

Received: July 31, 2024; Revised: November 19, 2024; Accepted: November 22, 2024

นวัตกรรมการจัดการศัตรูพืชแบบบูรณาการ: คอมพิวเตอร์บอร์ดเดี่ยวขนาดเล็กต้นทุนต่ำ
สำหรับการไล่หนูด้วยเสียง แสง และการสั่นสะเทือน
Innovative IPM: A low-cost, small-sized single-board computer for effective
rodent repellent using sound, light and vibration

ปิยะวิษญ์ ปิยะวัฒน์^{1*} และธวัชชัย ปิยะวัฒน์²
Piyawish Piyawat^{1*} and Thawatchai Piyawat²

¹โรงเรียนหาดใหญ่วิทยาลัย จังหวัดสงขลา

¹Hatyaiwittayalai School, Songkhla Province

²คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จังหวัดสงขลา (ผู้ช่วยศาสตราจารย์เกษียณอายุราชการ)

²Faculty of Management Sciences, Prince of Songkla University, Songkhla Province (Retired Assistant Professor)

*Corresponding Author E-mail Address : jantawan@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาต้นแบบและประเมินประสิทธิภาพของอุปกรณ์ขับไล่หนูแบบหลายประสาทสัมผัสที่ใช้เสียง แสง และการสั่น โดยเน้นถึงประโยชน์ของการใช้วิธีการผสมผสานซึ่งให้ผลดีกว่าการใช้วิธีขับไล่เพียงวิธีใดวิธีหนึ่ง อุปกรณ์พัฒนาขึ้นโดยใช้ Raspberry Pi ที่มีขนาดเล็กและต้นทุนต่ำ และได้รับการทดสอบในด้านประสิทธิภาพในการลดการบุกรุกของหนูโดยใช้การวิเคราะห์ทางสถิติแบบ One-Way ANOVA และ Tukey's HSD อีกทั้งใช้สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน ซึ่งพบว่า การผสมผสานเสียง แสง และการสั่นช่วยลดการบุกรุกของหนูและความเสียหายต่อพืชผลได้อย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับการใช้วิธีใดวิธีหนึ่งเพียงอย่างเดียว ผลการศึกษาเน้นความสำคัญของการจัดการศัตรูพืชแบบบูรณาการ (Integrated Pest Management; IPM) ซึ่งสนับสนุนการผสมผสานวิธีการควบคุมศัตรูพืชที่หลากหลาย การรวมการขับไล่หลายประสาทสัมผัสเข้าด้วยกันสอดคล้องกับหลักการ IPM โดยการสร้างอุปสรรคที่ประสิทธิภาพสูงขึ้นในการป้องกันการปรับตัวของหนูและช่วยลดความเสี่ยงที่หนูจะชินต่อการขับไล่ และการพบความสัมพันธ์เชิงบวกระหว่างระยะเวลาการทำงานของอุปกรณ์กับความถี่การบุกรุกของหนู อาจบ่งชี้ถึงการปรับตัวของหนูเมื่อได้รับการขับไล่เป็นเวลานาน แสดงให้เห็นถึงความจำเป็นในการใช้กลยุทธ์ IPM ที่สามารถปรับเปลี่ยนได้ เพื่อให้การขับไล่หนูมีประสิทธิภาพในระยะยาว ผลการวิจัยนี้ช่วยสนับสนุนการประยุกต์ใช้นวัตกรรมที่มีขนาดเล็กต้นทุนต่ำและกลยุทธ์การควบคุมศัตรูพืชเพื่อการพัฒนาต่อไปในด้านเทคโนโลยีการจัดการศัตรูพืชแบบ IPM ซึ่งสอดคล้องกับเป้าหมายของการเกษตรที่ยั่งยืนและความมั่นคงทางอาหาร

คำสำคัญ: คอมพิวเตอร์บอร์ดเดี่ยว การขับไล่ศัตรูพืช อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง การจัดการศัตรูพืชแบบบูรณาการ สัตว์ฟันแทะ

Abstract

This research aimed to develop a prototype and evaluate the effectiveness of a multi-sensory rat repellent device that uses sound, light, and vibration, emphasizing the benefits of using a combined approach which yields better results than using any single repellent method. The device was developed using a small and low-cost Raspberry Pi and was tested for its effectiveness in reducing rat intrusion using One-Way ANOVA and Tukey's HSD statistical analysis, along with Pearson's correlation coefficient. It was found that the combination of sound, light, and vibration significantly reduced rat intrusion and crop damage compared to the use of any single method alone. The study results emphasized the importance of Integrated Pest Management (IPM), which supports the integration of various pest control methods. The combination of multi-sensory repellents aligns with IPM principles by creating more effective barriers to prevent rat adaptation and help reduce the risk of rats becoming habituated to repellents. The discovery of a positive relationship between device operation duration and rat intrusion frequency could indicate rat adaptation when exposed to repellents for extended periods, demonstrating the need for adaptable IPM strategies to maintain long-term effectiveness in rat control. This research supports the application of small-scale, low-cost innovations and pest control strategies for further development in IPM pest management technology, which aligns with the goals of sustainable agriculture and food security.

Keywords: Single-board computer, Pest deterrence, IoT, IPM, Rodents

บทนำ

ปัญหาหนูในภาคเกษตรกรรมและครัวเรือนเป็นประเด็นสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนและเศรษฐกิจของประเทศไทย โดยเฉพาะในพื้นที่เกษตรกรรมที่เป็นรากฐานสำคัญของประเทศ แม้จะมีโครงการตามแนวพระราชดำริที่ส่งเสริมการพึ่งพาตนเองด้านอาหาร เช่น โครงการ "บ้านนี้มีรัก ปลูกผักกินเอง" ตามแนวพระราชดำริของสมเด็จพระกนิษฐาธิราชเจ้า กรมสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี ซึ่งมุ่งส่งเสริมให้ทุกครัวเรือนมีผักสะอาดปลอดภัยเพื่อการบริโภคอย่างยั่งยืน แต่ปัญหาหนูยังคงเป็นอุปสรรคสำคัญ ข้อมูลจากกรมส่งเสริมการเกษตร (2567) ระบุว่า ในปี 2567 พบการระบาดของหนูในนาข้าวและไร่ข้าวโพด จังหวัดเชียงราย สร้างความเสียหายรวมกว่า 11,095 ไร่ นอกจากนี้ งานวิจัยของ Singleton (2003) ยังชี้ให้เห็นว่า ความเสียหายจากหนูต่อการผลิตข้าวในเอเชีย รวมถึงประเทศไทย เป็นปัญหาที่ร้ายแรง โดยเกษตรกรประสบกับการสูญเสียผลผลิต 20-30% ต่อปี และในบางฤดูกาลอาจเพิ่มขึ้นถึง 50% หรือทำให้ผลผลิตสูญหายทั้งหมด

ในด้านสุขภาพ หนูเป็นพาหะของโรคที่สามารถถ่ายทอดสู่มนุษย์ได้หลายชนิด เช่น โรคฉี่หนู โรคไข้รากสาดใหญ่ กาฬโรค และโรคท้องร่วง โดยในปี 2567 โรคฉี่หนูยังคงเป็นปัญหาสาธารณสุขที่สำคัญของประเทศไทย มีอัตราการเกิดโรคเฉลี่ยต่อปีอยู่ที่ 2.13 รายต่อประชากร 100,000 ราย และมีอัตราการเสียชีวิตอยู่ที่ 0.02 รายต่อประชากร 100,000 ราย โดยเฉพาะในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคใต้ของประเทศ (สำนักระบาดวิทยา, 2567) ในด้านเศรษฐกิจ ข้อมูลจากสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรแสดงให้เห็นว่า ครัวเรือนเกษตรกรในประเทศไทยกว่า 4.5 ล้านครัวเรือน มีหนี้สินมากกว่า 200,000 บาท และ 20% มีหนี้สินมากกว่า 400,000 บาท แม้ว่าปัญหานี้จะมีหลายสาเหตุ แต่ความเสียหายจากศัตรูพืชรวมถึงหนูมีส่วนสำคัญที่ทำให้ผลผลิตและรายได้ของเกษตรกรลดลง (พลากร, 2565) นอกจากนี้ การใช้สารเคมีเกษตรอย่างไม่เหมาะสมเพื่อกำจัดศัตรูพืชยังส่งผลต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของเกษตรกร โดยพบว่าประเทศไทยนำเข้าสารเคมีทางการเกษตร 1.66 ล้านตันในช่วงปี 2551-2561 และมีผู้ป่วยจากพิษสารเคมีเกษตรกว่า 3,067 รายในปี 2562 (จักรพันธ์, 2565) จากสถานการณ์ดังกล่าว การพัฒนานวัตกรรมการขับไล่หนูที่มีประสิทธิภาพจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง โดยเฉพาะการพัฒนาเทคโนโลยีที่มีต้นทุนต่ำและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (Young, 2017) หนึ่งในเทคโนโลยีที่น่าสนใจคือการใช้ระบบอุปกรณ์ที่ขับไล่หนูด้วยการใช้เสียง แสง และการสั่นสะเทือน ซึ่งสามารถผนวกรวมกับเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจสอบและควบคุมแบบเรียลไทม์

