การศึกษาปัจจัยการผลิตเห็ดกลุ่มเย็นในฟาร์มอัจฉริยะโดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของทุกสรรพสิ่ง

A Study of Factor of Production for Cool Group of Mushrooms in Smart Farm Using Internet of Things Technology

ศิวัตม์ กมลคุณานนท์[1*] นัฐพงศ์ ส่งเนียม[2] ดุษณี ศุภวรรธนะกุล[3] ธนภูมิ ศิริงาม[4]
E-mail: siwat.gsiw@pnru.ac.th

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการผลิตเห็ดในระยะของการเปิดดอก โดยศึกษาปัจจัยการผลิตสำหรับฟาร์มอัจฉริยะโดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของทุกสรรพสิ่ง ซึ่งปัจจัยในการผลิตเห็ดประกอบไปด้วย 10 ปัจจัย เมื่อผู้วิจัยได้ศึกษาข้อมูลจากตำรา เอกสารงานวิจัยแล้วพบว่า การผลิตเห็ดกลุ่มเย็นในฟาร์มอัจฉริยะโดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของทุกสรรพสิ่ง ในระยะของการเปิดดอก มีปัจจัยหลักที่สำคัญจำนวน 4 ปัจจัยคือ 1) ความชื้นสัมพัทธ์ 70-90% 2) อุณหภูมิ 20-30 องศาเซลเซียส 3) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ความเข้มข้นไม่เกิน 1,000 ppm และ 4) แสง ความเข้มแสงไม่เกิน 500 lux ซึ่งสองปัจจัยแรกเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดสำหรับการผลิตเห็ด โดยอาจมีปัจจัยรองเป็นการจัดเรียงก้อนเห็ด เนื่องจากรูปแบบการเรียงก้อนเห็ดส่งผลต่อก้อนเห็ดที่ได้สัมผัสกับปัจจัยการผลิตในโรงเรือน และเมื่อทดสอบการควบคุมปัจจัยการผลิตด้านความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของทุกสรรพสิ่งพบว่า โรงเรือนที่ติดตั้งเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของทุกสรรพสิ่งสามารถควบคุมปัจจัยการผลิตให้เหมาะสมต่อการผลิตเห็ดกลุ่มเย็น

คำสำคัญ: ปัจจัยการผลิตเห็ด เห็ดกลุ่มเย็น เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของทุกสรรพสิ่ง

Abstract

The purpose of this study was to investigate the important factors affecting mushroom production during the flowering stage of plantation for smart farms using Internet of Things technology. There were 10 factors in mushroom production. Having reviewed the information from textbooks and research papers, it was found that the production of cold group mushrooms in smart farms using Internet of Things Technology during the opening of flowers relied on four key factors which were 1) relative humidity 70-90%, 2) temperature of 20-30 degrees Celsius 3) carbon dioxide concentration under 1,000 ppm, and 4) light intensity under 500 lux. Furthermore, results showed that the first two factors were the most important for mushroom production. Meanwhile alignment of mushroom cubes was subsidiary factor as the mushroom clumping pattern could make a difference to the contact with production inputs in the farm. When applying IoTs for mushroom production factors to control relative humidity and temperature, the mushroom farm with Internet of Things Technology was found to be able to control its production factors which were suitable for mushroom production.

Keywords: factors of mushroom production, cold mushroom, Internet of Things Technology

