

การออกแบบชุดทดสอบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สำหรับเพาะเห็ดนางฟ้า

Design of Temperature and Relative Humidity Test Kit for Grey Oyster Mushrooms Cultivation

สุกัญญา ทองโยธี^{1*}, วิริยะ แดงทน¹, วีรยุทธ จีเพชร¹, อารยันต์ วงษ์นิยม¹

ชัยณรงค์ หล่มช้างคำ² และ ชวนันท์ ทองโยธี³

Sukanya Thongyothee^{1*}, Wiriya Dangton¹, Veerayut Jeepetch¹,

Arayan Wongniyom¹, Chainarong Lomchangkum² and Chawanant Thongyothee³

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตร ² สาขาวิชาวิศวกรรมอาหารและชีวภาพ ³ สาขาวิชาวิศวกรรมโลหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น 40000

¹ Agricultural Machinery Engineering, ² Food and Biological Engineering, ³ Metallurgical Engineering
Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology, Isan Khon Kaen Campus

*E-mail: Sukanya.tn@rmu.ac.th, jelly_to@hotmail.com โทร: +66-8-1444-0833

บทคัดย่อ

การศึกษามีวัตถุประสงค์ ศึกษาการเจริญเติบโตของเห็ดนางฟ้า เพื่อนำมาวิเคราะห์การออกแบบและสร้างตลอดจนประเมินผลชุดทดสอบควบคุมอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์สำหรับเพาะเห็ดนางฟ้า และการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ จากการศึกษาการเจริญเติบโตของเห็ดนางฟ้ามี 2 ปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ชุดทดสอบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สำหรับเพาะเห็ดนางฟ้า ใช้ระบบควบคุมการทำงาน 2 ส่วนประกอบหลัก ๆ คือ Digital Temperature Controller และเซนเซอร์ DHT11 ผลการทดสอบและประเมินผลการทำงานชุดทดสอบมีขนาดความกว้าง 95 เซนติเมตร ความยาว 95 เซนติเมตร ความสูง 120 เซนติเมตร ใช้ก้อนเชื้อเห็ดนางฟ้าจำนวน 130 ก้อน พบว่าในช่วงวันที่ 1-5 มีค่าอุณหภูมิต่ำสุด 27.6°C ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุด 85.7% ปริมาณการใช้น้ำต่ำสุด 25 ลิตร/วัน และช่วงวันที่ 6-15 มีค่าอุณหภูมิสูงสุด 28.4°C ความชื้นสัมพัทธ์สูงสุด 89.3% และปริมาณการใช้น้ำสูงสุด 32 ลิตร/วัน จากการควบคุมอุณหภูมิโดยการพ่นหมอก และมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิภายในชุดทดสอบที่ 28.07°C ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 87.65% และปริมาณการใช้น้ำเฉลี่ย 28.4 ลิตร/วัน ผลการเปรียบเทียบพบว่าผลผลิตของเห็ดนางฟ้าที่เพาะแบบไม่มีชุดทดสอบควบคุมได้น้ำหนัก 5,067 กรัม และผลผลิตของเห็ดนางฟ้าที่เพาะแบบมีชุดทดสอบควบคุมได้น้ำหนัก 10,387 กรัม โดยมีผลผลิตต่างกัน 48.78 เปอร์เซ็นต์ การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์มีจุดคุ้มทุน 123 กิโลกรัม/ปี และระยะเวลาคืนทุน 2 ปี 3 เดือน

คำสำคัญ : การเจริญเติบโตเห็ดนางฟ้า อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ น้ำหนักเห็ดนางฟ้า

Abstract

This research aims to investigate the growth patterns of oyster mushrooms, analyzing the design and implementation of controlled temperature and humidity conditions for mushroom cultivation. The study also evaluates the economic viability of the proposed controlled environment. The study identified temperature and humidity as two key factors that affect the growth of oyster mushrooms. The controlled environment utilized a system consisting of two main components: a Digital Temperature Controller and a DHT11 sensor. The testing and evaluation apparatus had dimensions of 95 cm width, 95 cm length, and 120 cm height, accommodating 130 mushroom spawn. The experimental results indicated that during the first 5 days, the minimum temperature recorded

was 27.6°C, with a corresponding minimum humidity of 85.7% and a water consumption of 25 liters/day. In contrast, from days 6 to 15, the maximum temperature reached 28.4°C, with a peak humidity of 89.3% and a water consumption of 32 liters/day. It achieved temperature control by misting, resulting in an average internal temperature of 28.07°C, average humidity of 87.65%, and an average water consumption of 28.4 liters/day. A comparative analysis of mushroom yields revealed a weight of 5,067 grams for the non-controlled environment and 10,387 grams for the controlled environment, indicating a 48.78% increase in production. The economic assessment demonstrated a break-even point of 123 kilograms/year and a pay-back period of 2 years and 3 months.

