

การเปรียบเทียบผลผลิตเห็ดนางฟ้าในโรงเรือนอัจฉริยะ
กับโรงเรือนแบบดั้งเดิม
Comparison of Gray Oyster Mushroom Production
in a Smart Farm and Traditional Farm

ศิวัตม์ กมลคุณานนท์^{1*}, ชัญญพัชร จารุวัชรเศรษฐ์², พลิศภัทร์ คำฟู³, ชัชพล เกษวิริยะกิจ⁴,
นัฐพงศ์ ส่งเนียม⁵ และดุชนิ ศุภวรรธนะกุล⁶

Siwat Kamonkunanon^{1*}, Chanyaphat Jaruwacharaset², Phalitphat Khumfu³, Chatchaphon Ketviriyakit⁴,
Nattapong Songneam⁵ and Dusanee Supawantanakul⁶

^{1*,3,4}คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์ 27 ถนนอินใจมี ตำบลท่าอิฐ อำเภอเมืองอุดรดิตถ์ จังหวัดอุดรดิตถ์ 53000
โทร 0 5541 6601 โทรสาร 0 5541 6020 E-mail: siwat3003@uru.ac.th

²คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ 398 ถนนสวรรค์วิถี ตำบลนครสวรรค์ตก
อำเภอเมืองนครสวรรค์ จังหวัดนครสวรรค์ 60000

^{5,6}คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร 9 ถนนแจ้งวัฒนะ แขวงอนุสาวรีย์ เขตบางเขน กรุงเทพมหานคร 10220
^{1*,3,4}Faculty of Industrial Technology, Uttaradit Rajaphat University 53000

²Faculty of Agricultural Technology and Industrial Technology, Nakhon Sawan Rajaphat University 60000

^{5,6}Faculty of Science and Technology, Phranakhon Rajaphat University 10220

วันที่รับบทความ 25 ธันวาคม 2566

วันที่รับแก้ไขบทความ 28 มีนาคม 2567

วันที่ตอบรับบทความ 30 เมษายน 2567

Received: Dec. 25, 2023

Revised: Mar. 28, 2024

Accepted: Apr. 30, 2024

บทคัดย่อ

การเปรียบเทียบผลผลิตเห็ดนางฟ้าในโรงเรือนอัจฉริยะกับโรงเรือนแบบดั้งเดิมมีวัตถุประสงค์ 2 ข้อ คือ 1. เพื่อเปรียบเทียบผลผลิตเห็ดจากการผลิตในโรงเรือนอัจฉริยะกับโรงเรือนแบบดั้งเดิม 2. เพื่อเปรียบเทียบผลผลิตเห็ดจากการจัดเรียงก้อนเห็ดที่แตกต่างกัน ในการวิจัยได้ติดตั้งเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของทุกสรรพสิ่งและตำแหน่งอุปกรณ์ตรวจวัด เพื่อควบคุมปัจจัยการผลิตเห็ดนางฟ้า จำนวน 4 ปัจจัย คือ 1. ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70 - 90 2. อุณหภูมิ 28 - 32°C 3. ปริมาณก๊าซ CO₂ ไม่เกิน 2,000 ppm และ 4. แสงไม่เกิน 100 lux ในการวิจัยได้ออกแบบการทดลอง โดยแบ่งโรงเรือนอัจฉริยะออกเป็น 4 โซน เพื่อบันทึกผลการผลิตเห็ดในแต่ละโซน โดยในโซน 1A และ 1B จะเป็นการเรียงก้อนเห็ดซ้อนทับกัน 2 ชั้นในแนวตั้ง เว้น 1 ชั้น ส่วนในโซน 2A และ 2B จะเป็นการเรียงก้อนเห็ดซ้อนทับกัน 2 ชั้นในแนวตั้ง โดยวางก้อนเห็ดซ้อนทับกันขึ้นไปในแนวตั้ง

ผลผลิตเห็ดที่ผลิตได้จากโรงเรือนอัจฉริยะสูงกว่าการผลิตในโรงเรือนแบบดั้งเดิม ร้อยละ 24.18 - 26.51 และเมื่อปรับการจัดวางก้อนเห็ด เป็นการจัดวางแบบ 2 ชั้น เว้น 1 ชั้น พบว่าผลผลิตที่ผลิตได้ในโรงเรือนอัจฉริยะสูงกว่าโรงเรือนแบบดั้งเดิมร้อยละ 33.81 - 35.86 แสดงว่าการผลิตเห็ดนางฟ้าในโรงเรือนอัจฉริยะให้ผลผลิตดีกว่าการผลิตในโรงเรือนแบบดั้งเดิม และการจัดเรียงแบบ 2 ชั้น เว้น 1 ชั้น ให้ผลผลิตดีกว่าการจัดเรียงแบบดั้งเดิม

คำสำคัญ: โรงเรือนอัจฉริยะ, การผลิตเห็ดนางฟ้า, เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของทุกสรรพสิ่ง

Abstract

This study, comparing gray oyster mushroom production in a smart farm and a traditional farm had two objectives: 1. To compare the mushroom production in a smart farm and a traditional farm; and 2. To compare the mushroom production from different arrangements of mushroom lumps. For this research, Internet of Things technology and measurement equipment were installed to control 4 factors of oyster mushroom production: 1. Relative humidity 70 - 90%; 2. Temperature 28 - 32°C; 3. CO₂ content less than 2,000 ppm; and 4. Light 100 lux. The research design divided the smart farm into 4 zones to record the results of mushroom production in each zone. In zones 1A and 1B, the mushroom cultures were arranged in 2 layers vertically, with a gap of 1 layer, and in zones 2A and 2B, the mushroom clusters were arranged in the traditional way, by placing the mushroom clusters on top of each other vertically.

The mushroom production in the smart farm was higher than the traditional farm (24.18-26.51%). When adjusting the arrangement, 2 layers vertically, with a gap of 1 layer, it was found that production in the smart farm was higher than the traditional farm (33.81 - 35.86%). This shows that production in the smart farm was higher than the traditional farm and the arrangement of 2 layers, with a gap of 1 layer, gives better results than the traditional arrangement.