ความนำ

ในปี 2562 การผลิตเห็ดของเกษตรกรไทยส่วนใหญ่เป็นเกษตรกรรายย่อย 71.6% กำลังการผลิต 1,000-30,000 ก้อนต่อฟาร์มต่อปี คิดเป็นมูลค่าทางเศรษฐกิจประมาณ 50 ล้านบาท เป็นเกษตรกรระดับกลาง 21.8% กำลังการผลิต 30,001-200,000 ก้อนต่อฟาร์มต่อปี คิดเป็นมูลค่าทางเศรษฐกิจประมาณ 74.3 ล้านบาท เป็นเกษตรกรรายใหญ่ 5.4% กำลังผลิต 200,001-600,000 ก้อนต่อฟาร์มต่อปี คิดเป็นมูลค่าทางเศรษฐกิจประมาณ 118.4 ล้านบาท ส่วนที่เหลือ 1.1% เป็นเกษตรกรที่มีกำลังการผลิตสูงกว่า 600,000 ก้อนต่อฟาร์มต่อปี คิดเป็นมูลค่าทางเศรษฐกิจประมาณ 52.8 ล้านบาท โดยมีกำลังการผลิตรวม 150,000 ตัน คิดเป็นมูลค่าทางเศรษฐกิจทั้งระบบกว่า 9,000 ล้านบาท (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2564) โดยแบ่งเป็นการบริโภคในประเทศ 97% และส่งออก 3% (ชาญยุทธ์ ภาณุทัต, 2561) จากการวิเคราะห์สภาพทั่วไปที่เกี่ยวข้องกับเห็ดในประเทศไทยพบว่าตลาดมีความต้องการเห็ดเป็นจำนวนมาก ประกอบกับประเทศไทยมีสภาพภูมิอากาศเหมาะสมต อการเจริญเติบโตของเห็ด อีกทั้ง

[1] นักศึกษา หลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการเทคโนโลยี คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
[2] อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
[3] อาจารย์ประจำสาขาวิชาการจัดการเทคโนโลยี คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
[4] อาจารย์ประจำสาขาวิชาการจัดการเทคโนโลยีการเกษตรสมัยใหม่ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

กรรมวิธีการผลิตก็สามารถทำได้ง่าย ไม่ยุ่งยาก ใช้ระยะเวลาในการผลิตสั้น (เติมพงศ์ แสงปกรณ์กิจ, 2556) โดยเห็ดที่มีการผลิตมากที่สุด 5 อันดับได้แก่ เห็ดฟาง เห็ดนางฟ้า เห็ดนางรม เห็ดเป๋าฮื้อ เห็ดหูหนู (วิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีสตูล, 2557)

การแบ่งกลุ่มเห็ดจะจำแนกตามอุณหภูมิที่เห็ดใช้ในการเจริญเติบโต ได้แก่กลุ่มเห็ดร้อน จะจำแนกตามอากาศที่ร้อนและอุณหภูมิประมาณ 37-40 องศาเซลเซียส เช่น เห็ดขอนขาว เห็ดบด เป็นต้น ส่วนกลุ่มเห็ดเย็น เช่น เห็ดนางฟ้า เห็ดนางรม เห็ดเป๋าฮื้อ เห็ดโคนญี่ปุ่น อุณหภูมิที่เหมาะสม อยู่ระหว่าง 28-32 องศาเซลเซียส และไม่เกิน 35 องศาเซลเซียส โรงเรือนเปิดดอกต้องมุงจากเพื่อลดอุณหภูมิลง (บุญยัง สิงห์เจริญ และสันติ สาแก้ว, 2559) (นัยนา ยังเกิด และปรียนันท์ แสงดี, 2558)