Keywords : Mushroom Growth, Temperature and Humidity, Oyster Mushroom Weight

1. บทนำ

เห็ดนางฟ้าเป็นเห็ดเศรษฐกิจชนิดหนึ่งที่อยู่ในสกุลเดียวกันกับเห็ดนางรมและเห็ดเป๋าฮื้อ มีลักษณะคล้ายเห็ดนางรมแต่ดอกมีสีขาวนวลถึงน้ำตาลอ่อน หมวกดอกหนาและเนื้อแน่นกว่าเห็ดนางรม ชื่อ “เห็ดนางฟ้า” เป็นชื่อที่ตั้งขึ้นในเมืองไทย แต่คนไทยบางคนเรียกว่าเห็ดแขก เพราะเห็ดชนิดนี้มีถิ่นกำเนิดแถบภูเขาหิมาลัย ประเทศอินเดีย ในสภาพธรรมชาตินั้นเห็ดนางฟ้าชอบเจริญอยู่ตามตอไม้ผุ ๆ ในบริเวณที่มีอากาศชื้นและเย็นแตเมื่อนำมาเพาะเห็ดนางฟ้าสามารถเจริญเติบโตได้ดีในชี้อ้อยไม่เนื่ออ่อน ฟางข้าวสับละเอียด ชังข้าวโพดป่น ใสนุ่น ใส่ฝ้าย ปุ๋ยหมัก หรือแม้แต่เศษฟางที่ใช้เพาะเห็ดฟางไปแล้วยังสามารถนำมาตากให้แห้งและปนให้ละเอียด แล้วนำไปใช้เพาะเห็ดนางฟ้าได้ (Sudkaew, 2019) เห็ดนางฟ้าถูกนำมาเลี้ยงในอาหารวุ้นเป็นครั้งแรกโดย Jandaik ในปี ค.ศ. 1974 ต่อมา Rangaswami และ Nadu แห่ง Agricultural, University, Coimbatore India เป็นผู้นำเชื้อบริสุทธิ์ของเห็ดนางฟ้าเข้ามาฝากไว้ที่ American type culture collection (ATCC) USA. ในปี ค.ศ. 1975 เห็ดนางฟ้าได้ถูกนำเข้ามาทดลองเพาะในประเทศไทย ที่สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์ประยุกต์แห่งประเทศไทย ปรากฏว่าสามารถเจริญได้ดีในสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย ต่อมามหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ได้นำมาทดลองเพาะเลี้ยงในอาหารชนิดต่าง ๆ ปรากฏว่าเห็ดนางฟ้าสามารถเจริญเติบโตได้ดีในอาหารหลายชนิดคล้ายกับเห็ดนางรม (Aramphongpan, 2000) เพาะได้ง่ายและให้ผลผลิตเร็วประกอบกับเห็ดนางฟ้าเป็นเห็ดที่มีขนาดของดอกปานกลาง เนื้อแน่น รสชาติดี อร่อย มีคุณค่าทางอาหารสูง มีไขมันต่ำ ปลอดภัยจากสารพิษ อีกทั้งเก็บไว้ในตู้เย็นได้หลายวันและสามารถปรุงอาหารได้หลายอย่างเช่นเดียวกับเห็ดชนิดอื่น ซึ่งตลาดมีความต้องการจึงนิยมบริโภคกันทำให้เห็ดชนิดนี้แพร่หลายมากขึ้น (Saengpakornkit, 2019) อีกทั้งกรรมวิธีการเพาะก็สามารถทำได้ง่ายไม่ยุ่งยากต่อการปฏิบัติใช้ระยะเวลาสั้นและสามารถเพาะได้ตลอดทั้งปี แต่ในปัจจุบันเกษตรกรหรือครัวเรือนในการดูแลและจัดการฟาร์มเพาะเห็ดมีปัญหาค่อนข้างมากในการควบคุมดูแลงบประมาณที่จะต้องเสียไป ทั้งค่าน้ำหรือค่าจ้างแรงงาน วงจรชีวิตของเห็ดนางฟ้ามีการเติบโตได้ดีที่อุณหภูมิที่เหมาะสมมากต่อเส้นใยคือ 32°C และสร้างดอกเห็ดได้ดีที่ 28°C เหตุผลนี้จึงได้นำเทคโนโลยีเข้ามาควบคุมและดูแลจัดการในด้านการวัดอุณหภูมิ ความชื้น การระบายอากาศ การให้น้ำของเห็ด ปัญหายักษ์แล้งที่รบกวนหัวใจเกษตรกรและครัวเรือนจะบรรเทาลงด้วยการนำเทคโนโลยีมาใช้เพื่อควบคุมและดูแลจัดการในด้านการให้น้ำ ทำให้เกิดผลกระทบต่อคุณภาพของดอกเห็ดนางฟ้า ซึ่งมีผลมาจากปัจจัยที่สำคัญหลายประการเหล่านี้ทำได้ยาก (Dulyrat, 2019)

จากปัญหาดังกล่าว จึงได้มีการออกแบบชุดควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สำหรับเพาะเห็ดนางฟ้า ซึ่งควบคุมโดยระบบไฟฟ้า ส่งผลให้ความสะดวกสบายแก่เกษตรกรสามารถเพาะเห็ดได้ภายในบ้านหรือผู้ที่มีพื้นที่น้อย เพื่อเพิ่มคุณภาพของดอกเห็ดนางฟ้าและผลตอบแทนที่สูงขึ้นแก่ผู้สนใจในการเพาะปลูกเห็ดนางฟ้า

2. วิธีการศึกษา

การศึกษาวิธีควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของเห็ดนางฟ้า โดยการออกแบบชุดควบคุมในการเพาะเห็ดนางฟ้าเพื่อทดสอบวิธีควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของเห็ดนางฟ้า และศึกษาการเจริญเติบโตของเห็ดนางฟ้า

โดยมีรายละเอียดดัง Figure 1

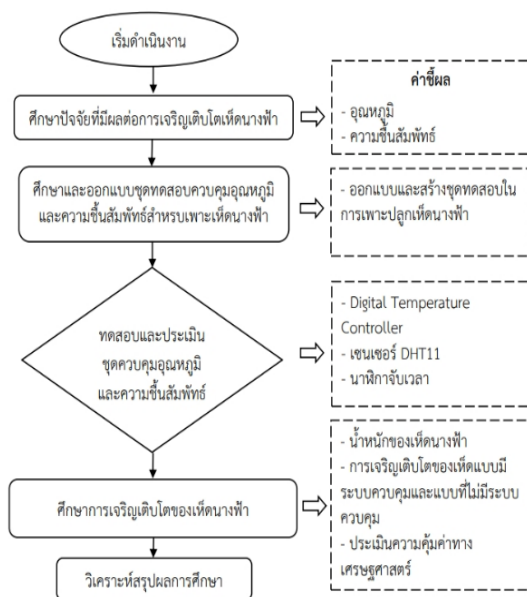


Figure 1 Action Plan

2.1 ศึกษาการเจริญเติบโตของเห็ดนางฟ้า

ศึกษาข้อมูลและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยพื้นฐานของสภาวะอากาศที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเห็ดนางฟ้า ได้แก่ อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ซึ่งในบทความ หนังสือ วารสาร และอินเทอร์เน็ต เป็นแหล่งค้นคว้าข้อมูลเพื่อนำไปใช้ในการออกแบบ ชุดควบคุมอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเห็ดนางฟ้า คือ 28 - 35°C ส่วนอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของดอกเห็ด 20 - 30°C เห็ดจะเจริญเติบโตได้เร็วและระยะที่กำลังเจริญเติบโตเป็นดอกเห็ดต้องการความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ 70 - 90% (Kalarod, 2018)

2.2 ออกแบบชุดทดสอบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สำหรับเพาะเห็ดนางฟ้า

จากการทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการศึกษา จึงออกแบบชุดทดสอบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สำหรับเพาะเห็ดนางฟ้า ใช้ระบบควบคุมการทำงานโดยใช้ Digital Controller ในการพ่นหมอกและพัดลมระบายอากาศ (Mountain, 2020) ซึ่งเป็นอุปกรณ์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ และบรรจุก้อนเชื้อเห็ดนางฟ้าใช้ทดสอบได้ ดัง Figure 2

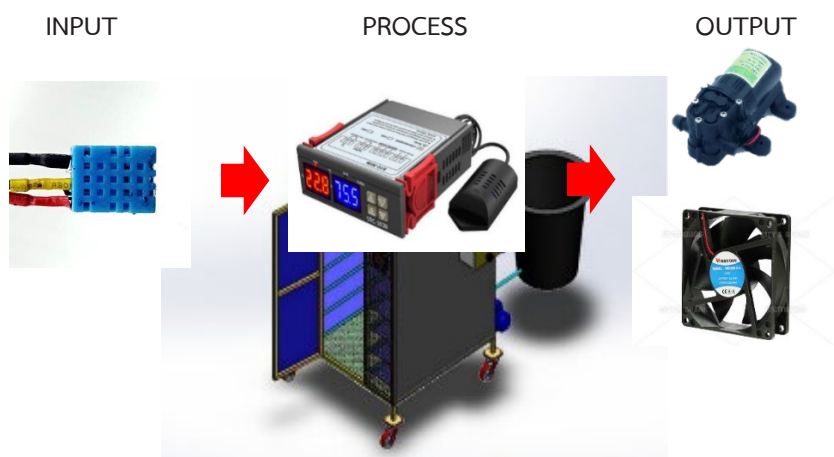


Figure 2 Equipment set relation of oyster mushrooms production

2.3 ทดสอบและประเมินชุดทดสอบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สำหรับเพาะเห็ดนางฟ้า

2.3.1 ชุดทดสอบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ทำการเก็บข้อมูลค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในช่วงวันทำการเพาะเห็ดระยะเวลาเติบโต 15 วัน ตลอดการทดสอบทุก 6 ชั่วโมง โดยบันทึกค่าอุปกรณ์และวิธีการทดสอบ ดังนี้

1) อุปกรณ์ใช้ในการทดสอบ

- ก) เครื่อง Digital Temperature Controller จำนวน 1 เครื่อง
- ข) เซนเซอร์ DHT11 วัดค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ จำนวน 1 ตัว
- ค) นาฬิกาจับเวลา จำนวน 1 เครื่อง

2) วิธีการทดสอบ

- ก) นำเซนเซอร์ DHT 11 ไปติดตั้งภายในชุดทดสอบ
- ข) ทำการตั้งค่าควบคุมอุณหภูมิที่ 28°C และความชื้นสัมพัทธ์ที่ 90%
- ค) ตั้งนาฬิกาในการวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในชุดทดสอบ โดยแบ่งเวลาการวัดอุณหภูมิออกเป็น 4 ช่วงเวลา ได้แก่ 06:00, 12:00, 18:00 และ 00:00 น. ระยะเวลาการเจริญเติบโต 15 วัน เนื่องจากต้องการทดสอบในช่วงเวลาต่าง ๆ เพื่อหาความแม่นยำในการวัดความชื้นสัมพัทธ์ $\pm 5\%$ ช่วงความชื้นสัมพัทธ์ที่สามารถวัดได้ 20 - 90% และความแม่นยำในการวัดอุณหภูมิ $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ช่วงอุณหภูมิที่สามารถวัดได้ 0 - 50°C (Mountain, 2020)

ง) บันทึกผล ค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์จากหน้าจอที่วัดค่าได้จากเซนเซอร์ DHT11 ดัง Figure 3

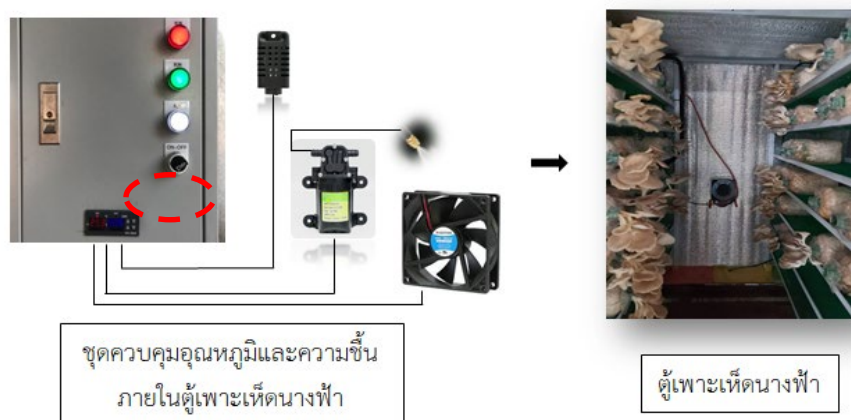


Figure 3 Temperature and Humidity from the measured screen DHT11 sensor

2.3.2 ทดสอบปริมาณการใช้น้ำต่อวัน ปริมาณน้ำที่ใช้ในช่วงเวลา 15 วันทำการเพาะเห็ดนางฟ้าตลอดการทดสอบ โดยบันทึกค่าปริมาณการใช้น้ำต่อวัน ซึ่งเป็นรูปแบบของการทำความเย็นจากการระเหยของน้ำ (Evaporative Cooling) ประกอบด้วยปั๊มน้ำ ท่อน้ำ และหัวพ่นหมอก (Fogging Nozzle) ซึ่งเป็นละอองน้ำเล็กมากถูกพ่นให้กระจายทั่วทั้งชุดทดสอบ ขณะละอองหมอกระเหยจะดึงความร้อนจากอากาศภายในชุดควบคุมส่งผลให้โรงเรือนอุณหภูมิลดลงและค่าความชื้นสัมพัทธ์สูงขึ้น (Saowaraj, 2018) การใช้น้ำนั้นจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิภายในชุดทดสอบเพาะเห็ดนางฟ้า มีอุปกรณ์และวิธีการทดสอบ ดังนี้

1) อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

- ก) หัวพ่นหมอกทองเหลือง ความละเอียด 0.3 มิลลิเมตร จำนวน 8 หัว
- ข) ปั๊มน้ำรุ่น GREEN-01 แรงดัน 4.8 บาร์ จำนวน 1 ตัว
- ค) ถังบรรจุน้ำ 18 ลิตร จำนวน 1 ถัง

2) วิธีการทดสอบ

- ก) ตั้งค่าชุดควบคุมอุณหภูมิที่ 28°C และความชื้นสัมพัทธ์ที่ 90%

- ข) เติมน้ำเต็มถังบรรจุ เมื่อปั้มน้ำเริ่มทำงานน้ำในถังจะลดลง จากนั้นทำการบันทึกค่าน้ำในถังบรรจุ
 ค) บันทึกค่าปริมาณการใช้น้ำถังบรรจุ ดัง Figure 4

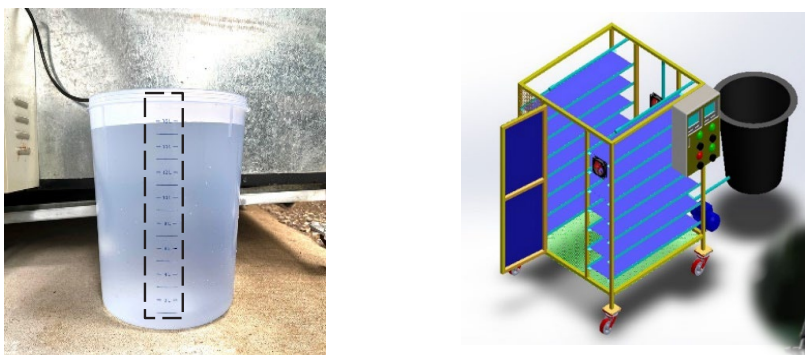


Figure 4 Water tank and Fogging Nozzle

2.4 ศึกษาการเจริญเติบโตของเห็ดนางฟ้าและประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของชุดทดสอบควบคุม

2.4.1 ศึกษาการเจริญเติบโตของเห็ดนางฟ้า โดยติดตั้งแบบไม่มีชุดทดสอบและแบบมีชุดทดสอบควบคุมควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ บันทึกข้อมูลการเจริญเติบโตของเห็ดนางฟ้าที่เกษตรกรเพาะในโรงเรือนที่มีความชื้นสูงประมาณ 60 - 80% ขึ้นไปใช้โรงเรือนขนาด $4 \times 6 \text{ m}^2$ เป็นขนาดพื้นที่และความต้องการของผู้ผลิต ใช้ผ้าพลาสติกคลุมที่ทึบแสงแต่มีรูระบายอากาศข้างปิดโดยรอบ ด้านหนึ่งคลุมให้เปิด - ปิด สามารถรดน้ำและเก็บเห็ดได้สะดวก ซึ่งจะมีคุณสมบัติใกล้เคียงในการกักเก็บความชื้น ต้นทุนการผลิตต่ำ ดัง Figure 5 การเจริญเติบโตที่เพาะแบบไม่มีชุดควบคุมและแบบมีชุดควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ โดยการปรับตั้งค่าอุณหภูมิที่ 28°C ความชื้นสัมพัทธ์ที่ 90% มีการเก็บค่าตัวอย่างดังนี้



Figure 5 Preparation to open the spawned oyster mushrooms at farm and test set

2.4.2 ศึกษาลักษณะการเจริญเติบโตของเห็ดนางฟ้าเกษตรกรเพาะในโรงเรือน และชุดทดสอบควบคุม

1) อุปกรณ์การทดสอบ

- ก) เวอร์เนียร์คาลิเปอร์ ค่าความละเอียด 0.2 มิลลิเมตร จำนวน 1 อัน
 ข) เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล ทศนิยม 1 ตำแหน่ง รุ่น C305 จำนวน 1 เครื่อง

2) วิธีการทดสอบ เกณฑ์การเก็บตัวอย่าง (Piwphan et al., 2023)

- ก) นับจำนวนดอกเห็ดนางฟ้าต่อหนึ่งก้อนเชื้อเห็ด ดัง Figure 6 (a)
 ข) ชั่งน้ำหนักช่อดอกเห็ดนางฟ้า ดัง Figure 6 (b)
 ค) วัดขนาดความกว้างของช่อดอกเห็ดนางฟ้าของช่อที่กว้างที่สุดจากด้านหนึ่งไปอีกด้านหนึ่ง ดัง

Figure 6 (c)

- ง) วัดขนาดความสูงของช่อดอกเห็ดนางฟ้าจากบริเวณโคนต้นขึ้นไปถึงยอดสูงสุด ดัง Figure 6 (d)

