลงศัตรูและโรคข้าว จำนวน 80 สาร ดังนี้

กลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต จำนวน 27 สาร ได้แก่

acephate, azinphos ethyl, azinphos methyl, chlorpyrifos, chlorpyrifos-methyl, diazinon, dichlorvos, dicrotophos, dimethoate, EPN, ethion, fenitrothion, malathion, methamidophos, methidathion, mevinphos, mirex, monocrotophos, omethoate, parathion, parathion-methyl, phosalone, pirimiphos-ethyl, pirimiphos-methyl, profenofos, prothiofos และ triazophos

กลุ่มคาร์บาเมต จำนวน 14 สาร ได้แก่ 3-hydroxycarbofuran, aldicarb, aldicarb sulfone, aldicarb sulfoxide, bendiocarb, carbaryl, carbofuran, fenobucarb, isoprocarb, methiocarb, methomyl, oxamyl, pirimicarb และ propoxur

กลุ่มไพรีทรอยด์ จำนวน 9 สาร bifenthrin, cyfluthrin, cyhalothrin (Lambda), cypermethrin, deltamethrin, fenvalerate, fenpropathrin, flucythrinate และ permethrin

กลุ่มออร์กาโนคลอรีน จำนวน 22 สาร ได้แก่ aldrin, BHC-alpha, BHC-beta, BHC-delta, BHC-gamma, chlordane-cis, chlordane-trans, dichlorodiphenyl-dichloroethane (DDD-o,p'), DDD-p,p', dichlorodiphenyl-dichloroethylene (DDE-o,p)', DDE-p,p', dichlorodiphenyl-trichloroethane (DDT-o,p'), DDT-p,p', dieldrin, endosulfan sulfate, endosulfan-alpha, endosulfan-beta, endrin, endrin ketone, heptachlor, heptachlor exo-epoxide และ hexachlorobenzene

กลุ่มอื่นๆ คือ ethiprole

สารเคมีป้องกันกำจัดโรคข้าว จำนวน 7 สาร ได้แก่ carbendazim, cyproconazole, propiconazole, pyraclostrobin, tebuconazole, tetraconazole และ tricyclazole

สารมาตรฐานทั้งหมดที่ใช้ในการทดสอบมาจาก iDQuantTM Standards Kit for Pesticide Analysis และทำการทดสอบความใช้ได้ของวิธีการวิเคราะห์ โดยมีขีดจำกัดของการตรวจวัด (Limit of detection; LOD) เท่ากับ 0.005 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ขีดจำกัดการวัดเชิงปริมาณ (Limit of quantitation; LOQ) เท่ากับ 0.01

มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในการหาค่าร้อยละการคืนกลับ (% recovery) และร้อยละส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (The relative standard deviation; %RSD) ที่ความเข้มข้นของสารมาตรฐาน 0.01 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม อยู่ใน ช่วง 72.6-114 และ 1.58-13.46 ตามลำดับ

การหาปริมาณสารเคมีป้องกันกำจัดแมลงศัตรูและโรคข้าวที่ตกค้างในข้าว ดำเนินการตัวอย่างละ 3 ซ้ำ และแสดงปริมาณค่าเฉลี่ยที่วัดได้ โดยมีขั้นตอนการตรวจวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

3.1 การสกัดตัวอย่างข้าว (เทคนิค QuEChERS ตามวิธีของ The association of official agricultural chemists (AOAC) Official Method 2007.01) (AOAC, 2007)

ตัวอย่างข้าวบดละเอียด 10 กรัม เติมน้ำ 10 มิลลิลิตร และ Acetonitrile (ACN) + 1% acetic acid 10 มิลลิลิตร เขย่า 1 นาที แล้วเติม magnesium sulfate anhydrous ($MgSO_4$) 6 กรัม และ sodium acetate 1.5 กรัม เขย่า 1 นาที และนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 3,800 รอบต่อนาที นาน 1 นาที ดูดสารสกัดส่วนใสที่ได้ 2 มิลลิลิตร มาทำให้บริสุทธิ์ (clean up) ด้วย $MgSO_4$ 150 มิลลิกรัม + Primary secondary amine (PSA) 50 มิลลิกรัม + C18EC 50 มิลลิกรัม bulk carbograph 7.5 มิลลิกรัม เขย่า 1 นาที นำไปปั่นเหวี่ยงที่ 14,000 รอบต่อนาที นาน 10 นาที

สำหรับการวิเคราะห์ด้วย GC-MS/MS แบ่งสารสกัด ปริมาตร 1 มิลลิลิตร นำไปกรองผ่าน filter nylon 0.22 ไมโครเมตร ก่อนวิเคราะห์ ส่วนการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง LC-MS/MS จะแบ่งสารสกัดปริมาตร 1 มิลลิลิตร ก่อนนำไประเหยแห้งแล้วปรับปริมาตรเป็น 1 มิลลิลิตร ด้วยสารละลาย methanol 50% และกรองผ่าน filter nylon 0.22 ไมโครเมตร ก่อนนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องลิควิดโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี (LC-MS/MS)

3.2 สภาวะในการวิเคราะห์เครื่องลิควิดโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี (LC-MS/MS)

การวิเคราะห์สารเคมีป้องกันกำจัดแมลงศัตรูและโรคข้าว จำนวน 28 สาร ด้วยเครื่องลิควิดโครมาโทกราฟี ตัวตรวจวัดชนิด quadrupole แมสสเปกโตรเมตรี รุ่น SCIEX Triple QuadTM 4500 LC-MS/MS ด้วยคอลัมน์ thermo scientific accucore biphenyl (100 มิลลิเมตร x

2.1 มิลลิเมตร x 2.6 ไมโครเมตร) ตั้งอุณหภูมิคอลัมน์ที่ 40 องศาเซลเซียส ปริมาตรการฉีดตัวอย่าง 5 ไมโครลิตร ใช้เฟสเคลื่อนที่ 2 ชนิด ดังนี้ 1) เฟสเคลื่อนที่ A คือ 5 มิลลิโมลาร์แอมโมเนียมฟอสเฟต ในสารละลายเมทานอล 10 เปอร์เซ็นต์ และ 2) เฟสเคลื่อนที่ B คือ 5 มิลลิโมลาร์แอมโมเนียมฟอสเฟต ในสารละลายเมทานอล 90 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการเคลื่อนที่ 0.4 มิลลิลิตรต่อนาที ใช้การชะแบบแกรเดียนต์โดยมีสภาวะดังนี้

เวลา (นาที)	0	1	18	18.5	20
เฟสเคลื่อนที่ A (%)	100	100	0	100	100
เฟสเคลื่อนที่ B (%)	0	0	100	0	0

3.3 สภาวะในการวิเคราะห์เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี (GC-MS/MS)