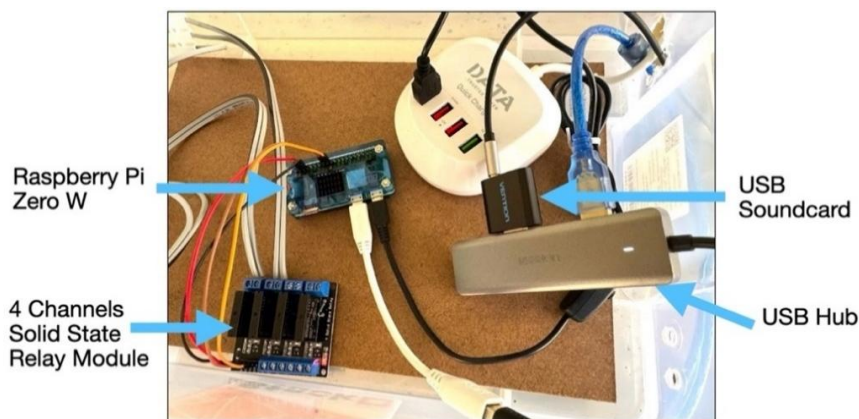
งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการพัฒนาระบบขับไล่หนูโดยใช้ Raspberry Pi ซึ่งเป็นคอมพิวเตอร์บอร์ดเดี่ยวขนาดเล็กที่มีราคาไม่แพง มีความสามารถในการประมวลผลข้อมูล และสามารถเชื่อมต่อกับอุปกรณ์อื่น ๆ ได้หลากหลาย (มาโนชญ์, 2562) ทั้งนี้ Raspberry Pi ได้ถูกนำมาใช้ในการพัฒนาระบบเกษตรอัจฉริยะในหลายรูปแบบ เช่น การควบคุมการใช้น้ำและติดตามการเจริญเติบโตของสมุนไพร (Rahman et al., 2020) การตรวจสอบและวิเคราะห์สภาพแวดล้อมในฟาร์มเลี้ยงไก่ (Jindarat and Wuttidittachotti, 2015) และการพัฒนาระบบปัญญาประดิษฐ์เพื่อระบุประเภทของศัตรูพืช (Albanese et al., 2021) อีกทั้งการพัฒนาแบบขับไล่หนูในงานวิจัยนี้จะเน้นการใช้วัสดุอุปกรณ์ที่มีต้นทุนต่ำและหาได้ง่าย โดยผนวกกับความสามารถของ Raspberry Pi เพื่อสร้างระบบที่มีประสิทธิภาพและยั่งยืน สอดคล้องกับแนวทางการพัฒนาเกษตรอัจฉริยะตามนโยบายเกษตร 4.0 (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2563)

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือเพื่อออกแบบและพัฒนาต้นแบบอุปกรณ์ขับไล่หนูด้วยคอมพิวเตอร์บอร์ดเดี่ยวต้นทุนต่ำ Raspberry Pi ที่ใช้วิธีการขับไล่ด้วยเสียง การส่องสว่าง และการสั่นสะเทือน และเพื่อประเมินประสิทธิภาพของอุปกรณ์ขับไล่หนูที่พัฒนาขึ้นในการปกป้องสภาพเพาะปลูกต้นอ่อนทานตะวัน โดยการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและหาความสัมพันธ์ของจำนวนครั้งที่หนูบุกรุก จำนวนต้นอ่อนทานตะวันที่เสียหาย และจำนวนวินาทีของการทำงานของอุปกรณ์ขับไล่ สมมติฐานของการวิจัยคือ จำนวนครั้งที่หนูบุกรุกแตกต่างกันในการใช้การขับไล่แต่ละแบบและแบบที่ไม่ใช้ระบบขับไล่ จำนวนต้นอ่อนทานตะวันที่ถูกทำลายแตกต่างกันในการใช้การขับไล่แต่ละแบบและแบบที่ไม่ใช้ระบบขับไล่ จำนวนวินาทีของการทำงานของอุปกรณ์ขับไล่แตกต่างกันในการขับไล่แต่ละแบบ และจำนวนครั้งที่หนูบุกรุก จำนวนต้นอ่อนทานตะวันที่เสียหาย และจำนวนวินาทีของการทำงานของอุปกรณ์ขับไล่มีความสัมพันธ์กัน งานวิจัยนี้ดำเนินการทดสอบประสิทธิภาพของอุปกรณ์ขับไล่หนูด้วยวิธีวิจัยเชิงทดลอง โดยศึกษาตัวแปรจำนวน 4 รายการ ประกอบด้วย ตัวแปรต้น คือ วิธีการขับไล่หนู (เสียง แสงสว่าง การสั่นสะเทือน) และตัวแปรตามคือ จำนวนครั้งที่หนูบุกรุก จำนวนต้นอ่อนทานตะวันที่เสียหาย และจำนวนวินาทีของการทำงานของอุปกรณ์ขับไล่ ผลการวิจัยนี้เป็นประโยชน์ต่อทั้งภาคเกษตรกรรมและครัวเรือน รวมถึงเป็นแนวทางในการพัฒนานวัตกรรมการจัดการศัตรูพืชที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมต่อไป

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

ชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการพัฒนาอุปกรณ์ขับไล่หนู

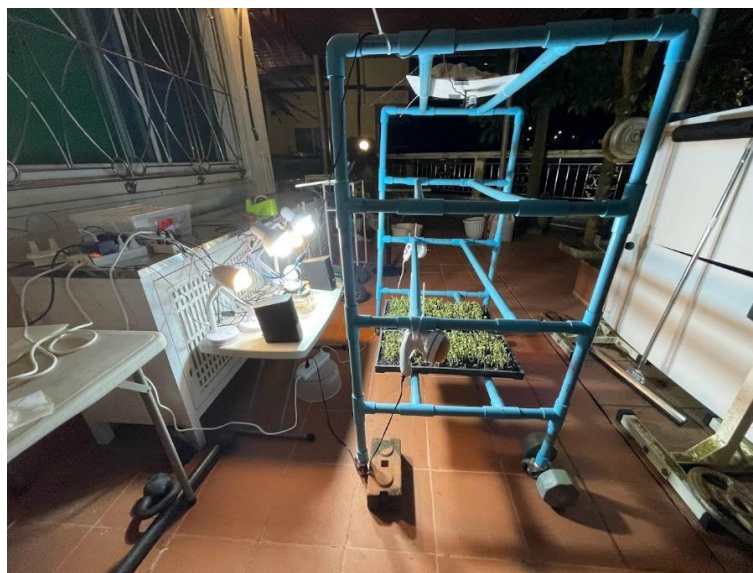
ชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการพัฒนาอุปกรณ์ขับไล่หนูที่ใช้เสียง แสง และการสั่นสะเทือน ได้แก่ Raspberry Pi Zero 2 W ติดตั้ง Ubuntu 22.04.3 server LTS, 4 Channels Solid State Relay module, USB camera, USB soundcard, USB hub, โคมไฟและหลอดไฟ มอเตอร์สั่นสะเทือน ลำโพง กล้องบันทึกภาพการทำงานของอุปกรณ์ และอุปกรณ์เบ็ดเตล็ดอื่น ๆ อาทิ สายไฟ ปลั๊กไฟ เต้าเสียบไฟ ดังแสดงในรูปที่ 1 โดย Raspberry Pi Zero 2 W มีความเหมาะสมด้วยจุดเด่นหลายประการ คือ เป็นไมโครคอมพิวเตอร์แบบบอร์ดเดี่ยว (Single Board Computer; SBC) ที่มาพร้อมกับหน่วยประมวลผล ARM Cortex-A53 แบบ 4 แกนที่ความเร็ว 1 GHz และหน่วยความจำ RAM ขนาด 512 MB ต่างจากบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ทั่วไปที่มีความเร็วและหน่วยความจำจำกัด ทำให้สามารถติดตั้งระบบปฏิบัติการ Ubuntu server 22.04.3 LTS บน microSD card ขนาด 32 GB ได้อย่างสมบูรณ์ บอร์ดนี้มาพร้อมโมดูล Wi-Fi และ Bluetooth ในตัว พร้อมพอร์ต GPIO 40 ขาสำหรับรองรับการขยายระบบด้วยเซ็นเซอร์และอุปกรณ์ต่อพ่วงจำนวนมากในอนาคต ด้วยหน่วยประมวลผลแบบหลายแกนทำให้สามารถจัดการข้อมูลจากเซ็นเซอร์หลายชุดได้อย่างมีประสิทธิภาพ ด้วยต้นทุนประมาณหนึ่งพันบาท จึงเป็นทางเลือกที่คุ้มค่าสำหรับการพัฒนาโครงการที่ต้องการทั้งประสิทธิภาพการประมวลผล การจัดการระบบไฟล์ การเชื่อมต่อเครือข่าย และความยืดหยุ่นในการขยายระบบ



