การพัฒนาระบบฐานข้อมูลการตกค้างของสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูข้าว ในการผลิตข้าวพื้นที่นำร่อง 4 จังหวัด

Development of Pesticide Residue Database System in Rice Production from the Four Pilot Provinces

ปิยรัตน์ พลยะเรศ[1)] ดารารัตน์ มณีจันทร์[1)] รัตนวรรณ จันทร์ศศิธร[1)] ผกามาศ วงค์เตย์[1)]
กฤษกมล เปาทอง[2)] ชัยรัตน์ จันทร์หนู[3)] ณุภาวี สะกัญญา[1)] นพีร์ เข่งวา[1)] พยอม โคเบลลี่[4)]
Piyarat Ponyared[1)] Dararat Maneejan[1)] Rattanawan Jansasithorn[1)] Pakamas Wongtay[1)]
Kritkamol Paothong[2)] Chairat Channoo[3)] Nupawee Sakanya[1)] Napee Khengwa[1)] Payorm Cobelli[4)]

Abstract

Nowadays, the application of pesticides is widely used to prevent plant diseases and pests in Thailand. However, inappropriate use of pesticides could lead to a high risk of residue contamination in agricultural products which may affect consumers' health and environment. This research aims to develop a database system to store pesticide residue in rice, soil, and water which can easily search and display through a web application. The Rice Pesticide Residue in Rice Production Database (Rice-PRdb) is developed on Windows Server 2019 with the MariaDB used as the database management system. The web application is built using PHP, CSS, HTML, and JavaScript and runs on an Apache HTTP server. In addition, pesticide residue data in rice, soil, and water samples from the central and western regions, i.e., Suphan Buri, Kanchanaburi, Chai Nat, and Phra Nakhon Si Ayutthaya provinces are collected in the database. The developed web application displays the information in maps and charts of detected area forms. The detected pesticides and concentrations are also reported and compared to the maximum residue limits (MRLs) from the National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards (ACFS) and Codex. Moreover, a dashboard is installed to display the link between the use of pesticides during rice cultivation and the residues found in rice products, soil, and water. The problem of rice pests in each cultivated area was also included. This web application shows high satisfaction and acceptability from users which can be accessed at http://trsi-app.ricethailand.go.th/dcrpr/. Therefore, this system can be used as a tool to monitor pesticide residues in risk areas and a guideline for further recommendations on pesticide application in rice production. The further study is extended to monitor in other rice production areas.

Keywords: rice, database, pesticide, pesticide residue

บทคัดย่อ

ปัจจุบันภาคการเกษตรของประเทศไทย มีการใช้สารเคมีป้องกันกำจัดพืชอย่างกว้างขวาง หากมีการใช้สารดังกล่าวอย่างไม่ถูกต้องตามคำแนะนำ ย่อมมีความเสี่ยงที่จะพบการตกค้างในผลผลิตและส่งผลอันตรายต่อผู้บริโภค

Received: January 25, 2023/ Revised: April 28, 2023/ Accepted: April 30, 2023

[1)] สถาบันวิทยาศาสตร์ข้าวแห่งชาติ อ.เมือง จ.สุพรรณบุรี 72000 โทร. 0-3555-5340
Thailand Rice Science Institute, Muang, Suphanburi 72000 Tel. 0-3555-5340
[2)] 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
[3)] ศูนย์วิจัยข้าวชัยนาท อ.เมือง จ.ชัยนาท 17000 โทร. 0-5601-9771
Chai Nat Rice Research Center, Mueang, Chai Nat 17000 Tel. 0-5601-9771
[4)] กองวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว จตุจักร กรุงเทพ 10900 โทร. 0-2579-7892
Division of Rice Research and Development, Rice Department, Chatuchak, Bangkok 10900 Tel. 0-2579-7892

รวมทั้งสิ่งแวดล้อม งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบฐานข้อมูลสำหรับจัดเก็บข้อมูลการตกค้างของสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูข้าวในผลผลิตข้าวและสิ่งแวดล้อมทั้งดินและน้ำ สามารถค้นหาและแสดงผลข้อมูลได้อย่างสะดวกบนเว็บแอปพลิเคชัน ระบบฐานข้อมูลการตกค้างของสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูข้าวในการผลิตข้าว (Rice-PRdb) ได้พัฒนาบน Window server 2019 มีการจัดการระบบฐานข้อมูลด้วย MariaDB สร้างเว็บแอปพลิเคชันด้วยภาษา PHP CSS HTML และ JavaScript ทำงานบน Apache HTTP Server ส่วนระบบฐานข้อมูลได้จัดเก็บข้อมูลการตกค้างของสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูข้าวในผลผลิตข้าวและสิ่งแวดล้อม ทั้งดินและน้ำในพื้นที่ปลูกข้าว 4 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดสุพรรณบุรี กาญจนบุรี ชัยนาท และพระนครศรีอยุธยา ส่วนเว็บแอปพลิเคชันสามารถค้นหาข้อมูลและแสดงผลในรูปแบบของแผนที่ กราฟข้อมูล และตารางรายงานชนิดและปริมาณของสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูข้าวและพื้นที่ที่มีการตกค้างเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานกำหนดสารพิษตกค้างสูงสุด (MRLs) ทั้งเกณฑ์ของสำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (มกอช.) และ Codex นอกจากนี้ยังมีส่วนแดชบอร์ดแสดงความเชื่อมโยงข้อมูลการใช้สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูข้าวของเกษตรกรกับข้อมูลการตกค้างในผลผลิตข้าว รวมทั้งแสดงข้อมูลปัญหาศัตรูข้าวในแต่ละพื้นที่ โดยผลการประเมินความพอใจของผู้ใช้งานเว็บแอปพลิเคชัน พบว่า มีความพึงพอใจต่อการใช้งานโดยรวมในระดับมาก ผู้สนใจสามารถเข้าสืบค้นข้อมูลได้ที่เว็บไซต์ https://ricephysicochem.ricethailand.go.th/dcrpr/ ระบบฐานข้อมูลนี้เป็นเครื่องมือช่วยตรวจติดตามเฝ้าระวังพื้นที่ที่มีความเสี่ยง และรวบรวมข้อมูลเพื่อใช้เป็นแนวทางในการให้คำแนะนำการใช้สารเคมีได้อย่างถูกต้องเหมาะสมแก่เกษตรกรผู้ปลูกข้าว และขยายการตรวจติดตามในพื้นที่อื่นๆ ต่อไป

คำสำคัญ: ข้าว ฐานข้อมูล สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืช สารพิษตกค้าง

คำนำ

ปัจจุบันในประเทศไทยมีการใช้สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืช ทั้งสารเคมีป้องกันกำจัดแมลง โรค และวัชพืช ในการผลิตข้าว ส่งผลให้การนำเข้าสารเคมีทางการเกษตรมีแนวโน้มสูงขึ้น จากข้อมูลสำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร สถิติการนำเข้าในปี พ.ศ. 2565 ปริมาณการนำเข้าสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชเป็น 113,640 ตัน คิดเป็นมูลค่า 24,010 ล้านบาท โดยสารเคมีกำจัดวัชพืชนำเข้าสูงสุดคือ 72,469 ตัน รองลงมาเป็นสารเคมีป้องกันกำจัดแมลงและโรคพืช จำนวน 18,826 และ 18,182 ตัน ตามลำดับ (The Office of Agricultural Regulation, 2023) โดยเกษตรกรมีการใช้สารเคมีตั้งแต่การเตรียมพื้นที่เพาะปลูกจนถึงเสร็จสิ้นการผลิต จากการใช้สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืช ในอัตราที่สูงเกินความจำเป็น ไม่ถูกเวลาและไม่ถูกวิธี ส่งผลให้เกิดสารพิษตกค้างในผลผลิตทางการเกษตรได้ โดยเฉพาะในอาหารประเภทธัญพืช ที่มีการสลายตัวของสารเคมีทางการเกษตรช้ากว่าอาหารชนิดอื่นๆ (Pareja *et al*., 2011)

