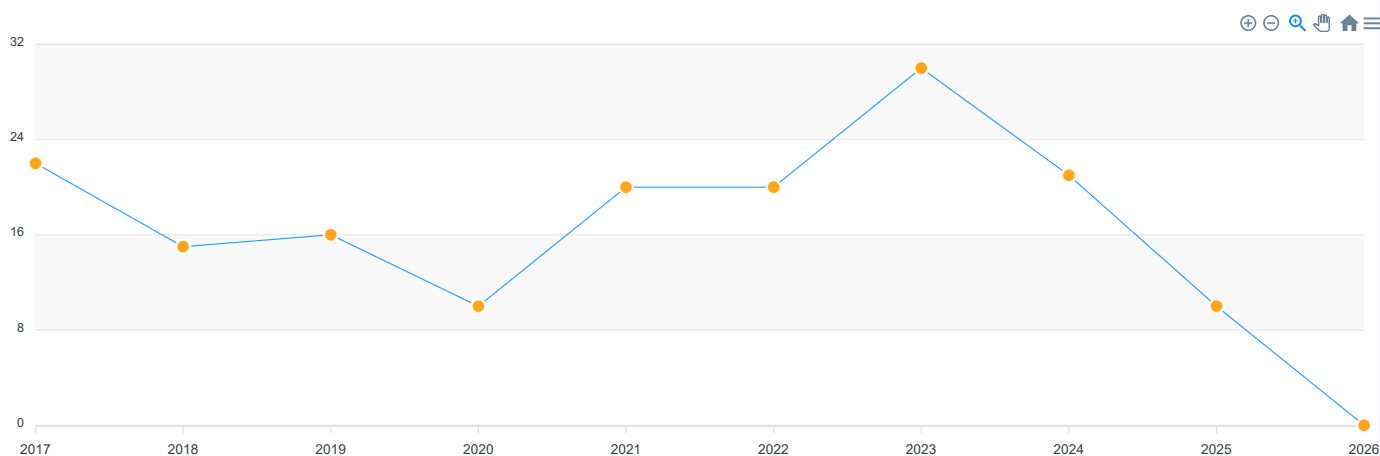




Name (English):	SCIENCE AND TECHNOLOGY NAKHON SAWAN RAJABHAT UNIVERSITY JOURNAL
Name (Local):	วารสารวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์
Status:	Active
Editor-in-Chief:	รศ. ดร.ชลดา เดชาเกียรติไกร อธิการบดี
Abbreviation (English):	Sci. Tech. Nakhon Sawan Raj. Uni. J.
Abbreviation (Local):	-
pISSN:	2408-252X
eISSN:	-
Issues/Year:	2
Address:	อาคารศูนย์วิทยาศาสตร์ (อาคาร 13) คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ เลขที่ 398 หมู่ 9 ต.นครสวรรค์ตก อ.เมือง จ.นครสวรรค์ 60000
Website:	https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/JSTNSRU
Email:	sirichai.t@nsru.ac.th, chonlada.d@nsru.ac.th
Publisher (English):	Faculty of Science and Technology, Nakhon Sawan Rajabhat University
Publisher (Local):	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์
TCI Tier:	2
Top Levels:	Physical Sciences
Subject Area:	Agricultural and Biological Sciences Environmental Science Mathematics
Sub-Subject Area:	-
Note:	-
TCI Tier History:	Tier 2: From 01 Jan 2025 to 31 Dec 2029
	Tier 2: From 01 Jan 2021 to 31 Dec 2024
	Tier 2: From 01 Jan 2020 to 31 Dec 2020
	Show More

จำนวน publication ใน 10 ปีที่ผ่านมา





ที่ อว ๐๖๑๖.๑๐/๑๒๑๓

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์
อ.เมือง จ.นครสวรรค์ ๖๐๐๐๐

๒๒ ตุลาคม ๒๕๖๘

เรื่อง ตอบรับการลงตีพิมพ์บทความวิจัย

เรียน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปริยากร บัวทอง

ตามที่ ท่านได้ส่งบทความเพื่อพิจารณาตีพิมพ์มายังวารสารวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ เรื่อง การเปรียบเทียบอัตราการงอกของเมล็ดผักสลัดระหว่างโรงเรือนปกติ กับโรงเรือนอัจฉริยะผ่านเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง ความแจ้งแล้วนั้น

ในการนี้ กองบรรณาธิการวารสารวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ ได้ส่งให้ผู้ทรงคุณวุฒิ จำนวน ๓ ท่าน ซึ่งเป็นบุคคลภายนอกจากหลากหลายสถาบันและไม่ได้อยู่ในสถาบัน เดียวกันกับผู้แต่ง พิจารณาทบทวนความเรียบร้อยแล้ว เห็นว่าบทความงานวิจัยดังกล่าวมีรูปแบบและเนื้อหา เหมาะสม มีคุณค่าต่อการตีพิมพ์เผยแพร่ที่มีประโยชน์ทางวิชาการ จึงแจ้งตอบรับการลงตีพิมพ์บทความวิจัย ของท่านในวารสารวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ ปีที่ ๑๗ ฉบับที่ ๒๖ ประจำเดือน กรกฎาคม – ธันวาคม ๒๕๖๘

จึงเรียนมาเพื่อทราบ

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศศิโสพิท บัวดา)

รองคณบดี รักษาการแทน

คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

กองบรรณาธิการวารสารฯ

โทร. ๐-๕๖๒๑-๙๑๐๐ ต่อ ๒๕๐๑

โทรสาร ๐-๕๖๘๘-๒๕๓๑

www.nsr.u.ac.th

การเปรียบเทียบอัตราการงอกของเมล็ดผักสลัดระหว่างโรงเรือนปกติกับโรงเรือนอัจฉริยะ ผ่านเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

A Comparative Study on Lettuce Seed Germination Rates Conventional and Smart Greenhouses using Internet of Things Technology

ปริญกร บัวทอง^{1*}, ยศวรรณ์ จันทนา¹, เอกสิทธิ์ สิริธิสมาน²

Pariyakorn Buathong^{1*}, Yotsawat Jantana¹, Akkasit Sittisaman²

¹สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

¹Department of Computer Engineering, Faculty of Agricultural and Industrial Technology,
Phetchabun Rajabhat University

²ภาควิชาวิทยาศาสตร์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์

²Department of Applied Science, Faculty of Science and Technology, Nakhon Sawan Rajabhat University