Keywords: Smart Farm, Gray Oyster Mushroom Production, Internet of Things Technology

1. บทนำ

เห็ดเป็นสินค้าเศรษฐกิจของเกษตรกรไทย เป็นผลผลิตทางการเกษตรที่เป็นที่ต้องการของตลาด เนื่องจากเป็นแหล่งโปรตีนที่ดี และยังเป็นส่วนประกอบของอาหารได้ในทุกกลุ่มผู้บริโภค ประเทศไทยมีการศึกษาอย่างเป็นทางการเมื่อปี พ.ศ. 2479 และได้ให้ความรู้เกี่ยวกับการผลิตเห็ดอย่างเป็นทางการเมื่อปี พ.ศ. 2480 การบริโภคเห็ดนิยมบริโภคทั้งเห็ดที่มีตามธรรมชาติและเห็ดที่สามารถผลิตได้จากโรงเรือนผลิตเห็ด (Office of the Royal Development Projects Board, 2012)

การผลิตเห็ดในประเทศไทย ปัจจุบันมีมากกว่าหนึ่งหมื่นครัวเรือนที่ประกอบอาชีพผลิตเห็ด สามารถสร้างรายได้ในแต่ละปีไม่ต่ำกว่า 9,000 ล้านบาท (The National Science and Technology Development Agency, 2021) ในประเทศไทยมีสภาพอากาศที่เหมาะสมกับการผลิตเห็ด กรรมวิธีการผลิตสามารถทำได้ง่าย ไม่ยุ่งยากต่อการปฏิบัติ ใช้ระยะเวลาสั้นในการผลิต (Sangpakornkij, 2013; Hongyont, 2019) และตลาดยังมีความต้องการเห็ดเป็นจำนวนมากโดย 5 อันดับ เห็ดที่มีการผลิตมากที่สุด ได้แก่ เห็ดฟาง เห็ดนางฟ้า เห็ดนางรม เห็ดเป๋าฮื้อ เห็ดหูหนู (Satun College of Agriculture and Technology, 2014)

เห็ดนางฟ้าเป็นเห็ดที่อยู่ในสกุลเดียวกับเห็ดนางรม และเห็ดเป๋าฮื้อ มีลักษณะคล้ายเห็ดนางรมแต่ดอกมีสีขาวนวลถึงน้ำตาลอ่อน หมวกดอกหนา และเนื้อแน่น เห็ดนางฟ้าเป็นชื่อที่ตั้งในประเทศไทยแต่บางถิ่นเรียกว่าเห็ดแขก เนื่องจากมีถิ่นกำเนิดในแถบเทือกเขาหิมาลัยในประเทศ

อินเดีย ในสภาพธรรมชาติจะเจริญเติบโตตามตอไม้ที่มีอากาศชื้นและเย็น (Sangpakornkij, 2013; Hongyont, 2019) ส่วนการผลิตเห็ดในโรงเรือนจะต้องจัดปัจจัยการผลิตให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเห็ด โดยต้องควบคุมปัจจัยหลัก คือ 1) ความชื้น 2) อุณหภูมิ 3) ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และ 4) แสง (Chieochan et al., 2017; Youngkerd, & Sangdee, 2015; Khambun et al., 2021) โดยปัจจัยทั้ง 4 นี้ จะส่งผลต่อการออกดอกของเห็ดและคุณภาพของเห็ดที่ผลิตด้วย นอกจากนั้น ถ้าต้องการผลิตเห็ดในโรงเรือนอัจฉริยะ อาจจะต้องคำนึงถึงปัจจัยการผลิตรองคือรูปแบบการเรียงก้อนเห็ดในโรงเรือน เนื่องจากการผลิตในโรงเรือนอัจฉริยะมีจุดมุ่งหมายเพื่อควบคุมปัจจัยการผลิตทั้งหมดให้ก้อนเห็ดทุกก้อนได้รับปัจจัยการผลิตเหมือน ๆ กัน ผู้วิจัยจึงต้องการศึกษารูปแบบการจัดเรียงก้อนเห็ดในการผลิตด้วยโรงเรือนอัจฉริยะ เพื่อให้ทราบผลผลิตที่ได้จากโรงเรือนอัจฉริยะเมื่อเทียบกับการผลิตเห็ดในโรงเรือนแบบดั้งเดิม และทราบผลผลิตที่ได้จากการจัดเรียงก้อนเห็ดที่แตกต่างกัน

2. วัตถุประสงค์

- 2.1 เพื่อเปรียบเทียบผลผลิตเห็ดจากการผลิตในโรงเรือนอัจฉริยะกับโรงเรือนแบบดั้งเดิม
- 2.2 เพื่อเปรียบเทียบผลผลิตเห็ดจากการจัดเรียงก้อนเห็ดที่แตกต่างกัน

3. วิธีดำเนินการวิจัย

การผลิตเห็ดสามารถแบ่งปัจจัยในการผลิตออกเป็น 2 ระยะ คือ 1. ระยะการผลิตก้อนเชื้อ และ 2. ระยะการเปิดดอก เมื่อพิจารณาเฉพาะขั้นตอนการเปิดดอก พบว่าปัจจัยในช่วงการเปิดดอกประกอบไปด้วย 8 ปัจจัย นอกจากนั้นการถ่ายเทอากาศสามารถใช้การควบคุมความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นระบบการควบคุมที่ทำให้การถ่ายเทอากาศในโรงเรือนดีไปด้วย สำหรับปัจจัยน้ำและจำนวนครั้งในการรดน้ำแปรผันกับความชื้นสัมพัทธ์ กล่าวคือเมื่อควบคุมปัจจัยความชื้นสัมพัทธ์ในโรงเรือนได้แล้ว ก็ไม่จำเป็นต้องควบคุมปัจจัยจำนวนครั้งในการรดน้ำ เพียงแต่ในการใช้น้ำเพื่อเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ในโรงเรือน จำเป็นต้องใช้น้ำที่สะอาดและมีค่าความเป็นกรด-เบสเป็นกลาง ค่า pH ประมาณ 7.0 ดังนั้น เมื่อพิจารณาปัจจัยที่เหลือจากการพิจารณาข้างต้นจะประกอบไปด้วยปัจจัยจำนวน 5 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการผลิตเห็ด โดยมีปัจจัยหลักจำนวน 4 ปัจจัย คือ 1. ความชื้นสัมพัทธ์ 2. อุณหภูมิ 3. ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 4. แสง และมีปัจจัยรองจำนวน 1 ปัจจัย คือ 1. การจัดเรียงก้อนเห็ด โดยแสดงภาพโรงเรือนอัจฉริยะในภาพที่ 1 และแสดงตารางผลกระทบของปัจจัยที่ส่งผลต่อการผลิตเห็ดดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งได้ปรับปรุงจากผลการศึกษาของศิวต์มกมลคุณานนท์ และคณะ (2565) (Kamonkunanon et al., 2022)