งานวิจัยการตกค้างของสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูข้าวในผลผลิตข้าวรวมทั้งสิ่งแวดล้อม เช่น ดินและน้ำบริเวณพื้นที่การปลูกข้าว Arunwarakorn *et al.* (2014) ได้รายงานผลการวิเคราะห์สารพิษตกค้างในแปลงปลูกข้าวพื้นที่จังหวัดชัยนาท ปี พ.ศ. 2556 พบว่าสาร chlorpyrifos เป็นสารพิษตกค้างที่พบมากในตัวอย่างดินและน้ำ และสาร isoprocarb ในตัวอย่างข้าวเปลือก ผลการศึกษาของ Wanwimolruk *et al.* (2018) พบสาร difenoconazole และ propiconazole ในดินนาและต้นข้าว และสาร propiconazole ในตัวอย่างน้ำที่เก็บจากพื้นที่ปลูกข้าวจังหวัดนครปฐม จากรายงานของ Maneejan *et al.* (2022) ได้ทำการตรวจติดตามการใช้สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูข้าว พบว่า เกษตรกรมีการใช้สารเคมีป้องกันกำจัดแมลงและโรคข้าวในทุกระยะการเจริญเติบโตของข้าว เมื่อตรวจวิเคราะห์การตกค้างของสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชที่สำคัญในตัวอย่างข้าว ดิน และน้ำใน 4 จังหวัด ได้แก่ สุพรรณบุรี กาญจนบุรี ชัยนาท และพระนครศรีอยุธยา พบการตกค้างของสารเคมีทางการเกษตร จำนวน 43 ตัวอย่าง พบการตกค้างของสาร chlorpyrifos, omethoate, carbaryl, propoxur, 3-hydroxycarbofuran, carbofuran, cyproconazole, propiconazole, tebuconazole และ tricyclazole อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาตามข้อกำหนดของกฎหมายไทย (maximum residue limits (MRLs)) และ Codex's MRLs

พบว่าสารตกค้างที่ตรวจพบในตัวอย่างข้าวมีปริมาณไม่เกินค่าที่กำหนด

ข้อมูลจากงานวิจัยเหล่านี้ควรนำไปเผยแพร่และแนะนำส่งเสริมให้ความรู้เกษตรกรได้ใช้สารเคมีทางการเกษตรอย่างถูกวิธี ซึ่งปัจจุบันยังไม่มีการรวบรวมและจัดเก็บข้อมูลจากการติดตามและตรวจวิเคราะห์สารเคมีตกค้างให้เป็นระบบ และมีการเชื่อมโยงข้อมูลสำหรับพัฒนางานวิจัยหรือต่อยอดเพื่อเป็นแนวทางในการบริหารจัดการการผลิตข้าวปลอดสารพิษอย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้น จึงต้องอาศัยการจัดทำระบบฐานข้อมูลสำหรับการจัดเก็บและจัดการข้อมูลอย่างเป็นระบบและมีประสิทธิภาพ เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถใช้ข้อมูลร่วมกันได้ โดยข้อมูลที่อยู่ในระบบฐานข้อมูลมีความถูกต้องเชื่อถือได้ เป็นมาตรฐานและมีการกำหนดระบบความปลอดภัยของข้อมูล มาจัดทำเป็นต้นแบบฐานข้อมูลเพื่อประเมินความปลอดภัยของผู้บริโภค ตามกำหนดหลักเกณฑ์ด้านความปลอดภัยทางอาหารขององค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ (Food and Agriculture Organization of the United Nation (FAO)) เพื่อควบคุมปริมาณสารพิษตกค้างให้อยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัยต่อผู้บริโภค ซึ่งได้จัดทำมาตรฐานอาหาร (Codex) กำหนดค่ามาตรฐานสูงสุดของสารพิษตกค้างในผลิตผลเกษตรและอาหารต่างๆ (FAO and WHO, 2013) สำหรับประเทศไทย กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ เป็นหน่วยงานที่ได้รับมอบหมายให้ดำเนินการ (National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards, 2008)

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อจัดทำระบบฐานข้อมูลสำหรับจัดเก็บข้อมูลการตรวจติดตามและการตรวจวิเคราะห์การตกค้างของสารพิษจากการใช้สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูข้าวในข้าว ดิน และน้ำ และสร้างระบบการสืบค้นข้อมูลผ่านเว็บแอปพลิเคชันเพื่อให้ผู้สนใจสามารถเข้าถึงและแสดงผลข้อมูลได้อย่างสะดวกและแม่นยำ โดยใช้ข้อมูลจาก 4 จังหวัด ของพื้นที่ภาคกลางและภาคตะวันตกเป็นข้อมูลต้นแบบ นอกจากนี้ระบบฐานข้อมูลนี้เป็นกระบวนการหนึ่งในการเฝ้าระวังและติดตามให้การใช้สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชเป็นไปอย่างถูกต้องและเหมาะสม ให้เกิดความปลอดภัยต่อผู้บริโภคและตามมาตรฐานสุขอนามัย ส่งเสริมให้เกิดภาพลักษณ์ที่ดีในสินค้าข้าวในการส่งออก รวมทั้งเพื่อหาแนวทางในการควบคุมการใช้สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูข้าวให้เหมาะสมและแก้ไขปัญหาผลกระทบจากการใช้สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชต่อสิ่งแวดล้อมต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

1. การเก็บรวบรวมข้อมูลการตกค้างของสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูข้าวในการผลิตข้าว

รวบรวมข้อมูลจากรายงานของ Maneejan *et al.* (2022) ได้ตรวจติดตามการใช้สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูข้าวและตรวจวิเคราะห์ปริมาณสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูข้าวที่ตกค้างในตัวอย่างข้าว ดิน และน้ำ ในเขตจังหวัดภาคกลางและภาคตะวันตก ข้อมูลประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือ

1.1 ข้อมูลการติดตามสถานการณ์การใช้สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูข้าวที่สำคัญของเกษตรกรในการผลิตข้าว เป็นข้อมูลที่รวบรวมจากแบบสัมภาษณ์เกษตรกรในจังหวัดสุพรรณบุรี กาญจนบุรี ชัยนาท และพระนครศรีอยุธยา จำนวนรวม 160 ราย

1.2 ข้อมูลผลการตรวจวิเคราะห์ปริมาณสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูข้าวที่ตกค้างในตัวอย่างข้าว ดิน และน้ำ จาก 4 จังหวัด ได้แก่ สุพรรณบุรี กาญจนบุรี ชัยนาท และพระนครศรีอยุธยา โดยจำแนกเป็น ตัวอย่างข้าว จำนวน 250 ตัวอย่าง ตัวอย่างดิน จำนวน 250 ตัวอย่าง และตัวอย่างน้ำ จำนวน 174 ตัวอย่าง

2. การวิเคราะห์และพัฒนาระบบฐานข้อมูลและเว็บแอปพลิเคชัน

จากการวิเคราะห์รูปแบบและโครงสร้างของข้อมูลการตกค้างของสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูข้าวในการผลิตข้าว ได้ออกแบบระบบฐานข้อมูลและการแสดงผลผ่านเว็บแอปพลิเคชัน Window server 2019 โดยออกแบบระบบด้วยรูปแบบสถาปัตยกรรมแบบสามเส้า (tree-tier architecture) คือ สถาปัตยกรรมแบบ client-server ที่มีการแยกการแสดงผล (presentation) การประมวลผล (processing) และการจัดการข้อมูล (data management) ออกจากกัน เป็นรูปแบบที่นิยมใช้กันแพร่หลาย เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการประมวลผลสูง สะดวกในการ

