

ระบบควบคุมสภาพแวดล้อมสำหรับฟาร์มไส้เดือนโดยใช้เทคโนโลยี IoT เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตมูลไส้เดือน

IoT-Based Environmental Control System for Vermiculture to Enhance Vermicompost Production Efficiency

คณินุช สารอินจัน¹ นราวิชญ์ ความหมั่น¹ ศิริประภา ศรีทอง² และ สุขุมาล ต้วสกุล^{1*}

Khanuengnuch Saninjak¹ Naravit Khwamman¹ Siriprapa Sreetong² and Sukumal Tauwsakul^{1*}

¹คณะบริหารธุรกิจและศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปาง จังหวัดลำปาง 52000

²คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปาง จังหวัดลำปาง 52000

¹Faculty of Business Administration and Liberal Arts, Rajamangala University of Technology

Lanna Lampang, Lampang Province, 52000

²Faculty of Science and Agricultural Technology, Rajamangala University of Technology Lanna Lampang,

Lampang Province, 52000

*Corresponding author E-mail: sukumal@rmu.ac.th

Received 26 June 2025, Accepted 28 October 2025, Published 2 June 2026

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) พัฒนาระบบควบคุมสภาพแวดล้อมอัจฉริยะสำหรับฟาร์มไส้เดือนโดยใช้เทคโนโลยี Internet of Things (IoT) 2) ศึกษาผลของระบบต่อการเลี้ยงไส้เดือนสายพันธุ์ African Nightcrawler (AF) และ Blue Worm (Blue) และ 3) วิเคราะห์ผลผลิตมูลไส้เดือน ปริมาณจุลินทรีย์ และการเจริญเติบโตของไส้เดือน ภายใต้สภาพแวดล้อมที่ควบคุมด้วย IoT ระบบประกอบด้วยเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น (DHT11) เซ็นเซอร์วัดความชื้นดิน และไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 เชื่อมต่อข้อมูลผ่านแอปพลิเคชันแบบเรียลไทม์ การทดลองดำเนินการระหว่างวันที่ 15 กุมภาพันธ์ ถึง 1 มีนาคม 2568 ณ ศูนย์การเรียนรู้แบบบูรณาการศาสตร์ ชมรมชมพ้ออาสา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปาง โดยเป็นการทดลองในรอบการผลิตเดียว วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติพรรณนา (ค่าเฉลี่ย) และใช้ t-Test: Paired Two Sample for Means เพื่อเปรียบเทียบผลระหว่างกลุ่มทดลอง พร้อมคำนวณปริมาณจุลินทรีย์ด้วยสมการทางชีวภาพ ผลการวิจัยพบว่า 1) ระบบ IoT เพิ่มผลผลิตมูลไส้เดือนและความยาวเฉลี่ยของไส้เดือนสายพันธุ์ AF อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 2) ระบบสามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นได้แม่นยำส่งผลให้ไส้เดือนเจริญเติบโตดีขึ้น 3) กลุ่มทดลองที่ใช้ IoT มีปริมาณจุลินทรีย์สูงกว่ากลุ่มควบคุม แต่มีความหลากหลายของชนิดจุลินทรีย์น้อยกว่า ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าระบบ IoT มีศักยภาพในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต และสามารถประยุกต์ใช้ในฟาร์มไส้เดือนเชิงพาณิชย์เพื่อเพิ่มผลผลิตและยกระดับการจัดการฟาร์มได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: ไส้เดือนดิน มูลไส้เดือน เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง การควบคุมสภาพแวดล้อม การเกษตรอัจฉริยะ

ABSTRACT

The purposes of this research were to: 1) develop an intelligent environmental control system for earthworm farming using Internet of Things (IoT) technology; 2) study the effects of this system on African Nightcrawler (AF) and Blue Worm (Blue) species; and 3) analyze vermicompost yield, microbial quantity, and worm growth under the IoT-controlled conditions. The system comprised temperature and humidity sensors (DHT11), soil moisture sensors, and an ESP32 microcontroller, all connected to a real-time monitoring application. The experiment was conducted from February 15 to March 1, 2025, at the Integrated Learning Center, Somporn Asa Club, Rajamangala University of Technology Lanna, Lampang, covering a single production cycle experiment. Data were analyzed using descriptive statistics (mean), paired two-sample t-test for means to compare the results between groups, and microbial quantity was calculated using a biological equation. The research findings showed that the IoT-based control system significantly increased vermicompost yield and average worm length in the AF group at 0.05 level of significance. The system maintained temperature and humidity effectively, promoting optimal worm growth. Moreover, the experimental group using the IoT system exhibited higher microbial counts than the control group, but lower microbial diversity. These results suggest that IoT-based environmental control can enhance productivity and improve farm management in commercial earthworm farming.

Keywords: Earthworm, Vermicompost, Internet of Things (IoT), Environmental Control, Smart Farming

บทนำ

การเกษตรแบบยั่งยืนได้รับความสนใจอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะการใช้มูลไส้เดือนเป็นปุ๋ยอินทรีย์ที่มีคุณภาพสูง เนื่องจากมูลไส้เดือนมีธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืช ช่วยปรับปรุงโครงสร้างของดินและเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน (นันทวุฒิ, 2560) ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนเกิดจากการที่ไส้เดือนกินเศษซากต่าง ๆ เข้าไปแล้วผ่านกระบวนการย่อยสลาย อินทรีย์วัตถุภายในลำไส้แล้วขับถ่ายเป็นมูลออกมา มีลักษณะเป็นเม็ดร่วนละเอียด สีน้ำตาล มีน้ำหนักรวมน้ำ ในมูลของไส้เดือนจะมีธาตุอาหารที่อยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ทันที เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และแมกนีเซียม เป็นต้น (พงษ์สุตา, 2562) ประโยชน์ของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือน คือ ส่งเสริมการกักตัวของเม็ดดิน เพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน เพิ่มช่องว่างในดินช่วยให้การระบายน้ำและการไหลเวียนของอากาศดีขึ้น ลดการจับตัวเป็นแผ่นของหน้าดิน ส่งเสริมความพรุนของผิวหน้าดิน ช่วยให้ระบบรากพืชสามารถเจริญเติบโตและแพร่กระจายได้ดีขึ้น เพิ่มความสามารถในการดูดซับน้ำ ทำให้ดินชุ่มชื้นเพิ่มธาตุอาหารพืชโดยตรง และเป็นแหล่งอาหารของสัตว์และจุลินทรีย์ในดิน เพิ่มศักยภาพในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดิน ลดความเป็นพิษของธาตุบางชนิดที่มีปริมาณมากเกินไป เช่น อะลูมิเนียมและแมงกานีส โดยปุ๋ยหมักช่วยดูดซับธาตุเหล่านี้ไว้บางส่วน เพิ่มความต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่าง ทำให้การเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นอย่างค่อยเป็นค่อยไป ลดความเสี่ยงที่อาจเป็นอันตรายต่อพืช ช่วยควบคุมปริมาณไส้เดือนฝอยในดิน เนื่องจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินช่วยเพิ่มปริมาณจุลินทรีย์ที่สามารถผลิตสารประเภทอัลลาลอยด์และกรดไขมัน ซึ่งเป็นพิษต่อไส้เดือนฝอย ทำให้ลดการระบาดของไส้เดือนฝอยในดิน (อานัฐ, 2549) โดยทั่วไป ไส้เดือนดินในธรรมชาติมีอายุตั้งแต่ 4-10 ปี ขึ้นอยู่กับชนิดของไส้เดือนดิน แต่เมื่อนำมาเพาะเลี้ยงมักพบว่าอายุของไส้เดือนดินสั้นลง โดยทั่วไปมีอายุเฉลี่ยไม่เกิน 2 ปี การเลี้ยงไส้เดือนดินสามารถทำได้หลายรูปแบบ เช่น การเลี้ยงไส้เดือนดินในภาชนะแบบต่าง ๆ เช่น ลังไม้ กะละมัง การเลี้ยงไส้เดือนดินแบบเป็นชั้น จะใช้ภาชนะวางซ้อนกัน เช่น ชั้นไม้ หรือชั้นตู้พลาสติก การเลี้ยงไส้เดือนดินแบบแปลงกลางแจ้ง จะตั้งกองอาหารเป็นแปลงสำหรับเลี้ยงไส้เดือนดินคลุมด้วยฟางหรือตาข่ายเพื่อป้องกันสัตว์มาคุ้ยเขี่ย และการเลี้ยงไส้เดือนดินในโรงเรือนโดยก่อบล็อกเป็นช่องหรือคอกสำหรับ

เลี้ยงไส้เดือนดิน (วรรณวิภา และคณะ, 2561) สายพันธุ์ไส้เดือนดินที่นิยมนำมาเพาะเลี้ยงมี 5 สายพันธุ์ ได้แก่ 1) Tiger worm (*Eisenia fetida*) มีลักษณะตัวสั้นแบน ยาวประมาณ 12 เซนติเมตร อัตราขยายพันธุ์ปานกลาง เหมาะสำหรับเลี้ยงกินมูลสัตว์และขยะสดในครัวเรือน 2) Red Worm (*Lumbricus rubellus*) มีลักษณะตัวสั้นแบนยาวประมาณ 8 เซนติเมตร อัตราขยายพันธุ์ปานกลาง เหมาะสำหรับเลี้ยงกินมูลสัตว์และขยะสดในครัวเรือน 3) African Nightcrawler (*Eudrilus eugeniae*) มีลักษณะตัวค่อนข้างใหญ่ ยาวสูงสุดได้ถึง 30 เซนติเมตร อัตราขยายพันธุ์เร็วเหมาะสำหรับเลี้ยงกินมูลสัตว์เป็นหลัก 4) Indian Blue (*Perionyx excavatus*) มีลักษณะตัวพอมเล็ก ยาว ประมาณ 8 เซนติเมตร อัตราขยายพันธุ์เร็ว เหมาะสำหรับเลี้ยงกินมูลสัตว์เป็นหลัก และนิยมใช้เลี้ยงปลาสวยงาม กุ้งก้ามแดง และ 5) ขี้ตาแร้ (Thai local earthworm, *Perionyx* sp.) มีลักษณะตัวค่อนข้างใหญ่ ยาว 15 เซนติเมตร อัตราขยายพันธุ์ปานกลาง เหมาะสำหรับเลี้ยงกินบนสัตว์และขยะสดในครัวเรือน (อานันท์, 2557)