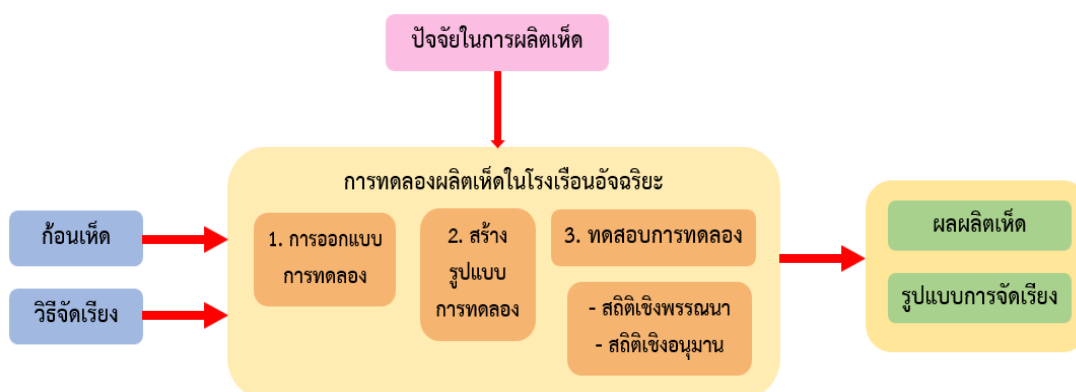
ภาพที่ 1 ภายนอกและภายในโรงเรือนอัจฉริยะ

ตารางที่ 1 ผลกระทบของปัจจัยที่ส่งผลต่อการผลิตเห็ด

ผลกระทบ/ขั้นตอนการผลิต ปัจจัย	ปัจจัยที่ส่งผลต่อการผลิตเห็ดกลุ่มเหิน				ระยะการผลิต	
	ด้านการเจริญเติบโต	ด้านความสมบูรณ์ของดอก	ด้านจำนวนผลผลิต	ด้านระยะเวลา	ขั้นตอนการผลิตก่อนเห็ด	ขั้นตอนการเปิดดอก
1. ความชื้นสัมพัทธ์	○	●	●	●	✓	✓
2. อุณหภูมิ	●	●	●	●	✓	✓
3. ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	○	●	●	●		✓
4. แสง	○	●	●	●		✓
5. ธาตุอาหารหลัก	●	●	●	●	✓	
6. ธาตุอาหารรอง	○	●	●	●	✓	
7. การถ่ายเทอากาศ		○				✓
8. น้ำและจำนวนครั้งในการรดน้ำ		○				✓
9. การจัดเรียงก้อนเห็ด	○	○	●			✓
10. การดูแลอื่น ๆ (โรค แมลง)		●	○			✓

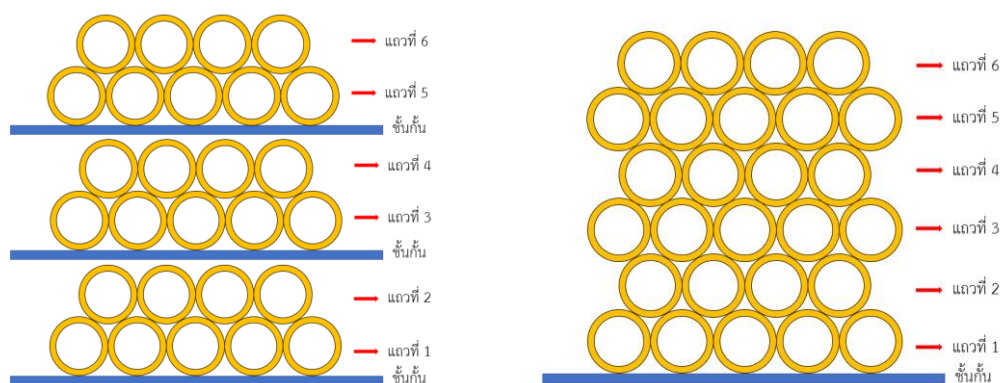
ที่มา: (Kamonkunanon et al., 2022)

เมื่อทราบปัจจัยที่สำคัญ โดยมีปัจจัยที่สำคัญมาก 4 ปัจจัยคือ ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และแสง และ 1 ปัจจัยรองคือการจัดเรียงก้อนเชื้อเห็ด จึงนำไปสู่การออกแบบกระบวนการผลิตเห็ดนางฟ้าในโรงเรือนอัจฉริยะ โดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของทุกสรรพสิ่งที่ได้ศึกษาและคัดสรรเทคโนโลยี นำมาสู่ขั้นตอนการออกแบบ สร้าง และทดสอบการทดลองผลิตเห็ดนางฟ้า เพื่อให้ทราบผลผลิตเห็ดที่ผลิตได้ในโรงเรือนอัจฉริยะและรูปแบบการจัดเรียงก้อนเห็ดที่ส่งผลต่อผลผลิตเห็ดที่ผลิตได้ ดังแสดงขั้นตอนการวิจัยในภาพที่ 2



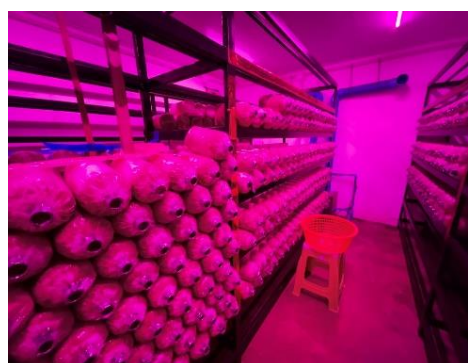
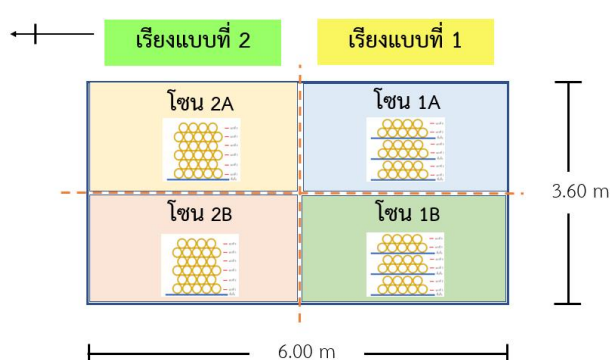
ภาพที่ 2 วิธีการดำเนินการทดลอง