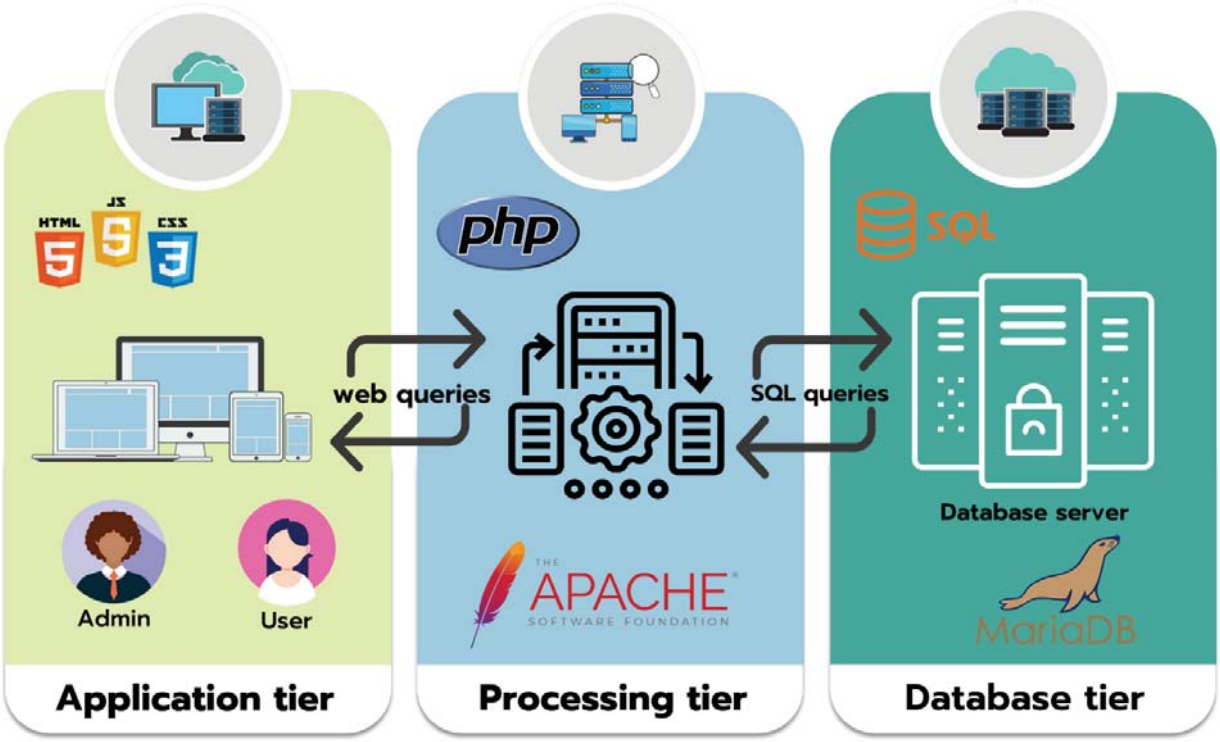

Fig. 1 The system architecture is based on three-tier architecture: application tier, processing tier, and database tier. The system develops on Windows server 2019, and the database management system uses MariaDB. The website creates using the Laravel framework including PHP, HTML, CSS, and JavaScript and runs on an Apache HTTP server

ปรับปรุงแก้ไขระบบและลดภาระการทำงานของเซิร์ฟเวอร์ (Jacobs, 2004) ประกอบด้วย 3 ส่วน แสดงใน Fig. 1 ได้แก่

2.1 ส่วนฐานข้อมูล (database tier) เป็นส่วนจัดเก็บชุดข้อมูลอย่างเป็นระบบด้วยรูปแบบฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ (relational database) สามารถรองรับข้อมูลได้อย่างยืดหยุ่นและมีประสิทธิภาพ (Codd, 1970) ใช้ MariaDB ที่เป็นซอฟต์แวร์โอเพ่นซอร์ส (open-source software) ที่เป็นซอฟต์แวร์จัดการระบบฐานข้อมูล (database management system (DBMS)) เพื่อรองรับและจัดการข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.2 ส่วนการประมวลผล (processing tier) เป็นส่วนการทำงานประมวลผลข้อมูลและซอฟต์แวร์ ที่ใช้ในการจัดการข้อมูลระหว่างส่วนแสดงผลและฐานข้อมูล มีการสั่งการไปยังส่วนฐานข้อมูลด้วยภาษาเอสคิวแอล (structured query language (SQL)) เป็นภาษาสำหรับจัดเก็บและประมวลผลข้อมูลในฐานข้อมูลแบบเชิงสัมพันธ์ และส่วนการแสดงผลด้วยภาษาพีเอชพี (PHP hypertext preprocessor (PHP)) เป็นภาษาเพื่อพัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน

2.3 ส่วนการแสดงผลโปรแกรมประยุกต์ (application tier) เป็นส่วนที่ติดต่อระหว่างระบบกับผู้ใช้งานผ่านเว็บแอปพลิเคชันที่พัฒนาด้วยเทคนิค responsive web ที่เป็นเทคนิคการออกแบบเว็บให้รองรับการใช้งานบนอุปกรณ์หลายชนิด ข้อดีคือ เว็บแอปพลิเคชันเพียงหน้าเดียวสามารถรองรับและแสดงผลได้อย่างมีประสิทธิภาพบนทุกความละเอียดของจอแสดงผลที่นิยมใช้งานในปัจจุบัน ช่วยลดขนาดการจัดเก็บข้อมูลและการทำงานบนเซิร์ฟเวอร์ (Bryant and Jones, 2012) สร้างเว็บแอปพลิเคชันด้วยภาษา PHP, Java script (Leaflet library), CSS และ HTML ทำงานบน Apache HTTP Server ที่เป็นเว็บเซิร์ฟเวอร์ที่ใช้งานได้โดยไม่เสียค่าใช้จ่ายและนิยมใช้อย่างแพร่หลาย ส่วนการแสดงผลแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก คือ

1) ส่วนการแสดงผลบนเว็บแอปพลิเคชัน เป็นส่วนการค้นหาและแสดงผลการตรวจวิเคราะห์ติดตามการตกค้างของสารป้องกันกำจัดศัตรูพืช และแดชบอร์ด (dashboard) ที่แสดงผลการติดตามสถานการณ์การใช้สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูข้าวของเกษตรกรระหว่างการ

ปลูกข้าว รวมถึงการเชื่อมโยงไปยังฐานข้อมูลอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง

2) ส่วนการจัดการระบบ เป็นส่วนบริหารจัดการข้อมูลและส่วนการจัดการผู้ใช้งาน เช่น การนำเข้าข้อมูล การแก้ไขหรือลบข้อมูลในระบบฐานข้อมูล การสมัครสมาชิก การลงทะเบียน การกำหนดสิทธิการเข้าถึงข้อมูล การแก้ไขข้อมูลในหน้าหลักของเว็บแอปพลิเคชันที่มีการจัดการโดยผู้ดูแลระบบ

3. การทดสอบใช้งานระบบฐานข้อมูลและเว็บแอปพลิเคชัน

ดำเนินการทดสอบการใช้งานระบบที่พัฒนาขึ้นกับกลุ่มตัวอย่าง โดยมีการสอบถามความพึงพอใจของกลุ่มตัวอย่างหลังจากการทดลองใช้งานระบบผ่านเว็บแอปพลิเคชัน แบ่งความพึงพอใจการใช้งานออกเป็น 3 ด้าน คือ ด้านการออกแบบและการจัดรูปแบบ ด้านคุณภาพของเนื้อหา และด้านการนำไปใช้ประโยชน์ จากนั้นนำคะแนนผลการประเมินจากการตอบแบบสอบถามมาสรุปและวิเคราะห์ด้านสถิติต่างๆ ได้แก่ อัตราส่วนร้อยละ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยนำผลที่ได้เทียบกับเกณฑ์การประเมิน (Srisa-ard, 2013) ดังนี้

โดยคะแนนเฉลี่ยระหว่าง

4.50-5.00	หมายถึง มากที่สุด
3.50-4.49	หมายถึง มาก
2.50-3.49	หมายถึง ปานกลาง
1.50-2.49	หมายถึง น้อย
1.00-1.49	หมายถึง ต้องปรับปรุง

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. ข้อมูลการตกค้างของสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูข้าวในการผลิตข้าว

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลจากการศึกษาของ Maneejan *et al*. (2022) แบ่งข้อมูลสำหรับจัดเก็บในระบบฐานข้อมูลและแสดงผลบนเว็บแอปพลิเคชันได้เป็น 2 ส่วน คือ

1.1 ข้อมูลสถานการณ์การใช้สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูข้าวที่สำคัญของเกษตรกรในการผลิตข้าว จากแบบสัมภาษณ์เกษตรกร 4 จังหวัด ได้แก่ สุพรรณบุรี กาญจนบุรี ชัยนาท และพระนครศรีอยุธยา จำนวนรวม 160 ราย (แปลง) โดยข้อมูลจากแบบสัมภาษณ์ได้รวบรวมและจัดเตรียมข้อมูลในรูปแบบไฟล์ excel ประกอบด้วย ข้อมูลทั่วไปของเกษตรกร (เพศ ช่วงอายุ ระดับการศึกษา พันธุ์ข้าวที่ปลูก) ปัญหาศัตรูข้าวที่พบ (แมลงศัตรูข้าว โรคข้าว และวัชพืช) วิธีการป้องกันและการจัดการสารเคมีที่ใช้ควบคุมศัตรูข้าวที่สำคัญ (จำแนกตามระยะข้าว) ชนิด/ชื่อการค้าของสารเคมี ระยะและปริมาณที่ฉีดพ่นสารเคมี เป็นต้น