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาโรงเรือนอัจฉริยะโดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง เปรียบเทียบประสิทธิภาพกับโรงเรือนปกติ โดยเป็นการวิจัยและพัฒนาเชิงวิศวกรรมจากประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 อ่านค่าจากเซนเซอร์เพื่อตรวจวัดอุณหภูมิ/ความชื้นอากาศ ความชื้นในดิน และความเข้มแสง เพื่อควบคุมการเปิด-ปิดปั๊มน้ำตามค่าความชื้นดิน และสั่งงานระบบพ่นหมอกตามอุณหภูมิที่กำหนด ข้อมูลถูกบันทึกบนคลาวด์ ผู้ใช้สามารถติดตามและตั้งค่าผ่านสมาร์ทโฟน ผลการทดลองเพาะเมล็ดผักสลัด 3 ชนิด ได้แก่ เรดโอ๊ค กรีนโอ๊ค และฟินเลย์ไอซ์เบิร์ก พร้อมกันในโรงเรือนอัจฉริยะและโรงเรือนปกติ พบว่าโรงเรือนอัจฉริยะสามารถทำงานได้อย่างถูกต้องตามเงื่อนไข ระบบพ่นหมอกช่วยลดอุณหภูมิเฉลี่ยภายในต่ำกว่าโรงเรือนปกติ 3°C ระบบรดน้ำสามารถรักษาความชื้นดินให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมและคงที่ โดยมีค่าความชื้นเฉลี่ย 32%–43% ขณะที่โรงเรือนปกติอยู่ในช่วง 28%–48% การเปรียบเทียบพบว่าผักสลัดที่เพาะในโรงเรือนอัจฉริยะมีค่าเปอร์เซ็นต์ความงอกและดัชนีการงอก สูงกว่าและสม่ำเสมอกว่าการเพาะในโรงเรือนปกติ มีเวลาเฉลี่ยการงอก 4.32 วัน ต้นกล้าในโรงเรือนอัจฉริยะมีค่าเฉลี่ยการเจริญเติบโตสูงกว่าโรงเรือนปกติ 21.5% และมีความแปรผันสัมพัทธ์ต่ำกว่า สรุปได้ว่าโรงเรือนอัจฉริยะที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพในการควบคุมสภาพแวดล้อมและช่วยเพิ่มอัตราการงอกและการเจริญเติบโตของผักสลัดได้ดีกว่าโรงเรือนปกติ

คำสำคัญ: โรงเรือนอัจฉริยะ อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง เมล็ดผักสลัด

* Corresponding author : pariyakorn.bua@pcru.ac.th

Abstract

This research aims to develop a smart greenhouse using Internet of Things (IoT) technology and to compare its efficiency with a conventional greenhouse. It is an engineering research and development project applying the ESP32 microcontroller to collect data from sensors to measure air temperature/humidity, soil moisture, and light intensity. These sensors' data are used to control the on-off of water pumps' operation based on soil moisture values and to operate the mist spraying system according to the specified temperature. The data is saved on the cloud, and users can track and set settings via smartphones. Three types of lettuce seeds: Red Oak, Green Oak, and Frillice Iceberg were cultivated simultaneously in both the smart and conventional greenhouses. The smart greenhouse was found to function properly under the defined conditions. The misting system reduced the average internal temperature by 3°C compared to the conventional greenhouse. The watering system can maintain soil moisture within a 32%–43% range which is a more suitable and stable range than the conventional greenhouse, which ranged from 28%–48%. Comparisons revealed that lettuce grown in the smart greenhouse had higher and more consistent seed germination percentages and germination index, with a mean germination time of 4.32 days. Seedlings in the smart greenhouse exhibited a 21.5% higher average growth rate than those in the conventional greenhouse and showed lower relative variation. In conclusion, the developed smart greenhouse proved effective in controlling environmental conditions and enhancing the germination rate and growth of lettuce compared to a conventional greenhouse.

Keywords: Smart Greenhouse, Internet of Things, Lettuce Seed

1. บทนำ

อาชีพเกษตรกรเป็นพื้นฐานที่สำคัญในการเสริมสร้างสังคมในชุมชนท้องถิ่น การนำเทคโนโลยีและนวัตกรรมมาช่วยพัฒนาให้มีผลผลิตและรายได้ที่สูงขึ้น และการที่ประชาชนหันมาบริโภคอาหารที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย เช่น อาหารปลอดภัย ผักปลอดสารพิษ และการทำเกษตรอินทรีย์เป็นการช่วยลดการใช้สารเคมีตกค้างในผัก ทำให้ดิน น้ำ และอากาศ ปราศจากสารเคมี และเป็นแนวทางของเศรษฐกิจพอเพียง (กองนโยบายเทคโนโลยีเพื่อการเกษตรและเกษตรกรรมยั่งยืน, 2568)

วิสาหกิจชุมชนผู้ผลิตพืชผักปลอดภัยห้วยสะแกเป็นการรวมกลุ่มของคนในชุมชนเพื่อปลูกผักปลอดสารเคมีซึ่งเป็นการสร้างรายได้และเกิดเป็นความสุขในชุมชน โดยสินค้าในชุมชนผ่านการรับรองมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ SDGPGS ประเภทการรับรองอินทรีย์ (Organic) จากสมาพันธ์เกษตรกรรมยั่งยืนแห่งประเทศไทย

ซึ่งสามารถนำสินค้าส่งออกจำหน่ายไปยังตลาดชุมชนและห้างสรรพสินค้า ถือเป็นการสร้างรายได้ให้กับสมาชิกในกลุ่มวิสาหกิจ ในแต่ละเดือนจะมีการเพาะเมล็ดผักหมุนเวียนเปลี่ยนไปหลายชนิดขึ้นอยู่กับความเหมาะสมกับความต้องการของตลาดและช่วงฤดูการเจริญเติบโตของผักแต่ละชนิด โดยเฉพาะผักสลัดที่กำลังเป็นที่นิยมในกลุ่มผู้บริโภคผักปลอดภัย เช่น เคล ฟิลเลย์ไอซ์เบิร์ก ผักโขมเบบี้ ผักกาดคอส บัตเตอร์เฮด เรตคอรัล เรตโอ๊ค และกรีนโอ๊ค ต้นกล้าจะมีความสมบูรณ์แข็งแรงในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม ประกอบด้วย น้ำ แสง อุณหภูมิ และออกซิเจน โดยจะต้องมีการดูแลที่เหมาะสม กลุ่มวิสาหกิจมีการเพาะเมล็ดผักตลอดทั้งปีโดยใช้โรงเรือนแบบเปิด ทำให้ในบางฤดู ผักไม่สามารถงอกได้สมบูรณ์ตามแผนที่วางไว้ และสูญเสียต้นทุนในกระบวนการเพาะเมล็ด

การเกษตรในยุคปัจจุบันมีการนำเทคโนโลยีและนวัตกรรม มาช่วยพัฒนากระบวนการผลิตช่วยแก้ไขปัญหที่เกิดจากความแปรปรวนของสภาพอากาศ เพื่อให้มีรายได้ที่สูงขึ้นจากการลดต้นทุนการผลิต โดยเฉพาะการเพาะปลูกผักปลอดภัยที่ต้องการความแม่นยำในการควบคุมสภาพแวดล้อม เพื่อให้พืชเติบโตได้อย่างมีคุณภาพและปลอดภัยต่อผู้บริโภค (Hosny et al., 2024) ผักสลัดเป็นหนึ่งในพืชเศรษฐกิจที่ได้รับความนิยมสูงเนื่องจากผู้บริโภคตระหนักถึงสุขภาพมากขึ้น ส่งผลให้ความต้องการผักปลอดสารเคมีเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะผักสลัดที่ต้องการสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมในการเพาะเมล็ดเพื่อให้มีอัตราการงอกที่สูงและสม่ำเสมอ

เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of Things: IoT) เป็นนวัตกรรมที่เข้ามามีบทบาทอย่างมากในการเกษตรสมัยใหม่ โดยสามารถเชื่อมโยงเซนเซอร์ อุปกรณ์ควบคุม และระบบจัดเก็บข้อมูลเข้าด้วยกันอย่างเป็นระบบ เพื่อทำให้โรงเรือนสามารถควบคุมปัจจัยต่าง ๆ ได้แบบอัตโนมัติ และปรับเปลี่ยนตามค่าที่ผู้ใช้ตั้งไว้แบบเรียลไทม์ผ่านแอปพลิเคชัน (Islam et al., 2019) ส่งผลให้การเพาะเมล็ดมีประสิทธิภาพสูงขึ้น ลดการสูญเสีย และใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า โรงเรือนที่ควบคุมด้วย IoT สามารถยกระดับประสิทธิภาพการผลิตเมื่อเทียบกับระบบเดิม เช่น ระบบควบคุมอัตโนมัติช่วยคงค่าความชื้นและอุณหภูมิให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมและลดความผันผวนของพืชในโรงเรือน (Kumsong et al., 2023)

จากปัญหาในการเพาะต้นกล้า ผู้วิจัยจึงนำระบบโรงเรือนอัจฉริยะ (Smart Greenhouse) มาควบคุมสภาพแวดล้อมในโรงเรือนให้มีความเหมาะสมกับการเจริญเติบโตของต้นกล้า (สหพงศ์ สมวงศ์ และคณะ, 2565) โดยใช้เทคโนโลยีเซนเซอร์และอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งในการเก็บข้อมูล ควบคุมอุณหภูมิ และการรดน้ำที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเมล็ดผักสลัด ควบคุมการทำงานแบบอัตโนมัติ กำหนดค่าความชื้นในดินและอุณหภูมิในอากาศให้เหมาะสมกับการเพาะเมล็ด เพื่อเพิ่มอัตราการงอกของเมล็ด พร้อมเปรียบเทียบประสิทธิภาพการเพาะเมล็ดระหว่างโรงเรือนอัจฉริยะกับโรงเรือนปกติในสภาวะจริง ทั้งในด้านอัตราการงอก ความสม่ำเสมอ และเวลาที่ใช้ในการงอก เพื่อประเมินความเหมาะสมในการนำไปใช้จริงในวิสาหกิจชุมชนและการเกษตรเชิงพาณิชย์

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

2.1 เพื่อพัฒนาโรงเรือนอัจฉริยะสำหรับการเพาะเมล็ดผักสลัด

2.2 เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการเพาะเมล็ดผักสลัดในโรงเรือนอัจฉริยะกับโรงเรือนปกติ

3. วิธีดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยพัฒนาโรงเรือนอัจฉริยะที่สามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสำหรับการเพาะเมล็ดผักสลัด เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบโรงเรือนอัจฉริยะกับโรงเรือนแบบปกติ โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.1 การออกแบบและสร้างโรงเรือนอัจฉริยะ

การออกแบบโรงเรือนอัจฉริยะสำหรับการเพาะเมล็ดในถาดเพาะกล้า (จิรศักดิ์ วงษ์บังกชไพศาล และคณะ, 2562) โดยโรงเรือนมีความกว้าง 2 เมตร ยาว 3 เมตร และสูง 2 เมตร ใช้โครงสร้างหลักเป็นแกนหลักหุ้มด้วยพลาสติกใสหนา 150 ไมครอน และคลุมด้วยตาข่ายกรองแสงสีดำ 50% เพื่อควบคุมความร้อนจากแสงแดด ด้านข้างคลุมด้วยมุ้งป้องกันแมลง แสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 โรงเรือนสำหรับการเพาะเมล็ดผักสลัด

3.2 ระบบควบคุมโรงเรือนอัจฉริยะ

การควบคุมโรงเรือนแบ่งออกเป็น 4 ระบบหลัก ได้แก่ ระบบรดน้ำอัตโนมัติ ระบบพ่นหมอกเพื่อลดอุณหภูมิ และระบบเก็บข้อมูลสภาพแวดล้อม ซึ่งเชื่อมโยงผ่านบอร์ดควบคุม ESP32 ที่สามารถส่งข้อมูลผ่านอินเทอร์เน็ตไปยังระบบ Cloud ของ ThingSpeak และ Blynk

1. ระบบรดน้ำอัตโนมัติ กำหนดเวลารดน้ำตามช่วงเวลาที่ตั้งไว้ที่เวลา 7.30 น. และ 15.30 น. เมื่ออยู่ในช่วงเวลาที่กำหนดไว้ ระบบจะตรวจสอบค่าเซ็นเซอร์วัดความชื้นในดิน โดยเมื่อค่าความชื้นต่ำกว่าค่าที่ตั้งไว้ ระบบจะเปิดปั๊มน้ำอัตโนมัติ และเมื่อความชื้นในดินมีค่าตรงตามความชื้นที่ตั้งไว้ระบบจะปิดปั๊มน้ำ หรือเมื่อรดน้ำ

นานจนถึงเวลาที่กำหนดไว้เช่น 10 นาที ระบบจะปิดปั้มน้ำ โดยในกรณีนี้ไว้เพื่อป้องกันการทำงานผิดพลาดหรือการเสื่อมสภาพของเซ็นเซอร์ในการใช้งานจริง

2. ระบบพ่นหมอกลดอุณหภูมิ ทำงานเมื่ออุณหภูมิภายในโรงเรือนสูงกว่าค่าที่ตั้งไว้ ระบบจะสั่งเปิดปั้มน้ำเพื่อพ่นหมอกอัตโนมัติ และจะหยุดทำงานเมื่ออุณหภูมิลดลงต่ำกว่าค่าที่กำหนด

3. ระบบเก็บข้อมูลสภาพแวดล้อม ใช้เซ็นเซอร์วัดค่าความชื้นในอากาศ อุณหภูมิ และค่าความเข้มแสง แล้วส่งข้อมูลระบบ Cloud ของแพลตฟอร์ม ThingSpeak ทุก 1 นาที เพื่อเก็บข้อมูลระยะยาวและสามารถดาวน์โหลดข้อมูลออกมาวิเคราะห์ได้ในภายหลัง

4. ระบบควบคุมการทำงาน สามารถตั้งค่าความชื้นในดินที่ต้องการรำน้ำอัตโนมัติ ตั้งเวลาในการรดน้ำ และตั้งค่าอุณหภูมิที่ต้องการเปิดปั้มน้ำพ่นหมอก ผ่านแอปพลิเคชัน Blynk ได้ นอกจากนั้นยังสามารถสั่งเปิด-ปิดปั้มน้ำระบบรดน้ำ และปั้มน้ำพ่นหมอกได้ที่หน้ากล่องควบคุม

3.3 วัสดุและอุปกรณ์ในการสร้างระบบควบคุม

การพัฒนาโรงเรือนอัจฉริยะประกอบด้วยการเลือกใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ (ปวันพัสตร์ ศรีทรงเมือง และคณะ, 2563) อย่างเหมาะสม ได้แก่

1. บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) ESP32 ขนาด 30 ขา สามารถเขียนโปรแกรมด้วย Arduino IDE

2. โมดูลวัดอุณหภูมิและความชื้น DHT21 / AM2301 วัดได้แม่นยำ เหมาะสำหรับใช้ในงานควบคุมอุณหภูมิและความชื้น ระบบควบคุมอุณหภูมิความชื้นอัตโนมัติในอาคารหรือเรือนเพาะชำ