การวิเคราะห์สารเคมีป้องกันกำจัดแมลงศัตรูข้าว จำนวน 52 สาร เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี (GC-MS/MS) รุ่น Agilent 7000D Triple Quadrupole ด้วยคอลัมน์ HP-5MS UI (15 เมตร x 0.25 มิลลิเมตร x 0.25 มิลลิเมตร) ตั้งอุณหภูมิส่วนฉีดตัวอย่าง 280 องศาเซลเซียส ในระบบ splitless mode ตั้งอุณหภูมิ Transfer line ที่ 250 องศาเซลเซียส อุณหภูมิ Ion source 300 องศาเซลเซียส โดยมีอัตราการไหลของแก๊สฮีเลียมที่ 1 มิลลิลิตรต่อนาที และตั้งโปรแกรมอุณหภูมิห้อง ดังนี้

เวลา (นาที)	0	1	3.75	17.75
อุณหภูมิ (°C)	60	60	170	310

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์และการตรวจวิเคราะห์สารเคมีป้องกันกำจัดแมลงศัตรูและโรคข้าว นำมาวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติพรรณนา ได้แก่

- ร้อยละการพบประชากรแมลงศัตรูและโรคข้าว ร้อยละการใช้สารเคมีป้องกันกำจัดแมลงศัตรูและโรคข้าว ในแต่ละระยะการปลูกข้าว
- ร้อยละตัวอย่างพบการตกค้างสารเคมีป้องกันกำจัดแมลงศัตรูและโรคข้าวในรอบการเก็บตัวอย่าง
- ค่าเฉลี่ยปริมาณความเข้มข้นของสารเคมีป้องกันกำจัดแมลงศัตรูและโรคข้าวแต่ละชนิดสาร
- เปรียบเทียบความแตกต่างของสัดส่วนสถานะสารพิษตกค้างระหว่างรอบการเก็บตัวอย่างด้วย Pearson's Chi-square test ภายใต้เงื่อนไข expected

counts > 5 และเปรียบเทียบรายคู่ด้วย Bonferroni correction โดยกำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ $p < 0.05$ และวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม R version 4.4

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. สถานการณ์การใช้สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูข้าวที่สำคัญของเกษตรกรในการผลิตข้าว

ข้อมูลพื้นฐาน เกษตรกรในพื้นที่ศึกษาส่วนใหญ่เป็นเพศชาย มีอายุเฉลี่ย 51-60 ปี ระดับการศึกษาส่วนใหญ่อยู่ในระดับประถมศึกษา และมีประสบการณ์ปลูกข้าวเฉลี่ย 21-30 ปี เกษตรกรส่วนใหญ่มีพื้นที่ปลูกข้าวมากกว่า 20 ไร่ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นพื้นที่เช่า โดยเฉพาะในจังหวัดปทุมธานีที่มีสัดส่วนพื้นที่เช่าสูงสุดถึงร้อยละ 75

พันธุ์ข้าวที่นิยมปลูก ในพื้นที่จังหวัดสุพรรณบุรีและกาญจนบุรี ได้แก่ พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และปทุมธานี 1 พื้นที่จังหวัดชัยนาท พระนครศรีอยุธยา และปทุมธานี ได้แก่ พันธุ์ กข41 กข79 และ กข85 ผลผลิตเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 700-1,000 กิโลกรัมต่อไร่

เกษตรกรส่วนใหญ่ใช้สารเคมีในการป้องกันกำจัดศัตรูข้าว และเลือกสาร โดยร้อยละ 60-65 พิจารณาจากประสิทธิภาพเป็นหลัก รองลงมาคือ ความสะดวกในการซื้อ ปัญหาแมลงศัตรูข้าว พบว่า

ฤดูการผลิตปี 2565/66 พบปัญหาหนอนห่อใบข้าว (rice leaf folder, *Cnaphalocrocis medinalis* (Guenée)) และหนอนกอข้าวสีครีม (yellow stem borer, *Scirpophaga incertulas* (Walker)) ร้อยละ 27 เท่ากัน รองลงมาเป็นเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล (brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stål)) ร้อยละ 14

ฤดูการผลิตปี 2566/67 และ 2567/68 เกษตรกรส่วนใหญ่เริ่มพบปัญหาจากเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลมากขึ้น รวมทั้งพบการระบาดของแมลงหวี่ขาวข้าว (rice whitefly, *Aleurocybotus indicus* (David & Subramaniam))

ฤดูการผลิตปี 2567/68 พบร้อยละ 5 (Fig. 1) เนื่องด้วยช่วงเดือนมิถุนายน 2567 พบรายงานการระบาดของแมลงหวี่ขาวข้าวในนา เป็นครั้งแรกในพื้นที่นาชลประทานภาคกลางจังหวัดพระนครศรีอยุธยา และสุพรรณบุรี โดยพบแมลงหวี่ขาวข้าวในข้าวระยะกล้า (อายุ 20 วันขึ้นไป) ระยะแตกกอ และระยะตั้งท้อง ซึ่งเป็นช่วงที่มีสภาพอากาศร้อนขึ้น อุณหภูมิอากาศเฉลี่ย 25-36 องศา

เซลเซียส และอุณหภูมิได้ทรงพุ่มเฉลี่ย 33 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ได้ทรงพุ่มเฉลี่ย 73 เปอร์เซ็นต์ สอดคล้องกับสภาพอากาศที่แปรปรวนอันเกิดจากผลกระทบของภาวะโลกร้อนและปรากฏการณ์เอลนีโญ ที่ทำให้อุณหภูมิปรับตัวสูงขึ้น ดังนั้นแมลงหลายชนิดจึงปรับพฤติกรรมและหาแหล่งอาหารใหม่ ส่งผลให้เกิดการระบาดของแมลงศัตรูข้าวอุบัติใหม่ได้ (กรมการข้าว, 2567)

การใช้สารเคมีป้องกันกำจัดแมลงศัตรูข้าว ฤดูการผลิตปี 2565/66-2567/68 ต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 3 ปี พบว่า เกษตรกรมีการใช้สารเคมีป้องกันกำจัดแมลงศัตรูข้าว ในทุกระยะของการปลูกข้าว โดยมีการใช้มากในระยะแตกกอ คิดเป็นร้อยละ 59-61 รองลงมาเป็นระยะกล้าและระยะตั้งท้อง ส่วนในระยะข้าวสุกแก่ เกษตรกรมีการใช้สารเคมีร้อยละ 4-7 ซึ่งมีจำนวนเกษตรกรที่ใช้สารเคมีในระยะนี้ลดลงจากการติดตามการต่อเนื่อง 3 ปี โดยในฤดูการผลิตปี 2565/66 มีการใช้สาร carbosulfan, fipronil และ ethiprole ซึ่งสาร carbosulfan, cypermethrin และ fipronil จัดเป็นวัตถุอันตรายทางการเกษตรที่ก่อให้เกิดการระบาดเพิ่ม (resurgence) ของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลในนาข้าว เช่นเดียวกับการศึกษาของจินตนา และคณะ (2556) พบว่า เกษตรกรในพื้นที่จังหวัดสุพรรณบุรี ชัยนาท พิษณุโลก และอ่างทอง มีการใช้สาร abamectin ซึ่งเป็นสารที่มีพิษสูงต่อสัตว์น้ำ และไม่แนะนำให้ใช้ในการป้องกันกำจัดเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล และสาร cypermethrin เป็นสารที่ชักนำให้เกิดการระบาดของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเพิ่มขึ้น