อย่างไรก็ตาม การเลี้ยงไส้เดือนเพื่อผลิตมูลไส้เดือนยังคงเผชิญกับข้อจำกัดหลายประการ โดยเฉพาะปัจจัยแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ ความชื้น ความสว่าง และความเป็นกรด-ด่างของที่อยู่อาศัยของไส้เดือน ซึ่งมีผลโดยตรงต่ออัตราการเจริญเติบโตและปริมาณมูลที่ผลิตได้ นอกจากนี้ ไส้เดือนเป็นสัตว์ที่อาศัยอยู่ใต้ดิน ชอบความมืด และไม่ชอบแสงแดด (ศุภชัยวิชัยและฝีกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม, 2562) งานวิจัยที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่าปัจจัยแวดล้อม เช่น อุณหภูมิและความชื้น มีอิทธิพลอย่างมากต่ออัตราการย่อยสลายของอินทรีย์วัตถุและปริมาณมูลที่ผลิตได้ โดย Edwards and Arancon (2022) กล่าวว่า ค่า pH ความชื้น อุณหภูมิ และชนิดของดิน ส่งผลอย่างมากต่อจำนวนและกิจกรรมของไส้เดือนในดิน พัทธ (2553) กล่าวว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงไส้เดือนดินสายพันธุ์ไทยอยู่ที่ประมาณ 15-25 องศาเซลเซียส โดยในช่วงฤดูฝนที่มีความชื้นสูง ไส้เดือนดินจะสร้างอุโมงค์ได้มากกว่าฤดูร้อนหรือฤดูหนาว Akhila and Entoori (2022) กล่าวว่า ค่าความชื้นที่เหมาะสมสำหรับที่อยู่อาศัยของไส้เดือนอยู่ในช่วงร้อยละ 60-70 และค่า pH (ค่าความเป็นกรด-ด่าง) ที่เหมาะสมอยู่ที่ประมาณ 7.5

จากข้อจำกัดข้างต้น ทำให้การเลี้ยงไส้เดือนแบบปกติ ผู้เพาะเลี้ยงจะต้องดูแลและตรวจสอบสภาพแวดล้อมให้เหมาะสมอยู่เสมอ โดยเฉพาะค่าความชื้นของวัสดุรองเลี้ยง ซึ่งการตรวจสอบโดยการใช้มือจับและอาศัยความรู้สึกในการระบุอุณหภูมิและความชื้นของดินนั้นหากไม่แม่นยำพอจะส่งผลให้การให้น้ำหรือการรดการให้น้ำไม่สัมพันธ์กับค่าความชื้นในดินในที่ต้องการ

การควบคุมสภาพแวดล้อมให้เหมาะสมสามารถทำได้โดยใช้แนวคิดสมาร์ทฟาร์ม (Smart Farm) มาใช้ ด้วยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี Internet of Things และระบบสารสนเทศ เพื่อควบคุมและจัดการฟาร์มเกษตรอย่างมีประสิทธิภาพ โดยใช้เซ็นเซอร์ตรวจวัดสภาพแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ ความชื้น แล้วส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตไปยังแอปพลิเคชันในสมาร์ทโฟนหรือคอมพิวเตอร์เพื่อให้เกษตรกรสามารถติดตามและควบคุมระบบได้แบบเรียลไทม์ ช่วยประหยัดเวลา เพิ่มผลผลิต และช่วยในการวางแผนการผลิตได้แม่นยำยิ่งขึ้น (ธิดาศักดิ์ และคณะ, 2562)

มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมสภาพแวดล้อมโดยใช้เทคโนโลยี IoT ตัวอย่างเช่น รชต และคณะ (2564) ได้พัฒนาระบบควบคุมสภาพแวดล้อมในการเจริญเติบโตไส้เดือนเลี้ยงผ่านแพลตฟอร์ม IoT ซึ่งใช้เทคโนโลยี IoT ร่วมกับสมาร์ทโฟนในการควบคุมระบบให้น้ำทั้งแบบอัตโนมัติและแบบควบคุมด้วยตนเอง เพื่อลดความคลาดเคลื่อนจากการให้น้ำแบบเดิมที่อาศัยการคาดคะเน โดยนำระบบไปทดสอบการใช้งาน ณ ฟาร์มไส้เดือนดิน อ.ยิ่งอ จ.นราธิวาส ระบบประกอบด้วยเซ็นเซอร์วัดความชื้นและ pH ของดิน ซึ่งเชื่อมต่อกับบอร์ด NodeMCU เพื่อประมวลผลและควบคุมการทำงานของโซลินอยด์วาล์วและปั๊มน้ำผ่านรีเลย์ โดยมีแอปพลิเคชัน Blynk แสดงผลข้อมูลแบบเรียลไทม์และให้ผู้ใช้เลือกโหมดการทำงานได้ ผลการทดลองที่ฟาร์มไส้เดือนดินในจังหวัดนราธิวาสพบว่า ระบบที่พัฒนาขึ้นช่วยให้ไส้เดือนเจริญเติบโตดีขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 30 ลดการใช้น้ำลงร้อยละ 70 และเพิ่มปริมาณปุ๋ยต่อหน่วยการผลิตได้ร้อยละ 30 เมื่อเทียบกับวิธีการเลี้ยงแบบเดิม อีกทั้งยังช่วยลดภาระและเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการฟาร์ม จิรัชศักดิ์ และลักษณะนันท์ (2565) ได้พัฒนาเทคโนโลยี IoT สำหรับการควบคุมสภาพแวดล้อมการเพาะเลี้ยงไส้เดือนดิน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดการสูญเสียและเพิ่มผลผลิตมูลไส้เดือนให้แก่เกษตรกร ระบบที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วยการออกแบบโรงเรือน การเชื่อมต่อวงจรควบคุม และการติดตั้งอุปกรณ์ที่สามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นผ่านระบบไอโอที โดยใช้ NodeMCU และเซ็นเซอร์ตรวจวัดค่าความชื้นและ pH ของดิน พร้อมระบบพ่นน้ำอัตโนมัติและแสดงผลผ่านแอปพลิเคชัน Blynk ผลการทดสอบพบว่าระบบสามารถควบคุมสภาพแวดล้อมได้อย่างแม่นยำ โดยมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิและความชื้นอยู่ในช่วงที่เหมาะสม และได้รับความพึงพอใจจากเกษตรกรในระดับสูง แสดงให้เห็นถึง

ศักยภาพของระบบในการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเพาะเลี้ยงไส้เดือนดินได้อย่างมีประสิทธิภาพ และ Gavilanes et al. (2024) ได้นำเสนอการพัฒนา ระบบ Internet of Things (IoT) ร่วมกับ Fuzzy logic เพื่อควบคุมสภาพแวดล้อมขนาดเล็ก (Microclimate) สำหรับการผลิตปุ๋ยหมักจากไส้เดือน (Vermicompost) ณ มหาวิทยาลัย ESPOCH ประเทศเอกวาดอร์ โดยระบบสามารถตรวจวัดและปรับค่าต่าง ๆ เช่น อุณหภูมิ ความชื้น และ pH ของดินได้แบบอัตโนมัติผ่านเซนเซอร์และแสดงผลในระบบออนไลน์ ซึ่งช่วยแก้ปัญหาการควบคุมแบบแมนนวลที่ใช้เวลานานและขาดข้อมูลสิ่งแวดล้อมที่แม่นยำ ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าการใช้ตรรกะฟัซซีร่วมกับ IoT ช่วยเพิ่มคุณภาพและประสิทธิภาพของการผลิตปุ๋ยหมักได้อย่างมีนัยสำคัญ ลดการพึ่งพาการควบคุมด้วยแรงงานคน และส่งเสริมการพัฒนาเกษตรอัจฉริยะในระดับท้องถิ่น

ในปัจจุบัน ศูนย์การเรียนรู้แบบบูรณาการศาสตร์ผสมผสาน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปาง (2565) ดำเนินการเลี้ยงไส้เดือนดินแบบกะละมังโดยใช้มูลวัวเป็นวัสดุรองเลี้ยง และปิดปากกะละมังด้วยกระเบื้องหรือภาชนะอื่น ๆ ที่มีรูระบายอากาศ ทำการรดน้ำทุก ๆ 4-7 วัน โดยสังเกตด้วยตาเปล่าและใช้มือสัมผัสความชื้นจากหน้ากะละมังเพื่อตรวจสอบว่าควรจะรดน้ำเพื่อเพิ่มความชื้นหรือไม่ และทำการเก็บและร่อนมูลไส้เดือนเพื่อแยกตัวอ่อนออกจากมูลไส้เดือนทุก 7-15 วัน โดยระยะเวลาเก็บมูลจะขึ้นอยู่กับฤดูกาลซึ่งหากอากาศเย็นไส้เดือนจะพักตัว และกินอาหารน้อยลง ทำให้ระยะห่างของเวลาในการเก็บมูลอาจจะใช้เวลานานขึ้น

จากสภาพการณ์ดังกล่าว คณะผู้วิจัยเห็นความสำคัญของการนำแนวคิดสมาร์ทฟาร์ม (Smart Farm) มาช่วยควบคุมสภาพแวดล้อมในการผลิตมูลไส้เดือน เพื่อให้เกิดการผลิตมูลไส้เดือนที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยงานวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) ที่ทำการศึกษาและเปรียบเทียบการเลี้ยงไส้เดือนภายใต้เงื่อนไขที่ควบคุมด้วยเทคโนโลยี IoT กับการเลี้ยงแบบปกติ โดยใช้ไส้เดือน 2 สายพันธุ์ คือ สายพันธุ์ African Nightcrawler (AF) และสายพันธุ์ Blue Worm (Blue)