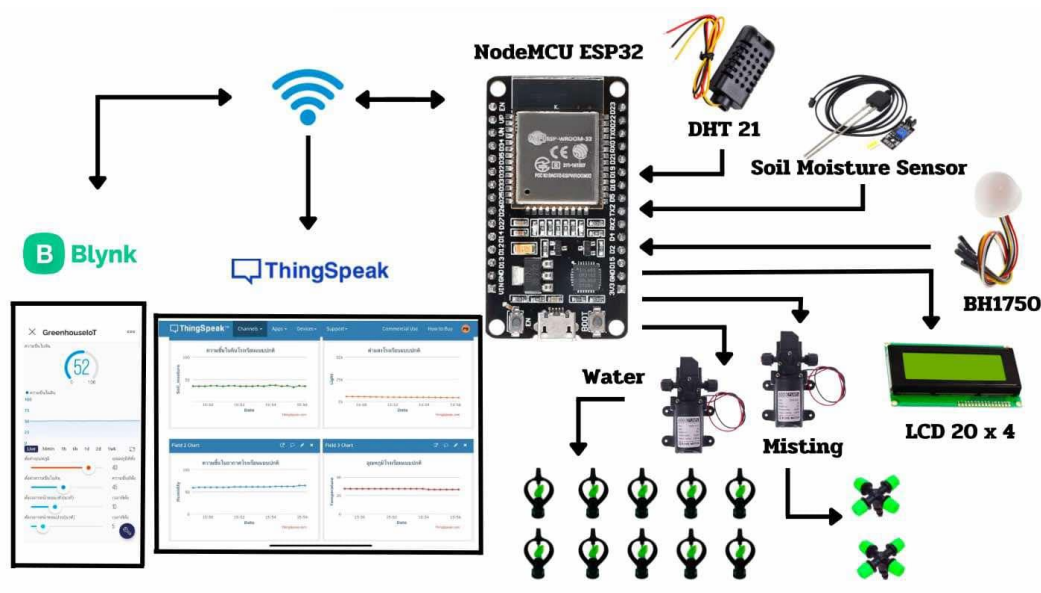
3. โมดูลวัดความชื้นในดิน Soil Humidity Detection Sensor V2 สามารถใช้วัดความชื้นในดินหัว sensor สามารถกักน้ำได้ทนกรดของปุ๋ยและกรดในดินได้นิยมนำมาทำระบบดูแลต้นไม้ ใน smart farmer

4. โมดูลวัดความเข้มของแสง GY-302 BH1750 Light Intensity Module สามารถวัดได้ออกมาในหน่วย Lux วัดความเข้มของแสง ได้ตั้งแต่ 0 - 65535 Lux ใช้การสื่อสารกับไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านบัส I2C สามารถใช้งานกับไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล Arduino ได้

5. ปั้มน้ำขนาด 12 V ใช้สำหรับดูดน้ำไปยังหัวพ่นหมอก เพื่อลดอุณหภูมิและรดน้ำให้กับเมล็ดในถาดเพาะ

6. จอแสดงผล LCD ขนาด 20 ตัวอักษร 4 บรรทัด ใช้ไฟ 5 โวลต์ พร้อมไฟ Black Light เชื่อมต่อกับ Arduino ได้ง่ายใช้แสดงผล วันที่ เวลา ค่าความชื้น ค่าอุณหภูมิ และค่าความเข้มของแสง

ภาพที่ 2 แสดงรายละเอียดในส่วนอุปกรณ์ต่าง ๆ รวมถึงการเชื่อมต่อภายในโรงเรือนอัจฉริยะ และภาพที่ 3 แสดงการติดตั้งกล่องควบคุมในโรงเรือนอัจฉริยะ



ภาพที่ 2 อุปกรณ์และการเชื่อมต่อในโรงเรือนอัจฉริยะ



ภาพที่ 3 การติดตั้งกล่องควบคุมในโรงเรือนอัจฉริยะ

3.4 วิธีดำเนินการทดลอง

การทดลองใช้เมล็ดผักสลัด 3 ชนิด ได้แก่ เรดโอ๊ค กรีนโอ๊ค และฟินเลย์ไอซ์เบิร์ก โดยเฉพาะในสภาพหลุมขนาด 105 หลุม จำนวน 2 ถาดต่อชนิด แบ่งเป็นเพาะในโรงเรือนอัจฉริยะและโรงเรือนปกติอย่างละ 1 ถาด เพื่อเปรียบเทียบผลการงอกและการเจริญเติบโต โดยมีการเก็บผลการทดลองดังนี้

1. การเก็บข้อมูล ดำเนินการเก็บข้อมูลสภาพแวดล้อม (อุณหภูมิ ความชื้น ความเข้มแสง) ทุก 1 นาที และนำมาหาค่าเฉลี่ยของทุกชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 06.00–18.00 น. เป็นเวลา 10 วัน ตามระยะการเพาะเมล็ดของวิสาหกิจชุมชนผู้ผลิตพืชผักปลอดภัยด้วยสะแก
2. การวัดการเจริญเติบโต โดยวัดความสูง ความกว้าง และนับจำนวนใบของต้นกล้า ในวันที่ 7 และ 14 หลังการเพาะ โดยสุ่มต้นกล้าชนิดละ 5 ต้นจากทั้งสองโรงเรือน
3. การเก็บข้อมูลการงอกของเมล็ด ตรวจสอบจำนวนเมล็ดที่งอกในแต่ละวัน เพื่อกำหนดอัตราการงอก ดัชนีความงอก และระยะเวลาเฉลี่ยในการงอก

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูลและสถิติที่ใช้

การวิเคราะห์ข้อมูลการงอกของเมล็ดจากการเก็บข้อมูลการงอกของเมล็ดเป็นเวลา 10 วันโดยเริ่มนับจากการงอกจนแตกใบครบ 2 ใบ เพื่อหาเปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ด (Germination Percentage : GP) ดัชนีการงอกของเมล็ด (Germination Index : GI) และเวลาเฉลี่ยในการงอก (Mean Germination Time : MGT) (Soufi et al., 2025; Maresca et al., 2024)

เปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ด หาได้จากการตรวจนับการงอกของเมล็ดหลังการเพาะเมล็ดเมื่อครบเวลาการทดลอง

$$GP (\%) = \frac{N_g}{N_t} \times 100 \quad (1)$$

N_g คือ จำนวนเมล็ดที่งอก

N_t คือ จำนวนเมล็ดที่เพาะทั้งหมด

ดัชนีการงอกของเมล็ด บ่งชี้ถึงความสามารถในการงอกได้เร็วและสม่ำเสมอ โดยการตรวจนับต้นกล้าที่งอกเพิ่มขึ้นในแต่ละวัน

$$GI = \sum \frac{n_i}{d_i} \quad (2)$$

n_i คือ จำนวนเมล็ดที่งอกในวัน i

d_i คือ วันที่ i (นับจากวันเริ่มการเพาะ)

เวลาเฉลี่ยในการงอก ซึ่งให้เห็นถึงความเร็วในการงอกของเมล็ด จากการตรวจนับต้นกล้าที่งอกเพิ่มขึ้นในแต่ละวัน

$$MGT = \frac{\sum (n_i \times d_i)}{\sum n_i} \quad (3)$$

การคำนวณเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของผลการเจริญเติบโตในโรงเรือนอัจฉริยะ และการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย (Coefficient of Variation : CV) เพื่อเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของต้นกล้าในโรงเรือนอัจฉริยะและโรงเรือนปกติ ที่ระยะเวลาการเพาะ 7 วัน และ 14 วัน

