

การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีบล็อกเชนร่วมกับอากาศยานไร้คนขับ เพื่องานอารักขาพืชในประเทศไทย

The Application of Blockchain Technology with Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) for Plant Protection in Thailand

สนธยา สำเภาทอง¹ และ พฤทธิชาติ ปุญวัฒน์โท²

Sonthya Sampaothong¹, and Pruetthichat Punyawattoe²

ภาควิชาส่งเสริมและนิเทศศาสตร์เกษตร คณะเกษตร กำแพงแสน

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน¹

Department of Agricultural Extension and Communication, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen,

Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Thailand¹

สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช กรมวิชาการเกษตร²

Plant Protection Research and Development Office, Department of Agriculture, Thailand²

E-mail: ¹sonthaya.sa@ku.th, ²pruetthichat@yahoo.com

Received March 19, 2024; Revised May 19, 2024; Accepted May 25, 2024

บทคัดย่อ

บทความนี้ศึกษาศักยภาพของการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีบล็อกเชนร่วมกับอากาศยานไร้คนขับ (UAVs) หรือที่รู้จักกันในชื่อโดรนเพื่องานอารักขาพืชในประเทศไทย ภาคการเกษตรต้องเผชิญกับความท้าทายมากมายจากแมลงศัตรูพืช โรคพืช และปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่ส่งผลกระทบต่อการผลิตพืช เทคโนโลยีขั้นสูงสามารถนำมาใช้ในการแก้ปัญหาเชิงนวัตกรรมเพื่อพัฒนาการติดตามตรวจสอบ การตรวจวัด และการป้องกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ แม่นยำ และทันเวลาที่ บล็อกเชนช่วยสร้างระบบบันทึกข้อมูลกระจายศูนย์ โปร่งใส และไม่สามารถแก้ไขได้ เพื่อจัดเก็บธุรกรรมข้อมูลตลอดห่วงโซ่อุปทาน การเกษตร เมื่อใช้ร่วมกับสัญญาอัจฉริยะ บล็อกเชนทำให้การแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย น่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น บทความนี้อภิปรายการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับมาใช้งานบนฐาน บล็อกเชนมาเพื่อการประยุกต์ในประเทศไทย สำหรับการตรวจสอบศัตรูพืช การฉีดพ่นสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชอย่างเฉพาะเจาะจง การจัดการฟาร์ม การตรวจสอบย้อนกลับในห่วงโซ่อุปทาน และการประกันภัย การเกษตร โดยได้พิจารณาถึงประโยชน์และข้อจำกัดของการรวมเทคโนโลยีใหม่ทั้งสองนี้ อย่างไรก็ตาม สำหรับในประเทศไทยยังคงต้องมีการวิจัยเพิ่มเติมและอาศัยความร่วมมือระหว่างภาครัฐและเอกชน ซึ่งจะนำไปสู่การทำเกษตรดิจิทัลที่ยั่งยืนในอนาคต

คำสำคัญ: บล็อกเชน; อากาศยานไร้คนขับ; โดรน; การเกษตร; อารักขาพืช

Abstract

This article explores the potential applications of blockchain technology in conjunction with unmanned aerial vehicles (UAVs), commonly known as drones, for plant protection in Thailand. The agricultural sector faces numerous challenges from insect pests, plant diseases, and environmental factors that significantly impact crop production. Advanced technologies can be employed to develop innovative solutions for enhancing monitoring, detection, and prevention in an efficient, accurate, and timely manner. Blockchain enables the creation of a decentralized, transparent, and immutable record-keeping system to store data transactions throughout the agricultural supply chain. When combined with smart contracts, blockchain enhances the trustworthiness of data exchange among stakeholders. This paper discusses the integration of UAV technology on a blockchain-based platform for applications in Thailand, including pest surveillance, targeted pesticide spraying, farm management, supply chain traceability, and agricultural insurance. The benefits and limitations of combining these two emerging technologies are considered. However, further research and collaboration between the public and private sectors are necessary for Thailand to fully realize the potential of these technologies, leading to increased agricultural competitiveness in the future.

Keywords: blockchain; unmanned aerial vehicles; drones, agriculture; plant protection

บทนำ

ภาคการเกษตรของประเทศไทยมีบทบาทสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศ แต่ต้องเผชิญกับความท้าทายมากมายจากปัจจัยต่างๆ เช่น แมลงศัตรูพืช โรคพืช และสภาพแวดล้อม ซึ่งสามารถนำไปสู่การสูญเสียผลผลิตและผลิตภาพที่ลดลงอย่างมาก (Office of Agricultural Economics, 2019) วิธีการควบคุมศัตรูพืชแบบดั้งเดิมมักอาศัยการตรวจสอบด้วยสายตาและป้องกันกำจัด โดยการฉีดพ่นสารกำจัดศัตรูพืชด้วยแรงงานมนุษย์ ซึ่งใช้เวลานานและแรงงานที่ดำเนินการเป็นจำนวนมาก นอกจากนี้ยังประสบปัญหาเรื่องความปลอดภัยต่อผู้พ่นสาร รวมทั้งเป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม (Department of Agricultural Extension, 2020) การเกิดขึ้นของเทคโนโลยีขั้นสูง เช่น บล็อกเชน (Blockchain) และอากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicles: UAVs) หรือโดรนนั้น ได้เป็นนวัตกรรมใหม่ที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการบริหารจัดการกับความท้าทายเหล่านี้ได้ในอนาคต (Singh & Singh, 2019) บล็อกเชน

เป็นเทคโนโลยีบันทึกข้อมูลแบบกระจายศูนย์ที่ช่วยให้มีการเก็บบันทึกธุรกรรมที่ปลอดภัย โปร่งใส และไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ เมื่อนำมาประยุกต์ใช้กับการเกษตร บล็อกเชนสามารถอำนวยความสะดวกในการแบ่งปันข้อมูลระหว่างผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย เพิ่มการตรวจสอบย้อนกลับตลอดห่วงโซ่อุปทาน และปรับปรุงความไว้วางใจและความโปร่งใส (Tripoli & Schmidhuber, 2018; Kamilaris et al., 2019; Xiong et al., 2020) ในทางกลับกันอากาศยานไร้คนขับได้กลายเป็นเครื่องมือที่ทรงพลังสำหรับการรับรู้จากระยะไกล การเก็บรวบรวมข้อมูล และการเกษตรแม่นยำสูง อากาศยานไร้คนขับที่ติดตั้งเซ็นเซอร์ กล้อง และอุปกรณ์อื่นๆ สามารถเก็บรวบรวมข้อมูลความละเอียดสูงเกี่ยวกับสุขภาพของพืช สภาพดิน และปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม ซึ่งสามารถนำข้อมูลเหล่านี้มาใช้ในการพัฒนาการดำเนินการแบบเฉพาะพื้นที่ (Site-specific) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการจัดสรรทรัพยากร และปรับปรุงการจัดการฟาร์มโดยรวม (Zhang & Kovacs, 2012; Tripicchio et al., 2015; Mogili & Deepak, 2018) การผสมรวมเทคโนโลยีบล็อกเชนและอากาศยานไร้คนขับ จึงมีศักยภาพในการปฏิวัติวิธีการป้องกันกำจัดศัตรูพืชแบบดั้งเดิมในประเทศไทย วัตถุประสงค์หลักของบทความนี้เพื่ออธิบายแนวทางและอภิปรายศักยภาพในการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีบล็อกเชนร่วมกับอากาศยานไร้คนขับสำหรับงานด้านอารักขาพืชในประเทศไทย ซึ่งครอบคลุมขอบเขตการใช้งานที่หลากหลาย ได้แก่ การตรวจวัดประชากรของศัตรูพืช การฉีดพ่นสารกำจัดศัตรูพืชเฉพาะจุด การจัดการฟาร์ม การตรวจสอบย้อนกลับในห่วงโซ่อุปทาน และการประกันภัย การเกษตร โดยอภิปรายถึงประโยชน์ ข้อจำกัด และความท้าทายของการผสมรวมสองเทคโนโลยีนี้ในบริบทของประเทศไทย

นิยามศัพท์

บล็อกเชน (Blockchain) คือเทคโนโลยีบันทึกข้อมูลแบบกระจายศูนย์ ที่ช่วยสร้างระบบการเก็บข้อมูลแบบโปร่งใส ปลอดภัย และไม่สามารถแก้ไขข้อมูลย้อนหลังได้ เหมาะสำหรับการจัดเก็บและติดตามข้อมูลธุรกรรมตลอดห่วงโซ่อุปทานการเกษตร

อากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicles: UAVs) คืออากาศยานที่ควบคุมการบินด้วยรีโมทคอนโทรล ไม่มีนักบินประจำการบนเครื่อง สามารถติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ เพื่อใช้ในการรับรู้ระยะไกล เก็บข้อมูล พ่นหรือหว่าน และทำการเกษตรแม่นยำสูง

การอารักขาพืช (Plant Protection) คือการป้องกันและกำจัดศัตรูพืช ได้แก่ แมลงและไร โรคพืช สัตว์ศัตรูพืช และวัชพืช ที่ก่อให้เกิดความเสียหายแก่พืช ทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยมีเป้าหมายเพื่อลดการสูญเสียผลผลิตและรักษาคุณภาพของผลิตผลทางการเกษตร