จากภาพที่ 2 แบ่งการทดลองผลิตเห็ดนางฟ้าในโรงเรียนอจจริยะออกเป็น 3 ขั้นตอนคือ 1) การออกแบบการทดลองการผลิตเห็ด 2) การสร้างรูปแบบการทดลองการผลิตเห็ด และ 3) การทดสอบการทดลองการผลิตเห็ด โดยมีผลลัพธ์ 2 ส่วนคือ 1) ผลผลิตเห็ดที่ได้ และ 2) รูปแบบการจัดเรียงที่ส่งผลต่อผลผลิต ผู้วิจัยได้การออกแบบการทดลองโดยแบ่งพื้นที่ในโรงเรียนออกเป็น 2 โซน ตามความยาวของโรงเรียน เพื่อติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดปัจจัยการผลิตเห็ดจำนวน 2 ชุด คือ อุปกรณ์ตรวจวัด A และอุปกรณ์ตรวจวัด B และในแต่ละโซนจะแบ่งครึ่งเพื่อจัดเรียงก้อนเห็ดโดยจะมีการจัดเรียง 2 แบบ คือ แบบที่ 1 เป็นการจัดเรียงก้อนเห็ดโดยวางก้อนเห็ด 2 ชั้น เว้น 1 ชั้น การจัดเรียงในลักษณะนี้เป็นการจัดเรียงโดยวางก้อนเห็ดซ้อนทับกัน 2 ชั้นในแนวตั้ง เว้น 1 ชั้น แล้วจัดเรียงก้อนเห็ดแบบเดิมอีก 2 ชั้น วางต่อกันไปในแนวตั้งแบบเดิม เพื่อให้ก้อนเห็ดได้มีผิวสัมผัสกับอุณหภูมิ ความชื้น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และแสง ในโรงเรียนอจจริยะเหมือนกันในทุก ๆ ก้อน ดังแสดงในภาพที่ 3A และแบบที่ 2 เป็นการจัดเรียงก้อนเห็ดโดยไม่มีการเว้นระยะ การจัดเรียงในลักษณะนี้จะจัดเรียงโดยวางก้อนเห็ดซ้อนทับกันขึ้นไปในแนวตั้ง เพื่อให้ก้อนเห็ดรับน้ำหนักตัวเอง ซึ่งเป็นรูปแบบดั้งเดิมที่เกษตรกรนิยมใช้ในการผลิตเห็ด ดังแสดงในภาพที่ 3B โดยจะทดลองเปรียบเทียบกับการผลิตในโรงเรียนแบบดั้งเดิมที่ควบคุมปัจจัยการผลิต โดยใช้วัสดุในการเป็นฉนวนความร้อนเพื่อควบคุมอุณหภูมิใช้การรดน้ำเพื่อเพิ่มความชื้น ใช้แสงไฟนีออนในโรงเรียนเพื่อเพิ่มแสงในการผลิตเห็ด และใช้การระบายอากาศด้วยการเปิดโรงเรียนในบางช่วงเวลา และจัดวางเรียงก้อนเห็ดแบบวางทับกันในแนวตั้ง เพื่อเปรียบเทียบผลผลิตที่ได้จากการผลิตในโรงเรียนอจจริยะที่สามารถควบคุมปัจจัยการผลิตเห็ดได้ กับผลผลิตที่ได้จากโรงเรียนแบบดั้งเดิมที่ควบคุมปัจจัยการผลิตได้บางส่วน



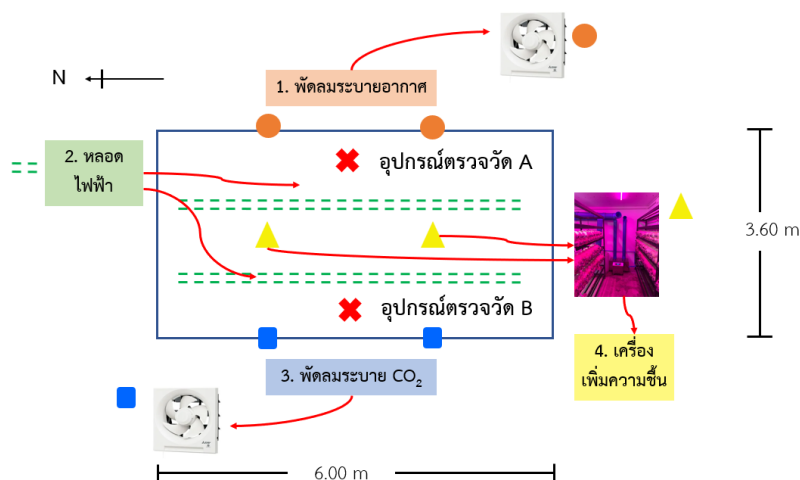
ภาพที่ 3A และ 3B การจัดเรียงแบบที่ 1 และแบบที่ 2

เมื่อพิจารณาการทดลองทั้งโรงเรือนผลิตเห็ด พบว่ามีการแบ่งโซนในการทดลองจำนวน 4 โซน คือโซน A1, A2, B1 และ B2 ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 4