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาผลของการใช้ระบบควบคุมสภาพแวดล้อมแบบ IoT ต่อการเลี้ยงไส้เดือนสายพันธุ์ African Nightcrawler (AF) และ Blue Worm (Blue)
2. เพื่อวิเคราะห์ผลผลิตของมูลไส้เดือน คุณภาพของจุลินทรีย์ และการเจริญเติบโตของไส้เดือนภายใต้สภาวะแวดล้อมที่ควบคุมด้วยระบบ IoT

วิธีการวิจัย

1. เครื่องมือการวิจัย

- 1.1 ระบบควบคุมสภาพแวดล้อมอัจฉริยะ (Smart Environmental Control System) ที่พัฒนาขึ้นโดยใช้เทคโนโลยี Internet of Things (IoT)
- 1.2 เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น (DHT11 Sensor) สำหรับตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นในอากาศ
- 1.3 เซ็นเซอร์วัดความชื้นของดิน สำหรับตรวจวัดความชื้นในวัสดุรองเลี้ยง
- 1.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 สำหรับควบคุมและเชื่อมต่อกับระบบตรวจวัดค่าผ่านแอปพลิเคชัน
- 1.5 แอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟนหรือคอมพิวเตอร์ สำหรับแสดงผลข้อมูลและควบคุมระบบแบบเรียลไทม์

2. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

2.1 ประชากรในการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ ไส้เดือนดินสายพันธุ์ African Nightcrawler (AF) และสายพันธุ์ Blue Worm (Blue) ที่ใช้ในการทดลองเพาะเลี้ยงเพื่อผลิตมูลไส้เดือน ณ ศูนย์การเรียนรู้แบบบูรณาการศาสตร์ ผสมผสาน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปาง

2.2 กลุ่มตัวอย่าง กลุ่มตัวอย่างในการวิจัยครั้งนี้ คือ ไส้เดือนดินสายพันธุ์ AF และสายพันธุ์ Blue ซึ่งได้รับการคัดเลือกแบบเจาะจง (Purposive Sampling) เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบผลการเลี้ยงระหว่างระบบควบคุมด้วยเทคโนโลยี IoT และการเลี้ยงแบบปกติ โดยแบ่งออกเป็น 4 กลุ่มทดลอง ดังนี้

- 1) กลุ่ม AF-A ใส่เดือนสายพันธุ์ AF เลี้ยงภายใต้ระบบควบคุมด้วย IoT
- 2) กลุ่ม AF-B ใส่เดือนสายพันธุ์ AF เลี้ยงแบบปกติ
- 3) กลุ่ม Blue-A ใส่เดือนสายพันธุ์ Blue เลี้ยงภายใต้ระบบควบคุมด้วย IoT
- 4) กลุ่ม Blue-B ใส่เดือนสายพันธุ์ Blue เลี้ยงแบบปกติ

จำนวนตัวต่อชีวมวล 120 กรัมต่อภาชนะทดลอง จำนวน 8 ภาชนะต่อกลุ่ม รวมทั้งหมด 32 หน่วยทดลอง ดำเนินการเลี้ยงในสภาพแวดล้อมเดียวกัน โดยควบคุมปัจจัยต่าง ๆ ให้ใกล้เคียงกันมากที่สุด

3. ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

3.1 รูปแบบการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) โดยทำการศึกษาและเปรียบเทียบการเลี้ยงไส้เดือนภายใต้เงื่อนไขที่ควบคุมด้วยเทคโนโลยี IoT กับการเลี้ยงแบบปกติ

3.2 การออกแบบการทดลอง

การทดลองใช้ไส้เดือน 2 สายพันธุ์ คือ สายพันธุ์ AF และสายพันธุ์ Blue แบ่งออกเป็น 4 ชุดทดลอง ดังนี้

- 1) ชุดทดลองที่ 1 (AF-A) เลี้ยงไส้เดือนสายพันธุ์ AF ภายใต้การควบคุมด้วย IoT
- 2) ชุดทดลองที่ 2 (AF-B) เลี้ยงไส้เดือนสายพันธุ์ AF แบบปกติ
- 3) ชุดทดลองที่ 3 (Blue-A) เลี้ยงไส้เดือนสายพันธุ์ Blue ภายใต้การควบคุมด้วย IoT
- 4) ชุดทดลองที่ 4 (Blue-B) เลี้ยงไส้เดือนสายพันธุ์ Blue แบบปกติ

3.3 กระบวนการทดลอง

การทดลองดำเนินการระหว่างวันที่ 15 กุมภาพันธ์ ถึง 1 มีนาคม พ.ศ. 2568 โดยเป็นการทดลองในรอบการผลิตเดียว (Single Production Cycle) ไม่มีการทำซ้ำในช่วงเวลาอื่น

การทดลองแบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม ตามสายพันธุ์ของไส้เดือนและวิธีการเลี้ยง ได้แก่ กลุ่ม AF-A, AF-B, Blue-A และ Blue-B โดยแต่ละชุดทดลองประกอบด้วย 8 หน่วยทดลอง รวมทั้งหมด 32 หน่วยทดลอง การเก็บผลผลิตดำเนินการโดยใช้แรงงานมนุษย์เก็บมูลไส้เดือนทุก 14 วัน เฉพาะส่วนที่อยู่ด้านบนของวัสดุรองเลี้ยง ซึ่งความลึกในการเก็บอาจแตกต่างกันตามปริมาณของมูลไส้เดือนในแต่ละกะละมัง โดยผลผลิตที่ได้จากแต่ละกะละมังในแต่ละชุดทดลองมีความแตกต่างกัน เนื่องจากไม่สามารถควบคุมการเจริญเติบโตและอัตราการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุของไส้เดือนให้เท่ากันได้ในทุกหน่วยทดลอง ดังนั้น ค่าที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์จึงเป็นค่าเฉลี่ยจาก 8 หน่วยทดลองในแต่ละกลุ่ม เพื่อสะท้อนแนวโน้มของผลลัพธ์ภายใต้เงื่อนไขการทดลองที่กำหนด กระบวนการทดลองสามารถอธิบายแยกตามกระบวนการ แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 กระบวนการทดลองเลี้ยงไส้เดือนเปรียบเทียบระหว่างการเลี้ยงภายใต้ระบบ IoT และการเลี้ยงแบบปกติ

กระบวนการ	การเลี้ยงภายใต้ระบบ IoT	การเลี้ยงแบบปกติ
1. ภาชนะสำหรับเลี้ยงไส้เดือน	ภาชนะทดลองแบบพลาสติกทรงกลม เส้นผ่านศูนย์กลาง 52 เซนติเมตร เจาะรูระบายอากาศขนาด 1 เซนติเมตร จำนวน 12 รู รวมทั้งหมด 8 ภาชนะ	ภาชนะทดลองแบบพลาสติกทรงกลม เส้นผ่านศูนย์กลาง 52 เซนติเมตร เจาะรูระบายอากาศขนาด 1 เซนติเมตร จำนวน 12 รู รวมทั้งหมด 8 ภาชนะ
2. วัสดุรองเลี้ยง (Bedding)	มูลวัวแช่น้ำ 7 วัน ปริมาณ 8 กิโลกรัม/ภาชนะทดลอง	มูลวัวแช่น้ำ 7 วัน ปริมาณ 8 กิโลกรัม/ภาชนะทดลอง

กระบวนการ	การเลี้ยงภายใต้ระบบ IoT	การเลี้ยงแบบปกติ
3. ใส่เดือนที่เลี้ยง	- ใส่เดือนสายพันธุ์ African Nightcrawler (AF) ชั่งน้ำหนักรวม 120 กรัมต่อภาชนะทดลอง จำนวน 8 ภาชนะ - ใส่เดือนสายพันธุ์ Blue Worm (Blue) ชั่งน้ำหนักรวม 120 กรัมต่อภาชนะทดลอง จำนวน 8 ภาชนะ	- ใส่เดือนสายพันธุ์ African Nightcrawler (AF) ชั่งน้ำหนักรวม 120 กรัมต่อภาชนะทดลอง จำนวน 8 ภาชนะ - ใส่เดือนสายพันธุ์ Blue Worm (Blue) ชั่งน้ำหนักรวม 120 กรัมต่อภาชนะทดลอง จำนวน 8 ภาชนะ
4. ชั้นวาง	วางในชั้นวางเหล็ก ตามภาพที่ 3	วางในชั้นวางเหล็ก ตามภาพที่ 3
5. การป้องกันแสง	คลุมด้วยตาข่ายความทึบแสงของตาข่าย เท่ากับร้อยละ 60	ใช้กระเบื้องเปิดหน้าภาชนะทดลอง
6. การวัดความชื้นและอุณหภูมิ	ติดตั้งเซ็นเซอร์และเชื่อมต่ออุปกรณ์ทั้งหมดเข้ากับ NodeMCU ESP32 เพื่อส่งข้อมูลไปยังแอปพลิเคชัน	ใช้มือสัมผัสและวัดโดยใช้ความรู้สึก
7. การรดน้ำเพื่อควบคุมความชื้นและอุณหภูมิ	ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นโดยอัตโนมัติผ่านระบบ IoT	ใช้แรงงานมนุษย์โดยมีการรดน้ำทุก 5-7 วัน
8. การเก็บผลผลิต	ใช้แรงงานมนุษย์ในการเก็บมูลไส้เดือนทุก 14 วัน โดยทำการเก็บเฉพาะมูลไส้เดือนด้านบน (ความลึกของการเก็บไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับปริมาณของมูลไส้เดือน)	ใช้แรงงานมนุษย์ในการเก็บมูลไส้เดือนทุก 14 วัน โดยทำการเก็บเฉพาะมูลไส้เดือนด้านบน (ความลึกของการเก็บไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับปริมาณของมูลไส้เดือน)
9. การตรวจสอบจุลินทรีย์	ตรวจสอบจำนวนจุลินทรีย์ในมูลไส้เดือนด้วยวิธี Spread plate technique และตรวจสอบลักษณะรูปร่าง การติดสี ภายใต้กล้องจุลทรรศน์	ตรวจสอบจำนวนจุลินทรีย์ในมูลไส้เดือนด้วยวิธี Spread plate technique และตรวจสอบลักษณะรูปร่าง การติดสี ภายใต้กล้องจุลทรรศน์