การอารักขาพืช

การอารักขาพืช (Plant Protection) คือ การป้องกันและกำจัดศัตรูพืช ได้แก่ แมลงและไร โรคพืช สัตว์ศัตรูพืช และวัชพืช ที่ก่อให้เกิดความเสียหายแก่พืช ทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยมีเป้าหมายเพื่อลดการสูญเสียผลผลิตและรักษาคุณภาพของผลิตผลทางการเกษตร (Dara, 2019) ซึ่งมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อความมั่นคงทางอาหารและเศรษฐกิจการเกษตรทั่วโลก โดยองค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO) ประเมินการว่าแต่ละปีมีผลผลิตพืชสูญเสียไปกว่า 40% เนื่องจากศัตรูพืช คิดเป็นมูลค่าความเสียหายกว่า 220 พันล้านดอลลาร์สหรัฐ (FAO, 2019) ในประเทศไทยเองก็ประสบปัญหาจากการระบาดของศัตรูพืชในแต่ละปี เช่น การระบาดของหนอนหัวดำในมะพร้าว หนอนกระทู้ข้าวโพดลายจุดในข้าวโพด โรคใบด่างในมันสำปะหลัง เป็นต้น ซึ่งสร้างความเสียหายอย่างมาก จึงจำเป็นต้องมีมาตรการจัดการศัตรูพืชที่เหมาะสม (IPPC, 2024)

วิธีการป้องกันกำจัดศัตรูพืชมีหลายแนวทาง ทั้งการใช้สารเคมี การควบคุมโดยชีววิธี การจัดการศัตรูพืชแบบผสมผสาน (IPM) รวมถึงการพัฒนาพันธุ์พืชต้านทานโรคและแมลง (Dara, 2019; Peterson et al., 2018) อย่างไรก็ตาม การพึ่งพาสารเคมีในการกำจัดศัตรูพืชที่มากเกินไปจนเกิดความจำเป็น ก่อให้เกิดปัญหาตามมาในหลายประเด็น ได้แก่ ปัญหามลพิษตกค้างในผลผลิต ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม รวมถึงการต้านทานต่อสารป้องกันกำจัดศัตรูพืช (Deguine, 2021) แนวทางที่เหมาะสมคือการใช้วิธีการป้องกันกำจัดแบบผสมผสาน เช่น การใช้แมลงศัตรูธรรมชาติ การใช้พืชกับดักแมลง การหมุนเวียนพืชปลูก เป็นต้น (Dara, 2019; Stenberg, 2017)

อย่างไรก็ตามการอารักขาพืชยังคงมีความท้าทายหลายประการ เช่น การขาดความรู้ความเข้าใจที่ถูกต้องของเกษตรกร การใช้สารเคมีที่ผิดวิธี การพัฒนาเทคโนโลยีที่ยังไม่ทันต่อการระบาดของศัตรูพืชชนิดใหม่ๆ รวมถึงสภาพอากาศที่แปรปรวนจากภาวะโลกร้อน (Sharma et al., 2017; Bruce, 2021) ดังนั้นการวิจัยพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรมเพื่อการอารักขาพืชจึงมีความสำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเทคโนโลยีเกษตรอัจฉริยะและอากาศยานไร้คนขับ เช่น การอากาศยานไร้คนขับในการพ่นสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชอย่างแม่นยำ ซึ่งจะช่วยลดการสูญเสียสารเคมี ลดความเสี่ยงต่อผู้พ่นสาร รวมทั้งสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการติดตามการเจริญเติบโตและสุขภาพของพืช (Maes & Steppe, 2019; Patel, et al., 2021) นอกจากนี้ยังมีการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อคาดการณ์การระบาดของศัตรูพืช ซึ่งจะช่วยวางแผนการป้องกันกำจัดได้อย่างทันท่วงที (Kim et al., 2022) สรุปได้ว่าการอารักขาพืชเป็นส่วนสำคัญของการเกษตรสมัยใหม่ ที่จะรักษาความมั่นคงทางอาหารและสร้างความยั่งยืนให้เกษตรกร การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอย่างเหมาะสมจะช่วยบริหารจัดการศัตรูพืชได้อย่างมีประสิทธิภาพ ลดการพึ่งพาสารเคมี และรักษาสมดุลของระบบนิเวศเกษตร อย่างไรก็ตาม ยังต้องอาศัยความร่วมมือจากทุกภาคส่วนในการสร้างองค์ความรู้ พัฒนาบุคลากร และสนับสนุนงานวิจัย เพื่อให้เทคโนโลยีการอารักขาพืชเป็นที่ยอมรับและนำไปสู่การปฏิบัติจริงอย่างกว้างขวางต่อไป

เทคโนโลยีบล็อกเชน

บล็อกเชนเป็นเทคโนโลยีบันทึกข้อมูลแบบกระจายศูนย์ที่ช่วยให้หลายฝ่ายสามารถเก็บรักษาบันทึกธุรกรรมสำคัญที่สามารถแบ่งปันกัน เปลี่ยนแปลงไม่ได้โดยไม่จำเป็นต้องมีหน่วยงานกลาง ในภาคการเกษตร บล็อกเชนสามารถใช้เพื่อสร้างระบบที่โปร่งใสและปลอดภัยสำหรับติดตามการเคลื่อนย้ายผลิตภัณฑ์จากฟาร์มถึงผู้บริโภค ซึ่งช่วยเพิ่มความมั่นใจในความปลอดภัยของอาหาร ป้องกันการฉ้อโกง และเพิ่มประสิทธิภาพห่วงโซ่อุปทาน (Kamilaris et al., 2019; Xiong et al., 2020) หนึ่งในประโยชน์หลักของบล็อกเชนในภาคการเกษตรคือความสามารถในการเพิ่มประสิทธิภาพการตรวจสอบย้อนกลับ ด้วยการบันทึกข้อมูลในทุกขั้นตอนของห่วงโซ่อุปทาน ตั้งแต่การเพาะปลูก การเซตกรรม ไปจนถึงการเก็บเกี่ยว การแปรรูป ไปจนถึงการกระจายสินค้า บล็อกเชนช่วยให้ผู้มีส่วนได้ส่วนเสียทั้งหมดมีบันทึกที่ชัดเจนและพิสูจน์ได้เกี่ยวกับแหล่งกำเนิดและการเดินทางของผลิตภัณฑ์ ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในกรณีที่เกิดปัญหาความไม่ปลอดภัยทางอาหาร เพราะช่วยให้สามารถระบุและแยกผลิตภัณฑ์ที่ได้รับผลกระทบได้อย่างรวดเร็ว (Caro et al., 2018; Galvez et al., 2018) นอกจากนี้ บล็อกเชนยังสามารถอำนวยความสะดวกในการแบ่งปันข้อมูลอย่างปลอดภัยในหมู่ผู้มีส่วนได้ส่วนเสียต่างๆ ในระบบนิเวศการเกษตร เช่น เกษตรกร ผู้ผลิตปัจจัยการผลิต ผู้แปรรูป ผู้จัดจำหน่าย และผู้ค้าปลีก โดยสัญญาอัจฉริยะ (Smart contracts) ซึ่งเป็นสัญญาที่ทำงานด้วยตนเองตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ในรหัส สามารถทำให้อัตโนมัติ และทำให้มั่นใจได้ว่าทุกฝ่ายปฏิบัติตามกฎและเงื่อนไขที่กำหนดไว้ล่วงหน้า ช่วยลดความเสี่ยงของข้อพิพาทและเพิ่มความไว้วางใจในหมู่ผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย (Sylvester, 2019; Demestichas et al., 2020) ยิ่งไปกว่านั้นการพัฒนาหรือการแก้ปัญหาทางธุรกิจ (Solution) บนพื้นฐานบล็อกเชนยังสามารถใช้เพื่อสร้างรูปแบบใหม่สำหรับการเงินเกี่ยวกับการเกษตร เช่น การกู้ยืมเงินระหว่างคนทั่วไปผ่านแพลตฟอร์มออนไลน์ (Peer-to-Peer Lending) การระดมทุนคราวด์ฟันดิง (Crowdfunding) และการประกันภัยขนาดเล็ก (Micro-insurance) ด้วยการจัดหาแพลตฟอร์มที่ปลอดภัยและโปร่งใสสำหรับการทำธุรกรรมทางการเงิน บล็อกเชนสามารถช่วยเพิ่มการเข้าถึงสินเชื่อและการประกันภัยสำหรับเกษตรกรรายย่อยที่อาจขาดการเข้าถึงจากสถาบันการเงินแบบดั้งเดิม (Gotteschi et al., 2018; Kim & Laskowski, 2018) แม้ว่าบล็อกเชนจะมีประโยชน์หลายด้านในภาคเกษตร ได้แก่ เพิ่มความโปร่งใสและความปลอดภัยในการติดตามผลิตภัณฑ์ ปรับปรุงประสิทธิภาพการตรวจสอบย้อนกลับ อำนวยความสะดวกในการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย ทำให้อัตโนมัติผ่านสัญญาอัจฉริยะ และสร้างช่องทางการเงินรูปแบบใหม่ แต่ก็ยังคงมีข้อจำกัดบางประการ เช่น ต้นทุนการลงทุนสูงในระยะแรก ความกังวลด้านความเป็นส่วนตัว กฎระเบียบที่ยังไม่ชัดเจน และผู้ใช้ต้องมีความเข้าใจทางเทคนิคระดับหนึ่ง ซึ่งแนวโน้มในอนาคต บล็อกเชนน่าจะถูกรวมเข้ากับเทคโนโลยีอื่นๆ มากขึ้น และเติบโตในการใช้กับการเงินการเกษตรดิจิทัล โดยอาจได้รับการยอมรับมากขึ้นจากการและมีการใช้งานเพิ่มขึ้นเมื่อต้นทุนลดลง โดยสรุปบล็อกเชนมีศักยภาพสูงที่จะ