จะเห็นได้ว่าเกษตรกรในโครงการฯ ส่วนใหญ่ใช้สารป้องกันกำจัดแมลงศัตรูข้าวไม่ตรงตามคำแนะนำทางวิชาการ ซึ่งจากเอกสารวิชาการเรื่องศัตรูข้าว และการป้องกันกำจัด ของกรมการข้าว ปี 2562 (กองวิจัยและพัฒนาข้าว, 2562) ระบุไว้ว่า ในระยะข้าวแตกกอเต็มที่ หรือเมื่อพบเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล 10 ตัวต่อกอ แนะนำให้ใช้สาร carbosulfan และ isoprocarb ในระยะข้าวตั้งท้องถึงระยะออกรวง แนะนำให้สาร dinotefuran

สำหรับปัญหาโรคข้าว พบว่า มีความแตกต่างกันในแต่ละรอบของการปลูกข้าว

ฤดูการผลิตปี 2565/66 เกษตรกรร้อยละ 17 พบปัญหาโรคใบจุดสีน้ำตาล (brown spot disease,

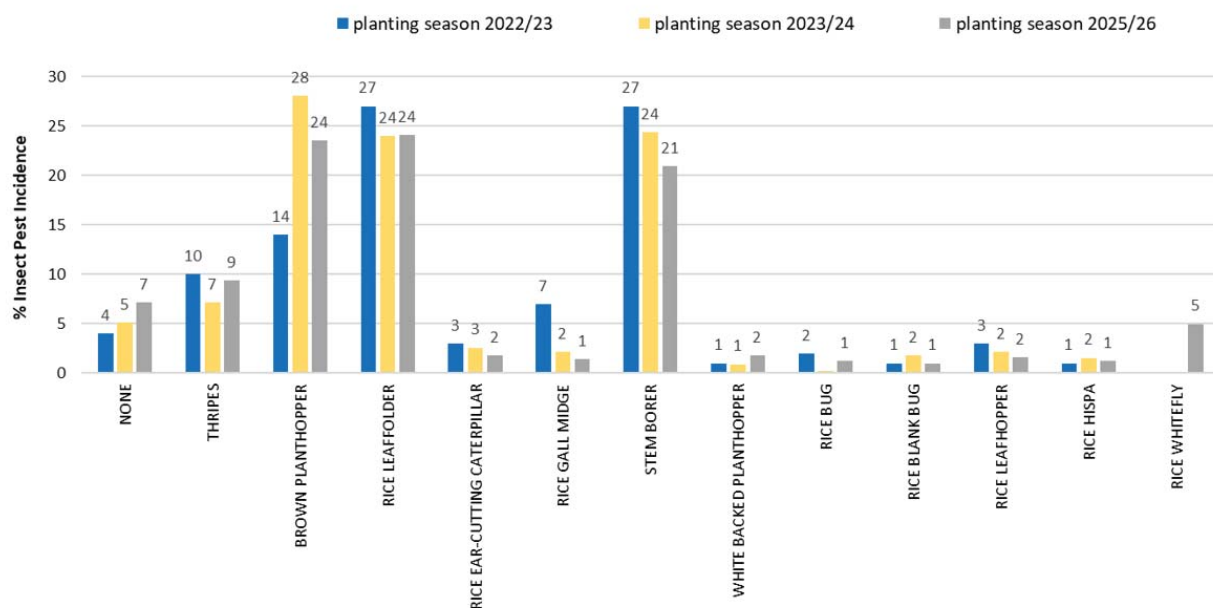


Fig. 1 Percentage of insect pests found in planting season 2022/23-2024/25

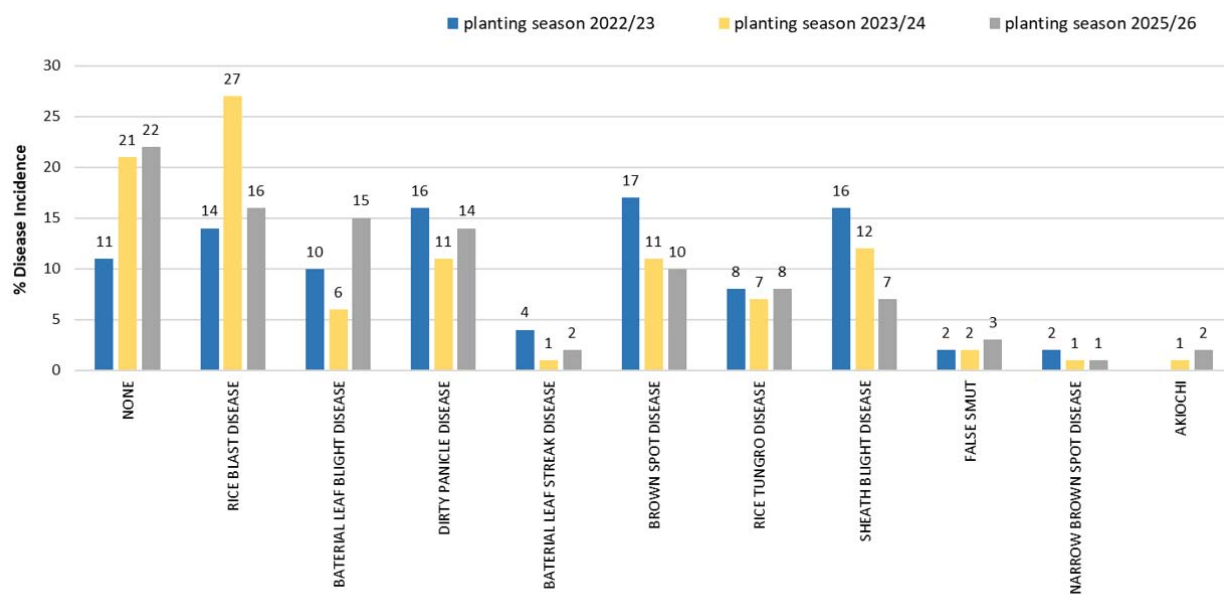


Fig. 2 Percentage of rice disease epidemics found in planting season 2022/23-2024/25

Table 1 Percentage of insecticide and fungicide application at each rice developmental stage