4. ผลการวิจัย

การวิจัยนี้ได้มีการเปรียบเทียบผลลัพธ์กับการเพาะในโรงเรือนแบบปกติ โดยดำเนินการทดลองเป็นระยะเวลา 10 วัน ตามระยะเวลาการงอกของเมล็ดผักสลัดที่จะใช้เวลาไม่เกิน 10 วัน และเก็บข้อมูลจากหลากหลายปัจจัย ได้แก่ ประสิทธิภาพของระบบควบคุม สภาพแวดล้อมภายในโรงเรือน อัตราการงอกของเมล็ด และการเจริญเติบโตของต้นกล้า

4.1 ประสิทธิภาพของระบบควบคุมอัตโนมัติในโรงเรือนอัจฉริยะ

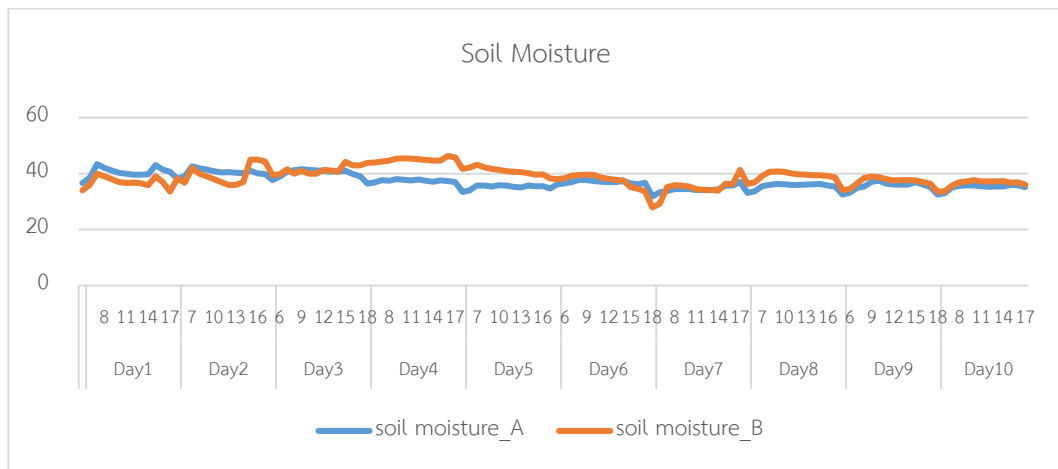
ระบบควบคุมอัตโนมัติในโรงเรือนอัจฉริยะสามารถทำงานได้อย่างแม่นยำตามเงื่อนไขที่กำหนด โดยระบบพ่นหมอกจะทำงานเมื่ออุณหภูมิสูงเกิน 40°C และหยุดเมื่ออุณหภูมิลดลง 2°C ระบบรดน้ำจะทำงานอัตโนมัติเมื่อค่าความชื้นในดินต่ำกว่าระดับที่กำหนด และหยุดเมื่อตรงตามเงื่อนไขเวลาและค่าความชื้น ระบบสามารถแสดงข้อมูลและรับค่าที่ผู้ใช้กำหนดผ่านแอปพลิเคชัน Blynk ซึ่งสามารถควบคุมการทำงานได้อย่างถูกต้อง ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 การแสดงข้อมูลและรับค่าที่ผู้ใช้กำหนดผ่านแอปพลิเคชัน Blynk ในโรงเรือนอัจฉริยะ

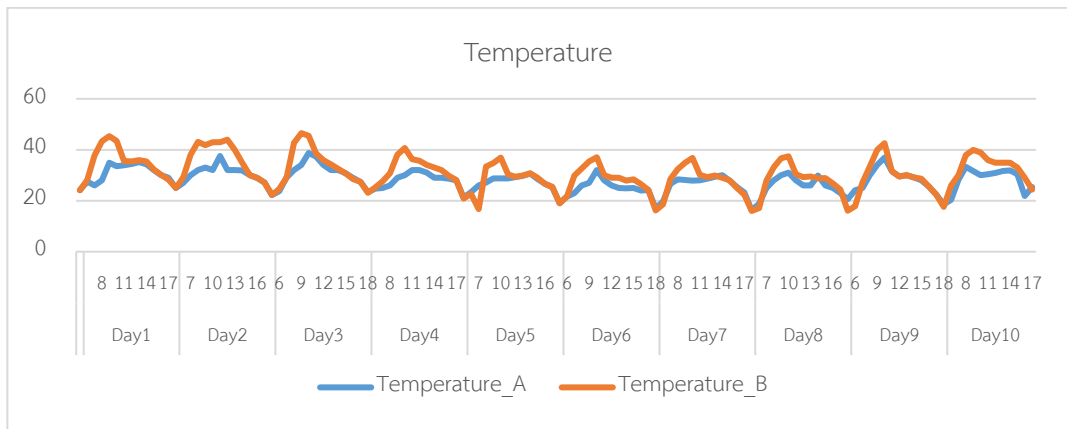
4.2 สภาพแวดล้อมในโรงเรือนอัจฉริยะและโรงเรือนปกติ

ผลการเก็บข้อมูลแบบเรียลไทม์ผ่านแพลตฟอร์ม ThingSpeak อย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 10 วัน เพื่อเปรียบเทียบระหว่างโรงเรือนปกติกับโรงเรือนอัจฉริยะ แสดงให้เห็นว่า โรงเรือนอัจฉริยะสามารถควบคุมความชื้นในดินและอุณหภูมิได้อย่างแม่นยำและสม่ำเสมอว่าโรงเรือนปกติ



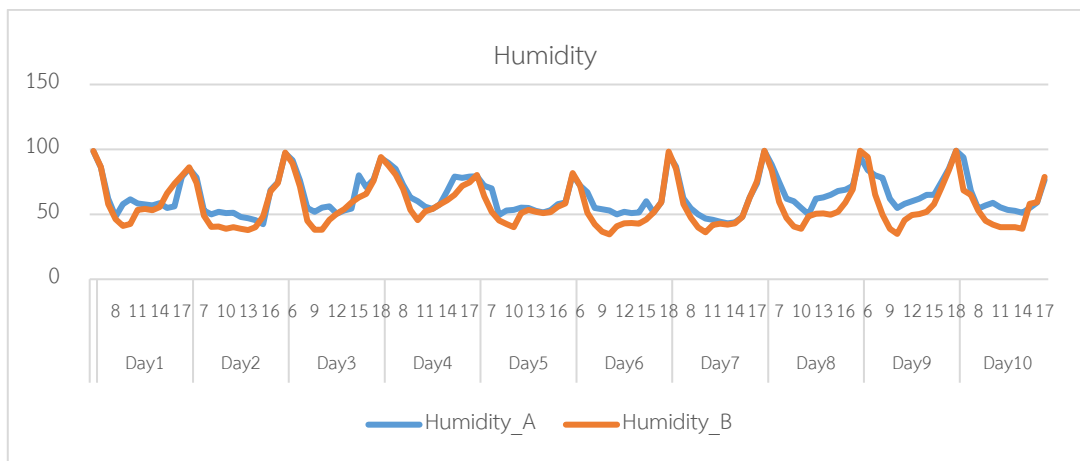
ภาพที่ 5 ข้อมูลความชื้นในดินของโรงเรือนอัจฉริยะ (A) และโรงเรือนปกติ (B)