จากตารางที่ 1 การทดลองเปรียบเทียบการเลี้ยงไส้เดือนระหว่าง การเลี้ยงภายใต้ระบบ IoT และการเลี้ยงแบบปกติ ใช้ภาชนะทดลองแบบพลาสติกทรงกลม เส้นผ่านศูนย์กลาง 52 เซนติเมตร เจาะรูระบายอากาศขนาด 1 เซนติเมตร จำนวน 12 รูต่อภาชนะ รวมทั้งสิ้น 8 ภาชนะ เป็นภาชนะรองเลี้ยงในทั้งสองวิธี โดยใช้มูลวัวแช่น้ำ 7 วัน ปริมาณ 8 กิโลกรัม ต่อภาชนะทดลอง เป็นวัสดุรองเลี้ยง และใช้ไส้เดือนสายพันธุ์ African Nightcrawler (AF) และสายพันธุ์ Blue Worm (Blue) โดยชั่งน้ำหนักรวม 120 กรัมต่อภาชนะทดลอง (อย่างละ 8 ภาชนะ) วางภาชนะบนชั้นวางเหล็ก ตามภาพที่ 3 เก็บมูลไส้เดือนทุก 14 วัน โดยเก็บเฉพาะชั้นบนของมูล และทำการตรวจสอบจำนวนจุลินทรีย์ ด้วยวิธี Spread plate technique พร้อมตรวจสอบลักษณะรูปร่างและการติดสีภายใต้กล้องจุลทรรศน์ สำหรับการเลี้ยงภายใต้ระบบ IoT คลุมชั้นวางด้วย ตาข่ายกรองแสงความทึบแสงร้อยละ 60 และติดตั้งเซ็นเซอร์เชื่อมต่อกับ NodeMCU ESP32 เพื่อส่งข้อมูลไปยังแอปพลิเคชันและควบคุมอุณหภูมิและความชื้นอัตโนมัติ ขณะที่การเลี้ยงแบบปกติ ใช้กระเบื้องเปิดหน้าภาชนะทดลอง เพื่อป้องกันแสง ตรวจสอบความชื้น ด้วยการสัมผัสด้วยมือ และรดน้ำด้วยแรงงานมนุษย์ทุก 5-7 วัน

ในกระบวนการที่ 9 การตรวจสอบจุลินทรีย์จะทำการคัดแยกปริมาณจุลินทรีย์ โดยการนำตัวอย่างมูลไส้เดือนจาก 4 ชุดการทดลองมาเจือจางครั้งละ 10 เท่า ด้วยน้ำกลั่นปลอดเชื้อจนถึงระดับความเจือจาง 10^{-6} จากนั้นนำมาแยกเชื้อด้วยวิธี Spread Plate โดยนำสารละลายแต่ละความเข้มข้นปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร หยดลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ Nutrient Agar (NA) จากนั้นใช้แท่งแก้วเกลี่ยเชื้อให้ทั่วผิวหน้าอาหาร โดยทำการทดลองที่ค่าการเจือจาง 3 ระดับ (10^{-4} - 10^{-6}) ระดับการเจือจางละ 3 ซ้ำ นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน หลังจากนั้นนำจุลินทรีย์ที่คัดแยกได้มาทำการนับจำนวนโคโลนีที่เจริญบนจานเพาะเชื้อ เพื่อคำนวณหาปริมาณจุลินทรีย์ในตัวอย่าง จากนั้นสังเกตโคโลนีที่มีลักษณะแตกต่างกันมาทำการย้อมสีแบบแกรม และตรวจสอบผลการย้อมสีภายใต้กล้องจุลทรรศน์ โดยมีการคำนวณปริมาณจุลินทรีย์ดังสมการที่ (1)

$$\text{จำนวนจุลินทรีย์} = \frac{\text{จำนวนโคโลนีที่นับได้ (CFUs)} \times \text{ค่าความเจือจาง}}{\text{ปริมาตรของตัวอย่างที่ใช้ทำ (มิลลิลิตร)}} \quad (1)$$

โดยที่ CFUs คือ Colony Forming Units

4. สถิติที่ใช้ในการวิจัย

4.1 สถิติพรรณนา คือ ค่าเฉลี่ย (Mean)

4.2 ใช้ t-Test: Paired Two Sample for Means เพื่อตรวจสอบความแตกต่างระหว่างกลุ่มที่ใช้ระบบ IoT และกลุ่มควบคุมแบบปกติ ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ใช้ในการพิจารณาอยู่ที่ $p < 0.05$

4.3 คำนวณปริมาณจุลินทรีย์โดยใช้สมการที่ (1) แล้วนำมาเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มที่ใช้ระบบ IoT และกลุ่มควบคุมแบบปกติ

ผลการวิจัย และวิจารณ์ผลการวิจัย

1. ผลการวิจัย

ผลการวิจัยนี้เก็บรวบรวมจากการเปรียบเทียบผลผลิตใน 4 ชุดทดลอง แต่ละชุดทดลองประกอบด้วย 8 หน่วยทดลอง รวมทั้งหมด 32 หน่วยทดลอง มีผลการวิจัย ใน 4 เรื่อง ได้แก่

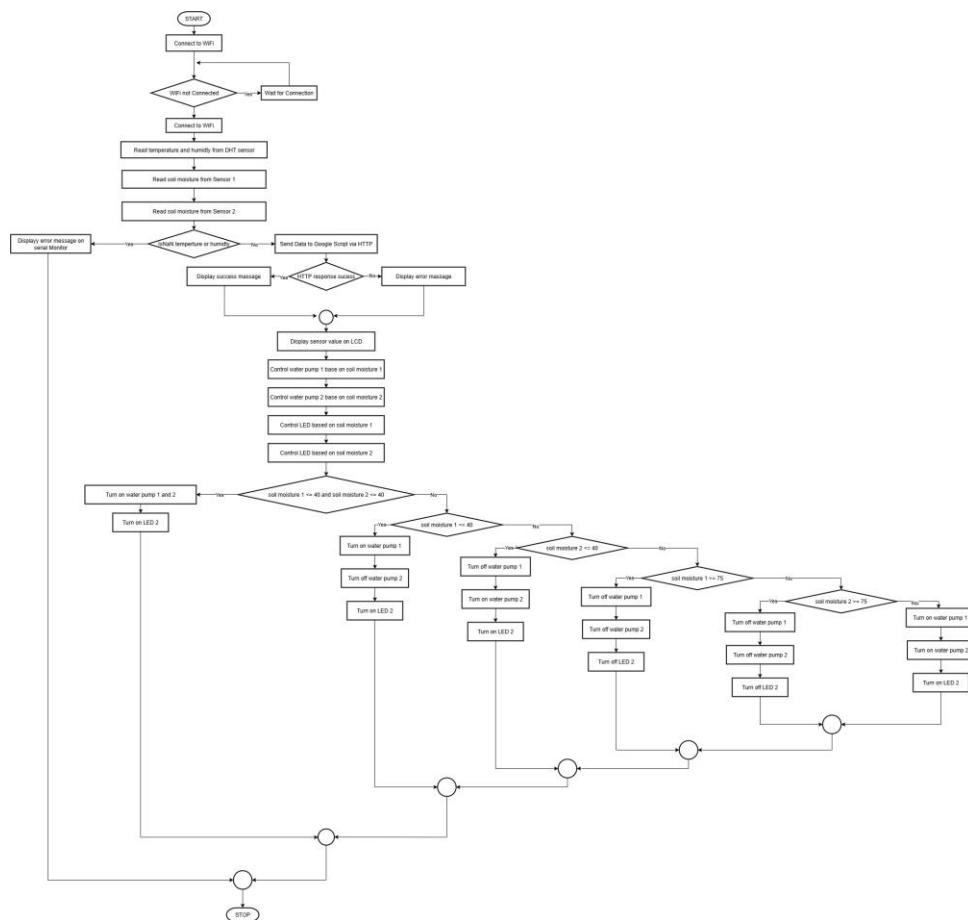
- 1) ผลผลิตมูลไส้เดือน
- 2) ความยาวของไส้เดือน
- 3) จำนวนตัวต่อชีวมวล 120 กรัม
- 4) ปริมาณจุลินทรีย์ของไส้เดือน

โดยทั้ง 4 ชุดทดลองดำเนินการเลี้ยงไส้เดือนบนชั้นวางที่มีรูปแบบเดียวกัน โดยระบบควบคุม IoT คลุมด้วยตาข่ายความทึบแสงของตาข่ายเท่ากับร้อยละ 60 เพื่อทำการกรองแสงและควบคุมความชื้น โดยมีให้น้ำแบบอัตโนมัติตามสภาพความชื้นของวัสดุรองเลี้ยง การส่วนการเลี้ยงแบบปกติจะใช้กระบี่เปิดหน้าภาชนะทดลอง และจะให้น้ำทุก ๆ 5-7 วัน ดังภาพที่ 1