เป็นประโยชน์ต่อภาคการเกษตร แต่ก็ต้องคำนึงถึงความท้าทายและพัฒนาปัจจัยแวดล้อมต่างๆ ให้พร้อมเพื่อสนับสนุนการนำไปใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพ

เทคโนโลยีบล็อกเชนในการเกษตรในประเทศไทย

การนำบล็อกเชนมาใช้ในภาคการเกษตรของไทยเริ่มเป็นที่สนใจมากขึ้นในช่วง 2-3 ปีที่ผ่านมา โดยหนึ่งในโครงการบล็อกเชนด้านการเกษตรที่โดดเด่นของไทยคือ โครงการประยุกต์ใช้ Blockchain ยกระดับเศรษฐกิจการค้าที่เริ่มขึ้นในปี พ.ศ. 2563 ซึ่งโครงการดังกล่าวเป็นโครงการร่วมระหว่าง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ และสำนักงานนโยบายและยุทธศาสตร์การค้าโดยเน้นการศึกษาและพัฒนาต้นแบบการตรวจสอบย้อนกลับสินค้าเกษตรอินทรีย์ด้วยเทคโนโลยีบล็อกเชน หรือระบบ TRACETHAI.com สำหรับติดตามหรือตรวจสอบย้อนกลับสินค้าอินทรีย์ ตั้งแต่การผลิต รวบรวม บรรจุ และจัดจำหน่ายไปยังผู้บริโภค โดยนำร่องที่สินค้าข้าวอินทรีย์ซึ่งมีศักยภาพการส่งออกสูง การยอมรับบล็อกเชนในภาคการเกษตรไทยมีแนวโน้มเติบโตขึ้นตามลำดับ จากผลการดำเนินงานอย่างต่อเนื่องพบว่าในปี พ.ศ.2566 มีผู้ประกอบการเกษตรจำนวน 29 ราย และกลุ่มเกษตรกร 32 ราย รวม 61 ราย ใช้ระบบ TRACETHAI.com ซึ่งเพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2563 ที่มีผู้ประกอบการเกษตรเพียง 6 ราย และกลุ่มเกษตรกร 11 ราย รวม 17 ราย ที่ใช้ระบบดังกล่าว (Trade Strategy and Policy Office, 2023) การเติบโตนี้สะท้อนให้เห็นถึงการตระหนักรู้ถึงประโยชน์ของบล็อกเชนในการยกระดับประสิทธิภาพและความโปร่งใสในภาคการเกษตรมากขึ้น ปัจจัยที่ส่งเสริมการยอมรับบล็อกเชนในภาคเกษตรกรรมไทย ได้แก่ การสนับสนุนจากภาครัฐ ความพร้อมด้านโครงสร้างพื้นฐานดิจิทัล และความร่วมมือระหว่างผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย นอกจากนี้กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ได้จัดทำ แผนแม่บทดิจิทัลทางการเกษตรสำหรับประเทศไทย (พ.ศ. 2566-2570) ที่มุ่งหาแนวทางเพื่อจัดทำข้อเสนอแนะเชิงนโยบายด้านดิจิทัลทางการเกษตรสำหรับประเทศไทยซึ่งจะช่วยสนับสนุนการฟื้นตัวจากสถานการณ์ COVID-19 (Ministry of Agriculture & Cooperatives, 2022) ขณะที่ภาคเอกชนและสถาบันการศึกษาก็ให้ความสนใจในการพัฒนาโซลูชันบล็อกเชนสำหรับการเกษตรมากขึ้น โดยในปี 2565 ซีพีเอฟ ร่วมกับ AXONS ผู้นำด้านการพัฒนาระบบสารสนเทศเกษตรเทคโนโลยี (Agri-Tech) ยกระดับระบบตรวจสอบย้อนกลับ ด้วยการใช้นวัตกรรมบล็อกเชน (Blockchain Traceability) มาใช้ในผลิตภัณฑ์ของซีพีเอฟทุกรายการ (MGR online, 2566) อย่างไรก็ตามยังมีความท้าทายสำคัญในการผลักดันการใช้บล็อกเชนในภาคการเกษตรไทย อาทิเช่น ความรู้ความเข้าใจที่จำกัดของเกษตรกร ต้นทุนและความซับซ้อนในการพัฒนาระบบ ความพร้อมของกฎระเบียบ รวมทั้งความกังวลด้านความปลอดภัยและความเป็นส่วนตัวของข้อมูล การส่งเสริมให้เกิดการพัฒนาบล็อกเชนที่เหมาะสมกับบริบทการเกษตรไทยอย่างแท้จริง รวมถึงการบูรณาการความร่วมมือจากทุกภาคส่วน นอกจากนี้จำเป็นต้องพิจารณาเกี่ยวกับผลกระทบและประโยชน์ที่เป็นรูปธรรมของการใช้เทคโนโลยีนี้ต่อเกษตรกรและผู้บริโภค รวมถึงการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับเทคโนโลยีอื่นๆ ที่มีศักยภาพในการแก้ไขปัญหาด้านการเกษตร รวมทั้งควรมีการสำรวจมุมมองและ

ความคิดเห็นของเกษตรกรและผู้มีส่วนได้ส่วนเสียอื่นๆ เพื่อให้เข้าใจอุปสรรคและปัจจัยที่มีผลต่อการยอมรับเทคโนโลยีบล็อกเชนในภาคการเกษตรไทยได้ดียิ่งขึ้น จึงจะช่วยให้การประยุกต์ใช้บล็อกเชนในภาคการเกษตรไทยก้าวหน้าและยั่งยืนมากยิ่งขึ้นต่อไปในอนาคต

เทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับในการเกษตร

อากาศยานไร้คนขับ ได้กลายเป็นเครื่องมือที่ทรงพลังสำหรับการเกษตรแม่นยำสูง หนึ่งในการใช้งานหลักของอากาศยานไร้คนขับในการเกษตรคือการรับรู้จากระยะไกล ด้วยการถ่ายภาพมุมสูงของแปลงเพาะปลูก โดยสามารถให้ข้อมูลอย่างละเอียดเกี่ยวกับการเจริญเติบโตของพืช การขาดสารอาหาร ความเครียดเนื่องจากน้ำ และการระบาดของศัตรูพืช ซึ่งข้อมูลเหล่านี้สามารถวิเคราะห์โดยใช้อัลกอริทึมการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) เพื่อระบุรูปแบบและความผิดปกติ ทำให้เกษตรกรสามารถตัดสินใจได้อย่างชาญฉลาดเกี่ยวกับการให้น้ำ การใส่ปุ๋ย และการควบคุมศัตรูพืช (Berni et al., 2009; Puri et al., 2017; Khandal et al., 2020) นอกจากนี้อากาศยานไร้คนขับยังสามารถใช้เพื่อการฉีดพ่นสารกำจัดศัตรูพืชเฉพาะจุด วิธีการฉีดพ่นสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชแบบดั้งเดิมมักจะพ่นแบบครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมด โดยไม่คำนึงถึงจำนวนศัตรูพืชในพื้นที่ นอกจากนี้การพ่นสารแบบดั้งเดิมยังมีประสิทธิภาพต่ำและขึ้นอยู่กับทักษะของผู้ปฏิบัติงาน รวมทั้งในบางกรณีก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม อากาศยานไร้คนขับที่ติดตั้งระบบการฉีดพ่นแบบแม่นยำสูงสามารถพ่นสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชไปยังต้นพืชที่พบศัตรูพืชได้โดยตรง ลดปริมาณสารเคมีที่ใช้และลดการตกค้างไปยังพื้นที่นอกเป้าหมาย (Giles & Billing, 2015; Fennimore et al., 2016) นอกจากการจัดระบบการปลูกพืชแล้ว ยังใช้ในการตรวจสอบโครงสร้างพื้นฐาน และการสำรวจที่ดิน ระบุความต้องการในการบำรุงรักษาไร่และอาคาร และสร้างแผนที่แปลงที่แม่นยำได้ (Hogan et al., 2017) อย่างไรก็ตามในการนำเทคโนโลยีนี้มาใช้จำเป็นต้องพิจารณาถึงต้นทุนของอุปกรณ์และการบำรุงรักษา รวมถึงโครงสร้างพื้นฐานด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ และทักษะความเชี่ยวชาญในการวิเคราะห์ข้อมูล รวมถึงประเด็นด้านความปลอดภัยและความเป็นส่วนตัวที่เกิดขึ้นจากการเก็บรวบรวมข้อมูลในพื้นที่เกษตรกรรม ซึ่งอาจเป็นอุปสรรคต่อการยอมรับเทคโนโลยีนี้ นอกจากนี้ยังควรมีการบูรณาการเทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับเข้ากับเทคโนโลยีการเกษตรอื่นๆ เช่น อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of Things – IoT) และปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence – AI) เพื่อสร้างระบบการเกษตรอัจฉริยะที่ครบวงจร

เทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับในการเกษตรของประเทศไทย

อากาศยานไร้คนขับนำมาใช้ในการเกษตรสำหรับประเทศไทยเริ่มต้นในปี 2558 โดยบริษัท ยามาฮ่า จำกัด ประเทศญี่ปุ่น ได้นำเข้าอากาศยานไร้คนขับเป็นแบบเฮลิคอปเตอร์ยี่ห้อส่วน (Wichai et al., 2021) ในปีเดียวกันบริษัท DJI ซึ่งเป็นบริษัทจากประเทศจีน ได้เป็นผู้บุกเบิกนำอากาศยานไร้

คนขับแบบ 8 พัด เข้ามาเป็นรายแรก หลังจากนั้น ผู้ผลิตรายอื่น ๆ ก็ได้ปฏิบัติตามแนวทางเดียวกัน ประเทศไทยถือเป็นประเทศแรกในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ที่นำโดรนทางการเกษตรมาใช้เพื่อแก้ปัญหาการขาดแคลนแรงงานในภาคเกษตรกรรม (Chantharat & Maikansarn, 2020) หลังจากนั้น เทคโนโลยีนี้ได้ถูกขยายผลการประยุกต์ใช้งานในพืชเศรษฐกิจต่าง ๆ เช่น อ้อย มันสำปะหลัง และปาล์ม น้ำมัน (Wichai et al., 2017) หลังจากนั้นความสนใจในการประยุกต์ใช้โดรนเพื่อการเกษตรก็เพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทั้งจากภาครัฐและเอกชน การประยุกต์ใช้อากาศยานไร้คนขับในภาคการเกษตรของไทยมีหลากหลายรูปแบบ ตั้งแต่การสำรวจและวิเคราะห์ข้อมูลพื้นที่เพาะปลูก การพ่นสารป้องกันและกำจัดศัตรูพืช ไปจนถึงการติดตามการเจริญเติบโตและสุขภาพของพืช (Bhandhubanyong & Sirirangsi, 2019) การยอมรับและใช้งานอากาศยานไร้คนขับในภาคการเกษตรของไทยเติบโตขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา โดยมีปัจจัยสำคัญคือการสนับสนุนจากภาครัฐ การลดลงของราคาอากาศยานไร้คนขับ และการเพิ่มขึ้นของความตระหนักรู้เกี่ยวกับประโยชน์ของอากาศยานไร้คนขับในหมู่เกษตรกร ความนิยมของอากาศยานไร้คนขับในภาคเกษตรไทยเติบโตอย่างรวดเร็วในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา โดยในปี พ.ศ. 2566 มีการใช้อากาศยานไร้คนขับในภาคการเกษตรของไทยแล้วกว่า 10,000 ลำ และคาดว่าจะเพิ่มขึ้นเป็น 25,000–30,000 ลำภายในปี พ.ศ. 2570 (Thansettakij, 2023) ซึ่งอากาศยานไร้คนขับส่วนใหญ่นำมาใช้การพ่นสารป้องกันและกำจัดศัตรูพืชในนาข้าว ในเขตภาคกลางและภาคเหนือตอนล่าง (Office of Agricultural Economics, 2020) การเติบโตนี้สะท้อนให้เห็นถึงการตระหนักรู้ของเกษตรกรไทยถึงประโยชน์ของอากาศยานไร้คนขับในการยกระดับประสิทธิภาพการผลิตและลดต้นทุนการทำการเกษตร อย่างไรก็ตามการใช้งานอากาศยานไร้คนขับในภาคการเกษตรของไทยยังคงเผชิญกับความท้าทายหลายประการ เช่น ข้อจำกัดด้านงบประมาณในการจัดซื้อของเกษตรกรรายย่อย การขาดแคลนบุคลากรที่มีความเชี่ยวชาญในการใช้งานและซ่อมบำรุง รวมถึงข้อกังวลด้านความเป็นส่วนตัวและความปลอดภัย (Soyyana et al., 2022; Sankhao et al., 2023) นอกจากนี้กฎระเบียบที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานในประเทศไทยยังอยู่ในช่วงของการพัฒนา ซึ่งอาจสร้างความไม่แน่นอนให้กับผู้ใช้งานและผู้ประกอบการ (Charoonpatrapong et al., 2021) ทั้งนี้การแก้ไขความท้าทายเหล่านี้จำเป็นต้องพัฒนาบุคลากรให้มีทักษะและความชำนาญ โดยสร้างความร่วมมือกันระหว่างภาครัฐ ภาคเอกชน และสถาบันการศึกษาเพื่อพัฒนาหลักสูตรที่เกี่ยวข้องซึ่งจะช่วยสร้างทรัพยากรบุคคลที่มีคุณภาพเพื่อรองรับการขยายตัวของการใช้อากาศยานไร้คนขับได้ในอนาคต นอกจากนี้จากการที่อากาศยานไร้คนขับมีราคาสูง จึงเป็นอุปสรรคกับเกษตรกรรายย่อยในการลงทุน การส่งเสริมรูปแบบธุรกิจใหม่ๆ เช่น ระบบแบ่งปันการใช้งาน (Sharing) ที่ให้เกษตรกรหลายรายใช้อากาศยานไร้คนขับร่วมกัน หรือบริการให้เช่าเพื่อลดการลงทุนในตอนต้น จะช่วยให้การเข้าถึงของเกษตรกรเพิ่มมากขึ้น รวมทั้งภาครัฐควรพิจารณาปรับปรุงกฎหมายให้มีความเหมาะสมและสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วของเทคโนโลยี ตลอดจนมีการกำกับดูแลและวางมาตรฐานรวมถึงมีมาตรฐานกลางในการควบคุมกำกับดูแลที่ชัดเจน และท้ายที่สุดการใช้อากาศยานไร้คนขับจะสำเร็จได้ก็ต่อเมื่อได้รับการยอมรับและความ

ร่วมมือจากเกษตรกรซึ่งเป็นผู้ใช้หลัก ดังนั้นการสร้าง ความเข้าใจที่ถูกต้องเกี่ยวกับประโยชน์ของโดรน ต่อการยกระดับการผลิตและรายได้ การลดต้นทุน และการจัดการความเสี่ยง ผ่านการสื่อสารและ สาธิตเชิงปฏิบัติ จะช่วยให้เกษตรกรเห็นถึงคุณค่าและพร้อมรับการเปลี่ยนแปลง อีกทั้งการสร้างการมี ส่วนร่วมโดยรับฟังความคิดเห็น ข้อกังวล และข้อเสนอแนะของผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทั้งผู้ใช้ประโยชน์ และผู้ ได้รับผลกระทบ เพื่อนำไปสู่การปรับปรุงและพัฒนาเทคโนโลยีให้สอดคล้องกับความต้องการและ บริบทของพื้นที่ ก็จะช่วยให้การใช้องค์ความรู้จากโดรนขับเคลื่อนสู่การปฏิบัติและเป็นที่ยอมรับมากขึ้น

การประยุกต์ใช้บล็อกเชนและอากาศยานไร้คนขับในงานอารักขาพืชและงานด้านอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง

การใช้อากาศยานไร้คนขับในการเกษตรมีความท้าทายหลายประการที่ต้องได้รับการจัดการทั้ง ในด้านกฎระเบียบ กฎหมาย และแนวทางการทำงานที่ถูกกำหนดขึ้นให้เป็นมาตรฐานซึ่งจะต่างไป ตามแต่ละประเทศ โดยอาจมีข้อจำกัดเกี่ยวกับระดับความสูงในการบิน ระยะทาง และพื้นที่ (Freeman & Freeland, 2015; Hwerbi et al., 2023) นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงประเด็นความเป็นส่วนตัวและความ ปลอดภัยของข้อมูล โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่ออากาศยานไร้คนขับกำลังเก็บรวบรวมข้อมูลที่ละเอียดอ่อน เกี่ยวกับฟาร์มและเกษตรกร (Stöcker et al., 2017; Daponte et al., 2019) การจัดการความท้าทาย เหล่านี้จะเป็นสิ่งสำคัญในการส่งเสริมการยอมรับและการนำเทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับไปใช้ในภาค การเกษตรอย่างแพร่หลาย การผสมผสานเทคโนโลยีบล็อกเชนและอากาศยานไร้คนขับ มีศักยภาพใน การสร้างแพลตฟอร์มที่มีประสิทธิภาพสำหรับการอารักขาพืชในประเทศไทย ด้วยการผนวกเข้ากับ ความสามารถในการจัดการข้อมูลที่ปลอดภัยของบล็อกเชนและความสามารถในการเก็บรวบรวมข้อมูล ความละเอียดสูงของอากาศยานไร้คนขับ เกษตรกรสามารถรับทราบข้อมูลเชิงลึกเกี่ยวกับสุขภาพพืช แบบเรียลไทม์ และตัดสินใจเกี่ยวกับการป้องกันกำจัดศัตรูพืชได้อย่างแม่นยำและรวดเร็ว (Lezoche et al., 2020; Mirabelli & Solina, 2020) แพลตฟอร์มเหล่านี้สามารถปรับปรุงประสิทธิภาพของการ ผลิตสินค้าทางการเกษตร ลดการใช้สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืช และส่งเสริมความยั่งยืนในระยะยาว ของการเกษตร การใช้งานที่เป็นไปได้อีกอย่างหนึ่งของแพลตฟอร์มอากาศยานไร้คนขับบนฐานบล็อก เชนคือการเฝ้าระวังและตรวจวัดประชากรของศัตรูพืช อากาศยานไร้คนขับที่ติดตั้งกล้องและเซ็นเซอร์ สามารถใช้เพื่อตรวจสอบแปลงเพื่อหาสัญญาณของการระบาดของศัตรูพืช เช่น การเปลี่ยนแปลงสีของ พืช ความเสียหายของใบ หรือการปรากฏของศัตรูพืชในแปลง ข้อมูลเหล่านี้สามารถอัปโหลดไปยัง ระบบบนฐานบล็อกเชน ซึ่งสามารถจัดเก็บและแบ่งปันกับผู้มีส่วนได้ส่วนเสียอื่นๆ ได้อย่างปลอดภัย เช่น เกษตรกร บริษัท และหน่วยงานภาครัฐ (Daponte et al., 2019) ด้วยการมีบันทึกข้อมูลศัตรูพืชที่ โปร่งใสและแก้ไขไม่ได้ เกษตรกรจึงสามารถนำข้อมูลที่ได้มาใช้ในการวางแผนหรือจัดการการระบาดของ ของศัตรูพืชได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น (Hwerbi et al., 2023) นอกจากนี้ฟังก์ชันหนึ่งของ