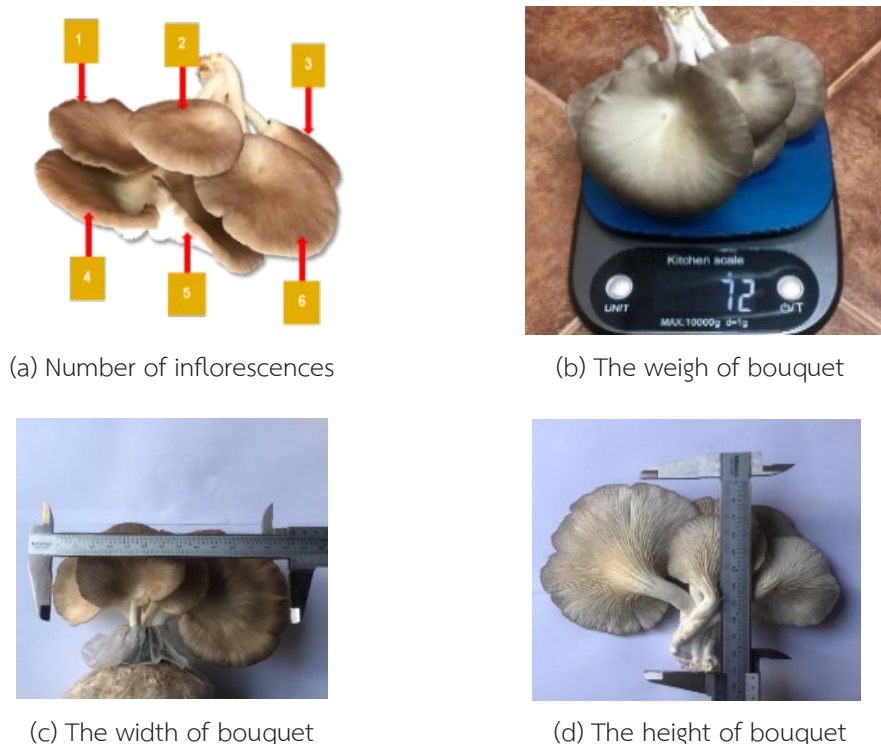


Figure 6 Physical characteristics of mushroom

2.4.3 การคำนวณเชิงเศรษฐศาสตร์ (Langkapin, 2022) เพื่อประเมินค่าใช้จ่ายโดยเฉลี่ย ระยะเวลาคืนทุน และ จุดคุ้มทุนในการที่จะนำชุดทดสอบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สำหรับเพาะเห็ดนางฟ้ามาใช้ ซึ่งการประเมินค่าใช้จ่ายโดยรวมประกอบด้วยต้นทุนคงที่ (Fixed cost) และต้นทุนผันแปร (Variable cost) โดยต้นทุนคงที่ ได้แก่ ค่าเสื่อมราคาของชุดทดสอบ และค่าเสียโอกาสของเงินทุน สำหรับต้นทุนผันแปรเป็นต้นทุนเปลี่ยนแปลงตามปริมาณการทำงาน ได้แก่ ค่าจ้างแรงงานคนเพื่อทำงานร่วมกับชุดทดสอบ ค่าไฟฟ้า ค่าบำรุงรักษา และค่าซ่อมแซม ส่วนการวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุน (Pay-back period) จะได้ผลตอบแทนกลับคืนมาในจำนวนเงินเท่ากับที่ลงทุนไป โดยคิดจากราคาในการลงทุนสร้างชุดทดสอบหารกับผลประโยชน์สุทธิที่คาดว่าจะได้รับ ดังสมการที่ 1

$$PBP = \frac{P}{R} \quad (1)$$

เมื่อ PBP = ระยะเวลาในการคืนทุน (ปี)

P = ราคาชุดทดสอบควบคุมอุณหภูมิ (บาท)

R = กำไรสุทธิต่อปี (บาท/ปี)

N = อายุการใช้งาน (ปี)

ส่วนการวิเคราะห์จุดคุ้มทุน (Break-even point) จะคำนวณหาจุดคุ้มทุนในการใช้งาน โดยการเปรียบเทียบ $\frac{Fc}{B-VC}$ ระหว่างต้นทุนในการทำงานกับแรงงานคน ดังสมการที่ 2 (Langkapin, 2022)

$$BEP = \frac{Fc}{B-VC} \quad (2)$$

เมื่อ BEP = จุดคุ้มทุน (ชั่วโมง/ปี)

Fc = ค่าใช้จ่ายคงที่ (บาท)

B = อัตราการรับจ้าง (บาท/ชั่วโมง)

VC = ค่าใช้จ่ายในการทำงาน (บาท/ชั่วโมง)

3. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

ผลการศึกษาการเจริญเติบโตของเห็ดนางฟ้า โดยออกแบบและประเมินชุดทดสอบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ได้ผลดังนี้

3.1 ผลการศึกษาการเจริญเติบโตของเห็ดนางฟ้า

ผลการศึกษาสภาพอากาศพื้นฐานที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเห็ดนางฟ้า จากบทความ หนังสือ วารสาร งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และอินเทอร์เน็ต (Pratumthin, 2021) พบว่าโรงเรือนระบบอัตโนมัติสามารถทำงานตามเงื่อนไขที่ต้องการ โดยภายในโรงเพาะเห็ดจะมีเซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิ เมื่ออุณหภูมิในโรงเพาะเห็ดสูงเกินกว่า 32°C ระบบจะสั่งให้ปั๊มน้ำทำงานและเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า 32°C ระบบจะสั่งให้ปั๊มน้ำหยุดการทำงาน ส่วนภายนอกโรงเพาะเห็ดระบบอัตโนมัติจะมีโมดูลอัลตราโซนิกเซนเซอร์คอยตรวจวัดระดับน้ำในถัง เมื่อระดับน้ำในถังหมดระบบจะส่งค่าไปยังบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ NodeMCU ESP8266 เพื่อแจ้งเตือนไปยัง Line Notify ให้ผู้ใช้งานทราบและมีการแสดงผลผ่านจอ LCD แสดงค่าอุณหภูมิและระดับน้ำในถัง ซึ่งได้ผลประเมินความพึงพอใจ และจากงานวิจัย (Kalarod, 2018) พบว่าการเจริญเติบโตของเห็ดนางฟ้ามี 2 คุณสมบัติ ได้แก่ อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเส้นใยคือ $28 - 35^{\circ}\text{C}$ ส่วนอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของดอกเห็ด $20 - 30^{\circ}\text{C}$ และส่วนในระยะเวลาออกดอกต้องการความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ $70 - 90\%$ หากอากาศมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำเกินไปจะชะงักการเจริญเติบโต ดอกเห็ดจะมีขนาดเล็กและบาง ผิวแห้งแตกช่วงระยะเวลาเจริญเติบโตเป็นดอกเห็ดสมบูรณ์

3.2 ผลการออกแบบชุดทดสอบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สำหรับเพาะเห็ดนางฟ้า

ผลการออกแบบชุดควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์หน้าจอบูแบบดิจิทัล รุ่น STC 3028 พร้อมเซนเซอร์ DHT11 วัดอุณหภูมิได้ระหว่าง $0 - 50^{\circ}\text{C}$ วัดความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศได้ระหว่าง $20 - 90\%$ ความถี่ในการวัด 1 เฮิรตซ์ อ่านค่าได้วินาทีละครั้ง เพื่อรับค่าและอ่านค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในชุดทดสอบเพาะเห็ดนางฟ้า ซึ่งขนาดตู้ควบคุมมีขนาดความกว้าง 95 เซนติเมตร ความยาว 95 เซนติเมตร ความสูง 120 เซนติเมตร ภายในชั้นวางก้อนเชื้อเห็ดนางฟ้าที่ทดสอบจำนวน 130 ก้อน ดัง Figure 7

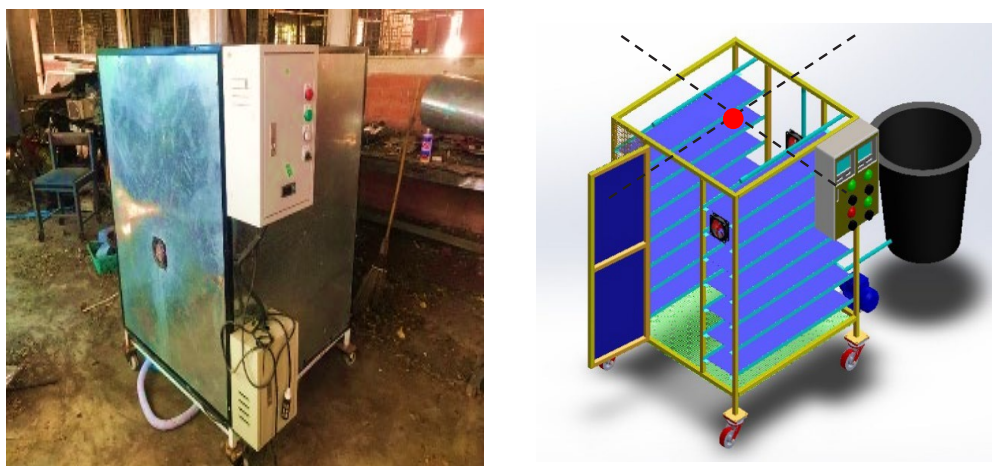


Figure 7 Type Control Test set

3.3 ผลการทดสอบและประเมินชุดทดสอบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สำหรับเพาะเห็ดนางฟ้า

3.3.1 ผลการทดสอบการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์

เมื่อหน่วยประมวลผลรับค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์จากเซนเซอร์ DHT11 จะนำค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์มาแสดงค่าที่หน้าจอ Digital Temperature Controller โดยมีการตั้งค่าอุณหภูมิอยู่ที่ 28°C และ

ความชื้นสัมพัทธ์อยู่ที่ 90% หากอุณหภูมิมากกว่าที่ตั้งค่าไว้จะเริ่มทำงานโดยสั่งระบบพ่นหมอก เมื่ออุณหภูมิลดลงน้อยกว่าที่ตั้งค่าไว้ระบบพ่นหมอกจะหยุดการทำงาน ขณะเดียวกันระบบควบคุมความชื้นสัมพัทธ์จะทำงานเมื่อความชื้นสัมพัทธ์มากกว่าค่าที่ตั้งไว้ โดยจะสั่งพัดลมดูดอากาศทำงาน เพื่อให้เกิดการหมุนเวียนอากาศภายในชุดทดสอบเพาะเห็ดนางฟ้า และหยุดการทำงานเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่าค่าที่ตั้งไว้ ดัง Figure 8

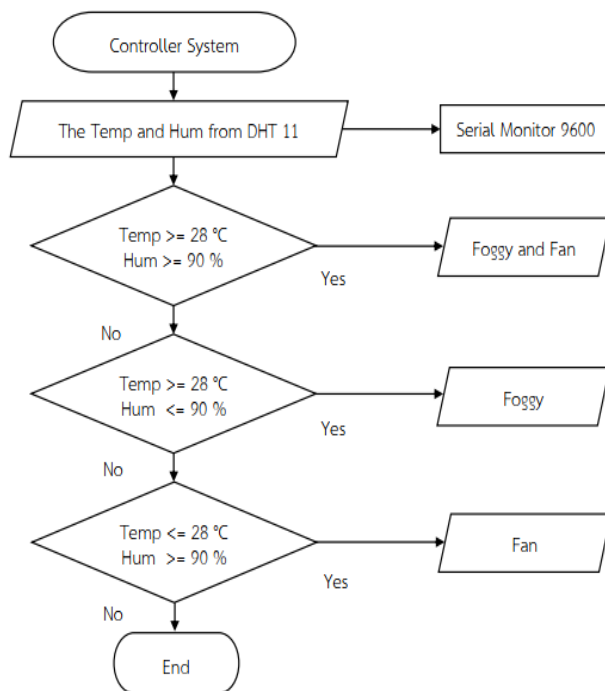


Figure 8 Process of control system

ผลจากอุณหภูมิภายในชุดทดสอบพบว่า ในช่วงวันที่ 1-5 มีค่าอุณหภูมิต่ำสุด 27.6°C ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุด 85.7% ปริมาณการใช้น้ำต่ำสุด 25 ลิตร/วัน ซึ่งอาจเกิดจากการควบคุมอุณหภูมิ โดยการพ่นหมอกในช่วงเวลานั้น หรืออุณหภูมิภายนอกไม่สูงมาก และช่วงวันที่ 6-15 มีค่าอุณหภูมิสูงสุด 28.4°C ความชื้นสัมพัทธ์สูงสุด 89.3% และปริมาณการใช้น้ำสูงสุด 32 ลิตร/วัน จากการควบคุมอุณหภูมิโดยการพ่นหมอก และมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิภายในชุดทดสอบที่ 28.07°C ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 87.65% และปริมาณการใช้น้ำเฉลี่ย 28.4 ลิตร/วัน เป็นช่วงวันที่มีอุณหภูมิสูง อาจเกิดจากความร้อนระหว่างวัน