Development Stage (BBCH Scale)	Planting Season	Application (%)	Insecticide	Application (%)	Fungicide
Seedling					
(BBCH 00-19)	2022/23	40	abamectin, cypermethrin, thiamethoxam, thiacloprid, fipronil and imidacloprid	4	tricyclazole, isoprothiolane and carbendazim
	2023/24	34	thiamethoxam, cypermethrin, thiacloprid, fipronil and abamectin	3	isoprothiolane and mancozeb
	2024/25	43	thiamethoxam, abamectin, thiacloprid and cypermethrin	2	difenoconazole-propiconazole and tricyclazole
Tillering (BBCH 20-39)	2022/23	61	abamectin, chlorantraniliprole, carbosulfan and dinotefuran	23	zinc thiazole, carbendazim and validamycin
	2023/24	59	chlorantraniliprole, fipronil, abamectin, carbosulfan, cypermethrin and etofenprox	33	carbendazim, tricyclazole, validamycin and isoprothiolane
	2024/25	60	chlorantraniliprole, buprofezin, thiazophos, abamectin, fipronil and pymetrozine	33	difenoconazole-propiconazole, tricyclazole, carbendazim and zinc thiazole
Booting (BBCH 40-49)	2022/23	41	emamectin benzoate, fipronil and chlorantraniliprole	47	difenoconazole-propiconazole and isoprothiolane
	2023/24	42	chlorantraniliprole, fipronil, carbosulfan and ethiprole	32	difenoconazole-propiconazole and isoprothiolane
	2024/25	41	chlorantraniliprole, buprofezin and emamectin benzoate	29	difenoconazole-propiconazole, difenoconazole-azoxystrobin and tebuconazole
Heading (BBCH 50-79)	2022/23	18	carbosulfan and fipronil	35	difenoconazole-propiconazole
	2023/24	23	carbosulfan, chlorantraniliprole and dinotefuran	43	difenoconazole-propiconazole, difenoconazole and carbendazim
	2024/25	26	buprofezin, carbosulfan and omethoate	46	pyraclostrobin and tricyclazole
Maturation (BBCH 80-89)	2022/23	7	carbosulfan, fipronil and ethiprole	16	difenoconazole-propiconazole, isoprothiolane and tricyclazole
	2023/24	5	ethiprole and chlorantraniliprole	20	difenoconazole-propiconazole
	2024/25	4	pymetrozine and dinotefuran	10	difenoconazole-propiconazole and isoprothiolane

Bipolaris oryzae (Brada de Haan) Shoemaker) รองลงมา เป็นโรคกาบใบแห้ง (sheath blight disease, *Rhizoctonia solani*) และโรคเมล็ดด่าง (dirty panicle disease, *Curvularia lunata* (Wakker) Boedijn) ร้อยละ 16 เท่ากัน

ฤดูการผลิตปี 2566/67 เกษตรกรส่วนใหญ่พบ ปัญหาจากโรคไหม้ (rice blast disease, *Pyricularia oryzae* Cavara) มากที่สุด ร้อยละ 27 รองลงมา เป็นโรคกาบใบแห้ง โรคใบจุดสีน้ำตาล และโรคเมล็ดด่าง เช่นเดียวกับฤดูการผลิตปี 2567/68 เกษตรกรส่วนใหญ่ประสบ ปัญหาโรคไหม้ และเริ่มพบปัญหาจากโรคขอบใบแห้ง (bacterial leaf blight disease, *Xanthomonas oryzae* pv *oryzae* (ex Ishiyama, 1922) Swing et al. 1990) ร้อยละ 15 และโรคเมล็ดด่าง ร้อยละ 14 ซึ่งเพิ่มมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับฤดูการผลิตปี 2566/67 รวมทั้งเริ่มพบ ปัญหาจากโรคเมตาต็อกซ์ (Akiochi) ซึ่งเกิดจากการสะสม ของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ในดิน ต้นเหตุของปัญหา เกิดจากเกษตรกรทำนาอย่างต่อเนื่อง ไม่มีการพักนา และ เกิดการหมักของตอซังระหว่างข้าวแตกกอ ทำให้เกิดสาร พิษไปทำลายรากข้าว เกิดอาการรากเน่าดำ รากจึงไม่สามารถดูดธาตุอาหารจากในดินได้ ต้นข้าวจะแสดงอาการ คล้ายขาดธาตุไนโตรเจน (Fig. 2)

การใช้สารเคมีป้องกันกำจัดโรคข้าวของเกษตรกร ในฤดูการผลิตปี 2565/66 เกษตรกรส่วนใหญ่ใช้สารเคมี ป้องกันกำจัดโรคข้าวในระยะตั้งท้อง คิดเป็นร้อยละ 47 รองลงมาเป็นระยะออกรวง และแตกกอ ตามลำดับ ส่วน ในฤดูการผลิตปี 2566/67 และ 2567/68 เกษตรกรส่วนใหญ่ใช้สารเคมีป้องกันกำจัดโรคข้าวในระยะออกรวงมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 43 และ 46 ตามลำดับ เกษตรกรมีการ ใช้สารเคมีป้องกันกำจัดโรคข้าวในระยะข้าวสุกแก่ ในฤดู การผลิตปี 2565/66 ร้อยละ 16 ฤดูการผลิตปี 2566/67 ร้อยละ 20 และฤดูการผลิตปี 2567/68 ร้อยละ 10 สารเคมี ที่นิยมใช้ คือ difenoconazole-propiconazole, tricyclazole และ isoprothiolane (Table 1) โดยเฉพาะ สารผสม difenoconazole-propiconazole เกษตรกรมี การใช้สารดังกล่าวนี้ในทุกะการปลูกข้าว เนื่องจากเป็น สารเคมีป้องกันกำจัดโรคข้าวหลายชนิด เช่น โรคกาบใบแห้ง โรคใบจุดสีน้ำตาล และโรคเมล็ดด่าง ส่วนสาร tricyclazole และ isoprothiolane ส่วนใหญ่ใช้ป้องกันกำจัดโรคไหม้

สรุปการใช้สารเคมีป้องกันกำจัดโรคข้าวของ เกษตรกรทั้ง 3 ปี มีการใช้ในช่วงเวลาและชนิดของสารที่ ไม่แตกต่างกันมากนัก เนื่องจากผลจากการสำรวจปัญหา โรคข้าวที่เกษตรกรประสบในแต่ละปีมีความคล้ายคลึงกัน (Fig. 2) จากผลการสำรวจจะเห็นว่าเกษตรกรมีการใช้สาร เคมีป้องกันกำจัดศัตรูข้าวในทุกะการเจริญเติบโตทาง ลำต้น รวมถึงระยะเก็บเกี่ยว สอดคล้องกับงานศึกษาของ รัตติกาล และคณะ (2564) ได้ศึกษาการใช้สารเคมีป้องกัน กำจัดศัตรูข้าวของเกษตรกรในการผลิตข้าว เขตภาคกลาง ภาคตะวันตก และภาคตะวันออกของประเทศไทย พบการ ใช้สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูข้าว เช่น ethiprole, propiconazole, pyraclostrobin เป็นต้น ในระยะ เก็บเกี่ยว และสุกสุก และคณะ (2566) ศึกษาพฤติกรรมการ ใช้สารป้องกันกำจัดศัตรูข้าวของเกษตรกรภายใต้ ศูนย์ข้าวชุมชนทั่วประเทศ พบว่าเกษตรกรมีการใช้สาร ป้องกันกำจัดศัตรูข้าว ได้แก่ pymetrozine, carbosulfan และ isoprothiolane และ สารผสม difenoconazole-propiconazole ในระยะข้าวสุกแก่

2. การตรวจวิเคราะห์ปริมาณสารเคมีป้องกันกำจัด แมลงศัตรูและโรคข้าว

ผลจากการเก็บตัวอย่างข้าวจากแปลงเกษตรกรที่ได้ ทำการสัมภาษณ์การใช้สารเคมีป้องกันกำจัดแมลงศัตรู และโรคข้าว พบว่า