1.2 ข้อมูลการตรวจวิเคราะห์ปริมาณสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูข้าวที่ตกค้างในตัวอย่างข้าว ดิน และน้ำ จาก 4 จังหวัด ได้แก่ สุพรรณบุรี กาญจนบุรี ชัยนาท และพระนครศรีอยุธยา โดยจำแนกเป็น ตัวอย่างข้าว จำนวน 250 ตัวอย่าง ตัวอย่างดิน จำนวน 250 ตัวอย่าง และตัวอย่างน้ำ จำนวน 174 ตัวอย่าง ข้อมูลที่จัดเก็บ ได้แก่ รหัส/ชื่อตัวอย่าง วันเดือนปีที่เก็บตัวอย่าง ชนิดตัวอย่าง (ข้าว ดิน น้ำ) เครื่องมือตรวจวิเคราะห์ ชนิดสารเคมี/ปริมาณสารเคมีที่พบ เกณฑ์ค่ามาตรฐานกำหนดสารพิษตกค้างสูงสุด (MRLs) โดยรวบรวมและจัดเตรียมข้อมูลในรูปแบบไฟล์ excel เพื่อให้สามารถจัดเก็บเข้าสู่ระบบฐานข้อมูลได้อย่างสะดวกและมีประสิทธิภาพ

2. ระบบฐานข้อมูลการตกค้างของสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูข้าว

จากการพัฒนาสำหรับจัดเก็บข้อมูลการติดตามสถานการณ์การใช้สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูข้าวที่สำคัญของเกษตรกรในการผลิตข้าว และการตรวจวิเคราะห์ปริมาณสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูข้าวที่ตกค้างในตัวอย่างข้าว ดิน และน้ำ ด้วยการใช้รูปแบบฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ โดยแสดงความสัมพันธ์ของชุดข้อมูลด้วยแบบจำลองแสดงโครงสร้างและความสัมพันธ์ของข้อมูล (entity-relationship diagram: ER diagram) ใน Fig. 2 ประกอบข้อมูล 10 ตาราง (entity) คือ users (จัดเก็บข้อมูลของผู้ใช้งานระบบ การลงทะเบียน การกำหนดสิทธิผู้เข้าใช้งาน) operators (จัดเก็บข้อมูลผู้ดูแลระบบ) catagories (จัดเก็บประเภทของข้อมูล) password_resets (จัดเก็บข้อมูลการลืมรหัสผ่านหรือขอรหัสผ่านใหม่ของสมาชิก) personal_access_tokens (จัดเก็บข้อมูลของการจัดการสมาชิก) migrations (จัดเก็บข้อมูลการสร้างตารางของระบบ) failed_jobs (จัดเก็บข้อมูลการเข้าใช้งานหรือการ

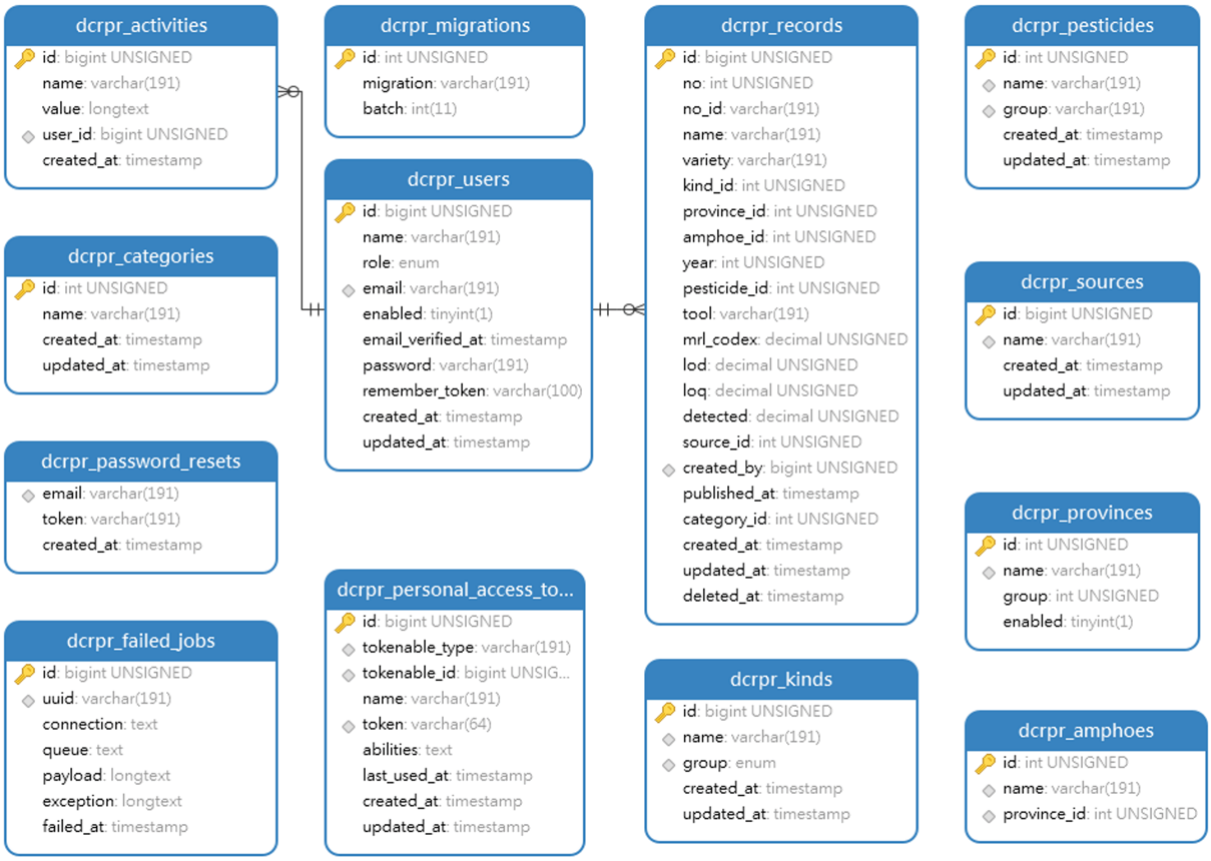

Fig. 2 The database ER (entity-relation) diagram of database structure in Rice-PRdb