รูปที่ 1 Raspberry Pi Zero 2 W และอุปกรณ์ต่อเชื่อม

หลักการทำงานของอุปกรณ์ขับไล่หนู

ชุดอุปกรณ์ขับไล่หนูที่พัฒนาขึ้นแสดงไว้ในรูปที่ 2 โดยอุปกรณ์ทำงานดังนี้ ส่วนแรกคือการตรวจจับการเคลื่อนไหว โดยระบบจะใช้กล้องเว็บแคมถ่ายภาพอย่างต่อเนื่อง เมื่อมีวัตถุเคลื่อนที่ผ่านหน้ากล้อง ระบบจะทำการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างภาพปัจจุบันกับภาพก่อนหน้า หากตรวจพบการเคลื่อนไหวที่มีขนาดใหญ่เพียงพอ ซึ่งเป็นการป้องกันการตรวจจับผิดพลาดจากสิ่งเล็ก ๆ ระบบจะเริ่มทำงานในขั้นตอนต่อไป ส่วนที่สองคือการตอบสนองเมื่อตรวจพบการเคลื่อนไหว ระบบจะเริ่มจากการบันทึกภาพถ่ายของวัตถุที่เคลื่อนไหวโดยอัตโนมัติ จากนั้นจะเปิดใช้งานอุปกรณ์ป้องกันสามอย่างพร้อมกันได้แก่ การเล่นเสียงรบกวนแบบสุ่มจากไฟล์เสียงที่เตรียมไว้ การเปิดไฟกระพริบ และการเปิดเครื่องสั่นสะเทือน ส่วนที่สาม คือ การบันทึกข้อมูล ระบบจะทำการบันทึกเวลาที่ตรวจพบการเคลื่อนไหวลงใน Log File พร้อมทั้งบันทึกระยะเวลาที่ตรวจพบการเคลื่อนไหวจนกระทั่งไม่พบการเคลื่อนไหว และจัดเก็บภาพถ่ายพร้อมระบุวันและเวลาที่ถ่าย ระบบนี้ถูกออกแบบมาให้ทำงานต่อเนื่องโดยอัตโนมัติ และหากเกิดปัญหากับกล้อง ระบบจะทำการรีบูตคอมพิวเตอร์เพื่อแก้ไขปัญหาโดยอัตโนมัติ จึงเหมาะสำหรับการใช้งานในการเฝ้าระวังและป้องกันพื้นที่โดยไม่ต้องมีเจ้าหน้าที่คอยดูแลตลอดเวลา



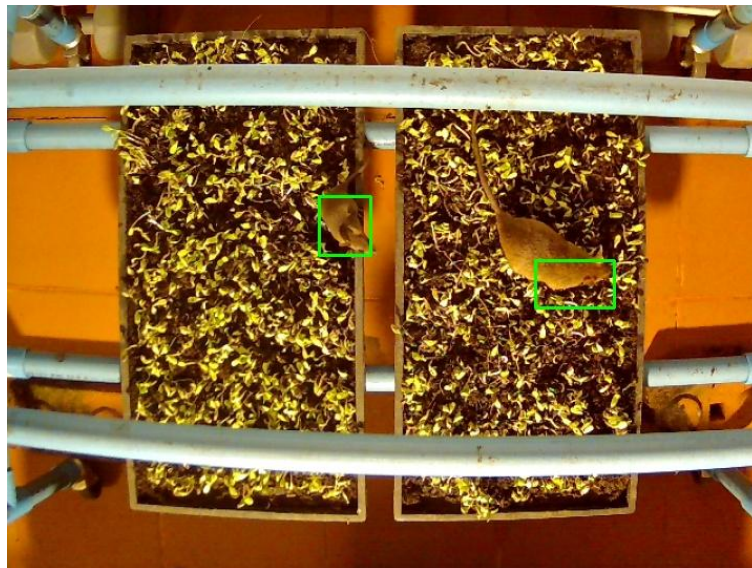
รูปที่ 2 ชุดอุปกรณ์ขับไล่หนูที่พัฒนาขึ้น

โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อควบคุมอุปกรณ์ขับไล่หนู

เนื่องจาก Raspberry Pi Zero 2 W เป็นคอมพิวเตอร์เต็มรูปจึงสามารถติดตั้งระบบปฏิบัติการ Ubuntu 22.04.3 server LTS ได้ โดยระบบปฏิบัติการนี้เป็นระบบปฏิบัติการเทียบเท่ายูนิกซ์ (Unix-like) ที่สมบูรณ์ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ของอุปกรณ์ขับไล่หนูเขียนด้วยภาษา Python โดยใช้ Visual Studio Code เป็น Integrated Development Environment (IDE)

ในการพัฒนาโปรแกรม และใช้ Git ในการเก็บรักษาไฟล์โปรแกรม ระบบขับไล่หนูแบบอัตโนมัตินี้เป็นการผสมผสานเทคโนโลยีหลายด้านเข้าด้วยกัน โดยมีองค์ประกอบหลักคือการใช้กล้องเพื่อตรวจจับการเคลื่อนไหว การควบคุมอุปกรณ์เพื่อป้องกันการบุกรุก และการบันทึกข้อมูลเพื่อการตรวจสอบย้อนหลัง ระบบได้รับการออกแบบให้ทำงานได้อย่างต่อเนื่องและมีประสิทธิภาพ โดยไม่ต้องมีผู้ดูแลตลอดเวลา

การตรวจจับการเคลื่อนไหวในระบบนี้ใช้หลักการประมวลผลภาพดิจิทัลด้วยเทคนิค Frame differencing ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างภาพปัจจุบันกับภาพก่อนหน้า โดยใช้ฟังก์ชัน absdiff ของ OpenCV ซึ่งเป็นไลบรารีที่เป็น Open source สำหรับการประมวลผลภาพและวิดีโอ ระบบจะแปลงภาพสีให้เป็นภาพระดับสีเทา (Grayscale) และใช้การเบลอภาพ (Gaussian blur) เพื่อลดสัญญาณรบกวนที่อาจทำให้เกิดการตรวจจับผิดพลาด โดยรูปที่ 3 แสดงตัวอย่างภาพการตรวจจับการบุกรุกของหนูในแปลงผักทดลอง



รูปที่ 3 ตัวอย่างการตรวจจับการบุกรุกของหนูในแปลงผักทดลอง

เมื่อระบบตรวจพบการเคลื่อนไหว โปรแกรมจะทำการวิเคราะห์ขนาดของวัตถุที่เคลื่อนไหวโดยใช้เทคนิค Contour detection โดยใช้ฟังก์ชัน findContours ของ OpenCV ซึ่งเป็นการหาขอบเขตของวัตถุในภาพ หากขนาดของวัตถุที่เคลื่อนไหวมีขนาดใหญ่มากกว่าค่าที่กำหนดในโปรแกรมแต่ไม่เกิน 10% ของขนาดภาพทั้งหมด ระบบจะถือว่ามีการเคลื่อนไหวที่ต้องตรวจสอบ วิธีนี้ช่วยกรองการเคลื่อนไหวขนาดเล็กที่ไม่สำคัญและการเคลื่อนไหวขนาดใหญ่เกินไปซึ่งอาจเกิดจากความผิดพลาดของกล้องออกไป อีกทั้งระบบได้ถูกออกแบบให้ทำงานแบบขนานโดยใช้เทคโนโลยี Multi-threading ซึ่งทำให้สามารถทำงานหลายอย่างพร้อมกันได้ เมื่อตรวจพบการเคลื่อนไหว ระบบจะเริ่มกระบวนการป้องกันสามส่วนพร้อมกัน ได้แก่ การเล่นเสียงรบกวนแบบสุ่มจากไฟล์เสียงที่แบ่งเป็นส่วนละ 6 วินาที การควบคุมรีเลย์เพื่อเปิดไฟกระพริบ และการควบคุมอุปกรณ์สั่นสะเทือน โดยใช้การควบคุมผ่าน GPIO (General Purpose Input/Output) บอร์ดของ Raspberry Pi โดยใช้ไลบรารี gpiozero ซึ่งออกแบบมาสำหรับการควบคุม GPIO โดยเฉพาะ และใช้รีเลย์สองตัวสำหรับควบคุมไฟกระพริบและอุปกรณ์สั่นสะเทือน รีเลย์เหล่านี้ทำหน้าที่เหมือนสวิตช์ไฟฟ้าที่ควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ เมื่อเริ่มต้นระบบ อุปกรณ์ทั้งหมดจะอยู่ในสถานะปิด และจะทำงานเฉพาะเมื่อตรวจพบการเคลื่อนไหวเท่านั้น