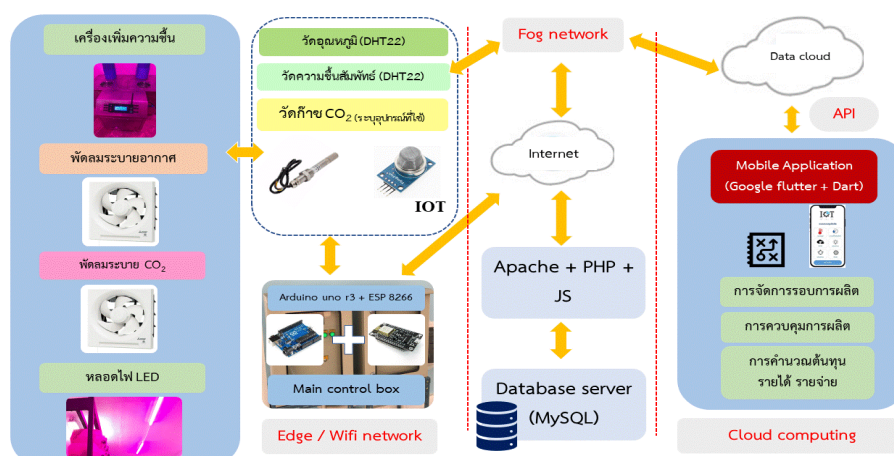


ภาพที่ 4 การจัดโซนในโรงเรือนเพื่อการทดลองผลิตเห็ด

จากภาพที่ 4 แสดงโซนการผลิตจำนวน 4 โซน ในโรงเรือนอัจฉริยะที่ควบคุมปัจจัยการผลิตที่สำคัญทั้ง 4 ปัจจัย ด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของทุกสรรพสิ่ง ประกอบไปด้วย 1. ความชื้นสัมพัทธ์ ที่ร้อยละ 70 - 90 (Subedi, Luitel, Baskota & Acharya, 2019) 2. อุณหภูมิ 28 - 32°C (Youngkerd & Sangdee, 2015; Singjaroen & Sakaew, 2016) 3. CO₂ ไม่เกิน 1,500 ppm (Jeznabadi, Jafarpour & Eghbalsaid, 2016) และ 4) แสง ไม่เกิน 100 lux (Prikupets L. B, 2022) ในการทดลองได้ทำการบันทึกผลผลิตเห็ดแต่ละโซน เพื่อเปรียบเทียบวิธีการจัดเรียงที่ส่งผลต่อการผลิตเห็ดในโรงเรือนอัจฉริยะ โดยการติดตั้งระบบอินเทอร์เน็ตของทุกสรรพสิ่งและตำแหน่งอุปกรณ์ตรวจวัดจะแสดงในภาพที่ 5 และแสดงสถาปัตยกรรมของโรงเรือนอัจฉริยะ โดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของทุกสรรพสิ่ง ดังแสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 5 ตำแหน่งการติดตั้งเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของทุกสรรพสิ่งและตำแหน่งอุปกรณ์ตรวจวัด



ภาพที่ 6 สถาปัตยกรรมของโรงงานอัจฉริยะที่ใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของทุกสรรพสิ่ง

จากภาพที่ 6 ผู้วิจัยได้ออกแบบโรงงานอัจฉริยะที่ใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของทุกสรรพสิ่งในการควบคุมปัจจัยการผลิต โดยติดตั้งอุปกรณ์ ได้แก่ เครื่องเพิ่มความชื้น พัดลมระบายอากาศ และหลอดไฟแอลอีดี โดยรับ-ส่งข้อมูลจากเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ ความชื้น และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ผ่านบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno R3 และส่งค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ผ่านบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP8266 ไปยังระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ตบนแพลตฟอร์ม Fog Networking ซึ่งเชื่อมต่อข้อมูลผ่านโปรโตคอลที่พัฒนาขึ้นด้วยโปรแกรม Apache, PHP และ JavaScript การจัดการเก็บ ประมวลผลผ่านระบบการจัดการฐานข้อมูล My SQL และแสดงผลข้อมูลให้กับผู้ใช้งานแบบเรียลไทม์ผ่านแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์สมาร์ทโฟน โดยข้อมูลที่แสดง ได้แก่ การจัดการรอบการผลิต การควบคุมการผลิต การคำนวณต้นทุน รายได้ และรายจ่าย

4. ผลการวิจัย

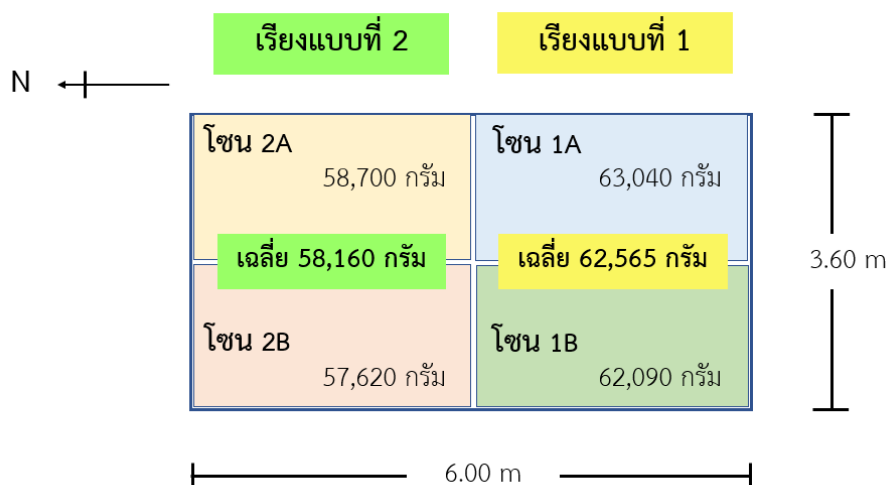
ผลการศึกษาการผลิตเห็ดนางฟ้าใน 1 ฤดูกาลในช่วงฤดูร้อน ทดลองผลิตเห็ดในแต่ละโซน จำนวน 250 ก้อน และทดลองผลิตในโรงเรือนแบบดั้งเดิมจำนวน 250 ก้อน รวมก้อนเห็ดในการทดลองทั้งหมด 1,250 ก้อน ทำการผลิตเห็ดจำนวน 160 วัน บันทึกผลการผลิตเห็ดในแต่ละโซนในทุก ๆ วัน ที่มีการเก็บผลผลิตเห็ด ทำการชั่งและบันทึกค่าน้ำหนักที่ได้ในแต่ละโซน ดังแสดงในตารางที่ 2 ดังนี้

ตารางที่ 2 ผลการผลิตเห็ดในแต่ละโซน

โซน	โซน 1A	โซน 1B	โซน 2A	โซน 2B	โรงเรือนดั้งเดิม
จำนวนก้อนเห็ด (ก้อน)	250	250	250	250	250
จำนวนวันที่ผลิต (วัน)	108	108	108	108	108
ผลผลิตรวม (กรัม)	63,040	62,090	58,700	57,620	46,400
ผลผลิตเฉลี่ยต่อก้อน (กรัม)	252.16	248.36	234.80	230.48	185.60
ผลผลิตเฉลี่ยต่อวัน (กรัม)	583.70±852.38	574.91±785.67	543.52±830.04	533.52±834.10	429.63± 424.16
ผลผลิตที่สูงขึ้นจากโรงเรือนแบบดั้งเดิม (%)	35.86	33.81	26.51	24.18	0.00