จากข้อมูลข้างต้นมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสูงกว่าค่ามาตรฐานที่ตั้งเอาไว้ที่ 28°C ซึ่งอาจจะเกิดจากการบันทึกค่าในระหว่างช่วงระบบกำลังควบคุมอุณหภูมิให้ต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่ตั้งเอาไว้

3.3.2 ผลการศึกษาปริมาณการใช้น้ำต่อวัน

ผลจากศึกษาการใช้น้ำช่วง 15 วันทำการเพาะเห็ดนางฟ้า โดยหัวพ่นหมอกเป็นละอองน้ำเล็กมากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางละอองประมาณ 2-60 ไมโครเมตรภายในชุดทดสอบเพาะเห็ดนางฟ้า ใช้หัวพ่นหมอกทองเหลือง 8 ตัว ค่าความละเอียดสามารถปรับระดับได้ 0.3-1.2 มิลลิเมตร รัศมี 0.5-3 เมตร อัตราการไหลสูงสุด 3.5 ลิตร/นาที เพื่อให้ น้ำที่พ่นออกจากหัวพ่นหมอกเกิดเป็นละอองน้ำครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมดภายในชุดทดสอบเพาะเห็ดนางฟ้า ปริมาณการใช้น้ำต่อวันภายในชุดทดสอบ พบว่าปริมาณการใช้น้ำสูงสุด 32 ลิตร/วัน ต่ำสุด 25 ลิตร/วัน และค่าเฉลี่ยที่ 28.4 ลิตร/วัน ซึ่งการใช้น้ำขึ้นอยู่กับอุณหภูมิภายในชุดทดสอบ หากอุณหภูมิสูงปริมาณการใช้น้ำจะเพิ่มสูง และอุณหภูมิภายในชุดทดสอบต่ำกว่าค่าที่ตั้งไว้ที่ 28°C ปริมาณการใช้น้ำก็จะลดลงตามไปด้วยผลการศึกษาดัง Figure 9

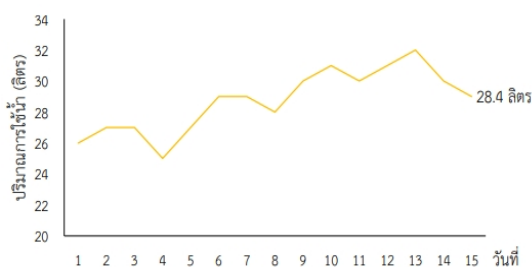


Figure 9 Graph showing daily water test set

3.4 ผลการศึกษาการเจริญเติบโตของเห็ดนางฟ้าและประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของชุดทดสอบ

3.4.1 ผลการศึกษาการเจริญเติบโตของเห็ดนางฟ้า โดยติดตั้งแบบไม่มีชุดทดสอบและแบบมีชุดทดสอบควบคุมควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ แบบไม่มีชุดทดสอบ และแบบมีชุดทดสอบ โดยอุณหภูมิในการเจริญเติบโตของเส้นใย 28 - 35°C ส่วนอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของดอกเห็ด 20 - 30°C เห็ดจะเจริญเติบโตเร็วและช้าลงเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า 10°C และความชื้นสัมพัทธ์ 70 - 90% หากอากาศมีความชื้นต่ำจะทำให้ชะงักการเจริญเติบโต ดัง Figure 10



Figure 10 Farmer's mushroom greenhouse and test set

3.4.2 ผลการศึกษาลักษณะการเจริญเติบโตของเห็ดนางฟ้า

ผลการศึกษาลักษณะจำนวนดอกเห็ด น้ำหนัก ขนาดความกว้าง ความสูงของช่อดอกเห็ดนางฟ้าที่เพาะในโรงเรือน ตัวอย่างจำนวน 130 ก้อน โดยการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ไม่เกิน 28°C และ 90% พบว่าจำนวนช่อดอกเฉลี่ยในก้อนเชื้อเห็ด 8.03 ดอก น้ำหนักต่ำสุด 30 กรัม อาจเกิดจากการสร้างเส้นใยภายในก้อนเชื้อเห็ดช้า หรือความชื้นสัมพัทธ์เหมาะสมภายในก้อนเชื้อเห็ดต่ำ จึงทำให้เชื้อเห็ดหยุดชะงักการเจริญเติบโต ดอกเห็ดมีขนาดเล็กและบาง ผิวแห้งแตก มีน้ำหนักสูงสุด 119 กรัม และน้ำหนักเฉลี่ย 79.52 กรัม Figure 11 ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยที่สูงสามารถยอมรับได้ในการเพาะปลูก ดัง Table 2 โดยทั่วไปก้อนเชื้อเห็ดนางฟ้าสูตรธรรมดาขนาด 1 กิโลกรัม จะให้ผลผลิตครั้งละ 50 - 60 กรัม แต่แต่ละก้อนจะให้ผลผลิตประมาณ 4 - 6 รุ่น แต่ละรุ่นมีช่วงห่างระหว่างการเกิดดอกประมาณ 10 - 15 วัน (Piwphan et al., 2023)

Table 1 The results of testing weight that oyster mushroom

ก่อนเชื้อเห็ด	จำนวน (ดอก)	ขนาดช่อดอก (มิลลิเมตร)		น้ำหนักช่อดอกอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (กรัม)	
		ความกว้าง	ความยาว	แบบไม่มีชุดควบคุมทดสอบ	แบบมีชุดควบคุมทดสอบ
ค่าต่ำสุด	4	80	72	24	30
ค่าสูงสุด	12	131	96	55	119
ค่าเฉลี่ย	8.03	104.86	80.41	38.97	79.52