ความชื้นในดินของโรงเรือนอัจฉริยะ (A) และโรงเรือนปกติ (B) ได้กำหนดค่าการทำงานของโรงเรือนอัจฉริยะให้น้ำในเวลา 7.30 น. เป็นเวลา 10 นาที และเวลา 15.30 น. เป็นเวลา 5 นาที หรือจนกว่าความชื้นในดินจะสูงถึงค่าที่กำหนด ทำให้สามารถลดปริมาณน้ำได้หากค่าความชื้นในดินมีความชื้นสูงกว่าค่าที่กำหนด โดยกำหนดค่าความชื้นในดินไว้ที่ 45% เนื่องจากการวัดความชื้นในภาคหลุมที่มีความลึก 4 เซนติเมตร จากการทดลองเก็บสถานะและในโรงเรือนปกติจะรดน้ำในเวลา 7.40 น. เป็นเวลา 10 นาที และเวลา 15.40 น. เป็นเวลา 5 นาที พบว่าความชื้นในดินของโรงเรือนอัจฉริยะเฉลี่ยมากที่สุดคือ 43% น้อยที่สุดคือ 32% ความชื้นในดินเฉลี่ยทั้ง 10 วัน คือ 37% และความชื้นในดินของโรงเรือนปกติเฉลี่ยมากที่สุดคือ 48% น้อยที่สุดคือ 28% ความชื้นในดินเฉลี่ยทั้ง 10 วัน คือ 39% จากกราฟเส้นในภาพที่ 5 แสดงให้เห็นว่าการรดน้ำในโรงเรือนอัจฉริยะสามารถรักษาระดับความชื้นในดินให้มีความคงที่ใกล้เคียงกันมากกว่าการรดน้ำในโรงเรือนปกติ



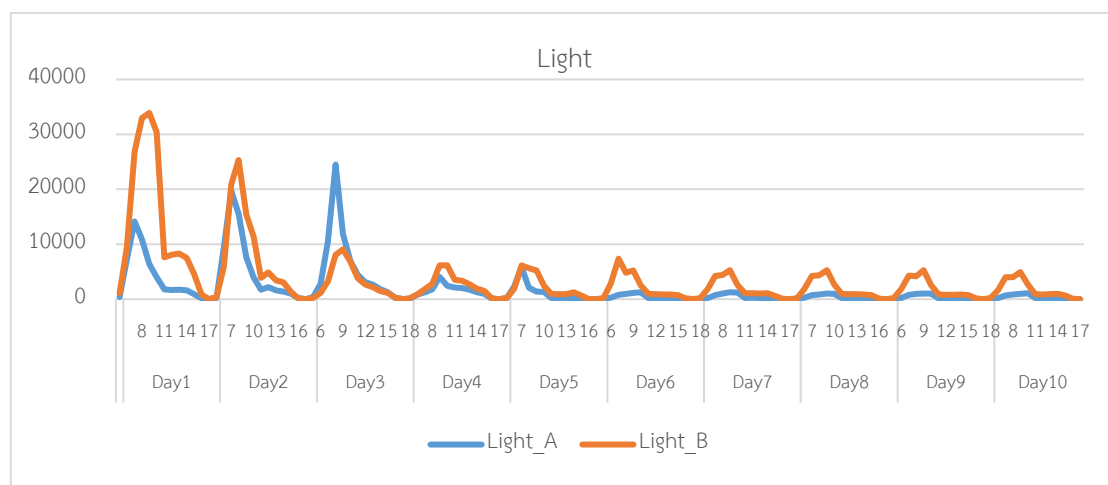
ภาพที่ 6 ข้อมูลอุณหภูมิในอากาศของโรงเรือนอัจฉริยะ (A) และโรงเรือนปกติ (B)

การเก็บข้อมูลอุณหภูมิในอากาศของโรงเรือนอัจฉริยะ (A) และโรงเรือนปกติ (B) ในโรงเรือนอัจฉริยะมีระบบพ่นหมอกเพื่อลดอุณหภูมิในโรงเรือน โดยกำหนดค่าการพ่นหมอกไว้ที่อุณหภูมิไว้ที่ 40°C และพ่นหมอกจนกว่าอุณหภูมิจะลดลง 2°C จากการเก็บข้อมูลพบว่าอุณหภูมิของโรงเรือนอัจฉริยะเฉลี่ยมากที่สุดคือ 39°C น้อยที่สุดคือ 16°C อุณหภูมิเฉลี่ยทั้ง 10 วัน คือ 28°C และอุณหภูมิของโรงเรือนปกติเฉลี่ยมากที่สุดคือ 47°C น้อยที่สุดคือ 16°C อุณหภูมิเฉลี่ยทั้ง 10 วัน คือ 31°C โดยเมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยภายในโรงเรือนอัจฉริยะน้อยกว่าโรงเรือนปกติที่ 3°C จากกราฟเส้นในภาพที่ 6 แสดงให้เห็นว่าการพ่นหมอกเพื่อลดอุณหภูมิช่วยให้อุณหภูมิในโรงเรือนอัจฉริยะไม่สูงจนเกินไปเมื่อเทียบกับโรงเรือนแบบปกติ



ภาพที่ 7 ข้อมูลความชื้นในอากาศของโรงเรือนอัจฉริยะ (A) และโรงเรือนปกติ (B)

การเก็บข้อมูลความชื้นในอากาศของโรงเรือนอัจฉริยะ (A) และโรงเรือนปกติ (B) จากภาพที่ 7 พบว่าความชื้นในอากาศของโรงเรือนอัจฉริยะเฉลี่ยน้อยที่สุดคือ 42% และมีความชื้นในอากาศเฉลี่ยทั้ง 10 วัน คือ 64% และความชื้นในอากาศของโรงเรือนปกติเฉลี่ยน้อยที่สุดคือ 35% และมีความชื้นในอากาศเฉลี่ยทั้ง 10 วัน คือ 58% ในเวลากลางวันเมื่อมีการพ่นหมอกเพื่อลดอุณหภูมิในโรงเรือนอัจฉริยะ มีผลทำให้ความชื้นในอากาศภายในโรงเรือนอัจฉริยะสูงขึ้นส่งผลให้มีค่าเฉลี่ยความชื้นในโรงเรือนที่สูงกว่าโรงเรือนปกติ อยู่ที่ 6% (ในเวลากลางคืนทั้งสองโรงเรือนจะมีความชื้นสูงที่สุดคือ 99% จึงไม่นำมาคำนวณ)



ภาพที่ 8 ข้อมูลความเข้มแสงของโรงเรือนอัจฉริยะ (A) และโรงเรือนปกติ (B)

การเก็บข้อมูลความเข้มแสงของโรงเรือนอัจฉริยะ (A) และโรงเรือนปกติ (B) จากภาพที่ 8 พบว่าความเข้มแสงของโรงเรือนอัจฉริยะเฉลี่ยมากที่สุดคือ 24504 Lux มีความเข้มแสงเฉลี่ยทั้ง 10 วัน คือ 1866 Lux และความเข้มแสงของโรงเรือนปกติเฉลี่ยมากที่สุดคือ 33916 Lux มีความเข้มแสงเฉลี่ยทั้ง 10 วัน คือ 3721 Lux โดยในเวลา 18.00 น. เป็นต้นไป ค่าความเข้มแสงจะมีค่าเป็น 0 Lux จากกราฟเส้นในภาพที่ 8 แสดงให้เห็นว่าความเข้มแสงในโรงเรือนปกติมีค่าสูงกว่าโรงเรือนอัจฉริยะ