นอกจากนี้ ระบบยังมีการบันทึกข้อมูลอย่างเป็นระบบโดยใช้กลไก Logging ของ Python ซึ่งเป็นมาตรฐานในการจัดการ Log file ระบบบันทึกข้อมูลลงในไฟล์ field.log ดังแสดงในรูปที่ 4 การบันทึกข้อมูลนี้ช่วยให้สามารถตรวจสอบย้อนหลังได้ว่าเกิดเหตุการณ์อะไรขึ้นในช่วงเวลาใด รูปแบบการบันทึกประกอบด้วยเวลาที่เกิดเหตุการณ์และรายละเอียดของเหตุการณ์ นอกจากนี้ ระบบยังบันทึกภาพถ่ายของเหตุการณ์โดยอัตโนมัติ โดยใช้ฟังก์ชัน imwrite ของ OpenCV เพื่อบันทึกภาพในรูปแบบ JPEG พร้อมระบุวันและเวลาในชื่อไฟล์ตามรูปแบบ YYYY-MM-DD-HH-MM-SS อีกทั้งการจัดการความผิดพลาดในระบบได้รับการออกแบบอย่างรอบคอบ มีการตรวจสอบสถานะการทำงานของกล้องอย่างต่อเนื่อง หากพบว่ากล้องไม่สามารถจับภาพได้ ระบบจะส่งรีบูทคอมพิวเตอร์โดยอัตโนมัติ นอกจากนี้ยังมีการจัดการทรัพยากรระบบอย่างมีประสิทธิภาพ โดยใช้

context manager และการลงทะเบียนฟังก์ชัน exit_handler ผ่าน atexit เพื่อให้แน่ใจว่าจะมีการปิดการเชื่อมต่อกล้องอย่างถูกต้องเมื่อโปรแกรมถูกปิด

```
2024-01-08 19:51:39,387 Running Field Protector
2024-01-08 19:51:41,294 Motion is detected.
2024-01-08 19:53:04,269 No motion. Elapsed time is 83 seconds.
2024-01-08 19:56:15,372 Motion is detected.
2024-01-08 19:57:16,771 No motion. Elapsed time is 61 seconds.
2024-01-08 20:16:47,631 Motion is detected.
2024-01-08 20:18:25,364 No motion. Elapsed time is 98 seconds.
2024-01-08 20:42:20,432 Motion is detected.
2024-01-08 20:43:21,814 No motion. Elapsed time is 61 seconds.
2024-01-08 20:56:32,967 Motion is detected.
2024-01-08 20:57:58,556 No motion. Elapsed time is 86 seconds.
2024-01-08 21:31:06,564 Motion is detected.
2024-01-08 21:31:31,500 No motion. Elapsed time is 25 seconds.
```

รูปที่ 4 ตัวอย่าง Log file เก็บเวลาการจับภาพการเคลื่อนไหวที่ถาดเพาะ

ขั้นตอนการทดลอง

- 1) การเตรียมตัวอย่าง วางถาดปลูกต้นอ่อนทานตะวันเหมือนกันในสภาพแวดล้อมที่มีการควบคุม ตรวจสอบให้แน่ใจว่าแต่ละถาดมีการใช้ดิน พันธุ์ทานตะวัน การรดน้ำ และการดูแลรักษาที่เหมือนกัน
- 2) การจัดกลุ่ม สุ่มกำหนดถาดเป็นสี่กลุ่ม เสี่ยง การส่องสว่าง การสั่น และการผสมผสานทั้งสามวิธีร่วมกัน รวมถึงกลุ่มควบคุมที่ไม่มีระบบขับไล่
- 3) การติดตั้งระบบ จัดเตรียมกลไกการขับไล่ที่กำหนดให้กับแต่ละกลุ่ม ซึ่งเชื่อมโยงกับคอมพิวเตอร์บอร์ดเดียวสำหรับการทำงานและการรวบรวมข้อมูลเวลาและรูปภาพการตรวจพบความเคลื่อนไหว ใช้รูปแบบการขับไล่ครั้งละรูปแบบจำนวน 5 วัน
- 4) การรวบรวมข้อมูล ติดตั้งเซ็นเซอร์ตรวจจับความเคลื่อนไหวและกล้องเพื่อบันทึกกิจกรรมของหนูกับถาดเพาะต้นอ่อนทานตะวัน บันทึกจำนวนทานตะวันที่ได้รับความเสียหาย ความถี่และระยะเวลาของการกระตุ้นการใช้อุปกรณ์การขับไล่
- 5) กำหนดการขับไล่ เปิดโปรแกรมในคอมพิวเตอร์บอร์ดเดียวให้เปิดใช้งานอุปกรณ์ขับไล่ตามกำหนดเวลาที่กำหนดประมาณ 17.00-07.00 น.
- 6) ระยะเวลาสังเกต ทำการทดลองในระยะเวลาประมาณ 2 วันในการเตรียมเมล็ดทานตะวัน และอีก 5 วันในการปลูกต้นอ่อนทานตะวัน ซึ่งเพียงพอเพื่อให้ทานตะวันเจริญเติบโตและมีศัตรูพืชเข้ามารบกวน

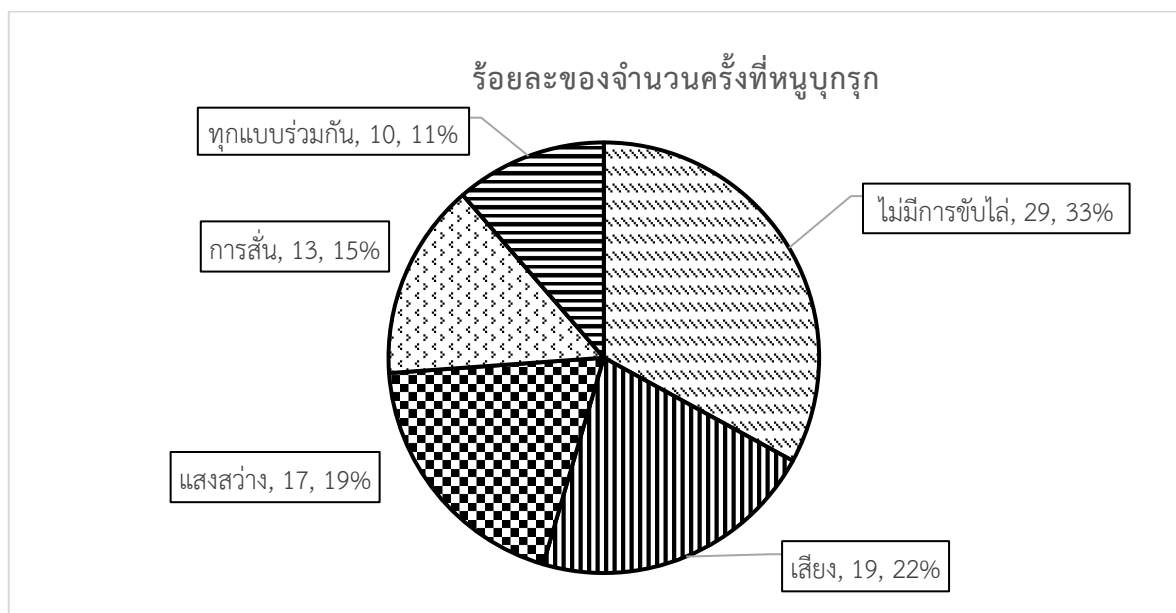
การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลการทดลองมีการใช้ค่าสถิติดังนี้คือ คำนวณความถี่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในทุกกลุ่มของตัวแปรต่อไปนี้ คือ จำนวนครั้งที่หนูบุกรุก จำนวนต้นอ่อนทานตะวันที่ถูกทำลาย และระยะเวลาของการใช้อุปกรณ์ ใช้ค่าสถิติ One-Way ANOVA เพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มที่ใช้อุปกรณ์ขับไล่ที่แตกต่างกันและกลุ่มควบคุม กำหนดระดับนัยสำคัญ 0.05 ในการทดสอบสมมติฐาน ทำการเปรียบเทียบหลังการทดสอบด้วย Tukey's HSD หากพบความแตกต่างที่มีนัยสำคัญ และใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson correlation) เพื่อหาว่าระหว่าง 2 ตัวแปรในด้านการบุกรุกของหนู ความเสียหายต่อต้นอ่อนทานตะวัน และการทำงานของอุปกรณ์ขับไล่ ว่าจะมีความสัมพันธ์กันหรือไม่ ในทิศทางใดและมีขนาดเท่าไร และกำหนดระดับนัยสำคัญ 0.05 ในการทดสอบสมมติฐาน

ผลการวิจัย

เพื่อเป็นการประเมินประสิทธิภาพของอุปกรณ์ขับไล่หนูดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงได้ทำการทดสอบอุปกรณ์ในรูปแบบของการทดลอง โดยแบ่งการเสนอผลวิเคราะห์เป็นดังนี้