จากตารางที่ 2 ผลผลิตรวมในโซน 1A, 1B, 2A, 2B เท่ากับ 63,040 กรัม, 62,090 กรัม, 58,700 กรัม และ 57,620 กรัม ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบผลผลิตจากการจัดเรียงของแบบที่ 1 และแบบที่ 2 พบว่า การจัดเรียงแบบที่ 1 มีผลผลิต 63,040 กรัม และ 62,090 กรัม เฉลี่ย 62,565 กรัม การจัดเรียงแบบที่ 2 มีผลผลิต 58,700 กรัม และ 57,620 กรัม เฉลี่ย 58,160 กรัม แสดงว่าผลผลิตเห็ดจากการจัดเรียงแบบที่ 1 มากกว่าแบบที่ 2 เฉลี่ย 4,405 กรัม คิดเป็นผลผลิตที่มากขึ้นร้อยละ 7.57 และเมื่อเปรียบเทียบกับการผลิตในโรงเรือนแบบดั้งเดิมพบว่าการผลิตทั้ง 4 โซนให้ผลผลิตเฉลี่ยต่อก้อนสูงกว่าการผลิตในโรงเรือนแบบดั้งเดิมที่ผลิตได้ 185.6 กรัม อยู่ร้อยละ 35.86, 33.81, 26.51 และ 24.18 ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบการผลิตเห็ดจากการเรียงก้อนเห็ดในรูปแบบเดียวกันกล่าวคือ การจัดเรียงก้อนเห็ดแบบที่ 1 เมื่อเปรียบเทียบผลผลิตเห็ดในโซน 1A และ 1B ซึ่งมีรูปแบบการเรียงก้อนเห็ดเหมือนกัน (แบบเรียง 2 ชั้น เว้น 1 ชั้น) พบว่าผลผลิตเห็ดที่ได้ในโซน 1A มากกว่าในโซน 1B ร้อยละ 1.53 และเมื่อเปรียบเทียบผลผลิตเห็ดในโซน 2A และ 2B ซึ่งมีรูปแบบการเรียงก้อนเห็ดเหมือนกัน (แบบเรียงทับกัน) ในแนวตั้งพบว่า ผลผลิตเห็ดที่ได้ในโซน 2A มากกว่าในโซน 2B ร้อยละ 1.87 แสดงให้เห็นว่าโซนการผลิตไม่ได้มีผล แต่การจัดเรียงที่แตกต่างกันส่งผลให้ผลผลิตเห็ดแตกต่างกันถึงร้อยละ 7.57 ดังแสดงผลผลิตเห็ดที่ผลิตได้ในภาพที่ 7



ภาพที่ 7 ผลการทดลองผลิตเห็ดที่ผลิตได้ในแต่ละโซน

จากการทดสอบทางสถิติ เพื่อเปรียบเทียบรูปแบบการจัดเรียงที่ส่งผลต่อผลผลิตเห็ดที่ผลิตได้ด้วยการทดสอบ Two-way ANOVA ที่นัยยะสำคัญ .05 ได้ผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการเปรียบเทียบการผลิตเห็ดด้วยวิธีการจัดเรียงก้อนเห็ดที่แตกต่างกันโดยการทดสอบโดย Two-way ANOVA

Tests of Between-Subjects Effects					
Dependent Variable: Product					
Source	Type III Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	189245.139 ^a	3	63081.713	.092	.964
Intercept	134949311.343	1	134949311.343	197.836	.000
Alignment	179666.898	1	179666.898	.263	.608
Sensor	9539.120	1	9539.120	.014	.906
Alignment * Sensor	39.120	1	39.120	.000	.994
Error	291950343.519	428	682126.971		
Total	427088900.000	432			
Corrected Total	292139588.657	431			

a. R Squared = .001 (Adjusted R Squared = -.006)

จากตารางที่ 3 แสดงการทดสอบทางสถิติ เพื่อเปรียบเทียบปัจจัยการผลิตที่เซ็นเซอร์ตรวจวัดได้จาก 2 เครื่อง และรูปแบบการจัดเรียงที่ส่งผลต่อผลผลิตเห็ดที่ผลิตได้ พบว่าเซ็นเซอร์ตรวจวัดปัจจัยการผลิต 2 ตำแหน่ง ในโรงเรือนและรูปแบบการจัดเรียงไม่มีผลต่อผลผลิตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < .05$) ซึ่งแสดงว่าถึงแม้ว่าปัจจัยการผลิตทั้ง 4 ปัจจัย ในโรงเรือนจะมีความแตกต่างกันไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (non-homogenous) แต่ไม่ส่งผลต่อการผลิตเห็ดในโรงเรือน นอกจากนั้นรูปแบบการจัดเรียงทั้ง 2 แบบ ไม่ส่งผลต่อผลผลิตเห็ดที่ผลิตได้อย่างมีนัยสำคัญ

ถึงแม้ว่าผลการวิเคราะห์ที่ได้ทางสถิติจะแสดงให้เห็นว่าการจัดเรียงก้อนเชื้อเห็ดไม่มีผลต่อการผลิตเห็ด แต่ในกรณีที่ผลิตเห็ดในโรงเรือนอัจฉริยะการจัดเรียงแบบ 2 ชั้น เว้น 1 ชั้น ส่งผลให้ได้ผลผลิตเห็ดเพิ่มขึ้นจากการจัดเรียงแบบดั้งเดิมร้อยละ 7.57 ซึ่งเกษตรกรสามารถนำรูปแบบการจัดเรียงไปใช้ในการผลิตได้เพื่อเพิ่มประสิทธิผลในการผลิตของตนเอง

5. สรุปผล

จากการทดลองผลิตเห็ดในโรงเรือนอัจฉริยะที่ใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของทุกสรรพสิ่งในการควบคุมปัจจัยการผลิต เมื่อควบคุมปัจจัยการผลิตที่สำคัญ 4 ปัจจัย คือความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และแสงพบว่าผลผลิตเห็ดที่ผลิตได้สูงกว่าการผลิตในโรงเรือนแบบดั้งเดิมร้อยละ 24.18 - 26.51 และเมื่อปรับการจัดวางก้อนเชื้อเห็ดเป็นการจัดวางแบบ 2 ชั้น เว้น 1 ชั้น พบว่าผลผลิตที่ผลิตได้ในโรงเรือนอัจฉริยะสูงกว่าโรงเรือนแบบดั้งเดิมร้อยละ 33.81 - 35.86

เมื่อผลิตเห็ดในโรงเรือนอัจฉริยะที่ใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของทุกสรรพสิ่ง แต่เปลี่ยนการจัดเรียงจากวางทับซ้อนกันเป็นการจัดเรียงแบบ 2 ชั้น เว้น 1 ชั้น การจัดเรียงแบบ 2 ชั้น เว้น 1 ชั้น ให้ผลผลิตสูงกว่าการจัดเรียงแบบดั้งเดิมร้อยละ 7.57