4.3 การออกของเมล็ดผักสลัด

เมล็ดผักสลัด 3 ชนิด ได้แก่ เรดโอ๊ค กรีนโอ๊ค และฟินเลย์โอ๊คเบิร์ก เพาะในโรงเรือนอัจฉริยะและโรงเรือนปกติ โดยเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์การออก ดัชนีการออก และระยะเวลาเฉลี่ยในการออก มีผลการทดลองดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการงอกของผักสลัดในโรงเรือนอัจฉริยะ และโรงเรือนปกติ

วิธีการวิเคราะห์	A โรงเรือนอัจฉริยะ			B โรงเรือนปกติ		
	Red	Green	Frillice	Red	Green	Frillice
	Oak	Oak	Iceberg	Oak	Oak	Iceberg
Germination Percentage (%)	85.71	100.00	82.86	60.00	99.05	75.24
Germination Index (%)	20.22	27.24	27.62	10.00	17.29	15.91
Mean Germination Time (Day)	4.59	4.25	4.11	6.52	6.38	5.33

การงอกของเมล็ดผักทุกชนิดในโรงเรือนอัจฉริยะสูงกว่า (เรดโอ๊ค: 85.71%, กรีนโอ๊ค: 100%, ฟินเลย์ ไอซ์เบิร์ก: 82.86%) เมื่อเทียบกับโรงเรือนปกติ (60%, 99.05%, 75.24% ตามลำดับ) ค่าดัชนีการงอกในโรงเรือนอัจฉริยะสูงกว่าโรงเรือนปกติทุกชนิดแสดงให้เห็นว่า อัตราการงอกเร็วกว่าและสม่ำเสมอกว่า และเวลาเฉลี่ยในการงอกในโรงเรือนอัจฉริยะต่ำกว่า (เฉลี่ย 4.32 วัน) เมื่อเทียบกับโรงเรือนปกติ (เฉลี่ย 6.07 วัน) แสดงถึงการงอกที่เร็วกว่า

4.4 การเจริญเติบโตของต้นกล้า

การเจริญเติบโตของต้นกล้าใช้การวัดความกว้าง ความสูง และนับจำนวนใบ เมื่อครบ 7 วัน และ 14 วัน เพื่อเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของผักสลัดที่เพาะในโรงเรือนอัจฉริยะ และในโรงเรือนแบบปกติ โดยระบบอัตโนมัติยังคงมีการกำหนดค่าการทำงานต่อเนื่อง มีผลการทดลองดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการเจริญเติบโตของผักสลัดที่เพาะในโรงเรือนอัจฉริยะและในโรงเรือนแบบปกติเมื่อเพาะครบ 7 วัน และ 14 วัน

โรงเรือน	วันที่	Red Oak			Green Oak			Frillice Iceberg		
		Wide	High	Leaf	Wide	High	Leaf	Wide	High	Leaf
โรงเรือน	7	1.3	0.6	2.0	1.9	1.3	2.2	2.2	2.1	2.4
อัจฉริยะ	14	1.7	1.2	3.0	3.5	4.3	4.2	3.9	4.5	3.8
โรงเรือน	7	1.1	0.5	2.0	1.6	1.2	2.0	1.6	1.6	2.0
ปกติ	14	1.6	1.0	3.2	3.7	3.3	4.0	3.6	3.7	4.2

ผลการทดลองเมื่อต้นกล้าอายุ 7 วัน พบว่าการเจริญเติบโตของผักสลัดในโรงเรือนอัจฉริยะสูงกว่าโรงเรือนปกติ 21.5% และอายุ 14 วัน 4.6% จากการหาค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย โรงเรือนอัจฉริยะมีค่าเฉลี่ยการเจริญเติบโตสูงกว่า (Mean = 2.56) เมื่อเทียบกับโรงเรือนปกติ (Mean = 2.33) และมีความแปรผันสัมพัทธ์ต่ำกว่า (CV = 47.11% เทียบกับ 50.74%) แสดงให้เห็นว่าการควบคุมสภาพแวดล้อมที่มีเสถียรภาพมากขึ้น

5. สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

จากการวิจัยการเพาะเมล็ดผักสลัดในโรงเรือนอัจฉริยะเปรียบเทียบกับโรงเรือนปกติ พบว่าโรงเรือนอัจฉริยะสามารถควบคุมระบบรดน้ำและพ่นหมอกได้อย่างแม่นยำ ทำให้สภาพแวดล้อมมีความเสถียรมากกว่า โดยรักษาความชื้นในดินให้อยู่ในช่วง 32–43% โรงเรือนปกติ 28–48% และมีอุณหภูมิเฉลี่ยคือ 28°C ต่ำกว่าโรงเรือนปกติ 3°C ขณะที่ความชื้นในอากาศเฉลี่ยอยู่ที่ 64% สูงกว่าโรงเรือนปกติ 6% ส่วนโรงเรือนปกติมีความเข้มแสงเฉลี่ยสูงกว่า ผลการออกของเมล็ดผักสลัดทั้งสามชนิดในโรงเรือนอัจฉริยะมีเปอร์เซ็นต์ความงอกสูงกว่า (เรดโอ๊ค 85.71%, กรีนโอ๊ค 100%, ฟินเลย์ไอซ์เบิร์ก 82.86%) ค่าดัชนีการงอกต้นกล้างอกได้ไวกว่าและสม่ำเสมอ และเวลาเฉลี่ยในการงอกสั้นกว่าที่ 4.32 วัน เทียบกับ 6.07 วันในโรงเรือนปกติ การเจริญเติบโตของผักสลัดในโรงเรือนอัจฉริยะสูงกว่าโรงเรือนปกติ 21.5% และอายุ 14 วัน 4.6% การเจริญเติบโตช่วง 7 วันแรกในโรงเรือนอัจฉริยะเด่นชัดกว่า เมื่อครบ 14 วันผลการเจริญเติบโตใกล้เคียงกัน โรงเรือนอัจฉริยะมีค่าเฉลี่ยการเจริญเติบโตสูงกว่า และมีความแปรผันสัมพัทธ์ต่ำกว่า เมื่อเทียบกับโรงเรือนปกติ โดยสรุป โรงเรือนอัจฉริยะมีความเหมาะสมในการเพาะเมล็ดผักสลัด ทำให้ได้ผลผลิตที่งอกเร็ว แข็งแรง และอยู่ภายใต้สภาพแวดล้อมที่ควบคุมได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าโรงเรือนปกติ