Figure 11 The weight of the oyster mushrooms at farm and test set

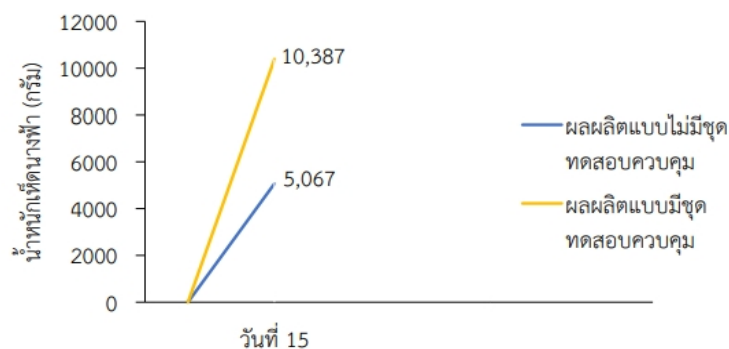


Figure 12 Comparative graph of oyster mushroom

จาก Figure 12 แสดงการเปรียบเทียบผลผลิตของเห็ดนางฟ้าที่อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ พบว่าแบบไม่มีชุดทดสอบควบคุม ได้น้ำหนักทั้งหมดอยู่ที่ 5,067 กรัม และแบบมีชุดทดสอบควบคุมได้น้ำหนักทั้งหมดอยู่ที่ 10,387 กรัม ซึ่งมีผลผลิตต่างกันอยู่ที่ 5,320 กรัม คิดเป็น 48.78%

3.4.3 ผลการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม สามารถคิดค่าใช้จ่ายในการทำงานจากต้นทุนคงที่ และต้นทุนผันแปร จากการคิดค่าเสื่อมราคา (Depreciation, DP) แบบ Straight-line method DP ได้ค่าเสื่อมราคา 1,278 บาท/ปี และต้นทุนผันแปร 14,417.5 บาท/ปี สำหรับระยะเวลาการคืนทุนเก็บผลผลิตได้ 10.38 กิโลกรัม/ครั้ง สามารถเก็บผลผลิตได้ไม่น้อยกว่า 24 ครั้ง ซึ่งราคารับซื้อขายเห็ดนางฟ้ากิโลกรัมละ 70 บาท (Kasetprice Agricultural Fair, 2022) มีจุดคุ้มทุน 123.4 กิโลกรัม/ปี และระยะเวลาคืนทุน 2 ปี 3 เดือน ในการออกแบบชุดทดสอบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สำหรับเพาะเห็ดนางฟ้า

4. สรุป

ผลการศึกษาการเจริญเติบโตโดยการออกแบบชุดทดสอบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สำหรับเห็ดนางฟ้าที่อุณหภูมิ 20 - 30°C ความชื้นสัมพัทธ์ 70 - 90% จะเห็นได้ว่าการถ่ายเทความร้อนที่เหมาะสมระหว่างอากาศกับน้ำและการถ่ายเทความร้อนจากน้ำสู่อากาศ ดังนั้นการถ่ายเทความร้อนทั้งหมดขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของน้ำซึ่งในระบบพ่นหมอกข้อควรระวังคือคุณภาพของน้ำเนื่องจากสิ่งสกปรกสามารถทำให้หัวพ่นหมอกอุดตัน ใช้ระบบควบคุมการทำงาน STC-3028 Digital Temperature Controller ใช้พัดลมดูดอากาศและระบบพ่นหมอก สามารถบรรจุก้อนเชื้อเห็ดนางฟ้าได้จำนวน 130 ก้อน และใช้เซนเซอร์ DHT 11 เป็นตัววัดอุณหภูมิเฉลี่ย 28.07°C ความชื้นสัมพัทธ์ 87.65% โดยมีปริมาณการใช้น้ำเฉลี่ย 28.4 ลิตร/วัน และผลผลิตของเห็ดนางฟ้าที่เพาะแบบไม่มีชุดทดสอบควบคุมได้น้ำหนัก 5,067 กรัม และแบบมีชุดทดสอบควบคุมได้น้ำหนัก 10,387 กรัม ผลผลิตต่างกัน 48.78% ระยะเวลาต้นทุน 2 ปี 3 เดือน

5. เอกสารอ้างอิง

- Aramphongpan, P. (2000). **General Knowledge about Mushrooms**. Economic Mushroom Cultivation. Training Supplementary Documents, Microbiology and Applied Biology Group, Plant Pathology and Microbiology Division, Department of Agriculture. (in Thai)
- Dulyarat, K. (2022). **Automated Mushroom Cultivation Project**. Retrieved 13 Aug 2023, from <https://fit.ssrui.ac.th/useruploads/files/>. (in Thai)
- Kalarod, A. (2018). **Nature and Environment of Fairy Mushrooms**. Retrieved 11 Aug 2023, from http://kalarod.blogspot.com/2009/09/blog-post_8327.html. (in Thai)
- Langkapin, J. (2022). **Economic Analysis of Engineering Aspects in Preliminary Agricultural Machinery Usage**. Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi. (in Thai)
- Mountain. (2020). **Temperature and Humidity Control System for Greenhouses**. Retrieved 16 Aug 2023, from https://eng.kps.ku.ac.th/dblibv2/fileupload/project_IdDoc305_IdPro734. (in Thai)
- Pratumthin, A. (2021). **Design and Construction of Automated Mushroom Cultivation System**. Computer Technology Department, Rajabhat University Kamphaeng Phet Campus Mae Sot. (in Thai)
- Piwphan, U. Chaisuchot, S. & Thongme, R. (2018). **Mushroom Maintenance**. Retrieved 11 Aug 2023, from <http://cddata.cdd.go.th/cddkm/prov>. (in Thai)
- Saengpakornkit, T. (2019). **Origin and Significance of Fairy Mushrooms**. Retrieved 10 Aug 2023, from <https://it.nation.ac.th/studentresearch/files/>. (in Thai)
- Saowaraj, C. (2018). **Temperature Reduction and Humidity Increase Process**. Retrieved 20 Aug 2023, from <https://li01.tcithaijo.org/index.php/TSAEJ>. (in Thai)
- Sathatphan, S. (2019). **Characteristics of Fairy Mushroom Mycelium Suitable for Blooming**. Retrieved 11 Aug 2023, from <https://www.gotoknow.org/posts/423736>. (in Thai)
- Sudkaew, N. (2019). **Fairy Mushroom**. [Online]. Retrieved 10 Aug 2023, from <https://uc.thailis.or.th/Catalog/Bibltem.aspx>. (in Thai)

(Received: 30/Jul/2023, Revised: 10/Dec/2023, Accepted: 22/Dec/2023)