ในโรงเรือนอัจฉริยะที่ใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของทุกสรรพสิ่งในการควบคุมปัจจัยการผลิต ถึงแม้ว่าการควบคุมปัจจัย จะไม่สามารถทำให้ทั้งโรงเรือนมีปัจจัยการผลิตที่เหมือนกันในทุกตำแหน่งของโรงเรือนเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogenous) แต่ค่าปัจจัยที่ควบคุมได้ยังอยู่ในช่วงที่กำหนดทั้ง 4 ค่าปัจจัย และตำแหน่งของการผลิตไม่ส่งผลต่อผลผลิตเห็ดที่ผลิตได้

6. อภิปรายผล

เมื่อพิจารณาจากปริมาณผลผลิตที่ผลิตได้ในโรงเรือนอัจฉริยะเปรียบเทียบกับการผลิตในโรงเรือนแบบดั้งเดิมของเกษตรกรที่ผลิตได้โดยเฉลี่ย 185.60 กรัมต่อก้อน พบว่าการผลิตในโรงเรือนอัจฉริยะด้วยการจัดเรียงแบบที่ 1 มีผลผลิตเฉลี่ย 250.26 กรัมต่อก้อน และด้วยการจัดเรียงแบบที่ 2 มีผลผลิตเฉลี่ย 232.64 กรัมต่อก้อน แสดงว่าโรงเรือนอัจฉริยะได้ผลผลิตเห็ดสูงกว่าการผลิตในโรงเรือนแบบดั้งเดิมร้อยละ 34.83 และ 25.34 ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากปัจจัยในการผลิตในโรงเรือนอัจฉริยะ สามารถควบคุมปัจจัยการผลิตด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของทุกสรรพสิ่งทั้ง 4 ปัจจัยคือ ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และแสง (Kamonkunanon et al., 2022) ซึ่งเป็นปัจจัยในการผลิตที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเห็ด แต่การผลิตในโรงเรือนแบบดั้งเดิมของเกษตรกรไม่สามารถควบคุมปัจจัยการผลิตให้เหมาะสมได้ตลอดเวลา (Sumonphan et al., 2021) และยังอาจพบปัจจัยก้อนเห็ดติดเชื้อโรคจากแมลงในโรงเรือนผลิตเห็ด สอดคล้องกับผลการทดลองในการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นในโรงเรือนผลิตเห็ด ทำให้เห็ดออกดอกให้ผลผลิตที่ดีได้ผลผลิตเฉลี่ยก่อนละ 1.506 กิโลกรัม สูงกว่าโรงเรือนปกติที่ได้ผลผลิตเฉลี่ยก่อนละ 1.206 กิโลกรัม คิดเป็นปริมาณที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 24.8 (Fongngen et al., 2018) โดยในงานวิจัยดังกล่าวได้ควบคุมปัจจัยการผลิตจำนวน 2 ปัจจัย คือความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิ ส่วนปัจจัยเรื่องก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และแสง ในการทดลองได้ติดตั้งอุปกรณ์ให้แสงสว่างในโรงเรือน และติดตั้งเครื่องระบายอากาศ ซึ่งทำให้สามารถควบคุมปัจจัยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และแสงไปได้โดยปริยาย

จากผลการทดลองผลิตเห็ดที่มีการจัดเรียงแบบที่ 1 (วางซ้อน 2 ชั้น เว้น 1 ชั้น) ให้ผลผลิตเห็ดมากกว่าการจัดเรียงแบบที่ 2 (วางซ้อนทับกันในแนวตั้ง) คิดเป็นร้อยละ 7.57 นอกจากนี้ การผลิตเห็ดในโรงเรือนอัจฉริยะที่มีการจัดเรียงก้อนเชื้อเห็ดแบบ 2 ชั้น เว้น 1 ชั้น ยังให้ผลผลิตสูงกว่าการผลิตในโรงเรือนและการจัดเรียงแบบดั้งเดิมร้อยละ 34.84 เนื่องจากรูปแบบการจัดเรียงแบบวางซ้อน 2 ชั้น เว้น 1 ชั้น ทำให้ก้อนเห็ดสัมผัสกับปัจจัยการผลิตได้ดี สามารถระบายความร้อนได้ดี แต่กรณีที่จัดเรียงแบบทับซ้อนกัน จะส่งผลให้ก้อนเห็ดส่วนใหญ่ที่อยู่ตรงกลางเกิดการสะสมความร้อน และระบายความร้อนได้ยากเนื่องจากถูกก้อนเห็ดก้อนอื่น ๆ ที่อยู่รอบ ๆ ปิดกั้นไว้ นอกจากนี้ ความชื้นจากไอน้ำที่ผลิตได้จากเครื่องเพิ่มความชื้นยังเข้าถึงก้อนเชื้อเห็ดตรงกลางได้ยากอีกด้วย

ผลการผลิตเห็ดจากรูปแบบการจัดเรียงก้อนเห็ดในแบบที่ 1 (วางซ้อน 2 ชั้น เว้น 1 ชั้น) ในโซน 1A มากกว่าในโซน 1B ร้อยละ 1.53 และผลการผลิตเห็ดจากรูปแบบการจัดเรียงก้อนเห็ดในแบบที่ 2 (วางซ้อนทับกันในแนวตั้ง) ในโซน 2A มากกว่าในโซน 2B ร้อยละ 1.87 ซึ่งทั้งสองรูปแบบการจัดเรียงมีผลผลิตในโซน A สูงกว่าในโซน B เล็กน้อย แสดงว่าโซนในการผลิตไม่มีผลต่อผลผลิตเห็ด เนื่องจากในโรงเรือนอัจฉริยะ สามารถควบคุมปัจจัยการผลิตให้เหมาะสมต่อการผลิตเห็ด การผลิตในจุดต่าง ๆ ภายในโรงเรือนมีปัจจัยการผลิตที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเห็ด จึงไม่ส่งผลต่อปริมาณการผลิตเห็ด ถึงแม้ว่าปัจจัยในทุกจุดในโรงเรือนจะไม่เท่ากันแบบเป็นเนื้อเดียวกัน