การควบคุมอุณหภูมิและความชื้นภายในโรงเรือนมีผลต่อการเจริญเติบโตและคุณภาพของผักสลัด โดยเฉพาะในสภาพอากาศร้อนชื้น การใช้ระบบพ่นหมอกและพัดลมช่วยลดอุณหภูมิภายในโรงเรือน ส่งผลให้ผลผลิตมีคุณภาพดีขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Kumsong et al. (2023) และ จิตรา จันโสด และคณะ (2567) การใช้เซ็นเซอร์ควบคุมระบบรดน้ำและพ่นหมอกในโรงเรือนอัจฉริยะ ตามแนวทางของเกษตรแม่นยำ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Muthmainnah et al. (2024) และ Lakhier et al. (2018) ที่สรุปว่าระบบอัตโนมัติที่ใช้ IoT ช่วยให้การใช้น้ำมีประสิทธิภาพสูงสุด ลดการสูญเสีย และสร้างสภาวะที่เหมาะสมต่อพืช ซึ่งนำไปสู่ผลผลิตที่ดีขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Nascimento (2003) ที่ชี้ว่าการยับยั้งการงอกจากอุณหภูมิสูงในเมล็ดผักสลัดสามารถบรรเทาได้เมื่อจัดการสภาพแวดล้อมให้อยู่ในช่วงเหมาะสม ทำให้การงอกเกิดได้รวดเร็วและสม่ำเสมอยิ่งขึ้น การเจริญเติบโตช่วงเพาะเมล็ด 7 วันแรกในโรงเรือนอัจฉริยะเด่นชัดกว่า อย่างไรก็ตามในระยะต้นกล้าพบว่าการเจริญเติบโตในโรงเรือนอัจฉริยะและโรงเรือนปกติมีความใกล้เคียงกัน เนื่องจากปริมาณแสงมีผลกับการเจริญเติบโตในระยะต้นกล้า โรงเรือนอัจฉริยะช่วยให้ใช้ทรัพยากรน้ำอย่างคุ้มค่า สอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาอย่างยั่งยืน (SDGs) ด้านความมั่นคงทางอาหาร เกษตรกรสามารถประยุกต์ใช้เพื่อเพิ่มอัตราการงอก ความสม่ำเสมอ และคุณภาพผลผลิต โดยลดความเสี่ยงจากสภาพอากาศที่ไม่แน่นอน ทำให้มีต้นกล้าที่แข็งแรงพร้อมจำหน่ายเป็นการสร้างรายได้ที่มั่นคงแก่เกษตรกรในท้องถิ่น

6. ข้อเสนอแนะ

การปรับปรุงระบบในโรงเรือนอัจฉริยะ ควรพิจารณาการติดตั้งระบบแสงทดแทน เช่น ไฟ LED ที่มีค่าแสงเหมาะสม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสงของต้นกล้าในช่วงที่แสงธรรมชาติไม่เพียงพอ และเพิ่มระบบการจัดการธาตุอาหารในดินสำหรับต้นกล้าที่อายุเกิน 10 วัน เพื่อพัฒนาโรงเรือนอัจฉริยะให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ในด้านผลการวิจัยควรทดลองใช้ระบบโรงเรือนอัจฉริยะกับพืชชนิดอื่น ๆ เพื่อประเมินความเหมาะสมและประสิทธิภาพของระบบในสภาพแวดล้อมและพืชที่หลากหลาย

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ที่ได้ให้ทุนอุดหนุนการวิจัยพัฒนาวิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม ประจำปีงบประมาณ 2566

8. เอกสารอ้างอิง

- กองนโยบายเทคโนโลยีเพื่อการเกษตรและเกษตรกรรมยั่งยืน. (2568, 18 มีนาคม). *การผลิตสินค้าเกษตรที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม*. การจัดการความรู้ สำนักงานปลัดกระทรวงเกษตรและสหกรณ์. https://www.opsmoac.go.th/km-km_org_center-preview-471091791792
- จิตรรา จันโสด, วานิด รอดเนียม, วันเพ็ญ บัวคง, และ ศักดิ์อนันต์ แซ่ลิ้ม. (2567). การพัฒนาโรงเรือนควบคุมสภาพแวดล้อมเพื่อเพิ่มผลผลิตผักอินทรีย์. *วารสารแก่นเกษตร*, 52(1), 75–88. <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/agkasetkaj/article/view/259540>
- จิรศักดิ์ วงษ์บงกชไพศาล, รัตนาพร อังคนารุ่งรัตน์, อรณิชา แซ่ตั้ง, ระพีพันธ์ แก้วอ่อน, ชัยวุฒ ชูรักษ์, พรชัย เปลี่ยนทรัพย์, และ กิตติธัช พาพลเพ็ญ. (2562). โปรแกรมทดสอบอุณหภูมิและความชื้นในดินสำหรับโรงเรือนอัจฉริยะเพื่อใช้ปลูกผักออร์แกนิก. *การประชุมวิชาการและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 11* (หน้า 107–110). อุบลราชธานี: มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.
- ปวันนพัสดร์ ศรีทรงเมือง, ธเนศ สุดจิตร, และ อภิวัฒน์ อินทร์อ่อน. (2564). การพัฒนารูปแบบระบบควบคุมฟาร์มอัจฉริยะในโรงเรือนปลูกพืชโดยใช้คอมพิวเตอร์แบบฝัง. *วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี*, 20(1), 21–29. <https://doi.org/10.14456/rj-rmutt.2021.3>
- สหพงศ์ สมวงศ์, ฐานวิทย์ แนนไส, และ อธิโรจน์ มะโน. (2565). การพัฒนาโรงเรือนอนุบาลต้นกล้าอัจฉริยะสำหรับการเพาะปลูกแบบเกษตรอินทรีย์ วิสาหกิจชุมชน ตำบลท่าข้าม อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา. *วารสารลาดกระบัง*, 39(3), 72–82. <https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/lej/article/view/247679>
- Hosny, K. M., El-Hady, W. M., & Samy, F. M. (2024). Technologies, protocols, and applications of Internet of Things in greenhouse farming: A survey of recent advances. *Information Processing in Agriculture*, 12(1), 1–22. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2024.04.002>
- Islam, M. N., Jahan, M. R., Ali, A. M., Rony, S., Anannya, T. T., Aziz, F. I., Bayzed, M., Yeazdani, A., & Rabbi, M. F. (2019). Design and development of an intelligent seed germination system based on IoT. In J. C. Corrales, P. Angelov, & J. A. Iglesias (Eds.), *Advances in Information and Communication Technologies for Adapting Agriculture to Climate Change II. Advances in Intelligent Systems and Computing*, 893, 146–161. Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-3-030-04447-3_10
- Kumsong, S., Ruangtan, S., & Terdtoon, P. (2023). Evaluation of a combined fogging and forced ventilation system in a greenhouse for lettuce cultivation under hot-humid conditions. *Horticulturae*, 9(12), 1255. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9121255>
- Lakhiar, I. A., Gao, J., Syed, T. N., Chandio, F. A., & Buttar, N. A. (2018). Modern plant cultivation technologies in agriculture under controlled environment: A review on aeroponics. *Journal of Plant Interactions*, 13(1), 51–83. <https://doi.org/10.1080/7429145.2018.1472308>

- Maresca, V., Piscopo, M., Siciliano, A., Sorrentino, M. C., & Basile, A. (2024). Wood distillate enhances seed germination and seedling growth of basil, chickpea, and lettuce. *Applied Sciences*, 14(2), 631. <https://doi.org/10.3390/app14020631>
- Muthmainnah, M., Sari, R. F., & Syahputra, M. F. (2024). Development of an automated monitoring system for soil moisture and temperature in smart agriculture to enhance lettuce farming productivity based on IoT. *Malique Science Journal*, 7(1), 34–42. <https://malque.pub/ojs/index.php/msj/article/view/2342>
- Nascimento, W. M. (2003). Preventing thermoinhibition in a thermosensitive lettuce genotype by seed imbibition at low temperature. *Scientia Agricola*, 60(3), 477–480. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162003000300010>
- Soufi, M., Azizi, A., Ebrahimzadeh, H., & Hosseini, S. (2025). Optimizing the LED light spectrum for enhanced seed germination. *Agronomy*, 15(5), 1219. <https://doi.org/10.3390/agronomy15051219>