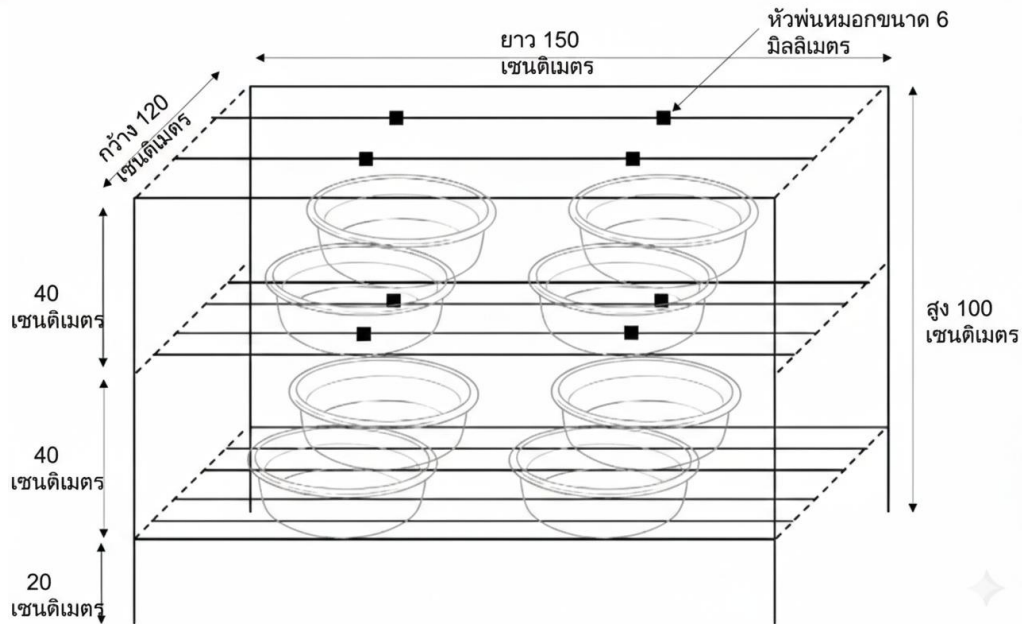
การให้น้ำการเลี้ยงด้วยระบบควบคุม IoT จะมีการติดตั้งหัวพ่นหมอกขนาด 6 มิลลิเมตร จำนวน 8 หัว/ชั้น และระบบ IoT จะใช้เซ็นเซอร์ตรวจวัดความชื้นในวัสดุรองเลี้ยง อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ ข้อมูลที่ได้จะถูกประมวลผลและแสดงผลบน LCD รวมถึงส่งไปยัง Google Apps Script เพื่อเก็บในคลาวด์ โปรแกรมจะควบคุมการทำงานของปั๊มน้ำและไฟ LED โดยเปิดปั๊มน้ำและไฟ LED สีเขียวเมื่อความชื้นวัสดุรองเลี้ยง ต่ำกว่าร้อยละ 40 และปิดปั๊มน้ำพร้อมเปิดไฟ LED สีแดงเมื่อความชื้นเกินร้อยละ 75 หลังจากการควบคุมและแสดงผลการทำงานของระบบเสร็จสิ้น โปรแกรมจะหน่วงเวลา 1 วินาที (โดยใช้ฟังก์ชัน delay(1000)) เพื่อให้ระบบสามารถตรวจสอบค่าเซ็นเซอร์และอัปเดตข้อมูลในรอบถัดไป โดยมีขั้นตอนการควบคุมสภาพแวดล้อมในการเลี้ยงไส้เดือน ดังผังงานในภาพที่ 2 และมีการออกแบบชั้นวางภาชนะทดลองไส้เดือนและการวางระบบน้ำในการเลี้ยงด้วยระบบควบคุม IoT ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 1 การขึ้นวางไส้เดือน

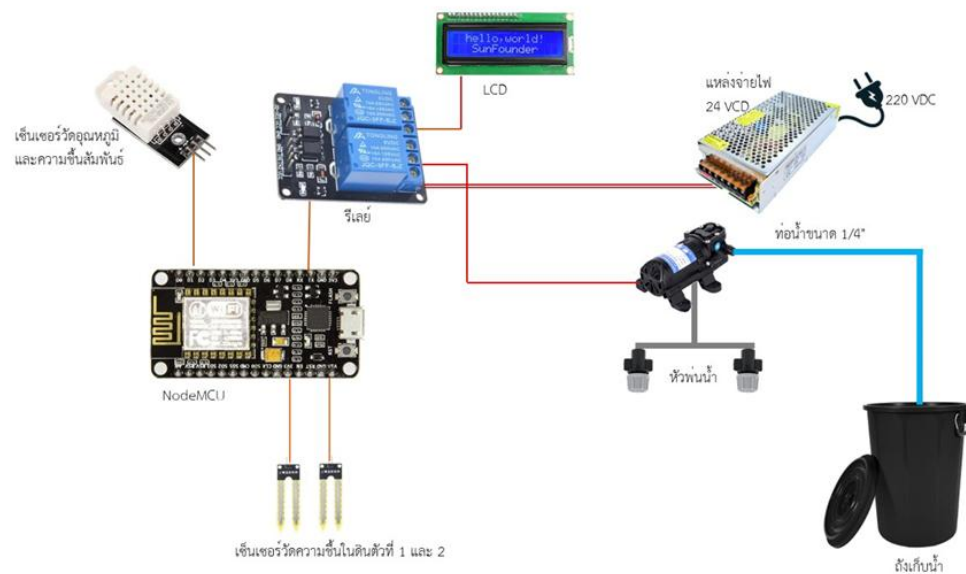


ภาพที่ 2 ผังงานของระบบ IoT ควบคุมสภาพแวดล้อมในการเลี้ยงไส้เดือน



ภาพที่ 3 การออกแบบชั้นวางและการวางระบบน้ำ

การออกแบบภายในกล่องควบคุมจะประกอบไปด้วยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ NodeMCU ESP32 Devkit สวิตช์รีเลย์ขนาด 3V เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภาคอินพุตได้แก่ โมดูลเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น (DHT11) เซ็นเซอร์วัดความชื้นในดิน และโมดูลนาฬิกา (DS3231) และส่งอุปกรณ์ภาคเอาต์พุตคือปั้มน้ำแรงดัน 12 V ขนาด 10 บาร์ เชื่อมต่อกับชุดพ่นหมอกภายในโรงเรือนแบบปิด ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 การออกแบบการเชื่อมต่อวงจรของระบบ

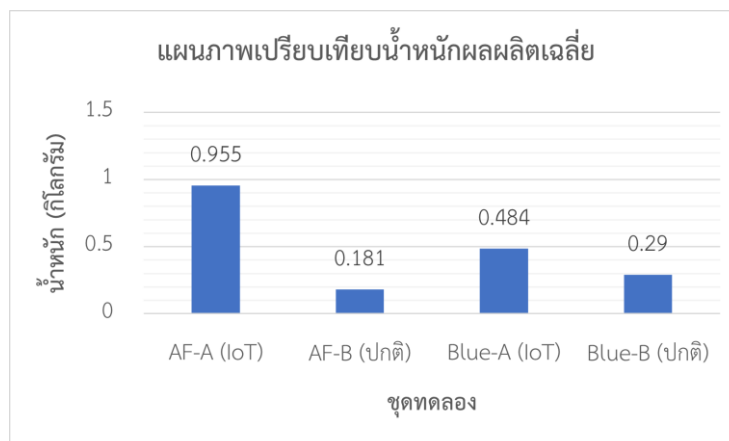
ในการประเมินผลการทดลอง ได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติ T-test แบบจับคู่ (Paired t-test) เพื่อเปรียบเทียบผลผลิตมูลไส้เดือน การเจริญเติบโตของไส้เดือน จำนวนตัวต่อชีวมวล 120 กรัม และปริมาณจุลินทรีย์ในมูลไส้เดือน ผลการทดลองสรุปได้ดังนี้

1. ผลิตมูลไส้เดือน

ผลการทดลองพบว่า การใช้ระบบ IoT มีผลในการเพิ่มผลผลิตของไส้เดือนในสายพันธุ์ AF อย่างมีนัยสำคัญ แต่ในสายพันธุ์ Blue การใช้ระบบ IoT อาจไม่ส่งผลกระทบต่อผลผลิตเมื่อเปรียบเทียบกับเลี้ยงแบบปกติ แสดงดังตารางที่ 2 และภาพที่ 5

ตารางที่ 2 ผลผลิตของมูลไส้เดือนเฉลี่ย

ชุดทดลอง	น้ำหนักผลผลิตเฉลี่ย (กิโลกรัม)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	p-value
AF-A (IoT)	0.96	0.61	0.015
AF-B (ปกติ)	0.18	0.99	
Blue-A (IoT)	0.48	0.21	0.067
Blue-B (ปกติ)	0.29	0.09	



ภาพที่ 5 แผนภาพเปรียบเทียบน้ำหนักผลผลิตเฉลี่ยในแต่ละชุดทดลอง

จากตารางที่ 2 พบว่าไส้เดือนสายพันธุ์ AF ที่เลี้ยงด้วยระบบ IoT ให้ผลผลิตเฉลี่ย 0.96 กิโลกรัม ซึ่งสูงกว่ากลุ่มที่เลี้ยงแบบปกติ (AF-B) ที่ให้ผลผลิตเฉลี่ย 0.18 กิโลกรัม โดยมีค่า p-value เท่ากับ 0.015 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และไส้เดือนสายพันธุ์ Blue ที่เลี้ยงด้วยระบบ IoT ให้ผลผลิตเฉลี่ย 0.48 กิโลกรัม ซึ่งสูงกว่ากลุ่มที่เลี้ยงแบบปกติ (Blue-B) ที่ให้ผลผลิตเฉลี่ย 0.29 กิโลกรัม โดยค่า p-value เท่ากับ 0.067 แสดงว่าไม่มีความแตกต่างที่มีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกลุ่มที่เลี้ยงด้วยระบบ IoT และแบบปกติ การใช้ระบบ IoT จึงมีผลดีต่อผลผลิตมูลไส้เดือนในสายพันธุ์ AF แต่ไม่สามารถยืนยันผลกระทบที่ชัดเจนในสายพันธุ์ Blue

2. ความยาวของไส้เดือน

ผลการทดลองพบว่า การใช้ระบบ IoT มีผลในการเพิ่มความยาวของไส้เดือนในสายพันธุ์ AF อย่างมีนัยสำคัญ แต่ในสายพันธุ์ Blue การใช้ระบบ IoT ไม่มีผลกระทบต่อความยาวเมื่อเปรียบเทียบกับเลี้ยงแบบปกติ แสดงดังตารางที่ 3 และภาพที่ 6