เมื่อเปรียบเทียบการผลิตเห็ดในโรงเรือนอัจฉริยะกับการผลิตเห็ดในโรงเรือนแบบดั้งเดิมพบว่าผลผลิตที่ได้จากโรงเรือนอัจฉริยะสูงกว่าในโรงเรือนแบบดั้งเดิมมากกว่าร้อยละ 25.34 - 34.83 ทั้งนี้เนื่องจากในโรงเรือนอัจฉริยะสามารถควบคุมปัจจัยการผลิตที่สำคัญได้ เห็ดสามารถเจริญเติบโตในสภาวะที่เหมาะสมจึงให้ผลผลิตที่มากกว่า สอดคล้องกับการวิจัยเรื่อง Intelligent Mushroom Monitoring System (Raja, Rozario, Nagarani & Kavitha, 2018) ซึ่งมีการออกแบบระบบการควบคุมสภาพแวดล้อมในโรงเรือนผลิตเห็ด โดยประยุกต์ใช้เทคโนโลยี IoTs และเซ็นเซอร์ในการควบคุม 3 ปัจจัยคือ 1) อุณหภูมิ 2) ความชื้น และ 3) คาร์บอนไดออกไซด์ เมื่อทดลองผลิตเห็ดในช่วง 30 วัน พบว่าเห็ดที่ผลิตเห็ดในโรงเรือนอัจฉริยะให้ผลผลิตสูงกว่าการผลิตเห็ดในโรงเรือนทั่วไป ร้อยละ 19.96 และสอดคล้องกับการทดลองผลิตเห็ดในโรงเรือนที่ควบคุมปัจจัยการผลิตที่สามารถผลิตเห็ดได้เพิ่มร้อยละ 22.33 (Toomthong et al., 2021) แต่จะให้ผลผลิตต่ำกว่า เมื่อทดลองผลิตในตู้ผลิตเห็ดที่ควบคุมปัจจัยการผลิตที่มีขนาดตู้บรรจุไม่เกิน 300 ก้อน ที่ให้ผลผลิตสูงกว่าการผลิตแบบดั้งเดิมร้อยละ 29.3 (Payommai & Wangkhuntod, 2023) และร้อยละ 48.78 (Thongyothee et al., 2023) ตามลำดับ เนื่องจากการผลิตเห็ดในตู้ทดลองที่มีขนาดเล็ก จะสามารถควบคุมปัจจัยการผลิตได้ง่าย และมีความสม่ำเสมอกว่าการผลิตในโรงเรือนจริง

7. เอกสารอ้างอิง

Chieochan, O., Saokaew, A. & Boonchieng, E. (2017). IOT for smart farm: A case study of the Lingzhi mushroom farm at Maejo University. *Paper presented at the 2017 14th International Joint Conference on Computer Science and Software Engineering (JCSSE)*.

- Fongngen, W., Pechhan, S. & Yajor, R. (2018). Application with the Internet of Things Technology Control in Smart Farms Mushroom. *Journal of Technology Management Rajabhat Maha Sarakham University*, 5(1), 172-182. (in Thai)
- Hongyont, S. (2019). Cost Analysis and Finance Return of Oyster Mushroom Farm in Ubon Ratchathani. *Journal of Graduate School, Pitchayat, Ubon Ratchathani Rajabhat University*, 14(2), 189-196. (in Thai)
- Jeznabadi, E. K., Jafarpour, M. & Eghbalsaid, S. (2016). King oyster mushroom production using various sources of agricultural wastes in Iran. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 5(1), 17-24.
- Kamonkunanon, S., Songneam, N., Supawantanakul, D. & Siringam, T. (2022). A Study of Factor of Production for Cool Group of Mushrooms in Smart Farm Using Internet of Things Technology. Loei Rajabhat University Research Conference 8th: Loei Rajabhat University. (in Thai)
- Khambun, A., Singkhleewon, N., Thanasin, K. & Puttala, S. (2021). The Development of an Intelligent Mushroom Cabinet with Solar Energy. *Phranakhon Rajabhat Research Journal: Science and Technology*, 16(1), 27-40. (in Thai)
- Office of the Royal Development Projects Board. (2012). *Guide to growing economic mushrooms and native mushrooms (2nd Edition)*. Bangkok: Mind Create Advertising company Limited.
- Payommai, T. & Wangkhuntod, S. (2023). Development of smart mushroom farm to increase the efficiency and value of mushrooms by using smartphone control for community enterprises in mushroom farming. *Agriculture and Technology Journal*, 4(2), 59-73. (in Thai)
- Prikupets, L. B. (2018). *Technological lighting for agro-industrial installations in Russia. Light & Engineering*, 26(1), 7-17.
- Raja, S. P., Rozario, A. R., Nagarani, S. & Kavitha, N. (2018). Intelligent Mushroom Monitoring System. *International Journal of Engineering & Technology*, 77(2.33), 1238-1242.
- Sangpakornkij, T. (2013). *Oyster mushroom*. Bangkok: SE-ED Publishing. (in Thai)
- Satun College of Agriculture and Technology. (2014). *Mushrooms and the importance in mushroom production*. [online], Available: <http://www.satunatc.ac.th/lms/course/view.php?id=3>. access on December 8, 2023. (in Thai)
- Singjaroen, B. & Sakaew, S. (2016). *Temperature and Humidity Control System in Mushroom Greenhouse*. The 1st Ralamangala University of Technology Suvarnabhumi National Conference, 176-183. (in Thai)

- Subedi, A., Luitel, A., Baskota, M., & Acharya, T. D. (2019). *IoT Based Monitoring System for White Button Mushroom Farming*. Paper presented at the Multidisciplinary Digital Publishing Institute Proceedings.
- Sumonphan, E., Thongchai R., Khamchuen, C. & Viriyarattanukul, S. (2021). Controlling System of Bhutan Oyster Mushroom's Growth and Alert by Image Processing and Internet of Things. *Science Technology and Innovation*, 2(3), 1-10. (in Thai)
- The National Science and Technology Development Agency. (2021). *Collection of data on production and marketing of economic mushrooms and wild edible mushrooms in Thailand*. [online], Available: <https://waa.inter.nstda.or.th/stks/pub/2021/20210817-economic-mushroom-market.pdf>. access on February 15, 2023. (in Thai)
- Thongyothee, S., Dangton, W., Jeepetch, V., Wongniyom, A., Lomchangkhum, C. & Thongothee, C. (2023). Design of Temperature and Relative Humidity Test Kit for Grey Oyster Mushrooms Cultivation. *Rajamangala University of Technology Tawan-ok Research Journal*, 16(2), 24-34. (in Thai)
- Toomthong, P., Sakaew, S., Niyomtong, P., Keeratiyadathanapat, N. & Suvarnakuta, N. (2021). A Study of Evaporative and Fogging Cooling System for Mushroom House. *Industrial Technology Journal*, 6(2), 33-40. (in Thai)
- Youngkerd, N. & Sangdee, P. (2015). *Mushroom production for sale*. Bangkok: MIS Publishing. (in Thai)