ปีที่ 1 (ฤดูการผลิตปี 2565/66) ตรวจพบการตกค้าง ของสารเคมีป้องกันกำจัดแมลงศัตรูและโรคข้าวจำนวน 155 ตัวอย่าง จากตัวอย่างทั้งหมดจำนวน 277 ตัวอย่าง คิดเป็นร้อยละ 56 และเมื่อทำการศึกษาต่อในปีที่ 2 (ฤดู การผลิตปี 2566/67) ได้ทำการเก็บตัวอย่างข้าวจำนวน 263 ตัวอย่าง พบการตกค้างของสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรู ข้าว จำนวน 89 ตัวอย่าง คิดเป็นร้อยละ 34 ส่วนในปีที่ 3 (ฤดูการผลิตปี 2567/68) พบการตกค้างของสารเคมี ป้องกันกำจัดศัตรูข้าวในตัวอย่างข้าวจำนวน 90 ตัวอย่าง จากตัวอย่างทั้งหมด 259 ตัวอย่าง คิดเป็นร้อยละ 35 และ เมื่อทดสอบ Pearson's Chi-square test พบว่า สัดส่วน ของสถานะสารพิษตกค้างมีความแตกต่างกันอย่างมี นัยสำคัญระหว่างรอบการเก็บตัวอย่าง ($\chi^2 = 142.62$, $df = 4$, $p < 2.2 \times 10^{-16}$) แสดงให้เห็นว่า การตกค้างมีการ เปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนตามช่วงเวลาของการศึกษา และ

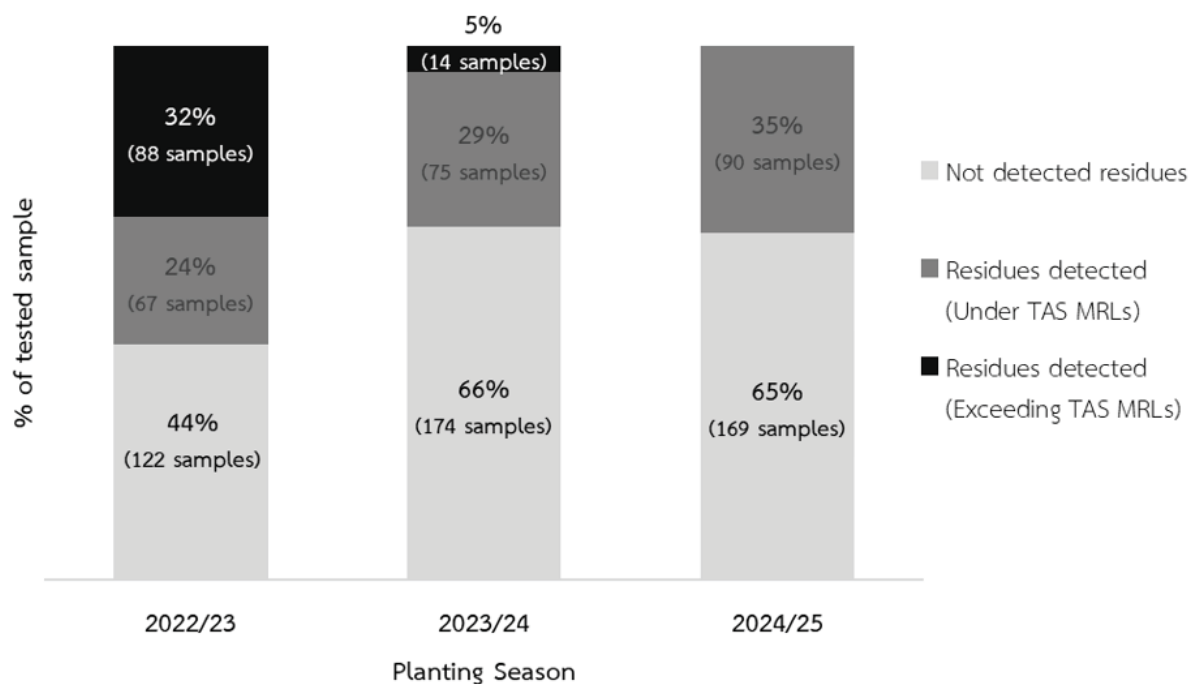


Fig. 3 Proportion of pesticide residues detected in rice samples during planting seasons

เมื่อเปรียบเทียบรายคู่ (pairwise comparison) หลังการทดสอบ Chi-square โดยปรับค่า p-value ด้วยวิธี Bonferroni correction พบว่า สถานะการตกค้างของสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูข้าวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างทุกคู่ของการเก็บตัวอย่าง (adjusted $p < 0.05$) โดยปีที่ 2 และปีที่ 3 มีสัดส่วนการตรวจพบสารตกค้างและสารตกค้างเกินค่ามาตรฐานลดลงอย่างชัดเจน เมื่อเปรียบเทียบกับปีที่ 1 แม้รอบปีที่ 2 และรอบปีที่ 3 จะมีสัดส่วนของตัวอย่างที่ไม่พบสารตกค้างใกล้เคียงกัน แต่ยังคงพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งอาจเกิดจากความแตกต่างของสัดส่วนในกลุ่มตัวอย่างที่ตรวจพบสารตกค้างและกลุ่มที่มีปริมาณสารตกค้างเกินค่ามาตรฐาน

ฤดูการผลิตปี 2565/2566 ตัวอย่างที่ตรวจพบการตกค้างของสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูข้าว จำนวน 155 ตัวอย่าง มีตัวอย่างจำนวน 88 ตัวอย่าง พบปริมาณของสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูข้าวที่ตกค้างสูงเกินมาตรฐานสินค้าเกษตร มกษ. 9002-2559 (สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2559) โดยตัวอย่างที่พบการตกค้างที่เกินมาตรฐานส่วนใหญ่เป็นสาร propiconazole (Fig. 3)

ฤดูการผลิตปี 2566/67 ตัวอย่างที่พบการตกค้างของสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูข้าว จำนวน 89 ตัวอย่าง มี

ตัวอย่างจำนวน 14 ตัวอย่าง พบปริมาณของสารเคมีฯ ตกค้างสูงเกินมาตรฐานสินค้าเกษตร มกษ. 9002-2559 ดังนี้ สาร ethiprole จำนวน 2 ตัวอย่าง สาร isoprocarb จำนวน 3 ตัวอย่าง สาร triazophos จำนวน 3 ตัวอย่าง สาร propiconazole จำนวน 4 ตัวอย่าง และสาร tricyclazole จำนวน 2 ตัวอย่าง แต่เมื่อพิจารณาตามข้อกำหนดของสหภาพยุโรป (EU MRLs) ตัวอย่างที่เกินค่ากำหนด มีจำนวน 18 ตัวอย่าง เนื่องจากตัวอย่างที่พบการตกค้างของสาร carbendazim จำนวน 4 ตัวอย่าง พบในปริมาณที่เกินค่ามาตรฐานดังกล่าวคือ 0.01 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แต่มาตรฐานสินค้าเกษตร มกษ. 9002-2559 กำหนดค่ามาตรฐานของสาร carbendazim ในข้าว 2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งมาตรฐานสินค้าเกษตรของประเทศไทยได้มีปรับปรุงแก้ไขการกำหนดมาตรฐานสินค้าเกษตร เรื่องสารพิษตกค้าง: ปริมาณสารพิษตกค้างสูงสุด (มกษ. 9002-2568) (สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2568) ให้เหมาะสมกับสถานการณ์ปัจจุบัน มีผลบังคับใช้เดือนเมษายน 2568 ส่งผลให้ตัวอย่างที่ทำการสุ่มตรวจวิเคราะห์ในฤดูการผลิตปี 2567/68 ที่มีการตกค้างจำนวน 90 ตัวอย่าง ซึ่งตัวอย่างทั้งหมดผ่านเกณฑ์มาตรฐานสินค้าเกษตร มกษ. 9002-2568 แต่เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานสินค้าเกษตร มกษ.