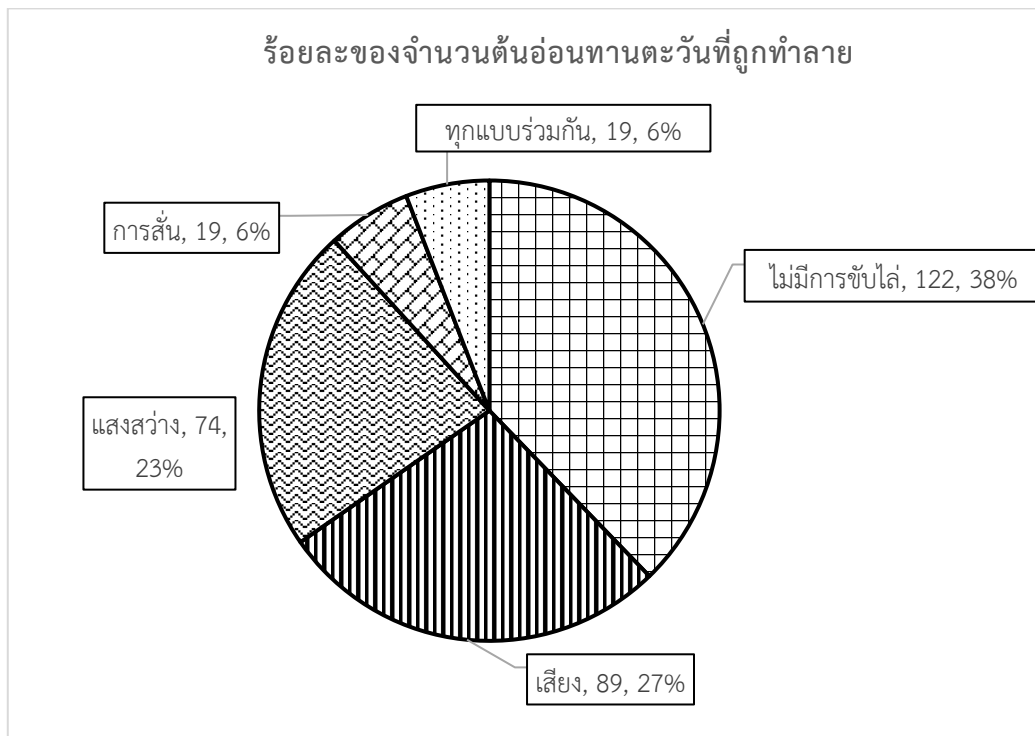
ร้อยละของจำนวนครั้งที่หนูบุกรุก



รูปที่ 5 ร้อยละของจำนวนครั้งที่หนูบุกรุก

จากรูปที่ 5 พบว่า ตลอดระยะเวลา 5 วันในการเพาะปลูกต้นอ่อนทานตะวัน ถาดเพาะที่ไม่มีการใช้อุปกรณ์ขับไล่ใด ๆ มีการบุกรุกของหนูปอยที่สุด จำนวน 29 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 32.95 ตามมาด้วยถาดเพาะที่มีอุปกรณ์ขับไล่หนูด้วยเสียง จำนวน 19 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 21.59 ถาดเพาะที่ใช้อุปกรณ์ให้แสงสว่างในการขับไล่หนู จำนวน 17 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 19.32 ถาดเพาะที่ใช้การสั่นสะเทือนเป็นการขับไล่หนู มีหนูบุกรุกจำนวน 13 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 14.77 และถาดเพาะที่ใช้ อุปกรณ์ขับไล่ร่วมกันทุกแบบ มีหนูบุกรุก 10 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 11.36 แสดงให้เห็นว่า วิธีการขับไล่ที่ใช้ทุกแบบร่วมกันมีประสิทธิภาพมากที่สุด ซึ่งเน้นให้เห็นถึงความจำเป็นในการปรับปรุงระบบขับไล่แบบหลายมิติ ผลการศึกษายังสะท้อนถึงความสำคัญของวิธีการขับไล่ที่ไม่ทำลายล้าง และการตอบสนองของหนูต่อสิ่งเร้าต่าง ๆ แสดงให้เห็นถึงผลกระทบทางจิตวิทยา ซึ่งสอดคล้องกับประเด็นด้านจริยธรรมในการควบคุมศัตรูพืช อีกทั้งจากการสังเกต พบว่า วิธีการขับไล่มีประสิทธิภาพลดลงในระยะเวลาต่อมา ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสัตว์อาจปรับตัวหรือได้รับผลกระทบน้อยลงเมื่อเวลาผ่านไป การค้นพบนี้เน้นถึงความสำคัญของการนำเสนอสิ่งเร้าที่มีความหลากหลายและไม่สามารถคาดการณ์ได้ในกลยุทธ์ IPM เพื่อรักษาประสิทธิภาพการขับไล่

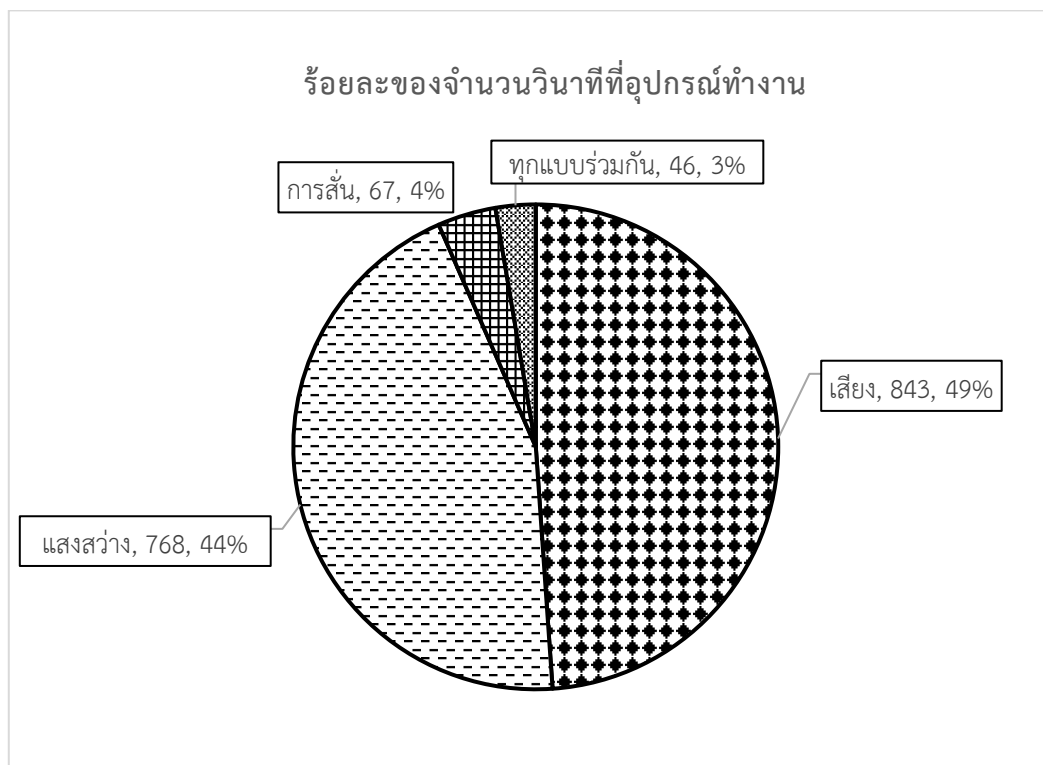
ร้อยละของจำนวนต้นอ่อนทานตะวันที่ถูกหนูทำลาย



รูปที่ 6 ร้อยละของจำนวนต้นอ่อนทานตะวันที่ถูกทำลาย

จากรูปที่ 6 แสดงให้เห็นว่าตลอดระยะเวลา 5 วันของการเพาะปลูกต้นอ่อนทานตะวัน ภายใต้อุปกรณ์ขับไล่ใด ๆ มีต้นอ่อนทานตะวันที่เสียหายมากที่สุด จำนวน 122 ต้น คิดเป็นร้อยละ 37.77 ซึ่งชี้ให้เห็นว่าหนูสามารถแสดงพฤติกรรมทำลายล้างได้โดยไม่มีข้อจำกัดเมื่อไม่มีมาตรการป้องกัน สำหรับอุปกรณ์ขับไล่แบบเดี่ยว อุปกรณ์เสียงมีประสิทธิภาพในระดับปานกลาง โดยมีต้นอ่อนเสียหาย 89 ต้น (คิดเป็นร้อยละ 27.55) ตามมาด้วยอุปกรณ์ที่ใช้แสงสว่างซึ่งมีต้นอ่อนเสียหาย 74 ต้น (คิดเป็นร้อยละ 22.91) ส่วนอุปกรณ์แบบสั่นสะเทือนมีความเสียหายน้อยที่สุด จำนวน 19 ต้น (คิดเป็นร้อยละ 5.88) ซึ่งเป็นจำนวนเท่ากับอัตราเพาะที่ใช้อุปกรณ์ขับไล่แบบบูรณาการระหว่างเสียง แสง และการสั่นสะเทือน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพสูงสุด ความสำเร็จของวิธีการผสมผสานเน้นถึงความสามารถในการสร้างสิ่งแวดล้อมที่ซับซ้อนและไม่สามารถคาดการณ์ได้ ซึ่งช่วยรบกวนพฤติกรรมของหนูและป้องกันการปรับตัว และการที่อุปกรณ์แสงมีประสิทธิภาพมากกว่าอุปกรณ์เสียงชี้ให้เห็นว่าแสงอาจกระตุ้นพฤติกรรมหลีกเลี่ยงได้มากกว่า ในขณะที่ประสิทธิภาพสูงของอุปกรณ์สั่นสะเทือนเพียงอย่างเดียวอาจเกิดจากการสั่นสะเทือนที่กระทบต่อการทรงตัวและเคลื่อนไหวของหนูมากกว่าแบบอื่น ผลลัพธ์นี้ชี้ให้เห็นว่าการขับไล่แบบหลายมิติสามารถลดการพึ่งพาสารเคมีในการจัดการศัตรูพืชแบบบูรณาการ (IPM) ได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยลดความเสียหายของพืชผลอย่างมีประสิทธิภาพและสอดคล้องกับประเด็นทางจริยธรรม