แพลตฟอร์มอากาศยานไร้คนขับและบล็อกเชนคือการฉีดพ่นสารกำจัดศัตรูพืชเฉพาะจุด โดยเมื่อตรวจพบการระบาดของศัตรูพืช อากาศยานไร้คนขับสามารถนำไปใช้เพื่อฉีดพ่นสารกำจัดศัตรูพืชไปยังต้นพืชที่พบศัตรูพืชได้โดยตรง ลดปริมาณสารเคมีที่ใช้ให้เหลือน้อยที่สุด ช่วยลดความเสี่ยงในเรื่องการพัฒนาความต้านทานของศัตรูพืช ข้อมูลเกี่ยวกับการใช้สารป้องกันกำจัดศัตรูพืช รวมถึงชนิดและปริมาณสารเคมีที่ใช้ สามารถบันทึกไว้ในบล็อกเชน ซึ่งให้บันทึกการรักษาที่ชัดเจนและตรวจสอบได้ (Radoglou-Grammatikis et al., 2020) สิ่งนี้สามารถช่วยให้แน่ใจได้ว่ามีการปฏิบัติตามข้อกำหนด และช่วยให้เกษตรกรสามารถแสดงให้เห็นถึงการยึดมั่นในแนวปฏิบัติที่ยั่งยืน (Sinha et al., 2020) บล็อกเชนและอากาศยานไร้คนขับ ยังสามารถใช้เพื่อปรับปรุงการจัดการฟาร์มและการตรวจสอบย้อนกลับในห่วงโซ่อุปทาน ด้วยการเก็บรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการเจริญเติบโตของพืช สภาพดิน และปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม อากาศยานไร้คนขับสามารถให้ข้อมูลเชิงลึกที่สามารถปฏิบัติได้แก่เกษตรกร ข้อมูลนี้สามารถจัดเก็บไว้ในบล็อกเชน เพื่อสร้างบันทึกกิจกรรมของฟาร์มที่ปลอดภัยและไม่สามารถแก้ไขได้ เมื่อรวมกับข้อมูลจากแหล่งอื่นๆ เช่น สถานีอุตุนิยมวิทยาและราคาตลาด ข้อมูลนี้สามารถช่วยให้เกษตรกรตัดสินใจได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำมากขึ้นเกี่ยวกับการปลูก การเก็บเกี่ยว และการทำการตลาด (Ferrag et al., 2020) ในด้านการตรวจสอบย้อนกลับในห่วงโซ่อุปทาน ระบบบนฐานบล็อกเชนสามารถติดตามการเคลื่อนไหวของผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรจากฟาร์มไปสู่ผู้บริโภค โดยมีการบันทึกที่โปร่งใสและตรวจสอบได้ของแต่ละขั้นตอนในกระบวนการ สิ่งนี้สามารถช่วยป้องกันการฉ้อโกง ทำให้มั่นใจในความปลอดภัยของอาหาร และสร้างความไว้วางใจของผู้บริโภค อากาศยานไร้คนขับสามารถใช้เพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลที่จุดต่างๆ ตลอดห่วงโซ่อุปทาน เช่น ระหว่างการเก็บเกี่ยว การแปรรูป และการขนส่ง ซึ่งสามารถอัปโหลดไปยังบล็อกเชนเพื่อการจัดเก็บและการแบ่งปันอย่างปลอดภัย (Mao et al., 2018) บล็อกเชนและอากาศยานไร้คนขับ ยังช่วยให้เกิดรูปแบบใหม่ของการประกันภัยการเกษตร ด้วยการใช้อากาศยานไร้คนขับเก็บรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับสุขภาพของพืชและสภาพอากาศ ผู้รับประกันสามารถประเมินความเสี่ยงได้อย่างแม่นยำมากขึ้นและพัฒนากรมธรรม์ที่กำหนดเองสำหรับเกษตรกร สัญญาอัจฉริยะบนบล็อกเชนสามารถทำให้กระบวนการเรียกร้องค่าสินไหมเป็นอัตโนมัติ ทำให้มั่นใจได้ว่าเกษตรกรจะได้รับการชดเชยอย่างทันท่วงทีและยุติธรรมในกรณีที่เกิดความสูญเสียของผลผลิต (Devi & Divya, 2023; Hwerbi et al., 2023) อย่างไรก็ตามการประยุกต์ใช้บล็อกเชนและอากาศยานไร้คนขับในงานอารักขาพืชและงานด้านอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องจำเป็นต้องพิจารณาถึงต้นทุนและความคุ้มค่าในการลงทุนสำหรับภาคการเกษตร รวมถึงความพร้อมของโครงสร้างพื้นฐานและบุคลากรที่สามารถนำเทคโนโลยีเหล่านี้มาใช้งานจริง ซึ่งอาจเป็นอุปสรรคสำคัญในการส่งเสริมการนำไปใช้งานในวงกว้าง

การวิเคราะห์สภาพแวดล้อมและศักยภาพ (SWOT Analysis) ของการบูรณาการเทคโนโลยีบล็อกเชนเข้ากับอากาศยานไร้คนขับในงานอารักขาพืช

การวิเคราะห์นี้แสดงให้เห็นจุดแข็งที่โดดเด่น เช่น การใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ ความยั่งยืน และการปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิต ดังแสดงในตารางที่ 1 อย่างไรก็ตาม ข้อจำกัดเกี่ยวกับความซับซ้อนและอุปสรรคในการเข้าถึงจะต้องได้รับการแก้ไข แม้ว่าความร่วมมือของรัฐบาลจะช่วยขยายการเข้าถึงได้ ในที่สุดแล้วยังคงมีโอกาสอีกมากมายสำหรับการเปลี่ยนแปลงในเชิงบวกตลอดทั้งภาคการเกษตรของไทยท่ามกลางความท้าทายที่เผชิญอยู่ โดยรวมแล้วแม้จะมีความท้าทาย แต่การรวมเทคโนโลยีเหล่านี้เข้าด้วยกันก็มีศักยภาพอย่างมากในการปรับปรุงประสิทธิภาพ ความยั่งยืน และความเท่าเทียมในภาคการเกษตรของไทย ซึ่งจำเป็นต้องมีการวางแผนและดำเนินการอย่างรอบคอบโดยคำนึงถึงข้อดีและข้อจำกัดทั้งหมด

ตารางที่ 1 การวิเคราะห์สภาพแวดล้อมและศักยภาพ (SWOT Analysis) ของการบูรณาการเทคโนโลยีบล็อกเชนเข้ากับอากาศยานไร้คนขับในงานอารักขาพืช

	ปัจจัยภายใน	ปัจจัยภายนอก
ด้านบวก	จุดแข็ง - ยกระดับการตรวจวัดประชากรของศัตรูพืชเพื่อการดำเนินการอย่างรวดเร็ว - ลดการใช้สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชผ่านการผลิตพ่นสารอย่างแม่นยำ - ความโปร่งใสของห่วงโซ่อุปทานเพื่อรายได้ที่เป็นธรรมของเกษตรกร - ประสิทธิภาพการประกันภัยการเกษตรและการเข้าถึงบริการทางการเงิน - เพิ่มความโปร่งใสและตรวจสอบย้อนกลับได้ตลอดห่วงโซ่อุปทานการเกษตร - สัญญาอัจฉริยะช่วยลดต้นทุนธุรกรรม เพิ่มความเชื่อมั่นและลดข้อพิพาท - กระจายอำนาจในการจัดเก็บข้อมูล ลดความเสี่ยงจากจุดวิกฤตเดียว (Single point of failure) - บันทึกแบบไม่สามารถแก้ไขได้ช่วยป้องกันการทุจริตและการปลอมแปลงข้อมูล	โอกาส - นโยบายของรัฐบาลที่สนับสนุนในการทำเกษตรเป็นดิจิทัล - ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีอย่างรวดเร็วช่วยปรับปรุงขีดความสามารถของอากาศยานไร้คนขับ - การเข้าถึงบริการทางการเงินสำหรับเกษตรกรรายย่อย - ความสนใจของผู้บริโภคที่เพิ่มขึ้นเกี่ยวกับแหล่งที่มาของอาหารและความยั่งยืน - ความร่วมมือที่เพิ่มขึ้นระหว่างผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย เช่น เกษตรกร ผู้ผลิต ผู้ค้าปลีก ในการนำบล็อกเชนไปใช้ - การพัฒนาบล็อกเชนให้ใช้พลังงานน้อยลงและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น