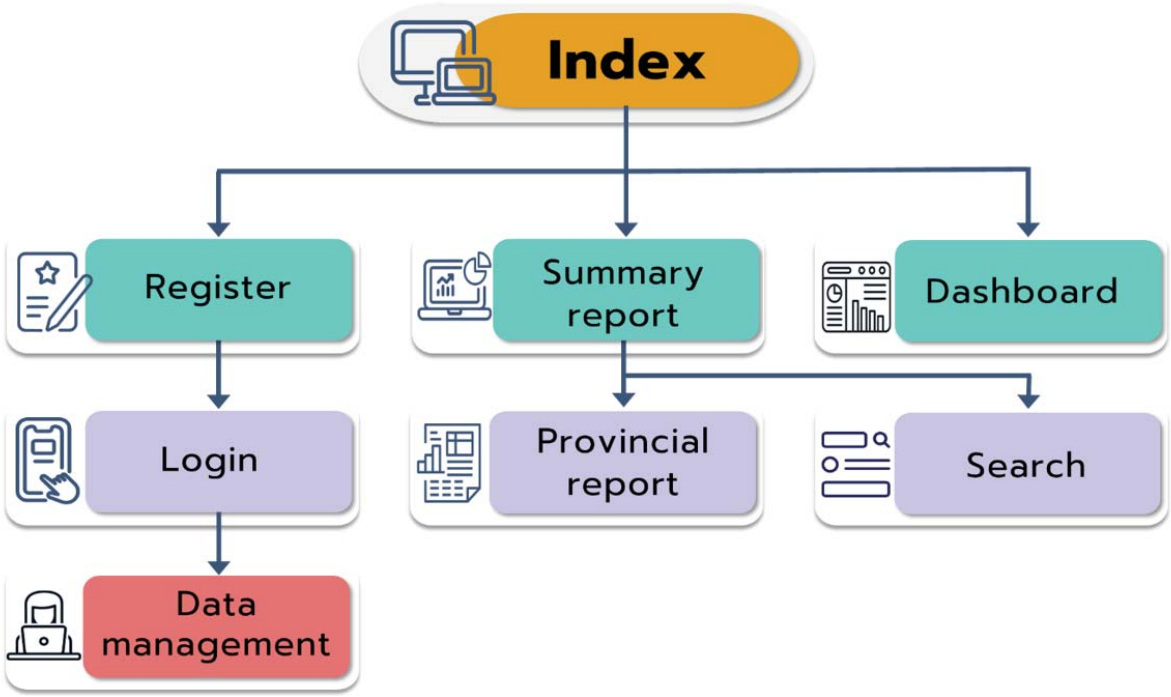

Fig. 3 The web interface structure of Rice-PRdb

เรียกไฟล์ที่ล้มเหลว) setting (จัดเก็บข้อมูลการตั้งค่า) addresses (จัดเก็บข้อมูลที่อยู่ตั้งแต่ตำบลถึงจังหวัด) และ records (จัดเก็บข้อมูลผลการวิเคราะห์สารเคมีตกค้างของตัวอย่างทั้งหมด เช่น รหัสตัวอย่าง ชื่อตัวอย่าง ชนิดตัวอย่าง พันธุ์ข้าว แหล่งที่มา เครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์ สารเคมีที่พบ ปริมาณสารที่พบ เป็นต้น) จาก Fig. 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตาราง operators ไปยัง categories และ records โดยมีกุญแจนอก (foreign key) ใช้เชื่อมความสัมพันธ์ระหว่างเอนทิตี คือ creat_by และ catagories_id และได้แสดงตัวอย่างพจนานุกรมข้อมูล (data dictionary) ของตาราง records ใน Table 1 ประกอบด้วยรายละเอียดข้อมูลของตาราง ได้แก่ ชนิดกุญแจ (key type) เช่น กุญแจหลัก (primary key หรือ กุญแจนอก (foreign key) ชื่อคอลัมน์ (field name) ชนิดและขนาดของข้อมูล (data type (size)) คำจำกัดความ (definition) และตัวอย่าง (example) ของข้อมูลที่จัดเก็บ

3. เว็บแอปพลิเคชัน

จากการออกแบบโครงสร้างระบบที่ประกอบด้วยส่วนการแสดงผลโปรแกรมประยุกต์ที่เข้าใช้งานผ่านเว็บแอปพลิเคชัน ดังแสดงใน Fig. 1 ส่วนเว็บแอปพลิเคชันได้พัฒนาตามการออกแบบโครงสร้างการเข้าใช้งานจากหน้าหลักของเว็บแอปพลิเคชันที่แสดงใน Fig. 3 แบ่งเป็น 4 ส่วน ได้แก่

1) ส่วนลงทะเบียนและเข้าระบบใช้งาน (register) สำหรับลงทะเบียนเพื่อให้ผู้ใช้งานเข้าถึงข้อมูลในระดับผู้ดูแลระบบหรือเจ้าหน้าที่ได้รับสิทธิให้สามารถเข้าไปเพิ่มแก้ไขข้อมูลต่างๆ ได้

2) ส่วนการแสดงผลการตรวจวิเคราะห์การตกค้างของสารป้องกันกำจัดศัตรูพืช (summary report) เป็นส่วนหน้าการแสดงผลวิเคราะห์การตกค้างของสารเคมีทั้งในภาพรวมรายจังหวัดหรือรายละเอียดในแต่ละอำเภอ สามารถเข้าถึงข้อมูลในภาพรวมได้โดยไม่ต้องลงทะเบียน

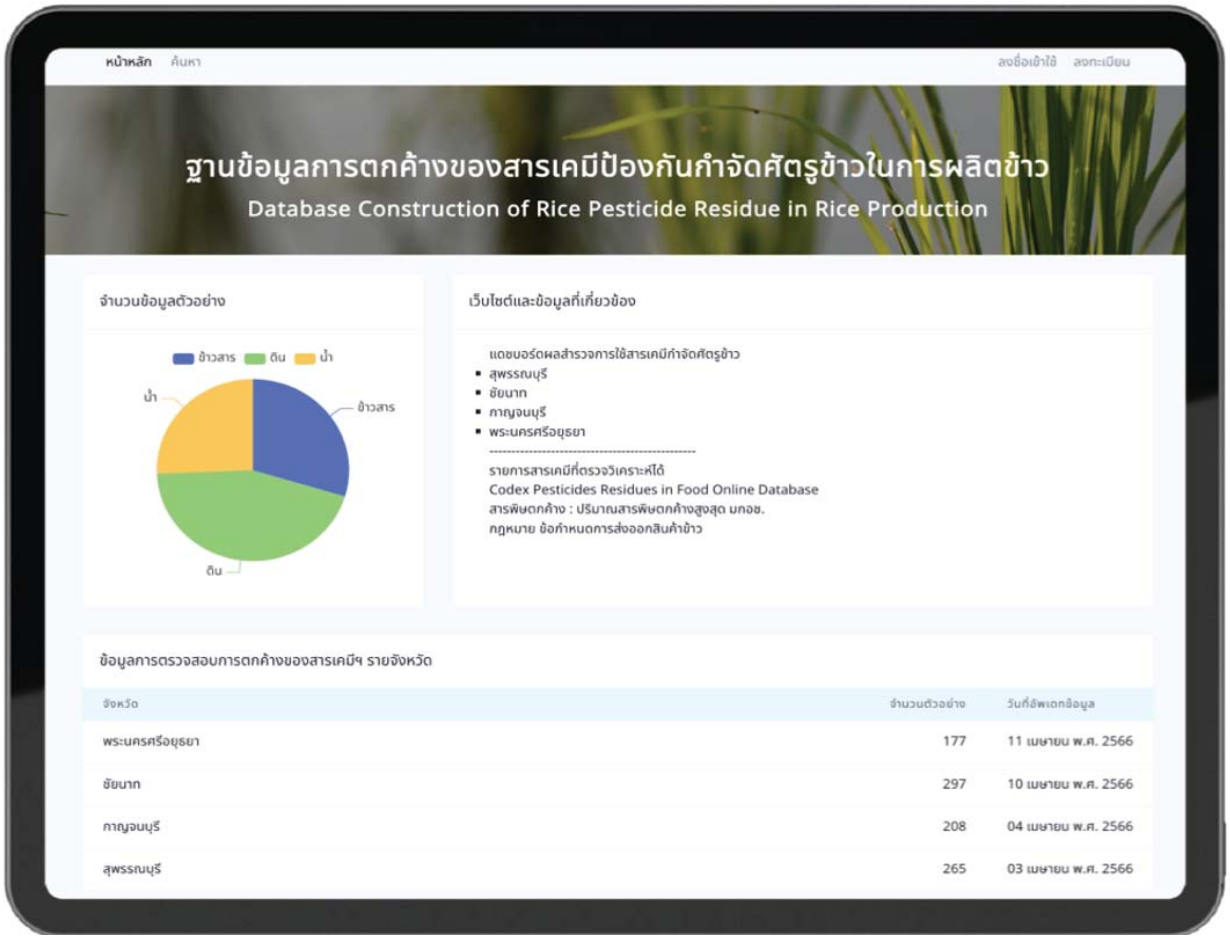

Fig. 4 The index page of Rice-PRdb web application

Table 1 The data dictionary of the records entity

Entity name	Records			
Key type	Filed name	Data Type (size)	Description	Example
Primary key (PK)	id	char (36)	Record ID	00216c5dXXX
Foreign key (FK)	category_id	bigint (20)	Categories ID	1
	type	varchar (191)	Sample type	Rice
	code	varchar (191)	Sample code	SP-001
	name	varchar (191)	Sample name	Somsak Tong
	tumbon	varchar (191)	Tumbon	Nong Kham
	tumbon_code	int (10)	Tumbon_code	721005
	amphoe	varchar (191)	Amphoe	Nong Ya Sai
	amphoe_code	int (10)	Amphoe code	7210
	province	varchar (191)	Province	Suphan Buri
	province_code	int (10)	Province code	72240
	species	varchar (191)	rice cultivar	KMDL 105
	chemical_type	varchar (191)	Pesticide residue was detected	Propiconazole
	chemical_group	varchar (191)	Pesticide residue group	Fungicide
	analytical_tools	varchar (191)	Analytical tool/ technique	LC-MS/MS
	source	varchar (191)	MRLs index reference source	EU MRLs
	mrls	double	MRLs index	0.01
	result	tinyin t(1)	Pesticide concentration found in sample (mg/kg)	0.0232
	created_at	timestamp	Date and time the record was created	2023-03-04 07:25:50
	updated at	timestamp	Date and time the record was updated	2023-04-11 03:14:41
	created_by	bigint (20)	ID number of administrator/users	1