ร้อยละของจำนวนวินาทีที่อุปกรณ์ขับไล่ทำงาน



รูปที่ 7 ร้อยละของจำนวนวินาทีที่อุปกรณ์ทำงาน

จากรูปที่ 7 พบว่า ในการเพาะปลูกต้นอ่อนทานตะวันในภาคเป็นเวลา 5 วัน ภาคเพาะปลูกที่ใช้อุปกรณ์ขับไล่หนูด้วยเสียงมีการทำงานนานที่สุด (843 วินาที คิดเป็นร้อยละ 48.90) อาจสะท้อนถึงประสิทธิภาพที่น้อยกว่าที่คาด เนื่องจากหนูไม่ได้ตอบสนองต่อเสียงในลักษณะที่แสดงความตื่นกลัวหรือหลีกเลี่ยงอย่างชัดเจน ซึ่งอาจหมายความว่าเสียงที่ใช้ไม่ได้ก่อให้เกิดผลกระทบทางจิตวิทยาหรือการกระตุ้นที่เพียงพอในการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของหนู ในขณะเดียวกัน อุปกรณ์แสงสว่างที่มีการทำงานรองลงมา (768 วินาที คิดเป็นร้อยละ 44.55) อาจแสดงถึงผลกระทบที่ดีกว่าเล็กน้อย แต่ยังไม่สามารถลดการปรากฏตัวของหนูได้อย่างมีนัยสำคัญ ในทางกลับกัน อุปกรณ์การสั่นสะเทือนที่มีการทำงานเพียง 67 วินาที (คิดเป็นร้อยละ 3.89) และอุปกรณ์บูรณาการที่ทำงานเพียง 46 วินาที (คิดเป็นร้อยละ 2.67) อาจบ่งชี้ว่าหนูตอบสนองต่อสิ่งเร้าเหล่านี้ได้รวดเร็วกว่า ผลลัพธ์นี้แสดงให้เห็นว่าการใช้อุปกรณ์ขับไล่แบบเสียงเพียงอย่างเดียวอาจไม่เหมาะสมสำหรับการจัดการศัตรูพืช เนื่องจากไม่ได้สร้างผลกระทบที่เด่นชัดต่อพฤติกรรมของหนู การลดลงของเวลาการทำงานของอุปกรณ์บูรณาการยังอาจชี้ว่าหนูได้รับผลกระทบจากสิ่งเร้าที่หลากหลายมากกว่า ทำให้พฤติกรรมการหลีกเลี่ยงเกิดขึ้นเร็วกว่าการใช้เสียงหรือแสงสว่างเพียงอย่างเดียว

ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของจำนวนครั้งที่หนูบุกรุก จำนวนต้นอ่อนทานตะวันที่ถูกทำลาย และจำนวนวินาทีที่อุปกรณ์ขับไล่ทำงานเปรียบเทียบในแต่ละกลุ่มการทดลอง

ผลการใช้เครื่องขับไล่	กลุ่ม	ค่าเฉลี่ย	S.D.	df	F	P
จำนวนครั้งที่ หนูบุกรุก	ไม่มีการขับไล่	5.80	2.49	4	2.40	0.08
	เสียง	3.80	1.94			
	แสงสว่าง	3.40	2.33			
	การสั่น	2.60	1.36			
	ทุกแบบร่วมกัน	2.00	1.26			
จำนวนทานตะวัน ที่เสียหาย	ไม่มีการขับไล่	24.40	18.96	4	2.26	0.10
	เสียง	17.80	13.70			
	แสงสว่าง	14.80	12.70			
	การสั่น	3.80	1.94			
	ทุกแบบร่วมกัน	3.80	2.71			
จำนวนวินาทีที่อุปกรณ์ ขับไล่ทำงาน	เสียง	168.60	122.90	3	3.58	0.04*
	แสงสว่าง	153.60	135.77			
	การสั่น	13.40	7.71			
	ทุกแบบร่วมกัน	9.20	6.18			

หมายเหตุ: * ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

จากตารางที่ 1 พบว่า ถาดเพาะที่ไม่มีอุปกรณ์การขับไล่ โดยมีค่าเฉลี่ยของจำนวนครั้งที่หนูบุกรุกคือ 5.80 ครั้งต่อวัน (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน = 2.49) กลุ่มนี้ทำหน้าที่เป็นกลุ่มพื้นฐานในการเปรียบเทียบ ถาดเพาะที่ใช้อุปกรณ์เสียงมีค่าเฉลี่ยของหนูบุกรุกลดลงเหลือ 3.80 ครั้งต่อวัน (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน = 1.94) ถาดเพาะที่ใช้อุปกรณ์ขับไล่ด้วยแสงสว่างมีหนูบุกรุกโดยเฉลี่ย 3.40 ครั้งต่อวัน (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน = 2.33) ส่วนถาดเพาะที่ใช้อุปกรณ์ขับไล่แบบสั่นมีหนูบุกรุกโดยเฉลี่ย 2.60 ครั้งต่อวัน (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน = 1.36) และถาดที่ใช้อุปกรณ์ขับไล่ทุกแบบร่วมกันมีการบุกรุกโดยเฉลี่ยเพียง 2.00 ครั้งต่อวัน (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน = 1.26) อย่างไรก็ตามไม่พบว่า กลุ่มการทดลองต่างกันจะมีจำนวนครั้งที่หนูบุกรุกแตกต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 แสดงให้เห็นว่าค่าเฉลี่ยของจำนวนครั้งที่หนูบุกรุกลดลงอย่างต่อเนื่องจากกลุ่มที่ไม่มีอุปกรณ์ขับไล่ ไปจนถึงกลุ่มที่ใช้อุปกรณ์ขับไล่แบบบูรณาการ แม้ผลลัพธ์นี้จะแสดงให้เห็นถึงแนวโน้มที่ดีขึ้นของประสิทธิภาพการขับไล่ แต่ความแตกต่างดังกล่าวไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ซึ่งบ่งชี้ว่าอุปกรณ์ขับไล่อาจมีผลต่อพฤติกรรมของหนู แต่ประสิทธิภาพอาจได้รับอิทธิพลจากปัจจัยอื่น ๆ เช่น ความแตกต่างเฉพาะตัวของหนูหรือสภาพแวดล้อม

ในด้านความเสียหายของต้นอ่อนทานตะวัน แนวโน้มของผลลัพธ์เป็นไปในทิศทางเดียวกับความถี่ของการบุกรุก โดยกลุ่มที่ไม่มีอุปกรณ์ขับไล่มีต้นอ่อนเสียหายสูงสุด (ค่าเฉลี่ย = 24.40, ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน = 18.96) และลดลงในกลุ่มที่ใช้อุปกรณ์สั่นสะเทือน (ค่าเฉลี่ย = 3.80, ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน = 1.94) และกลุ่มที่ใช้อุปกรณ์บูรณาการ (ค่าเฉลี่ย = 3.80, ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน = 2.71) อย่างไรก็ตาม ความแตกต่างระหว่างกลุ่มไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า แม้อุปกรณ์ขับไล่จะลดความเสียหายได้ แต่ยังคงมีความแปรปรวนในผลลัพธ์ที่ชี้ให้เห็นถึงความซับซ้อนของปฏิสัมพันธ์ระหว่างหนูกับอุปกรณ์ขับไล่

ในด้านระยะเวลาการทำงานของอุปกรณ์ขับไล่เมื่อมีหนูบุกรุก พบความแตกต่างที่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยกลุ่มที่ใช้อุปกรณ์เสียงมีระยะเวลาการทำงานเฉลี่ยนานที่สุด (ค่าเฉลี่ย = 168.60 วินาที, ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน = 122.90) รองลงมาคือกลุ่มแสงสว่าง (ค่าเฉลี่ย = 153.60 วินาที, ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน = 135.77) ส่วนกลุ่มการสั่นสะเทือน (ค่าเฉลี่ย = 13.40 วินาที, ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน = 7.71) และกลุ่มบูรณาการ (ค่าเฉลี่ย = 9.20 วินาที, ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน = 6.18) มีระยะเวลาการทำงานน้อยที่สุด แม้ว่าผลการวิเคราะห์แบบ Tukey's HSD Test จะไม่พบคู่ใดที่แตกต่างกัน

อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่รูปแบบของผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าหนูอาจตอบสนองต่อสิ่งเร้าจากอุปกรณ์บูรณาการได้เร็วกว่าเนื่องจากสิ่งเร้าที่หลากหลายอาจสร้างผลกระทบทางจิตวิทยา ทำให้หนูหลีกเลี่ยงพื้นที่ได้อย่างรวดเร็ว