ตารางที่ 1 การวิเคราะห์สภาพแวดล้อมและศักยภาพ (SWOT Analysis) ของการบูรณาการเทคโนโลยีบล็อกเชนเข้ากับอากาศยานไร้คนขับในงานอารักขาพืช (ต่อ)

	ปัจจัยภายใน	ปัจจัยภายนอก
ด้านลบ	จุดอ่อน - ต้นทุนเริ่มแรกในการจัดหาอากาศยานไร้คนขับและอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัดประชากรศัตรูพืชมีราคาสูง - ความซับซ้อนของบล็อกเชนต้องการการฝึกอบรมผู้ใช้ระบบ - ข้อจำกัดด้านโครงสร้างพื้นฐานในชนบท เช่น การเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตในบางพื้นที่ - การนำบล็อกเชนมาใช้อาจต้องปรับเปลี่ยนกระบวนการทำงานและระบบเดิมของหลายฝ่าย - ต้องใช้พลังงานและทรัพยากรคอมพิวเตอร์จำนวนมากในการดำเนินการระบบ - ขาดมาตรฐานและการทำงานร่วมกันระหว่างแพลตฟอร์มบล็อกเชนต่างๆ - บันทึกแบบไม่สามารถแก้ไขได้ช่วยป้องกันการทุจริตและการปลอมแปลงข้อมูล	อุปสรรค - ความลังเลและความไม่มั่นใจของเกษตรกรในการยอมรับเทคโนโลยีใหม่ - ช่องโหว่ด้านความปลอดภัยทางไซเบอร์ในเครือข่ายดิจิทัล - ภัยธรรมชาติ เช่น พายุ ยังคงส่งผลกระทบต่อการผลิตทางการเกษตร - ปัญหาเรื่องความเป็นส่วนตัวเกี่ยวกับการจัดเก็บและการใช้ข้อมูลฟาร์ม - กฎระเบียบและมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับบล็อกเชนในภาคการเกษตรยังไม่ชัดเจน - ความไม่เสถียรของราคาสกุลเงินดิจิทัลอาจส่งผลกระทบต่อการใช้งานในบางธุรกรรม - ความกังวลด้านความปลอดภัยทางไซเบอร์หรือช่องโหว่ในสัญญาอัจฉริยะ - การขาดความตระหนัก ความเข้าใจ และทักษะเกี่ยวกับบล็อกเชนในหมู่ผู้มีส่วนได้ส่วนเสียบางกลุ่ม

ความท้าทายและทิศทางในอนาคต

ในขณะที่การบูรณาการเทคโนโลยีบล็อกเชนและอากาศยานไร้คนขับมีศักยภาพสูงสำหรับการอารักขาพืชในประเทศไทย แต่ยังคงมีความท้าทายหลายประการที่ต้องได้รับการแก้ไข หนึ่งในความท้าทายหลักคือต้นทุนในการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีเหล่านี้ อากาศยานไร้คนขับและระบบบล็อกเชนอาจมีราคาแพงในการซื้อและบำรุงรักษา โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับเกษตรกรรายย่อยที่อาจมีทรัพยากรจำกัด (Lezoche et al., 2020; Sinha et al., 2020) อีกความท้าทายหนึ่งคือการขาดความเชี่ยวชาญทางเทคนิคและโครงสร้างพื้นฐานในพื้นที่ชนบท เกษตรกรจำนวนมากอาจไม่มีทักษะหรือความรู้ในการใช้งานอากาศยานไร้คนขับหรือเข้าร่วมในระบบที่ใช้บล็อกเชน จึงจำเป็นต้องมีโปรแกรมการสร้างขีดความสามารถและการฝึกอบรมเพื่อช่วยให้เกษตรกรสามารถยอมรับและตระหนักถึงประโยชน์ของเทคโนโลยีเหล่านี้ (Steinacker et al., 2019) ประเด็นด้านกฎระเบียบก็เป็นสิ่งที่ต้องพิจารณาด้วยเช่นกัน การใช้อากาศยานไร้คนขับในการเกษตรอยู่ภายใต้ข้อบังคับต่างๆ เช่น ข้อจำกัดด้านความสูงในการบินและข้อกำหนดด้านความเป็นส่วนตัวของข้อมูล ในขณะที่เทคโนโลยีบล็อกเชนเสนอประโยชน์มากมาย

แต่ก็ยังอยู่ในช่วงแรกของการพัฒนาและอาจเผชิญกับอุปสรรคทางกฎระเบียบในแง่ของการปกป้องข้อมูลและการปฏิบัติตามกฎระเบียบ (Xiong et al., 2020) นอกจากนี้เพื่อให้เกิดการตระหนักถึงศักยภาพของบล็อกเชนและอากาศยานไร้คนขับ สำหรับงานอารักขาพืชในประเทศไทยอย่างเต็มที่ จำเป็นต้องมีการวิจัยและพัฒนาเพิ่มเติม ซึ่งรวมถึงการสร้างการเชื่อมต่อกันระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์กับเครื่องคอมพิวเตอร์ (Interface) และเครื่องมือที่เป็นมิตรกับผู้ใช้ ที่สามารถช่วยให้เกษตรกรสามารถเก็บรวบรวม วิเคราะห์ และแบ่งปันข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ยังมีความจำเป็นสำหรับการศึกษากรณีและโครงการนำร่องเพิ่มเติมเพื่อแสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้และประโยชน์ของเทคโนโลยีเหล่านี้ในสภาพแวดล้อมจริง (Mao et al., 2018) ความร่วมมือระหว่างภาครัฐและเอกชนมีความสำคัญอย่างยิ่งสำหรับการขับเคลื่อนการยอมรับบล็อกเชนและอากาศยานไร้คนขับในภาคการเกษตร รัฐบาลสามารถมีบทบาทสำคัญในการสร้างสภาพแวดล้อมที่เอื้ออำนวยผ่านนโยบาย กฎระเบียบ และแรงจูงใจที่สนับสนุน ผู้มีส่วนได้ส่วนเสียภาคเอกชน เช่น บริษัทเทคโนโลยีและธุรกิจการเกษตร สามารถมีส่วนร่วมโดยการพัฒนาหรือการแก้ปัญหาทางธุรกิจ (Solution) และรูปแบบธุรกิจที่เป็นนวัตกรรมที่สามารถช่วยในการขยายเทคโนโลยีเหล่านี้ (Hwerbi et al., 2022)

กล่าวโดยสรุปการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีบล็อกเชนและอากาศยานไร้คนขับในงานอารักขาพืชของประเทศไทย มีประโยชน์หลายประการ เช่น การเพิ่มประสิทธิภาพและความแม่นยำในการจัดการศัตรูพืช, การเพิ่มความโปร่งใสในซัพพลายเชน และการอำนวยความสะดวกในการเข้าถึงบริการทางการเงิน อย่างไรก็ตามยังมีข้อจำกัดที่สำคัญ ได้แก่ ต้นทุนสูงในการลงทุนเริ่มต้น ความจำเป็นในการฝึกอบรมทางเทคนิคสำหรับเกษตรกร ความไม่แน่นอนด้านกฎระเบียบ และความต้องการวิจัยและพัฒนาเพิ่มเติม ในอนาคตคาดว่าจะมีความร่วมมือมากขึ้นระหว่างภาครัฐและเอกชนในการส่งเสริมการใช้เทคโนโลยีเหล่านี้ รวมถึงการพัฒนาหรือการแก้ปัญหาทางธุรกิจ (Solution) และรูปแบบธุรกิจใหม่ๆ และการบูรณาการกับเทคโนโลยีอื่นๆ เพื่อสร้างระบบการเกษตรอัจฉริยะ โดยสรุปการนำเทคโนโลยีบล็อกเชนและอากาศยานไร้คนขับ มาใช้ในการอารักขาพืชของไทยก็ยังคงต้องเผชิญกับความท้าทายและอุปสรรคหลายประการ ซึ่งจำเป็นต้องมีความร่วมมือจากทุกภาคส่วนในการผลักดันให้เกิดการนำไปใช้งานจริงอย่างแพร่หลาย

ข้อเสนอแนะ

จากโอกาสและความท้าทายที่กล่าวถึง ผู้เขียนขอแนะนำขั้นตอนเชิงกลยุทธ์ต่อไปนี้เพื่อส่งเสริมการยอมรับการพัฒนาหรือการแก้ปัญหาทางธุรกิจ (Solution) อากาศยานไร้คนขับที่ร่วมกับบล็อกเชน สำหรับงานอารักขาพืชในประเทศไทยดังนี้

1. เพิ่มเงินทุนวิจัยสำหรับการพัฒนาและตรวจสอบนวัตกรรมอากาศยานไร้คนขับ และบล็อกเชนที่ออกแบบมาเฉพาะสำหรับการเกษตรของไทย ให้ครอบคลุมพืชที่หลากหลาย ขนาดฟาร์ม ภูมิประเทศ และความเสี่ยงด้านสภาพอากาศ พัฒนาโปรแกรมการฝึกทักษะ เพื่อสร้างความสามารถใน