9002-2559 และ EU MRLs มีตัวอย่างข้าวจำนวน 16 ตัวอย่าง ที่เกินค่ากำหนดดังกล่าว ซึ่งการตรวจพบการตกค้างเกินค่ากำหนด (Fig. 3) ส่งผลให้เกิดความเสี่ยงต่อความปลอดภัยอาหารและลดความเชื่อมั่นของผู้บริโภคต่อคุณภาพของข้าว การได้รับสารเคมีตกค้างผ่านการบริโภคอาหารอย่างต่อเนื่องอาจก่อให้เกิดผลกระทบทั้งในระยะสั้นและระยะยาว ขึ้นอยู่กับชนิดของสาร ปริมาณที่ได้รับ และความถี่ในการสัมผัส โดยสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชบางชนิดมีรายงานว่าส่งผลกระทบต่อระบบประสาท ระบบต่อมไร้ท่อ ตับ ไต และระบบสืบพันธุ์ รวมถึงอาจเพิ่มความเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็งเมื่อได้รับสะสมในระยะยาว (Damalas and Eleftherohorinos, 2011)

เมื่อพิจารณาชนิดของสารเคมีป้องกันกำจัดแมลงศัตรูและโรคข้าวที่ตรวจพบในตัวอย่างข้าวในฤดูกาลผลิตปี 2565/66 ถึง 2567/68 (Table 2) พบว่า ตรวจพบสารตกค้างหลายชนิด ดังนี้

สารกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต ได้แก่ acephate, dimethoate, profenofos และ triazophos ซึ่งส่วนใหญ่พบในปริมาณต่ำ อย่างไรก็ตาม triazophos เป็นสารที่พบได้บ่อยที่สุดในกลุ่มนี้ โดยมีช่วงความเข้มข้น <LOQ-0.06 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และพบตัวอย่างที่มีค่าการตกค้างเกินมาตรฐานของสหภาพยุโรป (EU MRLs) จำนวน 4 ตัวอย่าง

สารกลุ่มคาร์บาเมต ได้แก่ carbaryl, fenobucarb, isoprocarb และ propoxur พบว่า มีการตกค้างในบางตัวอย่าง โดยเฉพาะ carbaryl มีช่วงความเข้มข้น 0.01-0.14 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และมี 1 ตัวอย่างที่เกินค่า EU MRLs ส่วน isoprocarb พบในจำนวนตัวอย่างค่อนข้างมาก (11 ตัวอย่าง) แต่ส่วนใหญ่ยังคงมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน

กลุ่มไพรีทรอยด์ พบ cypermethrin, bifenthrin และ cyfluthrin โดย cypermethrin มีช่วงความเข้มข้น 0.01-0.35 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ขณะที่ cyfluthrin พบในระดับต่ำ (<LOQ) และไม่พบตัวอย่างที่มีค่าเกินมาตรฐาน EU MRLs นอกจากนี้ยังพบสารในกลุ่มอื่น ได้แก่ ethiprole มีการตรวจพบ 1-6 ตัวอย่าง โดยมีช่วงความเข้มข้น <LOQ-0.02 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และพบตัวอย่างที่เกินค่ามาตรฐาน EU MRLs จำนวน 2 ตัวอย่าง

สำหรับกลุ่มสารเคมีป้องกันกำจัดโรคข้าว

(fungicide) เป็นกลุ่มที่พบการตกค้างมากที่สุด โดยพบสาร carbendazim, propiconazole, pyraclostrobin, tebuconazole และ tricyclazole ซึ่ง propiconazole เป็นสารที่พบในจำนวนตัวอย่างสูงที่สุด โดยตรวจพบมากถึง 135 ตัวอย่าง ในฤดูกาลผลิตปี 2565/66 และมีตัวอย่างที่เกินค่า EU MRLs สูงถึง 106 ตัวอย่าง ขณะที่ carbendazim พบใน 2-6 ตัวอย่าง และมี 4 ตัวอย่าง ที่เกินค่ามาตรฐาน EU MRLs นอกจากนี้ยังพบ tricyclazole เกินค่ามาตรฐาน EU MRLs จำนวน 8 ตัวอย่าง ส่วน tebuconazole และ pyraclostrobin แม้จะตรวจพบในหลายตัวอย่าง แต่ยังคงมีค่าความเข้มข้นต่ำและไม่เกินค่ามาตรฐาน EU MRLs

จากข้อมูลการตกค้างในผลผลิตข้าว การเปลี่ยนแปลงรูปแบบการตกค้างของสารกำจัดศัตรูพืชแสดงให้เห็นว่า ฤดูกาลผลิตปี 2565/66 มีการตรวจพบสารในกลุ่ม carbamate ในสัดส่วนที่สูงกว่า ขณะที่ในฤดูกาลผลิตปี 2566/67 และ 2567/68 มีแนวโน้มการตรวจพบสารในกลุ่ม organophosphate เพิ่มขึ้น อาจเกิดปัญหาการต้านทานต่อสารป้องกันกำจัดแมลงของแมลงศัตรูข้าว (insecticide resistance) ซึ่ง Heong และคณะ (2013) รายงานไว้ว่า เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล สามารถพัฒนาความต้านทานต่อสารในกลุ่ม carbamate ได้อย่างรวดเร็วเมื่อมีการใช้ซ้ำอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้ประสิทธิภาพของสารเคมีป้องกันกำจัดแมลงลดลง และเกษตรกรจำเป็นต้องเปลี่ยนไปใช้สารเคมีป้องกันกำจัดแมลงที่มีกลไกการออกฤทธิ์แตกต่างกัน เช่น กลุ่ม organophosphate ซึ่งออกฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ acetylcholinesterase เช่นเดียวกันแต่มีประสิทธิภาพและความคงตัวแตกต่างกัน เมื่อแมลงพัฒนาการต้านทานต่อสารเคมีป้องกันกำจัดแมลงจะลดประสิทธิภาพของสารเคมีป้องกันกำจัดแมลงจะลดลง ทำให้เกษตรกรจำเป็นต้องใช้สารป้องกันกำจัดแมลงศัตรูข้าวกลุ่มอื่นๆ ที่มีกลไกการออกฤทธิ์แตกต่างกัน แม้ว่าสารกลุ่มคาร์บาเมตจะเคยเป็นกลุ่มสารเคมีป้องกันกำจัดแมลงที่มีประสิทธิภาพสูงที่พัฒนาขึ้นเพื่อเอาชนะการต้านทานต่อสารเคมีป้องกันกำจัดแมลงของแมลงศัตรูข้าว แต่เมื่อเกิดการต้านทานต่อสารกลุ่มคาร์บาเมต ก็จะทำให้เกิดการหมุนเวียนไปใช้สารกลุ่มอื่นๆ (Song *et al.*, 2023) รวมทั้งปัจจัยด้านการตลาดของสารเคมีทางการเกษตร เช่น การเข้าถึงสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชในท้องตลาด การ