ตารางที่ 3 ความยาวของไส้เดือนเฉลี่ย

ชุดทดลอง	ความยาวเฉลี่ย (เซนติเมตร)	p-value
AF-A (IoT)	18.13	0.003
AF-B (ปกติ)	10.69	
Blue-A (IoT)	9.61	0.728
Blue-B (ปกติ)	8.43	



ภาพที่ 6 แผนภาพเปรียบเทียบความยาวตัวไส้เดือนเฉลี่ยในแต่ละชุดทดลอง

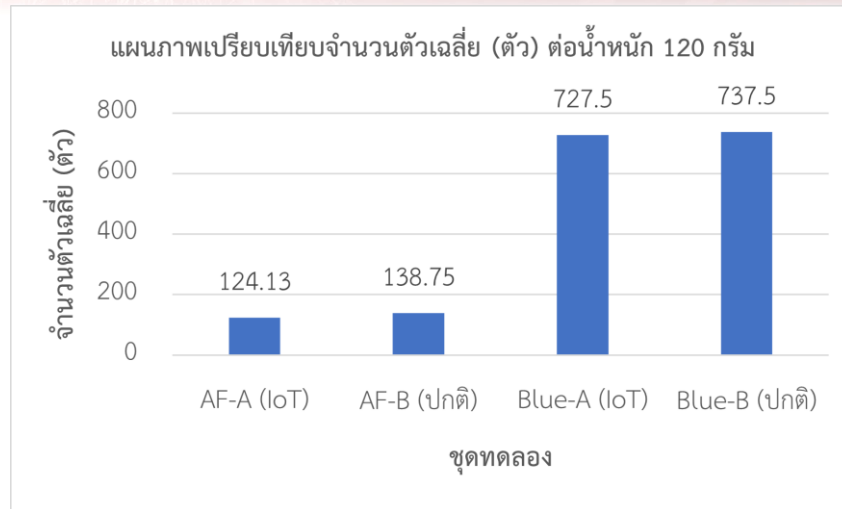
จากตารางที่ 3 พบว่าไส้เดือนสายพันธุ์ AF ที่เลี้ยงด้วยระบบ IoT มีความยาวเฉลี่ย 18.13 เซนติเมตร ซึ่งสูงกว่ากลุ่มที่เลี้ยงแบบปกติ (AF-B) ที่มีความยาวเฉลี่ย 10.67 เซนติเมตร โดยมีค่า p-value เท่ากับ 0.003 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และไส้เดือนสายพันธุ์ Blue ที่เลี้ยงด้วยระบบ IoT มีความยาวเฉลี่ย 9.610 เซนติเมตร ซึ่งสูงกว่ากลุ่มที่เลี้ยงแบบปกติ (Blue-B) ที่มีความยาวเฉลี่ย 8.43 เซนติเมตร โดยค่า p-value เท่ากับ 0.728 ซึ่งแสดงว่าไม่มีความแตกต่างที่มีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกลุ่มที่เลี้ยงด้วยระบบ IoT และแบบปกติ

3. จำนวนตัวต่อชีวมวล 120 กรัม

ผลการทดลองพบว่า การใช้ระบบ IoT ช่วยให้ไส้เดือนในทั้ง 2 สายพันธุ์ (AF และ Blue) มีขนาดที่ใหญ่ขึ้นและสมบูรณ์มากขึ้น จากจำนวนตัวไส้เดือนเฉลี่ยต่อน้ำหนัก 120 กรัมที่ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการเลี้ยงแบบปกติ แสดงดังตารางที่ 4 และภาพที่ 7

ตารางที่ 4 จำนวนตัวต่อชีวมวล 120 กรัม

ชุดทดลอง	จำนวนตัวต่อชีวมวล 120 กรัม	p-value
AF-A (IoT)	124.13	0.0005
AF-B (ปกติ)	138.75	
Blue-A (IoT)	727.50	0.0495
Blue-B (ปกติ)	737.50	



ภาพที่ 7 แผนภาพเปรียบเทียบจำนวนตัวต่อชีวมวลเฉลี่ยต่อ 120 กรัม ในแต่ละชุดทดลอง

จากตารางที่ 4 พบว่าไส้เดือนสายพันธุ์ AF ที่เลี้ยงด้วยระบบ IoT มีจำนวนตัวต่อชีวมวลเฉลี่ย 124.13 ตัวต่อ 120 กรัม ซึ่งน้อยกว่ากลุ่มที่เลี้ยงแบบปกติ (AF-B) ที่มีจำนวนตัวต่อชีวมวลเฉลี่ย 138.75 ตัวต่อ 120 กรัม โดยมีค่า p-value เท่ากับ 0.0005 และไส้เดือนสายพันธุ์ Blue ที่เลี้ยงด้วยระบบ IoT มีจำนวนตัวต่อชีวมวลเฉลี่ย 727.5 ตัวต่อ 120 กรัม ซึ่งน้อยกว่ากลุ่มที่เลี้ยงแบบปกติ (Blue-B) ที่มีจำนวนตัวต่อชีวมวลเฉลี่ย 737.5 ตัวต่อ 120 กรัม โดยมีค่า p-value เท่ากับ 0.0495 ซึ่งทั้ง 2 สายพันธุ์อย่างมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยการที่จำนวนตัวต่อชีวมวลน้อยลงหมายถึงไส้เดือนในกลุ่มที่เลี้ยงด้วยระบบ IoT มีขนาดใหญ่ขึ้นและสมบูรณ์มากขึ้น

4. ปริมาณจุลินทรีย์ของไส้เดือน

การทดลองมีการตรวจสอบโคโลนีของจุลินทรีย์ด้วยการย้อมสีแกรม เมื่อคำนวณจุลินทรีย์ในตัวอย่างเริ่มต้น มีผลการทดลอง แสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 จำนวนจุลินทรีย์ที่พบในตัวอย่างมูลไส้เดือน

ชุดทดลอง	จำนวนโคโลนีที่พบ (CFU/ml)	จำนวนโคโลนีที่แตกต่างกัน
AF-A (IoT)	3.51×10^7	3
AF-B (ปกติ)	1.13×10^7	6
Blue-A (IoT)	4.45×10^7	3
Blue-B (ปกติ)	2.27×10^7	7

จากตารางที่ 5 พบว่าไส้เดือนสายพันธุ์ AF ที่เลี้ยงด้วยระบบ IoT มีจำนวนโคโลนีที่พบ 3.51×10^7 CFU/ml และจำนวนโคโลนีที่แตกต่างกัน 3 ชนิด ขณะที่กลุ่มที่เลี้ยงแบบปกติ (AF-B) มีจำนวนโคโลนีที่พบ 1.13×10^7 CFU/ml และจำนวนโคโลนีที่แตกต่างกัน 6 ชนิด และไส้เดือนสายพันธุ์ Blue ที่เลี้ยงด้วยระบบ IoT มีจำนวนโคโลนีที่พบ 4.45×10^7 CFU/ml และจำนวนโคโลนีที่แตกต่างกัน 3 ชนิด ขณะที่กลุ่มที่เลี้ยงแบบปกติ (Blue-B) มีจำนวนโคโลนีที่พบ 2.27×10^7 CFU/ml และจำนวนโคโลนีที่แตกต่างกัน 7 ชนิด สรุปได้ว่าสภาวะที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงไส้เดือนมีผลต่อปริมาณและความหลากหลายของเชื้อจุลินทรีย์ที่อยู่ในมูลไส้เดือน โดยการเพาะเลี้ยงด้วยระบบ IoT พบว่าปริมาณจุลินทรีย์มีมากกว่าแต่มีความหลากหลายของเชื้อจุลินทรีย์น้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองที่เลี้ยงด้วยระบบปกติ

เมื่อเปรียบเทียบสายพันธุ์ไส้เดือนพบว่า ไส้เดือนสายพันธุ์ Blue พบปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในตัวอย่างมูลไส้เดือนมากกว่าสายพันธุ์ AF ผลการศึกษาแสดงให้เห็นถึงผลที่ดีกว่าของการควบคุมสภาพแวดล้อมที่มีเทคโนโลยี IoT ซึ่งส่งผลให้มูลไส้เดือนที่ได้มีคุณภาพสูงขึ้นจากการมีจุลินทรีย์ที่หลากหลาย

2. วิจัยการผลิตวิจัย

2.1 ระบบควบคุมสภาพแวดล้อมสำหรับฟาร์มไส้เดือนโดยใช้เทคโนโลยี IoT ที่พัฒนาขึ้นในการวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วยองค์ประกอบหลัก 3 ส่วน ได้แก่ 1) เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น (DHT11) 2) เซ็นเซอร์วัดความชื้นดิน และ 3) ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 ซึ่งเชื่อมต่อกับแอปพลิเคชันแบบเรียลไทม์เพื่อการควบคุมระบบอย่างแม่นยำ จากการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ ระบบมีความเหมาะสมในระดับดีมาก เนื่องจากสามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นได้อย่างต่อเนื่องและแม่นยำ ส่งผลให้ไส้เดือนมีสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต และช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตมูลไส้เดือนได้อย่างชัดเจน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ รชต และคณะ (2564) ที่พบว่า การใช้ระบบควบคุมสภาพแวดล้อมผ่านแพลตฟอร์ม IoT ช่วยทำให้ไส้เดือนเจริญเติบโตดีขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 30 และเพิ่มปริมาณมูลไส้เดือนได้อย่างมีนัยสำคัญ เช่นเดียวกับงานของ Gavilanes et al. (2024) ที่นำระบบ IoT ร่วมกับ Fuzzy Logic มาใช้ในการควบคุมอุณหภูมิ ความชื้น และ pH ซึ่งช่วยเพิ่มคุณภาพของผลผลิตและลดการพึ่งพาแรงงานมนุษย์