เข้าใช้งาน และส่วนการแสดงผลการสำรวจติดตามการใช้สารเคมีของเกษตรกรกับผลวิเคราะห์การตกค้างของสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชในรายจังหวัดด้วยแดชบอร์ด เมื่อเข้าใช้งานเข้าระบบผ่านเว็บแอปพลิเคชันหน้าหลัก ดังแสดงใน Fig. 4 มีการแสดงภาพรวมของข้อมูลการตรวจสอบการตกค้างของสารเคมีในรูปแบบกราฟ แดชบอร์ด และเว็บไซต์ที่เกี่ยวข้อง นอกจากนี้สามารถเลือกดูข้อมูลรายจังหวัดได้โดยเลือกรายงานผลการตรวจวิเคราะห์การตกค้างของสารป้องกันกำจัดศัตรูข้าว ในตัวอย่าง ข้าว ดิน และน้ำ ใน 4 จังหวัด คือ

- สุพรรณบุรี จำนวน 9 อำเภอ ได้แก่ อำเภอเมืองสุพรรณบุรี บางปลาม้า เดิมบางนางบวช ดอนเจดีย์ ศรีประจันต์ สามชุก สองพี่น้อง หนองหญ้าไซ และอู่ทอง
- กาญจนบุรี จำนวน 4 อำเภอ ได้แก่ อำเภอเลาขวัญ ห้วยกระเจา พนมทวน และทองผาภูมิ
- ชัยนาท จำนวน 6 อำเภอ ได้แก่ อำเภอมโนรมย์ เมืองชัยนาท วัดสิงห์ สรรคบุรี สรรพยา และหันคา
- พระนครศรีอยุธยา จำนวน 11 อำเภอ ได้แก่ อำเภอท่าเรือ นครหลวง บางไทร บางบาล บางปะหัน บางปะอิน ผักไห่ พระนครศรีอยุธยา มหาราช ลาดบัวหลวง และเสนา

ข้อมูลภาพรวมรายจังหวัดสามารถแสดงผลข้อมูลการตรวจวิเคราะห์สารเคมีตกค้างได้ดังแสดงใน Fig. 5 สามารถแสดงผลในรูปแบบแผนที่ที่แสดงผลได้ในรายอำเภอ จำนวนตัวอย่าง การตกค้างของสารเคมี และผลการตรวจสอบการค้างของสารเคมี จำแนกตามอำเภอ (ข้าว น้ำ ดิน) ด้วยกราฟข้อมูล และแสดงตารางที่รายงานจำนวนตัวอย่างที่ตรวจทั้งหมด จำนวนตัวอย่างที่ตรวจพบสารเคมี ชนิดสารเคมีที่ตรวจพบ จำนวนตัวอย่างที่พบสารเคมีตกค้างเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานกำหนดสารพิษตกค้างสูงสุด (MRLs) ทั้งเกณฑ์ของสำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (มกอช. 2551) (National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards, 2008) และ Codex (FAO and WHO, 2013) และสามารถสืบค้นข้อมูลที่จัดเก็บในระบบผ่านการค้นหาด้วยคำสำคัญ หรือเลือกจากชนิดสารเคมี ขณะนี้สามารถตรวจวิเคราะห์สารเคมีทางการเกษตรในตัวอย่างข้าว จำนวน 71 สาร ตัวอย่างดิน จำนวน 29 สาร และตัวอย่างน้ำ จำนวน 65 สาร หรือสามารถเลือกได้จากชนิดตัวอย่าง (ข้าว ดิน น้ำ) ชื่อจังหวัดหรือรอบทำนาได้

3) ส่วนการแสดงผลการสำรวจติดตามการใช้สารเคมีของเกษตรกรกับผลวิเคราะห์การตกค้างของสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชในรายจังหวัดด้วยแดชบอร์ด (Fig. 6) ที่พัฒนาด้วยซอฟต์แวร์ Locker studio ประกอบด้วยการแสดงผล จำนวน 2 ส่วน ได้แก่

- ผลสำรวจการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชและสารตกค้าง จำแนกเป็น 3 หน้า (Fig. 6A) ตามชนิดตัวอย่าง คือ ข้าว ดิน และน้ำ โดยหน้าภาพรวมแสดงรหัสตัวอย่าง ผลการตรวจวิเคราะห์สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูข้าว รายชื่อสารเคมีและปริมาณที่ตรวจพบ เชื่อมโยงกับข้อมูลการใช้สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูข้าว ทั้งแมลง โรค และวัชพืช รวมทั้งข้อมูลพื้นที่ กรรมวิธีในการป้องกันกำจัดศัตรูพืช และเหตุผลการเลือกใช้สารเคมีทางการเกษตรของเกษตรกรรายนั้น นอกจากนี้ยังสามารถแสดงผลโดยการเลือกจากชื่ออำเภอ ชนิดตัวอย่างและชนิดสารเคมีได้
- ข้อมูลปัญหาของแมลงศัตรูข้าว โรคข้าว และวัชพืช ที่เกษตรกรในพื้นที่ประสบปัญหา (Fig. 6B) รายละเอียดข้อมูลการใช้สารเคมีของเกษตรกรทั้งสารเคมีป้องกันกำจัดแมลง โรคข้าว และวัชพืชในแต่ละระยะการปลูกข้าว แบ่งเป็น ระยะกล้า แตกกอ ตั้งท้อง ออกรวง และเก็บเกี่ยว แสดงรายชื่อสารเคมี โดยบอกร้อยละการใช้สารเคมีแต่ละชนิด เพื่อให้ทราบความนิยมในการใช้สารเคมีแต่ละชนิดของเกษตรกร และข้อมูลทั่วไปของเกษตรกร เช่น เพศ อายุ การศึกษา เหตุผลการใช้สารเคมี วิธีการจัดการควบคุมศัตรูข้าว และวิธีการฉีดพ่นสาร

ส่วนการแสดงผลด้วยแดชบอร์ดนี้สามารถเชื่อมโยงข้อมูลแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลเกษตรกรรายแปลง ปัญหาโรคและแมลงศัตรูข้าวที่สำคัญ วิธีการป้องกันและกำจัดศัตรูพืชที่เกษตรกรเลือกใช้ ระยะและช่วงเวลาในการใช้สารเคมี กับชนิดและปริมาณสารเคมีที่ตรวจพบในตัวอย่างข้าว ดิน และน้ำ เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในการแนะนำเกษตรกรในการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชต่อไป

4) ส่วนการจัดการระบบ (data management) เป็นส่วนของการจัดการข้อมูลและการตั้งค่าของระบบเพื่อให้ผู้ดูแลระบบสามารถเข้าใช้งานได้ง่าย แบ่งออกเป็น ส่วนการจัดการข้อมูลสำหรับการเพิ่ม แก้ไข หรือลบข้อมูลจากระบบฐานข้อมูล ส่วนการตั้งค่าสำหรับการปรับแต่งการแสดงผลในหน้าหลักและการเชื่อมโยงไปยังแดชบอร์ด และ