Table 2 Pesticide concentration found in rice samples

Detected pesticide	No. of samples with detectable residues	Concentration (mg/kg)	TAS*** MRLs 9002:2016	TAS MRLs 9002:2025	EU MRLs (mg/kg)	No. of Samples > EU MRL
Organophosphate group						
acephate	-*	6	1	1	0.01	-
dimethoate	-	1	-	0.03	0.01	-
profenofos	-	3	-	0.01	0.01	-
triazophos	1	7	-	0.6	0.02	4
Carbamate group						
carbaryl	3	-	1	1	0.01	1
fenobucarb	1	-	-	-	-	-
isoprocarb	1	11	-	-	-	3
propoxur	1	-	-	-	0.005	-
Pyrethroid group						
bifenthrin	-	1	0.05	0.05	0.01	-
cypermethrin	6	-	2	2	2	-
cyfluthrin	-	1	0.02	0.02	0.02	-
Other groups						
ethiprole	1	6	0.4	0.4	0.01	2
Fungicide group						
carbendazim	2	6	2	2	0.01	4
propiconazole	135	47	-	4	0.01	106
pyraclostrobin	15	8	-	0.03	0.09	-
tebuconazole	42	27	-	0.5	1.5	-
tricyclazole	17	14	-	0.09	0.01	8

*- : not detected, **TAS: Thai Agricultural Standard, ***<LOQ: Lower than Limit of Quantitation (LOQ)

ส่งเสริมการขายจากบริษัทผู้ผลิต รวมถึงคำแนะนำจากผู้จำหน่ายในพื้นที่ที่ส่งผลต่อการเลือกใช้สารเคมีได้อย่างมีนัยสำคัญ สอดคล้องกับข้อมูลการสัมภาษณ์ ซึ่งพบว่าเกษตรกรส่วนใหญ่เลือกสารเคมี จากประสิทธิภาพ ราคา ร้านค้าใกล้บ้านมีจำหน่ายและแนะนำ ซึ่งสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูข้าวบางชนิดที่ตรวจพบ โดยเฉพาะ propiconazole และ carbendazim ไม่ได้ได้รับอนุญาตให้ใช้ในสหภาพยุโรป เนื่องจากอาจก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อสุขภาพของผู้บริโภคและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (European Commission, 2018) อย่างไรก็ตาม สารดังกล่าว ยังคงถูกใช้ในกระบวนการผลิตข้าวของประเทศไทย ซึ่งความแตกต่างของมาตรฐานและกฎระเบียบระหว่างประเทศนี้ สะท้อนถึงความท้าทายในการควบคุมความปลอดภัยของอาหาร และความจำเป็นของการติดตามและเฝ้าระวังสารตกค้างอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้สอดคล้องกับมาตรฐานสากล โดยเฉพาะในบริบทของการค้าระหว่างประเทศ

สรุปผลการทดลอง

ผลจากการตรวจติดตามสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูข้าวตกค้างในผลผลิตข้าว รวมทั้งสำรวจการใช้สารเคมีในกระบวนการผลิตข้าวในพื้นที่ภาคกลางของประเทศไทย พบว่า กลุ่มเกษตรกรยังมีการใช้สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูข้าวหลายชนิดในทุกกระบวนการเจริญเติบโตของข้าว โดยสารเคมีป้องกันกำจัดแมลงศัตรูข้าว เกษตรกรส่วนใหญ่ใช้มากในระยะต้นกล้า ระยะแตกกอ และระยะตั้งท้อง ส่วนในระยะออกรวง เกษตรกรส่วนใหญ่ใช้สารเคมีป้องกันกำจัดโรคข้าว รวมทั้งมีการใช้สารเคมีป้องกันกำจัดแมลงศัตรูข้าวและโรคข้าวในระยะข้าวสุกแก่ สะท้อนให้เห็นว่าการจัดการศัตรูข้าวในพื้นที่ยังคงพึ่งพาสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูข้าวเป็นหลัก เมื่อนำตัวอย่างข้าวมาตรวจวิเคราะห์ด้วยวิธี QuEChERS ร่วมกับเครื่องมือ LC-MS/MS และ GC-MS/MS พบสารตกค้างหลายชนิดในผลผลิตข้าว สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูข้าวที่ตรวจพบ เช่น propiconazole, tricyclazole, tebuconazole, cypermethrin, ethiprole และ carbendazim เป็นสารที่สอดคล้องกับชนิดสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูข้าวที่เกษตรกรใช้ในแปลงนา และผลการเปรียบเทียบกับมาตรฐาน พบว่า สารตกค้างส่วนใหญ่ไม่เกินค่า MRLs

ตามมาตรฐานสินค้าเกษตร (มกษ. 9002-2559 และ มกษ. 9002-2568) แต่บางรายการพบปริมาณเกินมาตรฐานของสหภาพยุโรป (EU MRLs) แสดงให้เห็นว่าความปลอดภัยของผลผลิตอาจแตกต่างกันไปตามมาตรฐานที่ใช้เป็นเกณฑ์ประเมิน ผลการวิจัยนี้ชี้ให้เห็นว่าพฤติกรรมการใช้สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูข้าวในการผลิตข้าวมีความสัมพันธ์โดยตรงกับการตรวจพบสารตกค้างในผลผลิตข้าว และการใช้สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูข้าวในช่วงใกล้เก็บเกี่ยวอาจเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ตรวจพบสารตกค้างในผลผลิตข้าว ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่ต้องทำการเฝ้าระวัง ตรวจสอบติดตามความปลอดภัยของข้าวอย่างต่อเนื่อง ร่วมกับการส่งเสริมการใช้สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูข้าวอย่างถูกต้องตามคำแนะนำบนฉลาก โดยเลือกใช้ให้เหมาะสมกับชนิดของศัตรูข้าวและช่วงเวลาการระบาด เพื่อประสิทธิภาพในการป้องกันกำจัดศัตรูข้าว และการควบคุมระยะปลอดสารก่อนเก็บเกี่ยว เพื่อยกระดับความปลอดภัยของผู้บริโภคและเพิ่มมาตรฐานข้าวไทยในตลาดทั้งในประเทศและต่างประเทศ