2.2 ผลการวิจัยพบว่า ระบบ IoT มีผลต่อการเพิ่มผลผลิตมูลไส้เดือน ความยาวเฉลี่ยของไส้เดือน และปริมาณจุลินทรีย์ในมูลไส้เดือนอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะในสายพันธุ์ African Nightcrawler (AF) ซึ่งมีผลผลิตสูงกว่าและมีการเจริญเติบโตดีกว่าการเลี้ยงแบบปกติ เหตุผลหนึ่งที่น่าจะอธิบายปรากฏการณ์นี้ได้คือ ระบบ IoT สามารถควบคุมปัจจัยแวดล้อมได้อย่างเสถียร เช่น ความชื้นในวัสดุรองเลี้ยงและอุณหภูมิ ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อพฤติกรรมและการย่อยอินทรีย์วัตถุของไส้เดือน ตลอดจนการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในมูลไส้เดือน แต่เมื่อพิจารณาในแง่ของความหลากหลายของจุลินทรีย์ พบว่าการเลี้ยงด้วยระบบ IoT จะมีปริมาณจุลินทรีย์สูงกว่า แต่กลับมีความหลากหลายของสายพันธุ์น้อยกว่าเมื่อเทียบกับการเลี้ยงแบบปกติ ซึ่งอาจเกิดจากสภาพแวดล้อมที่ “คงที่และเหมาะสม” ซึ่งเป็นสภาพแวดล้อมที่มีส่วนช่วยในการคัดเลือกจุลินทรีย์ที่มีความจำเพาะ (Environmental Selection) ที่สามารถเจริญเติบโตได้ดีในสภาพแวดล้อมที่ใช้ระบบ IoT ในการเพาะเลี้ยง ทำให้เกิดการเพิ่มจำนวนของกลุ่มจุลินทรีย์เด่น (Dominant Group) จากระบบควบคุมทำให้จุลินทรีย์บางสายพันธุ์ที่มีประสิทธิภาพสูงในการย่อยสลายสามารถเจริญเติบโตได้ดี และอาจสร้างสารควบคุม (Microbial Growth Control Agents) ที่สามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์สายพันธุ์อื่น ๆ ได้ ในขณะที่การเลี้ยงแบบปกติซึ่งมีสภาพแวดล้อมที่ผันผวนมากกว่า อาจเปิดโอกาสให้จุลินทรีย์หลากหลายชนิดผลัดกันเจริญเติบโตตามสภาวะที่เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ จีรศักดิ์ และลักษณะันท์ (2565) ที่พบว่า การควบคุมสภาพแวดล้อมด้วยระบบ IoT ส่งผลให้การเจริญเติบโตของไส้เดือนและปริมาณของมูลไส้เดือนเพิ่มขึ้น

จากการศึกษาของ Aguilar et al. (2023) พบว่าในช่วงของการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุ ระยะที่มีการย่อยสลายสารอินทรีย์อย่างรวดเร็ว มักเกิดในสภาวะที่มีความหลากหลายของจุลินทรีย์น้อยกว่าแต่มีชนิดเด่นจำนวนมาก (เช่น แบคทีเรียในจีนัส *Thermus*, *Bacillus*) ซึ่งช่วยเร่งสลายสารอินทรีย์และลดจำนวนเชื้อก่อโรคได้ดี

ผลการศึกษาพบว่ามูลไส้เดือนจากระบบการเลี้ยงแบบ IoT มีปริมาณจุลินทรีย์รวมสูงแต่มีความหลากหลายของชนิดจุลินทรีย์ต่ำกว่าการเลี้ยงแบบปกติ ซึ่งสะท้อนถึงการคัดเลือกของสภาพแวดล้อมที่ควบคุมให้จุลินทรีย์บางกลุ่มเจริญเด่น โดยจุลินทรีย์กลุ่มดังกล่าวสามารถช่วยเร่งการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุและเพิ่มประสิทธิภาพการปลดปล่อยธาตุอาหาร รวมถึงมีศักยภาพในการก่อโรคพืชหากเป็นจุลินทรีย์ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช (PGPR) เช่น *Streptomyces*, *Bacillus* และ *Pseudomonas* ซึ่งมีบทบาทในการปรับโครงสร้างจุลินทรีย์บริเวณราก เพิ่มการดูดใช้ธาตุอาหาร และเสริมความแข็งแรงของพืช (Nonthakaew et al., 2022; Sahai et al., 2025; เปรมสุตา, 2568; ภัทธนาวรรณ และคณะ, 2566) อย่างไรก็ตาม ความหลากหลายของหน้าที่ทางชีวภาพที่ลดลงอาจจำกัดเสถียรภาพของระบบในระยะยาว ในขณะที่มูลไส้เดือนที่มีความหลากหลายของจุลินทรีย์สูง แม้มีปริมาณจุลินทรีย์รวมไม่มากนัก กลับเอื้อต่อความต่อเนื่องของกระบวนการย่อยสลายและการทำงานเชิงหน้าที่ของจุลินทรีย์ภายใต้สภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงได้ดีกว่า ซึ่งสอดคล้องกับรายงานการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบและหน้าที่ของชุมชนแบคทีเรียระหว่างกระบวนการ Vermicomposting ที่ส่งผลต่อคุณสมบัติที่เป็นประโยชน์ของมูลไส้เดือน (Dominguez et al., 2019; Pathma and Sakthivel, 2012)

2.3 ผลการวิจัยแสดงให้เห็นชัดเจนว่าไส้เดือนสายพันธุ์ AF ตอบสนองต่อระบบ IoT ได้ดีกว่าสายพันธุ์ Blue ในทุกมิติทั้งด้านผลผลิต และความยาวของตัวไส้เดือน เนื่องจากสภาพแวดล้อมที่ตั้งค่าไว้ในระบบ IoT ที่กำหนดให้ใช้การรดน้ำเพื่อปรับอุณหภูมิและความชื้นของวัสดุรองเลี้ยง โดยเมื่อจะเปิดปั้มน้ำเมื่อความชื้นวัสดุรองเลี้ยง ต่ำกว่าร้อยละ 40 และปิดปั้มน้ำเมื่อความชื้นเกินร้อยละ 75 นั้นเป็นค่าที่เหมาะสมสำหรับสายพันธุ์ AF มากกว่าสายพันธุ์ Blue ซึ่งสอดคล้องกับ Edwards and Arancon (2022) ที่กล่าวว่า ความชื้นในวัสดุเลี้ยงที่เหมาะสมสำหรับ African Nightcrawler (AF) อยู่ที่ร้อยละ 70–85 ส่วนสายพันธุ์ Blue Worm (Blue) อยู่ที่ร้อยละ 75–90 นอกจากนี้ ไส้เดือน Blue Worm (Blue) ยังมีความไวการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ มากกว่า African Nightcrawler (AF) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างรวดเร็วทำให้การเจริญเติบโตและการสืบพันธุ์ชะลอลง แต่ความไวต่อสิ่งแวดลอมของ Blue Worm ก็เป็นข้อดีในการใช้เป็นตัวชี้วัดคุณภาพของระบบเลี้ยง เช่น หากไส้เดือนมีพฤติกรรมผิดปกติ อาจบ่งชี้ว่าระบบมีปัญหาได้

สรุปผลการวิจัย

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบควบคุมสภาพแวดล้อมด้วยเทคโนโลยี IoT ในการเลี้ยงไส้เดือนสายพันธุ์ African Nightcrawler (AF) และ Blue Worm (Blue) โดยเปรียบเทียบกับวิธีการเลี้ยงแบบปกติ การทดลองดำเนินการระหว่างวันที่ 15 กุมภาพันธ์ ถึง 1 มีนาคม 2568 ซึ่งตรงกับช่วงปลายฤดูหนาวเข้าสู่ต้นฤดูร้อนของภาคเหนือของประเทศไทย โดยช่วงเวลาดังกล่าวมีความแปรปรวนของอุณหภูมิและความชื้นในอากาศ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อเจริญเติบโตของไส้เดือนและจุลินทรีย์ในวัสดุรองเลี้ยง การระบุช่วงฤดูกาลนี้ช่วยให้สามารถตีความผลลัพธ์ได้อย่างถูกต้องตามบริบทของสภาพแวดล้อม

การทดลองดำเนินการในรอบการผลิตเดียว (Single Production Cycle) โดยแบ่งออกเป็น 4 กลุ่มทดลอง ได้แก่ AF-A, AF-B, Blue-A และ Blue-B แต่ละกลุ่มประกอบด้วย 8 หน่วยทดลอง รวมทั้งหมด 32 หน่วยทดลอง การเก็บผลผลิตดำเนินการทุก 14 วัน โดยใช้แรงงานมนุษย์เก็บเฉพาะมูลไส้เดือนด้านบนของวัสดุรองเลี้ยง ซึ่งความลึกในการเก็บอาจแตกต่างกันตามปริมาณของมูลในแต่ละกะละมัง ค่าที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์เป็นค่าเฉลี่ยจาก 8 หน่วยทดลองในแต่ละกลุ่ม เพื่อสะท้อนแนวโน้มของผลลัพธ์ภายใต้เงื่อนไขการทดลองที่กำหนด

ระบบ IoT ที่ใช้ในการทดลองมีการตั้งค่าเกณฑ์การให้น้ำอัตโนมัติโดยอิงจากค่าความชื้นของวัสดุรองเลี้ยง ซึ่งกำหนดค่าความชื้นขั้นต่ำที่ร้อยละ 40 และสูงสุดที่ร้อยละ 75 โดยระบบจะตรวจสอบค่าความชื้นจากเซ็นเซอร์สองตัว (S1 และ S2) และคำนวณค่าเฉลี่ยเพื่อใช้ในการตัดสินใจเปิดหรือปิดปั้มน้ำผ่านรีเลย์ควบคุม หากค่าความชื้นต่ำกว่าค่าที่กำหนด ระบบจะสั่งให้น้ำโดยอัตโนมัติ และมีการตรวจสอบความแม่นยำของเซ็นเซอร์โดยเปรียบเทียบกับเครื่องมือมาตรฐานในห้องปฏิบัติการ พร้อมทั้งมีการสอบเทียบ (Calibration) ก่อนทำการทดลอง เพื่อสร้างความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่ได้จากระบบ