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

ตารางที่ 2 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ระหว่างจำนวนวินาทีที่อุปกรณ์ทำงาน จำนวนต้นอ่อนทานตะวันที่ถูกทำลาย และจำนวนครั้งที่หนูบุกรุก

	จำนวนวินาทีที่อุปกรณ์ทำงาน	จำนวนครั้งที่หนูบุกรุก	จำนวนต้นอ่อนที่ถูกทำลาย
จำนวนวินาทีที่อุปกรณ์ทำงาน	1.000	-	-
จำนวนครั้งที่หนูบุกรุก	0.807**	1.000	-
จำนวนต้นอ่อนที่ถูกทำลาย	0.885**	0.811**	1.000

หมายเหตุ: ** ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

ตารางที่ 2 แสดงผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนวินาทีที่อุปกรณ์ขับไล่ทำงาน จำนวนครั้งที่หนูบุกรุก และจำนวนต้นอ่อนที่ถูกทำลาย พบว่า ตัวแปรทั้งหมดมีความสัมพันธ์ในทิศทางบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 การค้นพบนี้ชี้ให้เห็นถึงปฏิสัมพันธ์เชิงระบบระหว่างพฤติกรรมของหนูกับการทำงานของอุปกรณ์ขับไล่ และผลกระทบต่อการสูญเสียในแง่ของพืชผล ความสัมพันธ์เชิงบวกที่สูงมากระหว่างจำนวนครั้งที่หนูบุกรุกกับเวลาทำงานของอุปกรณ์ขับไล่ ($r = 0.807$) อาจสะท้อนถึงความท้าทายที่อุปกรณ์ขับไล่ยังไม่สามารถยับยั้งพฤติกรรมของหนูได้อย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อจำนวนการบุกรุกเพิ่มขึ้น อุปกรณ์จึงจำเป็นต้องทำงานนานขึ้นเพื่อตอบสนองต่อการบุกรุกของหนูในพื้นที่เป้าหมาย ความสัมพันธ์นี้ยังชี้ให้เห็นถึงข้อจำกัดในการออกแบบหรือปรับตั้งค่าของอุปกรณ์ เช่น การตอบสนองของอุปกรณ์อาจไม่เพียงพอต่อการยับยั้งการบุกรุกซ้ำ ๆ ของหนู ในขณะที่ความสัมพันธ์เชิงบวกที่สูงมากระหว่างจำนวนต้นอ่อนที่ถูกทำลายกับเวลาทำงานของอุปกรณ์ขับไล่ ($r = 0.885$) แสดงให้เห็นถึงความซับซ้อนในพฤติกรรมของหนูที่อาจยังคงทำลายต้นอ่อนอยู่ แม้ว่าอุปกรณ์จะทำงานอย่างต่อเนื่อง อาจเป็นเพราะอุปกรณ์ไม่สามารถสร้างแรงกระตุ้นเชิงลบที่เพียงพอ หรือหนูสามารถปรับตัวต่อสิ่งเร้าที่อุปกรณ์สร้างขึ้น นอกจากนี้ ความสัมพันธ์เชิงบวกระหว่างจำนวนครั้งที่หนูบุกรุกกับจำนวนต้นอ่อนที่ถูกทำลาย ($r = 0.811$) บ่งบอกว่าความถี่ของการบุกรุกส่งผลโดยตรงต่อความเสียหายต่อพืชผล โดยที่การป้องกันที่ไม่เพียงพอจากอุปกรณ์ขับไล่ทำให้เกิดการสูญเสียที่ชัดเจนขึ้น

การอภิปรายผล

การจัดการศัตรูพืชแบบบูรณาการ (IPM) ได้รับการพิสูจน์ว่าเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพในการควบคุมศัตรูพืช โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการจัดการปัญหาการรบกวนจากหนูในพื้นที่เพาะปลูก ผลการวิจัยในครั้งนี้ได้แสดงให้เห็นว่าการบูรณาการวิธีการควบคุมหลายรูปแบบ ทั้งการใช้เสียง แสงสว่าง และการสั่นสะเทือน สามารถให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าการใช้วิธีการใดวิธีการหนึ่งเพียงอย่างเดียวอย่างมีนัยสำคัญ จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวและการทดสอบ Tukey's HSD พบว่า วิธีการควบคุมแบบบูรณาการสามารถลดจำนวนการบุกรุกและความเสียหายต่อต้นอ่อนทานตะวันได้อย่างมีประสิทธิภาพ สอดคล้องกับแนวทางของ United States Environmental Protection Agency (EPA) (2023) ที่กล่าวว่าการใช้วิธีการควบคุมที่หลากหลายจะมีประสิทธิภาพมากกว่าการพึ่งพาวิธีการเดียว โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการจัดการกับศัตรูพืชที่มีความสามารถในการปรับตัวสูงเช่นหนู

นอกจากนี้งานวิจัยพบความสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างระยะเวลาการทำงานของอุปกรณ์ขับไล่ จำนวนครั้งของการบุกรุก และความเสียหายที่เกิดขึ้น ซึ่งชี้ให้เห็นถึงความสำคัญของการพัฒนาระบบ IPM ที่มีความยืดหยุ่น และสามารถปรับเปลี่ยนได้ตามสถานการณ์ เนื่องจากหนูมีแนวโน้มที่จะพัฒนาความทนทานต่อวิธีการควบคุมเมื่อเวลาผ่านไป และในด้านประสิทธิภาพของวิธีการควบคุมแต่ละแบบ พบว่า การสั่นสะเทือนให้ผลดีที่สุด ตามด้วยแสงสว่าง และเสียงตามลำดับ ข้อค้นพบนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Carman et al. (2007) ที่เน้นย้ำถึงความสำคัญของการสั่นสะเทือนในการควบคุมสัตว์ฟันแทะ ข้อมูลนี้มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการออกแบบระบบ IPM ที่มีประสิทธิภาพ โดยสามารถนำไปใช้ในการจัดลำดับความสำคัญของวิธีการควบคุมและการจัดสรรทรัพยากรได้อย่างเหมาะสม นอกจากนี้ ผลการวิจัยยังแสดงให้เห็นว่า

วิธีการควบคุมแบบบูรณาการใช้เวลาในการขับไล่แมลงน้อยที่สุด ซึ่งมีนัยสำคัญต่อการพัฒนาระบบ IPM ที่มีประสิทธิภาพทางต้นทุน การลดระยะเวลาในการควบคุมไม่เพียงแต่ช่วยประหยัดพลังงานและทรัพยากรเท่านั้น แต่ยังช่วยลดโอกาสที่ศัตรูพืชจะพัฒนาความต้านทานต่อวิธีการควบคุมอีกด้วย

การพัฒนาต้นแบบอุปกรณ์ขับไล่แมลงโดยใช้ Raspberry Pi ในการศึกษาครั้งนี้ยังแสดงให้เห็นถึงศักยภาพของการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีดิจิทัลในระบบ IPM สมัยใหม่ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Ghorse et al. (2022) ที่เน้นการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมศัตรูพืช การผสมผสานเทคโนโลยีดิจิทัลเข้ากับหลักการ IPM อาจนำไปสู่การพัฒนาระบบควบคุมศัตรูพืชที่มีความแม่นยำและประสิทธิภาพสูงขึ้น การศึกษานี้ยังสนับสนุนแนวคิดของ IPM ในด้านการลดการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช โดยแสดงให้เห็นว่าวิธีการทางกายภาพที่ไม่ใช้สารเคมีสามารถมีประสิทธิภาพสูงในการควบคุมศัตรูพืชเมื่อใช้ร่วมกันอย่างเหมาะสม ซึ่งสอดคล้องกับเป้าหมายด้านความยั่งยืนและการรักษาสีเขียวของ IPM

ในแง่ของผลกระทบทางจิตวิทยาต่อพฤติกรรมของหนู การวิจัยพบว่า การใช้วิธีการขับไล่แบบบูรณาการส่งผลกระทบต่อพฤติกรรมการกินของหนู โดยการสัมผัสกับแสงสีฟ้ามีผลกระทบทางจิตวิทยาที่รุนแรงที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีวิวัฒนาการของระบบประสาทสัมผัสในสัตว์ฟันแทะที่พัฒนาขึ้นเพื่อตอบสนองต่อภัยคุกคามในธรรมชาติ (Fernández-Jurícic, 2016) การที่หนูยังคงพยายามบุกรุกแม้จะเผชิญกับสิ่งรบกวนเป็นเวลานาน แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการพัฒนาความทนทานต่อสิ่งเร้าที่ไม่พึงประสงค์ โดยเฉพาะเมื่อมีแรงจูงใจทางด้านอาหารที่มากพอ อย่างไรก็ตาม วิธีการขับไล่แบบบูรณาการสร้างสภาพแวดล้อมที่ทำลายความสามารถในการปรับตัวของหนูมากที่สุด เนื่องจากต้องรับมือกับสิ่งเร้าหลายรูปแบบพร้อมกัน ข้อค้นพบที่น่าสนใจอีกประการหนึ่งคือการที่หนูตอบสนองต่อแสงสว่างได้ดีกว่าเสียงเล็กน้อย ซึ่งอาจสะท้อนถึงลำดับความสำคัญของระบบประสาทสัมผัสในการประเมินภัยคุกคาม ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการทำงานของอุปกรณ์กับความเสียหายที่เพิ่มขึ้น ยังเน้นย้ำถึงความซับซ้อนของกระบวนการตัดสินใจในสมองของหนูภายใต้ภาวะความเครียด

อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้มีข้อจำกัดบางประการที่ควรพิจารณาในการพัฒนาระบบ IPM ในอนาคต เช่น การไม่ได้ศึกษาผลกระทบระยะยาวต่อพฤติกรรมของประชากรหนู และการไม่ได้ทดสอบในสภาพแวดล้อมที่หลากหลาย นอกจากนี้ ยังไม่ได้มีการวัดระดับความเครียดทางสรีรวิทยาของหนูโดยตรง การวิจัยในอนาคตควรศึกษาตัวชี้วัดทางสรีรวิทยาของความเครียด และติดตามการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของประชากรหนูในระยะยาว โดยสรุป งานวิจัยนี้ได้ให้ข้อมูลเชิงลึกที่มีคุณค่าเกี่ยวกับประสิทธิภาพของการจัดการศัตรูพืชแบบบูรณาการและผลกระทบทางจิตวิทยาของวิธีการควบคุมต่อพฤติกรรมของหนู ผลการวิจัยสนับสนุนการใช้วิธีการควบคุมหลายรูปแบบร่วมกัน และชี้ให้เห็นถึงความสำคัญของการพัฒนาระบบที่มีความยืดหยุ่นและสามารถปรับเปลี่ยนได้ การบูรณาการเทคโนโลยีดิจิทัลเข้ากับหลักการ IPM อาจเป็นก้าวสำคัญในการพัฒนาวิธีการควบคุมศัตรูพืชที่มีประสิทธิภาพและยั่งยืนมากขึ้นในอนาคต

บทสรุป

การวิจัยนี้นำเสนอความก้าวหน้าที่สำคัญในการจัดการศัตรูพืชแบบบูรณาการ (IPM) โดยเฉพาะในการควบคุมหนูที่สร้างความเสียหายในพื้นที่เกษตรกรรม ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการผสมผสานวิธีการควบคุมสามรูปแบบ ได้แก่ การใช้แสงสว่าง และการสัมผัสเสียง มีประสิทธิภาพสูงกว่าการใช้วิธีการใดวิธีการหนึ่งเพียงอย่างเดียว ประโยชน์ที่โดดเด่นของระบบนี้คือการนำเทคโนโลยี Raspberry Pi มาประยุกต์ใช้ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการพัฒนาเป็นอุปกรณ์ที่มีต้นทุนต่ำและสามารถนำไปใช้ได้อย่างแพร่หลาย นอกจากภาคการเกษตรแล้ว เทคโนโลยีนี้ยังสามารถประยุกต์ใช้ในการควบคุมหนูในสภาพแวดล้อมอื่น ๆ เช่น คลังสินค้า โรงงานอุตสาหกรรม และพื้นที่จัดเก็บอาหาร ในด้านผลกระทบทางเศรษฐกิจ ระบบนี้แสดงให้เห็นถึงความคุ้มค่าที่โดดเด่น เนื่องจากสามารถลดความเสียหายต่อผลผลิตและทรัพยากรจากการรบกวนของหนูได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งยังช่วยประหยัดทรัพยากรและพลังงานเพราะใช้เวลาในการขับไล่แมลงน้อยกว่าวิธีการดั้งเดิม นอกจากนี้ ยังช่วยลดการพึ่งพาสารเคมีกำจัดศัตรูพืชซึ่งมีราคาแพงและอาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ความยืดหยุ่นของระบบที่สามารถปรับเปลี่ยนการทำงานได้ตามสถานการณ์ยังเพิ่มประสิทธิภาพในการควบคุมศัตรูพืชในระยะยาว ที่สำคัญการศึกษานี้สอดคล้องกับแนวทางขององค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา (EPA) และแนวโน้มการเกษตรยั่งยืน โดยนำเสนอทางเลือกที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมในการจัดการศัตรูพืช การผสมผสานเทคโนโลยีดิจิทัลเข้ากับหลักการ IPM ยังเปิดโอกาสในการพัฒนาระบบควบคุมศัตรูพืชที่มีความแม่นยำและประสิทธิภาพสูงขึ้นในอนาคต อย่างไรก็ตาม การวิจัยในอนาคตควรมุ่งเน้นการศึกษาผลกระทบระยะยาวและการทดสอบในสภาพแวดล้อมที่หลากหลายมากขึ้น เพื่อยืนยันประสิทธิภาพของ

ระบบในการใช้งานจริง ทั้งนี้ศักยภาพของเทคโนโลยีนี้ในการลดความเสียหายทางเศรษฐกิจจากหนูและศัตรูพืชอื่น ๆ ถือเป็นก้าวสำคัญในการพัฒนาวิธีการควบคุมศัตรูพืชที่ยั่งยืนและมีประสิทธิภาพสูง โดยสรุป นวัตกรรมนี้ไม่เพียงแต่นำเสนอวิธีการควบคุมหนูที่มีประสิทธิภาพเท่านั้น แต่ยังแสดงให้เห็นถึงโอกาสในการพัฒนาเทคโนโลยีการเกษตรที่ทันสมัย คุ่มค่าทางเศรษฐกิจ และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในวงกว้างเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตในภาคการเกษตรและอุตสาหกรรมของประเทศ

เอกสารอ้างอิง

- กรมส่งเสริมการเกษตร. (2567). ปลุกข้าว-ข้าวโพด ช่วงนี้เริ่มให้ผล ระวังหนูทำลายเสียหาย. ค้นเมื่อ 14 พฤศจิกายน 2567. <https://doanews.doae.go.th/archives/24307>.
- จักรพันธ์ นาน่วม. (2565). ความ (ไม่) ยั่งยืนของการทำนาข้าวในภาคตะวันออกของประเทศไทย. วารสารวิจัยสังคม. 45(2): 34-58.
- พลากร ดวงเกิด. (2565). หนี้สินครัวเรือนเกษตรกรของประเทศไทย: ความท้าทายที่ต่อเนื่อง. วารสารประชากรศาสตร์. 38(1): 60-71.
- มาโนชญ์ แสงศิริ. (2562). Raspberry Pi คอมพิวเตอร์ขนาดเล็กสำหรับด้านการศึกษา. ค้นเมื่อ 10 ธันวาคม 2566. <https://www.scimath.org/article-technology/item/9104-raspberry-pi>.
- สำนักกระบวนวิทยา. (2567). รายงานโรคในระบบเผ่าระวัง. ค้นเมื่อ 20 มิถุนายน 2567. http://doe.moph.go.th/surdata/506wk/y67/d43_2367.pdf.
- สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช). (2563). Smart Farming การเกษตรอัจฉริยะ. ค้นเมื่อ 25 กันยายน 2566. <https://waa.inter.nstda.or.th/stks/pub/2020/20200313-smart-farming.pdf>.
- Albanese A., Nardello M. and Brunelli D. (2021). Automated pest detection with DNN on the edge for precision agriculture. Accessed 6 August 2023. <https://arxiv.org/abs/2108.00421>.
- Carman R.A., Quimby F.W. and Glickman G.M. (2007). The effect of vibration on pregnant laboratory mice. In INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings. Istanbul, Turkey. 1722-1731.
- Fernández-Juricic E. (2016). The role of animal sensory perception in behavior-based management. Accessed 20 September 2023. <https://estebanfbio.purdue.edu/papers/Ch6ConservBehav.pdf>.
- Ghorse V., Kene J. and Agrawal R. (2022). Arduino based insect & rodent repeller for living & working spaces. Accessed 20 September 2023. https://www.researchgate.net/publication/368314978_Arduino_based_insect_rodent_repeller_for_living_working_spaces.
- Jindarat S. and Wuttidittachotti P. (2015). Smart farm monitoring using Raspberry Pi and Arduino. In International Conference on Computer, Communications, and Control Technology (I4CT) Proceeding 2-4 September 2014. Kuching. Malaysia. 284-288.
- Rahman W., Hossain E., Islam R. and Rashid H.A. (2020). Real-time and low-cost IoT based farming using Raspberry Pi. Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science. 17(1): 197-204.
- Singleton G. (2003). Impacts of rodents on rice production in Asia. Accessed 15 November 2024. http://books.irri.org/971220183X_content.pdf.
- United States Environmental Protection Agency (EPA). (2023). Integrated pest management (IPM) principles. Accessed 20 September 2023. <https://www.epa.gov/safepestcontrol/integrated-pest-management-ipm-principles>.

Young S.L. (2017). A systematic review of the literature reveals trends and gaps in integrated pest management studies conducted in the United States. *Pest Management Science*. 73(8): 1553-1558.