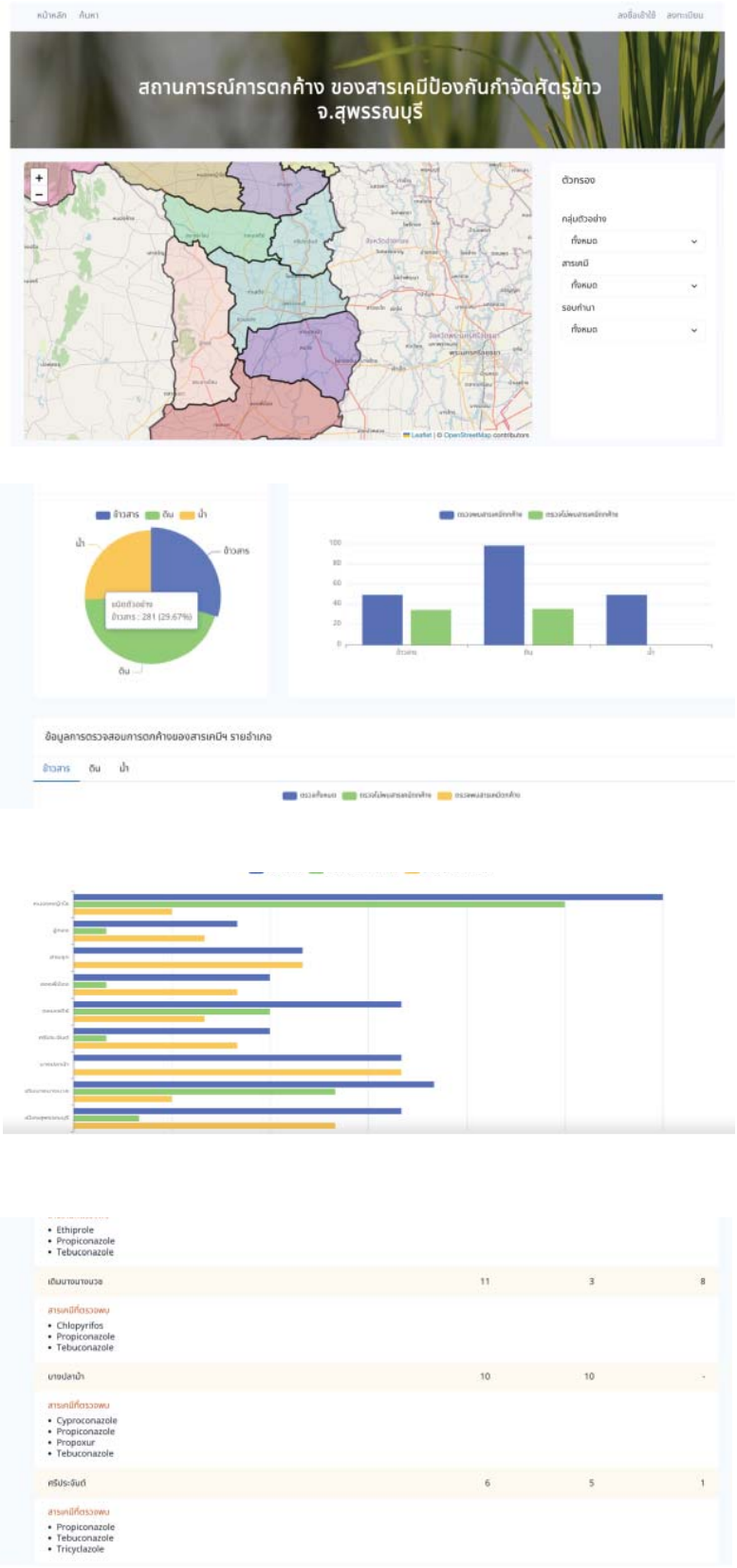

Fig. 5 The summary report page of Rice-PRdb web application

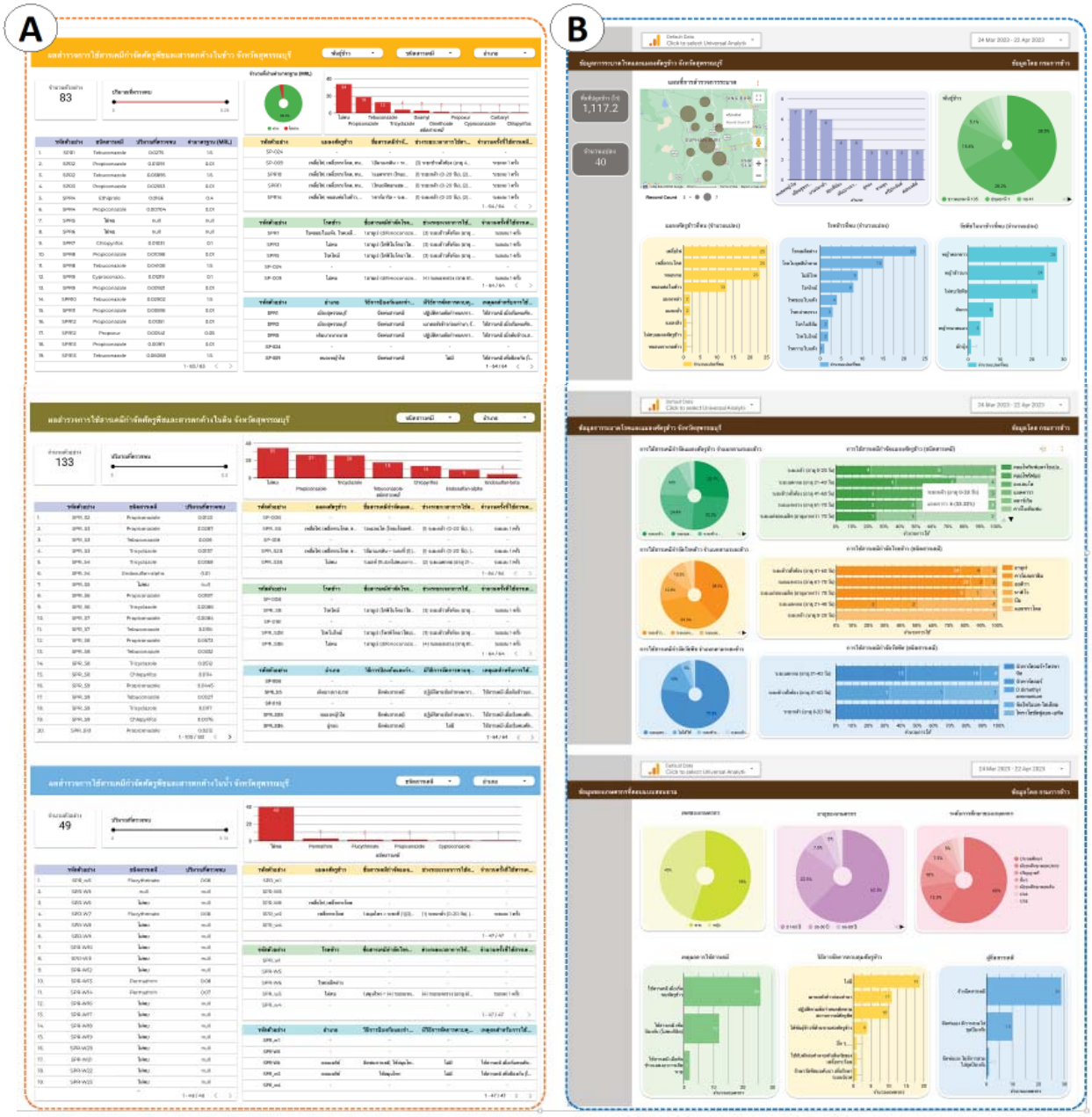

Fig. 6 The dashboard of Rice-PRdb web application, A: The report of pesticide residue data in rice, soil, and water samples linked with pesticide residue monitoring in Suphan Buri B: The information of pesticide residue monitoring

Table 2 Results of the satisfaction survey of the web application

Evaluation features	Mean value	Standard deviation ($\bar{x}$)	Satisfaction level (SD)
1. Design and format	4.13	0.04	More
2. Content	4.22	0.06	More
3. Utilize	4.32	0.00	More
Average	4.22	0.03	More

ส่วนการจัดการผู้ใช้สำหรับจัดการสมาชิก การลงทะเบียน และกำหนดสิทธิผู้เข้าใช้งานในการเข้าถึงข้อมูลโดยผู้ดูแลระบบ

4. ผลการทดสอบใช้งานระบบฐานข้อมูลและเว็บแอปพลิเคชัน

จากการทดสอบการใช้งานระบบที่พัฒนาขึ้นกับกลุ่มตัวอย่าง โดยมีการสอบถามความพึงพอใจของกลุ่มตัวอย่างหลังจากการทดลองใช้งานระบบผ่านเว็บแอปพลิเคชัน จากนั้นวิเคราะห์ผลจากแบบสอบถามด้วยค่าสถิติพื้นฐานเทียบกับเกณฑ์ และสรุปผลความพึงพอใจแสดงดัง Table 2

ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานเว็บแอปพลิเคชันฐานข้อมูลการตกค้างของสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูข้าวในการผลิต จำนวนรวม 110 คน เป็นเพศหญิง ร้อยละ 53 และเพศชาย ร้อยละ 47 ผู้ตอบแบบสอบถามอยู่ในช่วงอายุ 31-45 ปี มากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 45 ผลจากการตอบแบบสอบถามความพึงพอใจพบว่า ผู้ใช้งานมีความพึงพอใจโดยรวมอยู่ในระดับมาก (ค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) = 4.22, ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation: SD) = 0.03) เมื่อพิจารณาผลเฉพาะด้านเรียงตามลำดับตามค่าเฉลี่ย พบว่า ด้านการนำไปใช้ประโยชน์ ผู้ใช้งานมีความพึงพอใจระดับมาก ($\bar{x}$ = 4.32, SD = 0.00) ด้านคุณภาพของเนื้อหา ผู้ใช้งานมีความพึงพอใจระดับมาก ($\bar{x}$ = 4.22, SD = 0.06) ด้านการออกแบบและจัดรูปแบบ ผู้ใช้งานมีความพึงพอใจระดับมาก ($\bar{x}$ = 4.13, SD = 0.04) ตามลำดับ

ระบบฐานข้อมูลการตกค้างของสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูข้าวในการผลิตข้าว ได้มีการนำเข้าข้อมูลเพื่อจัดเก็บในระบบฐานข้อมูล ระหว่างปี พ.ศ. 2565-2566 จำนวนมากกว่า 900 ข้อมูล ระบบสามารถรองรับการจัดเก็บและจัดการข้อมูลได้เป็นอย่างดี ส่วนการแสดงผลผ่านเว็บแอปพลิเคชันสามารถแสดงผลข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพและแม่นยำบนเว็บเบราเซอร์ที่นิยมใช้ในปัจจุบัน เช่น Google Chrome หรือ FireFox รวมทั้งบนแท็บเล็ตและโทรศัพท์มือถือทั้งระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์และ iOS อย่างไรก็ตาม ระบบฐานข้อมูลนี้ต้องมีการเพิ่มเติมข้อมูลการตรวจวิเคราะห์สารเคมีทางการเกษตรที่ตกค้างในผลผลิตข้าวในอนาคตต่อไป เช่น การสำรวจการใช้สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูข้าวของเกษตรกรผู้ผลิตข้าวภายใต้ศูนย์ข้าวชุมชนจากตัวอย่างจากศูนย์ข้าวชุมชนทั่วประเทศ ซึ่งเป็นชุดข้อมูลที่มีปริมาณมากขึ้น ดังนั้น ทางคณะผู้วิจัยจึงต้องมีการดำเนินการนำเข้าข้อมูลและทดสอบประสิทธิภาพของระบบในการแสดงผลผ่านเว็บแอปพลิเคชันต่อไป

สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาระบบฐานข้อมูลการตกค้างของสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูข้าวในการผลิต ด้วยการใช้เทคโนโลยีระบบฐานข้อมูลร่วมกับเว็บแอปพลิเคชันที่ผู้สนใจสามารถเข้าถึงข้อมูลการตกค้างของสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูข้าวได้อย่างสะดวกและรวดเร็วโดยไม่จำเป็นต้องลงทะเบียนเข้าใช้งาน โดยสามารถแสดงผลข้อมูลในรูปแบบของแผนที่ กราฟข้อมูล และตารางรายงานชนิดและปริมาณของสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูข้าวในตัวอย่างข้าว ดิน และน้ำ และพื้นที่ที่มีการตกค้างเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานกำหนดสารพิษตกค้างสูงสุด (MRLs) ทั้งเกณฑ์ของ มกอช. และ Codex ระบบนี้เป็นต้นแบบระบบฐานข้อมูลสำหรับประเมินความปลอดภัยของผู้บริโภค ตามกำหนดหลักเกณฑ์ด้านความปลอดภัยทางอาหารขององค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ รวมทั้งเป็นกระบวนการเพื่อเฝ้าระวังและติดตามการใช้สารเคมี

ป้องกันกำจัดศัตรูพืชของเกษตรเป็นไปอย่างถูกต้องและเหมาะสม ส่งเสริมความปลอดภัยต่อผู้บริโภคและตามมาตรฐานสุขอนามัย เพื่อให้สินค้าข้าวมีความปลอดภัย สร้างความเชื่อมั่นแก่ผู้บริโภคและป้องกันการกีดกันทางการค้าระหว่างประเทศ รวมทั้งเพื่อหาแนวทางในการควบคุมการใช้สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูข้าวให้เหมาะสม และแก้ไขปัญหาผลกระทบจากการใช้สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชต่อสิ่งแวดล้อมต่อไป ระบบฐานข้อมูลการตกค้างของสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูข้าวในการผลิตข้าว (Rice-PRdb) เปิดให้นักวิจัยและผู้สนใจเข้าใช้งานที่เว็บไซต์ http://trsi-app.ricethailand.go.th/dcrpr/

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม และสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) ที่ส่งเสริมและสนับสนุนงบประมาณ แผนงานระบบการผลิตข้าวแบบอาหารปลอดภัยและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม แผนงานวิจัยย่อยการตรวจ ติดตาม และเฝ้าระวังการตกค้างจากสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูข้าวในการผลิตข้าว และขอบคุณเกษตรกรผู้ให้ความอนุเคราะห์ตัวอย่างในแปลงปลูกข้าว และตอบแบบสอบถามสำรวจการใช้สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูข้าวที่สำคัญในการผลิตข้าว รวมทั้งทีมงานวิจัย สถาบันวิทยาศาสตร์ข้าวแห่งชาติ ศูนย์วิจัยข้าวชัยนาท ศูนย์วิจัยข้าวพระนครศรีอยุธยา ในการดำเนินงานในงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

Arunwarakorn, M., K. Tempiyapol and C. Muangklai. 2014. Accumulation of pesticide residues in paddy rice, soil and water in rice field. pp. 233-239. *In*: Full Report Year Ended 2013. Project: research and development program on agricultural production inputs. Office of Agricultural Research and Development 5, Department of Agriculture. (in Thai)

Bryant, J. and M. Jones. 2012. Responsive web design. pp. 37-49. *In*: Pro HTML5 Performance. Apress, Berkeley, CA.

Codd, E.F. 1970. A relational model of data for large shared data banks. Communications of the ACM 13(6): 377-387.

FAO and WHO. 2013. Codex Alimentarius. Available source: https://www.fao.org/fao-who codexalimentarius/codex-texts/dbs/pestres/pesticides/en/. (March 15, 2022)

Jacobs, D. 2004. Data management in application servers. Datenbank-Spektrum 8: 5-11.

Maneejan, D., R. Jansasithon, P. Wongtay, R. Intama, C. Channoo, K. Paothong, W. Baide, S. Neesung, N. Sakanya, J. Srisakda, N. Sueadang and P. Saiyued. 2022. Method validation and monitoring of pesticide residuals in rice production. pp. 201-218. *In*: Proceeding of the Central and Western Rice Research Center, and Eastern Rice Research Center Conference. May 11-12, 2022. Prachinburi Rice Research Center, Prachinburi province. (in Thai)

National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards. 2008. Pesticide residues: Maximum residue limits: Thai agricultural commodity and food standard TACFS 9002-2008. National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards, Bangkok. (in Thai)

Pareja, L., A.R. Fernandez-Alba, C. Veronica and H. Horacio. 2011. Analytical methods for pesticide residues in rice. Trends in Analytical Chemistry 30(2): 270-291.

Srisa-ard, B. 2013. Introduction to Research. 9th ed. Suweerivasarn Company Limited, Bangkok. (in Thai)

The Office of Agricultural Regulation. 2023. Quantity and value import of agricultural hazardous substances 2022. Available source: http://www.doa.go.th/ard/?pageid=386. (March 20, 2023) (in Thai)

Wanwimolruk, C., R. Chaiyarat and S. Wanwimonruk. 2018. An impact assessment of pesticide use on rice farming in Nakhon Pathom province, Thailand. pp. 220-225. *In*: The 19th TSAE National Conference. April 26-27, 2018. Chulabhorn International Convention Center (Wora Wana Hua Hin Hotel & Convention), Prachuap Khiri Khan province. (in Thai)