ในด้านของจุลินทรีย์ พบว่ากลุ่มที่เลี้ยงด้วยระบบ IoT มีจำนวนโคโลนีจุลินทรีย์ (CFU/mL) สูงกว่ากลุ่มควบคุม แต่กลับมีจำนวนชนิดของโคโลนีที่แตกต่างกันน้อยกว่า ซึ่งอาจเกิดจากสภาพแวดล้อมที่เสถียรและเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์บางกลุ่มที่มีความจำเพาะสูง ส่งผลให้เกิดการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์เด่นในระบบควบคุม ขณะที่การเลี้ยงแบบปกติที่มีความผันแปรของสภาพแวดล้อมมากกว่า อาจเปิดโอกาสให้จุลินทรีย์หลากหลายชนิดเจริญเติบโตตามสภาวะที่เปลี่ยนแปลงไป

จากการศึกษานี้สามารถสรุปได้ว่าในกระบวนการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุเพื่อผลิตมูลไส้เดือน ความหลากหลายของจุลินทรีย์จะเปลี่ยนแปลงไปตามระยะเวลาการหมัก โดยในช่วงต้นของกระบวนการจะพบจุลินทรีย์เด่นในปริมาณมากแต่มีความหลากหลายน้อย และเมื่อเข้าสู่ระยะบ่มของมูลไส้เดือน ความหลากหลายของจุลินทรีย์จะเพิ่มขึ้น ซึ่งส่งผลต่อคุณสมบัติของปุ๋ยในด้านการย่อยสลาย การกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืช และการยับยั้งเชื้อก่อโรคในระยะยาว ดังนั้น ก่อนนำมูลไส้เดือนมาใช้กับพืช ควรปล่อยให้เกิดการบ่มของปุ๋ยอย่างเหมาะสม เพื่อปรับสมดุลของประชากรจุลินทรีย์ทั้งในด้านชนิดและปริมาณ ไม่ควรนำมาใช้งานทันทีหลังจากการเก็บเกี่ยว

ข้อเสนอแนะ

การวิจัยในครั้งต่อไป 1) ควรทดสอบในสภาพแวดล้อมอากาศที่แตกต่างกัน และมีการศึกษาการควบคุมตัวแปรเพิ่มเติม เช่น ปริมาณอาหารที่ให้ไส้เดือน หรือข้อมูลเกี่ยวกับคุณภาพของมูลวัวที่ใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเลี้ยงไส้เดือนให้ดียิ่งขึ้น 2) ควรพัฒนาระบบ Dashboard โดยเฉพาะ เพื่อการแสดงผลข้อมูลและการควบคุมที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น เช่น การใช้แพลตฟอร์มสำเร็จรูปอย่าง Blynk, ThingsBoard หรือการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันของตนเอง เพื่อแสดงผลข้อมูลย้อนหลังในรูปแบบกราฟ ซึ่งมีประโยชน์อย่างยิ่งต่อการวิเคราะห์และวางแผนการผลิต และควรเพิ่มฟังก์ชันการแจ้งเตือนเหตุ การณ์ผิดปกติไปยังเกษตรกรโดยตรง เช่น ผ่าน อีเมล หรือ Push Notification บนมือถือ ในกรณีที่ปั้มน้ำไม่ทำงาน, ค่าความชื้นต่ำหรือสูงเกินเกณฑ์วิกฤต หรือเซ็นเซอร์ขาดการเชื่อมต่อ ซึ่งจะช่วยลดความเสี่ยงและความเสียหายได้ดีกว่าการแสดงผลบนจอ LCD หรือ Serial Monitor เพียงอย่างเดียว 3) ศึกษาผลกระทบของระบบ IoT ต่อสายพันธุ์ไส้เดือนอื่น ๆ เพื่อขยายขอบเขตการประยุกต์ใช้ให้ครอบคลุมมากขึ้น และ 4) ควรนำผลการทดลองนี้ไปใช้ในฟาร์มไส้เดือนขนาดใหญ่ เพื่อเพิ่มผลผลิตลดต้นทุนแรงงาน และปรับปรุงการบริหารจัดการ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาที่ให้การสนับสนุนงบประมาณการวิจัยในโครงการวิจัยทุนงบประมาณเพื่อสนับสนุนงานมูลฐาน (Fundamental Fund; FF) ประจำปีงบประมาณ 2567 นอกจากนี้ขอขอบคุณศูนย์การเรียนรู้แบบบูรณาการศาสตร์ผสมผสาน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปาง ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลและสถานที่ในการดำเนินงานวิจัยจนทำให้การศึกษาค้นคว้าสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- จิรศักดิ์ พุ่มเจริญ และลักษณะนันท พลอยวัฒนวงศ์. (2565). เทคโนโลยีไอโอทีสำหรับการควบคุมสภาพแวดล้อมการเพาะเลี้ยงไส้เดือนดิน. วารสารวิจัย มข. (ฉบับบัณฑิตศึกษา), 22(1), 145-155.
- ธิดาศักดิ์ โพธิ์ทอง, ประสิทธิ์ เมฆอรุณ, และ สิทธิชัย ชูสำโรง. (2562). การพัฒนาระบบฟาร์มอัจฉริยะสำหรับเกษตรกรยุคใหม่ด้วยซอฟต์แวร์รหัสเปิดและอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง. วารสารเกษตรนเรศวร, 16(2), 79-88.
- นันทวุฒิ จำปางาม. (2560). การใช้เทคโนโลยีปุ๋ยหมักไส้เดือนดินเพื่อการเกษตรที่ยั่งยืน. วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 11(2), 70-81.
- เปรมสุตา สมาน. (2568). การคัดเลือก *Bacillus* sp. ที่เป็นแบคทีเรียส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช. วารสารมหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 5(2), 37-48.
- พงษ์สุตา ชาญวิชัยพนธ์. (2562). การเพาะเลี้ยงไส้เดือนดินสายพันธุ์ AF เพื่อผลิตปุ๋ยชีวภาพสำหรับผักกวางตุ้งดอก (*Brassica rapa* var. *parachinensis*).
ค้นจาก <http://202.28.34.124/dspace/bitstream/123456789/665/1/59010852002.pdf>
- พัชร ทองสืบสาย. (2553). การศึกษาประสิทธิภาพการย่อยกระดาษของไส้เดือน 3 ชนิด.
ค้นจาก https://digital.library.tu.ac.th/tu_dc/digital/api/DownloadDigitalFile/download/194092
- ภัทณารวรรณ์ ฉันทรัตนโยธิน, พันธุ์พล สันธูยา, เบญจมาศ สันต์สวัสดิ์, และ ทิตา สุนทรวิภาต. (2563). ผลของปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับจุลินทรีย์ *Bacillus megaterium* ในการส่งเสริมการเจริญเติบโตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวขาวดอกมะลิ 105. วารสารวิชาการ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์, 15(2), 81-96.

- รชต เรืองกาญจน์, นิดา แซ่จ้อง, และ ชลธิศา รัตนชู. (2564). ความคุ้มค่าของแพลตฟอร์มในการเจริญเติบโตของพืชผักไฮโดรโปนิกส์ผ่านแพลตฟอร์ม IoT. *วารสารมหาวิทยาลัยราชภัฏวราชนครินทร์*, 13(3), 294–307.
- วรรณวิภา ไชยชาญ, เอนก สวาทอินทร์, เตือนใจ ปิยัง, และ วีระศักดิ์ ไชยชาญ. (2561). การศึกษาประสิทธิภาพของแท่งเพาะชำจากวัสดุเหลือใช้อินทรีย์ที่มีการผสมมูลไส้เดือน.
- ค้นจาก <https://www.repository.rmutsv.ac.th/bitstream/handle/123456789/2354/FullText.pdf>
- ศูนย์การเรียนรู้แบบบูรณาการศาสตร์ผสมผสาน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปาง. (2565). ขั้นตอนการเลี้ยงไส้เดือนดิน [โปสเตอร์]. ค้นจาก <https://online.pubhtml5.com/magpc/iedm/>
- ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม. (2562). การประยุกต์ใช้ไส้เดือนดินในการบำบัดสารอันตรายตกค้างในวัสดุปรับปรุงดินจากขยะชุมชน: รายงานผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์. ค้นจาก <https://datacenter.dcce.go.th/service-portal/environmental-media-system/electronics-detail/?id=101439>
- อานัฐ ตันโช. (2549). ไส้เดือนดิน (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ: สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ.
- อานัฐ ตันโช. (2557). สายพันธุ์ไส้เดือนดินที่น่าเลี้ยง. *วารสารดินและปุ๋ย*, 36(1-4), 6-12.
- Aguilar-Paredes, A., Valdés, G., Araneda, N., Valdebenito, E., Hansen, F., and Nuti, M. (2023). Microbial community in the composting process and its positive impact on the soil biota in sustainable agriculture. *Agronomy*, 13(2), 542. doi: 10.3390/agronomy13020542
- Akhila, A., and Entoori, K. (2022). Role of earthworms in soil fertility and its impact on agriculture: A review. *International Journal of Fauna and Biological Studies*, 9(3), 55–63. doi: 10.22271/23940522.2022.v9.i3a.907
- Edwards, C. A., and Arancon, N. Q. (2022). *Biology and ecology of earthworms* (4thed). New York, NY: Springer.
- Gavilanes, J. D., Pulla, D. A., Tierra-Llana, A., Reyes, F., and Isa-Jara, R. (2024). An IoT system for monitoring and controlling microclimates using fuzzy logic applied to a vermicompost culture. In **2024 IEEE Eighth Ecuador Technical Chapters Meeting (ETCM)** (pp.1–6). doi:10.1109/ETCM63562.2024.10746061
- Nonthakaew, N., Panbangred, W., Songnuan, W., and Intra, B. (2022). Plant growth-promoting properties of *Streptomyces* spp. isolates and their impact on mung bean plantlets' rhizosphere microbiome. *Frontiers in Microbiology*, 13. doi: 10.3389/fmicb.2022.967415
- Sharma, N., Mahawar, L., Mishra, A., and Albrechtsen, B. R. (2025). Microbial contributions to plant growth and stress tolerance: Mechanisms for sustainable plant production. *Plant Stress*, 17, 100966. doi:10.1016/j.stress.2025.100966