การปฏิบัติการอากาศยานไร้คนขับ อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of Things – IoT) การวิเคราะห์ข้อมูล บล็อกเชน และสัญญาอัจฉริยะ ในหมื่นนักวิจัย เจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตร และเกษตรกร

2. จัดโครงการนำร่องทั่วประเทศไทย เพื่อสาธิตขีดความสามารถและผลตอบแทนการลงทุนของโซลูชันอากาศยานไร้คนขับและบล็อกเชน สำหรับการเฝ้าระวังและตรวจวัดประชากรศัตรูพืช การพ่นสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชอย่างแม่นยำ การแลกเปลี่ยนข้อมูลฟาร์ม การตรวจสอบย้อนกลับห่วงโซ่อุปทาน และการประกันภัย

3. การมีส่วนร่วมกับเกษตรกร ธุรกิจการเกษตร และชุมชน ตลอดจนกระบวนการทดสอบและพัฒนา เพื่อแก้ไขอุปสรรคในการยอมรับและการจัดการการเปลี่ยนแปลง นำข้อเสนอแนะจากเกษตรกรผู้รับจ้างบินอากาศยานไร้คนขับ บริษัทที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยทางการเกษตร และผู้มีส่วนได้ส่วนเสียในชุมชนมาพัฒนาหรือการแก้ปัญหาทางธุรกิจ (Solution)

4. อำนาจความสะดวกในการสร้างความร่วมมือระหว่างภาครัฐและเอกชน เพื่อบูรณาการการประยุกต์ใช้การเฝ้าระวังและตรวจวัดประชากรศัตรูพืชและบล็อกเชนที่เหมาะสมเข้ากับโครงสร้างพื้นฐานการเกษตรดิจิทัล โดยสอดคล้องกับนโยบายและแผนที่นำทางของประเทศ

5. พัฒนาพื้นที่ทดลอง กฎระเบียบ เพื่อกำหนดนโยบายที่ควบคุมความเป็นส่วนตัว ความมั่นคงปลอดภัยของข้อมูล ความรับผิดชอบ การปฏิบัติการการเฝ้าระวังและตรวจวัดประชากรศัตรูพืช สัญญาอัจฉริยะ และการประกันภัยบนฐานบล็อกเชนในบริบทการเกษตร

6. สร้างความร่วมมือระดับโลกกับหน่วยงานวิจัย และผู้ให้บริการเทคโนโลยีที่มีประสบการณ์ในการใช้บล็อกเชนและการเฝ้าระวังและตรวจวัดประชากรศัตรูพืชในภาคเกษตร เพื่อประโยชน์จากการแบ่งปันความรู้ร่วมกันและหลีกเลี่ยงการคิดค้นสิ่งที่มีอยู่แล้ว

7. เพิ่มการลงทุนเพื่อขยายโซลูชันการเฝ้าระวังและตรวจวัดประชากรศัตรูพืช-บล็อกเชน ด้วยแพลตฟอร์มที่แข็งแกร่ง

ความครอบคลุมการตรวจสอบอย่างกว้างขวาง และการเชื่อมต่อกันระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์กับเครื่องคอมพิวเตอร์ (Interface) ที่ใช้งานง่ายสำหรับเกษตรกร พร้อมกับการปรับปรุงต้นทุน ความก้าวหน้าในการเกษตรดิจิทัลที่ขับเคลื่อนด้วยเทคโนโลยีเกิดใหม่สามารถช่วยปลดล็อกศักยภาพที่แท้จริงของภาคการเกษตร เพิ่มผลผลิตเพื่อตอบสนองความต้องการในอนาคต ปรับปรุงความโปร่งใสของห่วงโซ่คุณค่า ลดความเสี่ยงให้น้อยที่สุด และเพิ่มรายได้และขีดความสามารถในการแข่งขัน ประเทศไทยมีความพร้อมที่จะเป็นผู้นำด้านนวัตกรรมการเกษตรด้วยการใช้ประโยชน์จากการรวมตัวของอากาศยานไร้คนขับและบล็อกเชนอย่างเป็นยุทธศาสตร์

บทสรุป

การบูรณาการเทคโนโลยีบล็อกเชนและอากาศยานไร้คนขับ ในบทความนี้ได้นำเสนอโซลูชันที่มีแนวโน้มสำหรับการจัดการความท้าทายของงานอารักขาพืชในประเทศไทย โดยการใช้ประโยชน์จากความสามารถในการจัดการข้อมูลที่ปลอดภัยของบล็อกเชนและความสามารถในการเก็บรวบรวมข้อมูลความละเอียดสูงของอากาศยานไร้คนขับ ทำให้เกษตรกรสามารถรับทราบข้อมูลเชิงลึกเกี่ยวกับสุขภาพของพืชแบบเรียลไทม์และตัดสินใจรวดเร็วและแม่นยำเกี่ยวกับการป้องกันกำจัดศัตรูพืช แอปพลิเคชันที่เป็นไปได้ของแพลตฟอร์มอากาศยานไร้คนขับบนฐานบล็อกเชนนั้นมีความหลากหลาย ตั้งแต่การเฝ้าระวังและตรวจวัดประชากรศัตรูพืชและการฉีดพ่นสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชเฉพาะจุดไปจนถึงการจัดการฟาร์มและการตรวจสอบย้อนกลับในห่วงโซ่อุปทาน เทคโนโลยีเหล่านี้ยังสามารถช่วยให้เกิดรูปแบบใหม่ของการประกันภัยการเกษตร ช่วยลดภาระทางการเงินของเกษตรกรและส่งเสริมแนวปฏิบัติที่ยั่งยืน อย่างไรก็ตาม ยังมีความท้าทายหลายประการที่ต้องได้รับการแก้ไข ซึ่งรวมถึงต้นทุนในการดำเนินการ การขาดความรู้ความเชี่ยวชาญทางเทคนิคและโครงสร้างพื้นฐาน และปัญหาด้านกฎระเบียบ เพื่อให้เกิดการตระหนักถึงศักยภาพของเทคโนโลยีเหล่านี้อย่างเต็มที่ จำเป็นต้องมีการวิจัยและพัฒนาเพิ่มเติม การสร้างขีดความสามารถ และความร่วมมือระหว่างภาครัฐและเอกชน ด้วยการลงทุนในเทคโนโลยีบล็อกเชนและอากาศยานไร้คนขับสำหรับการเกษตรประเทศไทยไม่เพียงแต่สามารถปรับปรุงแนวปฏิบัติในการอารักขาพืช แต่ยังเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันทางการเกษตรในตลาดโลกอีกด้วย เนื่องจากโลกกำลังเผชิญกับแรงกดดันที่เพิ่มขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ การเพิ่มขึ้นของประชากร และการขาดแคลนทรัพยากร การนำโซลูชันที่เป็นนวัตกรรมมาใช้ เช่น บล็อกเชนและอากาศยานไร้คนขับ จะมีความสำคัญอย่างยิ่งสำหรับการสร้างระบบอาหารที่ยั่งยืนและมีความยืดหยุ่นในอนาคต

References

- Berni, J. A., Zarco-Tejada, P. J., Suárez, L., & Fereres, E. (2009). Thermal and narrowband multispectral remote sensing for vegetation monitoring from an unmanned aerial vehicle. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 47(3), 722–738.
- Bhandhubanyong, P., & Sirirangsi, P. (2019). *Chapter 3: The development of agricultural tools in Thailand: Case studies of rice and maize*. In S. Sakata (Ed.), *New trends and challenges for agriculture in the Mekong Region: From food security to development of agri-businesses* (pp. 1–28). Bangkok Research Center, JETRO Bangkok/IDE–JETRO.
- Bruce, T. J. A. (2021). Tackling the threat of invasive pests to agriculture by improving our knowledge and developing new technologies. *Outlooks on Pest Management*, 32(1), 12–13.

- Caro, M. P., Ali, M. S., Vecchio, M., & Gioffreda, R. (2018, May). *Blockchain-based traceability in Agri-Food supply chain management: A practical implementation* [Paper presentation]. 2018 IoT Vertical and Topical Summit on Agriculture–Tuscany (IOT Tuscany), IEEE.
- Chantharat, M., & Maikheansarn, V. (2020). *Application of drone used for rice production in Central Thailand* [Paper presentation]. PIM 10th National and 3rd International Conference 2020, Bangkok.
- Charoonpatrapong, T., Namsang, A., & Kongsamutr, N. (2021). A comparison of regulations for agricultural unmanned aerial vehicles in Thailand and foreign countries. *Sripatum Review of Humanities and Social Sciences*, 21(1), 106–121.
- Daponte, P., De Vito, L., Glielmo, L., Iannelli, L., Liuzza, D., Picariello, F., & Silano, G. (2019). A review on the use of drones for precision agriculture. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 275(1), Article 012022. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/275/1/012022>
- Dara, S. K. (2019). The new integrated pest management paradigm for the modern age. *Journal of Integrated Pest Management*, 10(1), 1–9.
- Demestichas, K., Peppes, N., Alexakis, T., & Adamopoulou, E. (2020). Blockchain in agriculture traceability systems: A review. *Applied Sciences*, 10(12), Article 4113.
- Department of Agricultural Extension. (2020). *Department of Agricultural Extension Strategy 2020–2022*. Department of Agricultural Extension.
- Deguine, J.-P., Aubertot, J.-N., Flor, R. J., Lescourret, F., Wyckhuys, K. A. G., & Ratnadass, A. (2021). Integrated pest management: Good intentions, hard realities. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 41(3), 38.
- Devi, K. A., Ranjitha, M., & Divya, M. O. (2023). Blockchain powered IoT platform for autonomous drone operations in smart farming for environment sustainability. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1237, Article 012016. <https://doi:10.1088/1755-1315/1237/1/012016>
- FAO. (2019). *The state of the world's biodiversity for food and agriculture*. FAO.
- Fennimore, S. A., Slaughter, D. C., Siemens, M. C., Leon, R. G., & Saber, M. N. (2016). Technology for automation of weed control in specialty crops. *Weed Technology*, 30(4), 823–837.
- Ferrag, M. A., Shu, L., Yang, X., Derhab, A., & Maglaras, L. (2020). Security and privacy for green IoT-based agriculture: Review, blockchain solutions, and challenges. *IEEE Access*, 8, 32031–32053.
- Freeman, P. K., & Freeland, R. S. (2015). Agricultural UAVs in the US: Potential, policy, and hype. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 2, 35–43.