คำขอขอบคุณ

ขอขอบคุณกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม และสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) ที่ส่งเสริมและสนับสนุนงบประมาณในการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้ ขอขอบคุณเกษตรกรผู้ให้ความอนุเคราะห์ตัวอย่างข้าว รวมทั้งตอบแบบสอบถามการใช้สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูข้าวในการผลิตข้าว ส่งผลให้การดำเนินงานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- กรมการข้าว. 2567. เฝ้าระวังการระบาดของแมลงหิวข้าวขาวในนาข้าว. สืบค้นจาก: <https://www.ricethailand.go.th/page/43064>. (14 มีนาคม 2569)
- กองวิจัยและพัฒนาข้าว. 2562. ศัตรูข้าว และการป้องกันกำจัด. กองวิจัยและพัฒนาข้าว, กรมการข้าว. กรุงเทพฯ. 220 หน้า.
- จินตนา ไชยวงศ์, วันทนา ศรีรัตนศักดิ์, สุกัญญา อรัญมิตร และ อรุณยาน์ บุญประมุข. 2556. พฤติกรรมการใช้สารฆ่าแมลงของเกษตรกรที่เป็นพื้นที่ระบาดของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลในภาคกลาง. หน้า 248-264. ใน: เอกสาร

- ประกอบการประชุมวิชาการข้าว กลุ่มศูนย์วิจัยข้าวภาคกลาง ภาคตะวันออก และภาคตะวันตก ประจำปี 2555. 21-25 มีนาคม 2556. โรงแรม หินสอย-น้ำใส รีสอร์ท, จ.ระยอง.
- พยอม โคเบลล์ และธีรดา หวังสมบุญมดี. 2562. สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชที่เป็นสารขัดขวางการทำงานของต่อมไร้ท่อ: ผลกระทบต่อผู้ส่งออกข้าวไทย. วารสารวิชาการข้าว 10(1): 108-119.
- ยงยุทธ ไข่แก้ว, น้ำเย็น ศิริพัฒน์ และประภัสสรา พิมพ์พันธุ์. 2553. การพัฒนาเทคนิคการตรวจวิเคราะห์สารตกค้าง cyproconazole, hexaconazole, propiconazole, tebuconazole และ tetraconazole ในผัก. หน้า 270-282. ใน: เอกสารผลการปฏิบัติงานประจำปีงบประมาณ 2553. กลุ่มวิจัยวัตถุพิษการเกษตร สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร, กรมวิชาการเกษตร.
- รัตติกาล อินทมา, ดารารัตน์ มณีจันทร์, ชัยรัตน์ จันทน์หนู, กฤษณ์กมล เปาทอง และวันรียา บุญสัน. 2564. การติดตามสถานการณ์การใช้สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูข้าวของเกษตรกรในการผลิตข้าวเขตภาคกลาง เขตภาคตะวันตก และเขตภาคตะวันออก ของประเทศไทย. หน้า 157-170. ใน: เอกสารประกอบการประชุมวิชาการข้าว กลุ่มศูนย์วิจัยข้าวภาคกลางและตะวันตก และกลุ่มศูนย์วิจัยข้าวภาคตะวันออก ประจำปี 2564. 23-25 มีนาคม 2564. ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี, จ.ปทุมธานี.
- สุกัญญา อรัณมิตร, ผกามาศ วงศ์เตย์, รัตนวรรณ จันทศิริ, รัตติกาล อินทมา, กัลยา บุญสง่า, ขวัญชนก ปฏิสนธิ, ชณินพัฒน์ ทองรอด, วันรียา บุญสัน, ยุพดี รัตนพันธ์, นรภัทร ศรีชนะนอก, ดลตกร โพธิ์ศิริ, อนุชิตา รัตนรัตน์, กันต์ธณวิทย์ ใจสงฆ์, บุปผารัฐ รอดภัย และปริญญา เชื้อชูชาติ. 2566. พฤติกรรมการใช้สารป้องกันกำจัดศัตรูข้าวและสารพิษตกค้างในผลผลิตข้าวของเกษตรกรภายใต้ศูนย์ข้าวชุมชน. วารสารการเกษตรราชภัฏ 22(2): 1-23.
- สำนักงานนโยบายและยุทธศาสตร์การค้า. 2568. การศึกษาเรื่อง สถานการณ์การค้าข้าวและโอกาสการพัฒนาสินค้าข้าวไทย. ใน: เอกสารวิชาการ. สำนักงานนโยบายและยุทธศาสตร์การค้า, กระทรวงพาณิชย์. กรุงเทพฯ. 62 หน้า.
- สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. 2559. มาตรฐานสินค้าเกษตร. (มกษ. 9002-2559). สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. กรุงเทพฯ. 61 หน้า.
- สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. 2568. มาตรฐานสินค้าเกษตร. (มกษ. 9002-2568). สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. กรุงเทพฯ. 385 หน้า.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2566. เนื้อที่ใช้ประโยชน์ทางการเกษตร รายจังหวัด ปี พ.ศ. 2566. สืบค้นจาก: <https://www.oae.go.th/assets/portals/1/files/socio/LandUtilization2562.pdf>. (14 มีนาคม 2569)
- AOAC Official Method. 2007. Pesticide residues in foods by acetonitrile extraction and partitioning with magnesium sulfate. Available source: https://nucleus.iaea.org/sites/fcris/Shared%20Documents/SOP/AOAC_2007_01.pdf. (March 1, 2026)
- Damalas, C.A. and I.G. Eleftherohorinos. 2011. Pesticide exposure, safety issues, and risk assessment Indicators. International Journal of Environmental Research and Public Health 8: 1402-1419.
- European Commission. 2018. Commission Implementing Regulation (EU) 2018/1865 concerning the non-renewal of approval of the active substance propiconazole. Official Journal of the European Union. L304: 6-9.
- European Food Safety Authority. 2023. The 2023 European Union Report on pesticide residue in food. Available Source: <https://multimedia.efsa.europa.eu/pesticides-report-2023/>. (March 14, 2026)
- Heong, K.L., L. Wong and J. H. Reyes. 2013. Addressing planthopper threats to Asian rice farming and food security: Fixing Insecticide Misuse. ADB Sustainable Development Working Paper Series No. 27. 20 p.
- Ishiyama, S. 1922. Studies on bacterial leaf blight of rice. Report of Agricultural Experiment Station 45: 233-261.
- Song, X.Y., Y.X. Peng, Y. Gao, Y.C. Zhang, W.N. Ye, P.X. Lin, C.F. Gao and S.F. Wu. 2023. Resistance monitoring of *Nilaparvata lugens* to pymetrozine based on reproductive behavior. Insects 14(5): 428.

- Swings, J., M.V.D. Mooter, L. Vauterin, B. Hoste, M. Gillis, T.W. Mew and K. Kersters. 1990. Reclassification of the causal agents of bacterial blight (*Xanthomonas campestris* pv. *oryzae*) and bacterial leaf streak (*Xanthomonas campestris* pv. *oryzicola*) of rice as pathovars of *Xanthomonas oryzae* (ex Ishiyama 1922) sp. nov., nom. rev. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology 40: 309-311.
- Waiyaphat, A. and S. Kwonpongsagoon. 2025. Pesticide intensity in rice production in central Thailand: Implications for environmental and health risks. International Journal of Environmental Science and Development 16(1): 73-80.
- Yamane, T. 1973. Statistics: An Introductory Analysis. 3rd ed. Harper and Row, New York.