- Galvez, J. F., Mejuto, J. C., & Simal-Gandara, J. (2018). Future challenges on the use of blockchain for food traceability analysis. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 107, 222–232.
- Gatteschi, V., Lamberti, F., Demartini, C., Pranteda, C., & Santamaria, V. (2018). Blockchain and smart contracts for insurance: Is the technology mature enough?. *Future Internet*, 10(2), Article 20.
- Giles, D. K., & Billing, R. C. (2015). Deployment and performance of a UAV for crop spraying. *Chemical Engineering Transactions*, 44, 307–312.
- Hogan, S. D., Kelly, M., Stark, B., & Chen, Y. (2017). Unmanned aerial systems for agriculture and natural resources. *California Agriculture*, 71(1), 5–14.
- Hwerbi, K., Benalaya, N., Amdouni, I., Laouiti, A., Adjih, C., & Saidane, L. (2022). *A survey on the opportunities of blockchain and UAVs in agriculture* [Paper presentation]. PEMWN 2022 – The 11th IFIP/IEEE International Conference on Performance Evaluation and Modeling in Wired and Wireless Networks, Rome, Italy.
- IPPC. (2024). *Pest reports from Thailand*. <https://www.ippc.int/en/countries/thailand/pestreports/>
- Kamilaris, A., Fonts, A., & Prenafeta-Boldú, F. X. (2019). The rise of blockchain technology in agriculture and food supply chains. *Trends in Food Science & Technology*, 91, 640–652.
- Khanal, S., Fulton, J., & Shearer, S. (2017). An overview of current and potential applications of thermal remote sensing in precision agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 139, 22–32.
- Kim, H., & Laskowski, M. (2018). Toward an ontology-driven blockchain design for supply-chain provenance. *Intelligent Systems in Accounting, Finance and Management*, 25(1), 18–27.
- Kim, S., Lee, D., Jeon, M., Kim, H. G., & Lee, Y.-H. (2022). Recent advances in modeling and simulation for plant disease management. *Plant Disease*, 106(1), 11–23.
- Lezoche, M., Panetto, H., Kacprzyk, J., Hernandez, J. E., & Alemany Díaz, M. M. E. (2020). Agri-food 4.0: A survey of the supply chains and technologies for the future agriculture. *Computers in Industry*, 117, Article 103187. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2020.103187>
- Maes, W. H., & Steppe, K. (2019). Perspectives for remote sensing with unmanned aerial vehicles in precision agriculture. *Trends in Plant Science*, 24(2), 152–164.
- Mao, D., Wang, F., Hao, Z., & Li, H. (2018). Credit evaluation system based on blockchain for multiple stakeholders in the food supply chain. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(8), Article 1627.

- MGR Online. (2023, January 6). *CPF showcases success in using "Blockchain" for product traceability, building confidence and delivering safe food.*
<https://mgronline.com/business/detail/9660000001622>
- Ministry of Agriculture and Cooperatives. (2022). *Agriculture digitalization policy.* (Recommendation for Thailand in support of COVID-19 recovery). <https://www.moac.go.th/foreignagri-news-files-441091791116>
- Mirabelli, G., & Solina, V. (2020). Blockchain and agricultural supply chains traceability: Research trends and future challenges. *Procedia Manufacturing*, 42, 414–421.
<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.02.054>
- Mogili, U. R., & Deepak, B. B. V. L. (2018). Review on application of drone systems in precision agriculture. *Procedia Computer Science*, 133, 502–509.
- Office of Agricultural Economics. (2019). *Agricultural economy in 2019 and trends in 2020.* Office of Agricultural Economics.
- Office of Agricultural Economics. (2020). *Marking Central–Lower Northern regions to study the cost–effectiveness of using drones in rice fields.* <https://www.oae.go.th>
- Patel, K. K., Kar, A., Jha, S. N., & Khan, M. A. (2021). Machine learning in agriculture domain: A state–of–art survey. *Journal of Food Quality*, 4617221.
- Peterson, R. K. D., Higley, L. G., & Pedigo, L. P. (2018). The challenge of pest management in sustainable agricultural systems. *Agronomy Journal*, 110, 1513–1515.
- Puri, V., Nayyar, A., & Raja, L. (2017). Agriculture drones: A modern breakthrough in precision agriculture. *Journal of Statistics and Management Systems*, 20(4), 507–518.
- Radoglou–Grammatikis, P., Sarigiannidis, P., Lagkas, T., & Moscholios, I. (2020). A compilation of UAV applications for precision agriculture. *Computer Networks*, 172, Article 107148.
<https://doi.org/10.1016/j.comnet.2020.107148>
- Sankhao, J., Suphachaiyakit, P., Yuthanawa, N., & Junnoi, N. (2023). Factors affecting intention to use technology and drone innovation in agricultural management in Nakhon Nayok Province. *Vocational Education Central Region Journal*, 7(1), 40–53.
- Sharma, H. C., Sharma, K. K., & Crouch, J. H. (2017). *Climate change effects on pest management and food security.* In *Integrated pest management in the tropics* (pp. 730–764). New India Publishing Agency.

- Singh, A., & Singh, I. K. (2019). *Blockchain technology in agriculture: Opportunities and challenges*. In *Advances in crop science and technology* (pp. 1–10). Springer, Singapore.
https://doi.org/10.1007/978-981-13-8102-7_1
- Sinha, B. B., Dhanalakshmi, R., Latha, P. N., Jayanthi, M., & Sandeep Kumar, T. J. (2020). *Role of blockchain technology for monitoring precision agriculture*. In *AI and IoT-based technologies for sustainable farming and smart agriculture* (pp. 40–51). IGI Global.
- Soyyana, A., Chaovanapoonphol, Y., & Saeliw, K. (2022). Farmer's adoption of drone technology for spraying chemicals in Sankamphaeng District, Chiang Mai Province. *Khon Kaen Agriculture Journal Suppl*, 1, 385–391.
- Steinacker, L., Bhatia, A., & Dimarogonas, D. V. (2019). Design of admissible protocols for self-triggered network control systems. *IEEE Transactions on Control of Network Systems*, 6(4), 1421–1431.
- Stenberg, J. A. (2017). A conceptual framework for integrated pest management. *Trends in Plant Science*, 22(9), 759–769.
- Stöcker, C., Bennett, R., Nex, F., Gerke, M., & Zevenbergen, J. (2017). Review of the current state of UAV regulations. *Remote Sensing*, 9(5), Article 459. <https://doi.org/10.3390/rs9050459>
- Sylvester, G. (Ed.). (2019). *E-agriculture in action: Blockchain for agriculture*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Thansettakij. (2023, February 24). *Thai farmers embrace digital tools, driving drone market growth by 200%*. <https://www.thansettakij.com/technology/technology/581139>
- Trade Strategy and Policy Office. (2023). *The project applies blockchain technology to elevate the trade economy, phase 4 (Final report)*. Trade Strategy and Policy Office, Ministry of Commerce.
- Tripicchio, P., Satler, M., Dabisias, G., Ruffaldi, E., & Avizzano, C. A. (2015, July). *Towards smart farming and sustainable agriculture with drones* [Paper presentation]. 2015 International Conference on Intelligent Environments, IEEE.
- Tripoli, M., & Schmidhuber, J. (2018). *Emerging Opportunities for the Application of Blockchain in the Agri-food Industry*. FAO and ICTSD. <https://www.fao.org/3/CA1335EN/ca1335en.pdf>
- Opanukul, W., Saicomfu, A., Punyawattoe, P., Tiantad, I., Thongdang, B., & Sukprasert, W. (2017). *Drone research for organic agriculture* [Paper presentation]. The 18th TSAE National Conference and 10th TSAE International Conference TSAE: 2017, Bangkok.
- Opanukul, W., Saicomfu, A., Punyawattoe, P., Tiantad, I., & Chongchitmate, P. (2021). *Research and development sprayer drone for microbial pesticide* (Final report). Department of Agriculture.

- Xiong, H., Dalhaus, T., Wang, P., & Huang, J. (2020). Blockchain technology for agriculture: Applications and rationale. *Frontiers in Blockchain*, 3, Article 7.
- Zhang, C., & Kovacs, J. M. (2012). The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture: A review. *Precision Agriculture*, 13(6), 693–712. <https://doi.org/10.1007/s11119-012-9274-5>