เห็ดเจริญเติบโตในสภาพอากาศที่เหมาะสม สำหรับการผลิตเห็ดในโรงเรือนจำเป็นต้องจัดสภาพแวดล้อมเลียนแบบธรรมชาติ เพื่อให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเห็ด ซึ่งปัจจัยต่อการเจริญเติบโตของเห็ดประกอบด้วย 10 ปัจจัยหลัก คือ 1) ความชื้นสัมพัทธ์ 2) อุณหภูมิ 3) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 4) แสง 5) ธาตุอาหารหลัก 6) ธาตุอาหารรอง 7) การถ่ายเทอากาศ 8) น้ำและจำนวนครั้งในการรดน้ำ 9) การจัดเรียงก้อนเห็ด และ 10) การดูแลอื่นๆ การควบคุมปัจจัยการผลิตที่เหมาะสมจึงมีความจำเป็นต่อการผลิตเห็ดเป็นอย่างยิ่ง เพื่อให้เห็ดเจริญเติบโตได้ดี ดอกสมบูรณ์ แข็งแรง นำไปขายได้ราคา โดยมีผู้ศึกษาในการติดตั้งสปริงเกอร์เพื่อเพิ่มการกระจายตัวของระบบให้น้ำในลักษณะพ่นฝอยเพื่อปรับสภาพอุณหภูมิและความชื้นในโรงเรือน พบว่า สามารถรักษาอุณหภูมิในโรงเรือนให้ไม่สูงกว่า 35 องศาเซลเซียส และสร้างความชื้นได้ 70-80% (ศุภวุฒิ ผากา, สันติ วงศ์ใหญ่ และอดิศร ถมยา, 2557) นอกจากนั้นการศึกษาการควบคุมอุณหภูมิระหว่าง 15-35 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ที่ 80-85 % ผลการทดลองพบว่า ระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นทำงานได้ตรงตามที่กำหนดไว้ ทำให้เห็ดนางฟ้าออกดอกให้ผลผลิตที่ดี ได้ผลผลิตเฉลี่ยก้อนละ 1.506 kg สูงกว่าโรงเรือนปกติที่ได้ผลผลิตเฉลี่ยก้อนละ 1.206 kg (วีรศักดิ์ ฟองเงิน, สุรพงษ์ เพ็ชร์หาญ และรัฐสิทธิ์ ยะจ่อ, 2561) แสดงว่าปัจจัยที่สำคัญหลักของการผลิตเห็ดนางฟ้าคือ ความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิ

ดังนั้นการผลิตเห็ดในโรงเรือนแบบใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของทุกสรรพสิ่งจำเป็นต้องควบคุมปัจจัยการผลิตเห็ดให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเห็ด ผู้วิจัยจึงต้องการศึกษาปัจจัยที่สำคัญต่อผลิตเห็ด โดยเฉพาะในระยะของการเปิดดอก เพื่อนำความรู้ที่ได้ไปใช้ในการสร้างโรงเรือนที่เหมาะสมและติดตั้งอุปกรณ์ IoTs เพื่อให้เป็นโรงเรือนที่เหมาะสมต่อการผลิตเห็ดมากที่สุด

เนื้อหา

ผู้วิจัยได้ศึกษาข้อมูลปัจจัยในการผลิตเห็ดกลุ่มเย็น ซึ่งประกอบด้วย 10 ปัจจัย คือ 1) ความชื้นสัมพัทธ์ 2) อุณหภูมิ 3) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 4) แสง 5) ธาตุอาหารหลัก 6) ธาตุอาหารรอง 7) การถ่ายเทอากาศ 8) น้ำและจำนวนครั้งในการรดน้ำ 9) การจัดเรียงก้อนเห็ด 10) การดูแลอื่นๆ และได้ศึกษาการใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของทุกสรรพสิ่ง โดยผู้วิจัยได้นำผลการศึกษามาสร้างตารางประเด็นปัจจัยที่ศึกษา ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปัจจัยในการผลิตเห็ดกลุ่มเย็นและการควบคุมโดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของทุกสรรพสิ่ง

ประเด็นปัจจัยที่ศึกษา	สรุปผลประเด็นที่ศึกษา
1) ความชื้นสัมพัทธ์ 1. ช่วงที่กำลังเปิดดอกเห็ดนางรมในประเทศอิหร่าน มีการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ที่ 85-90% (Jeznabadi, Jafarpour, & Eghbalsaied, 2016) 2. การผลิตเห็ดในโรงเรือนปิด ในช่วงที่มีการเปิดดอกเห็ดจะควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ระหว่าง 85-90% โดยการสร้างละอองฝอยจากเครื่องอัลตราโซนิค (Yang Guoguo, Bao Yidan & Lu Yangyang, 2016) 3. จากการศึกษาการควบคุมสภาพแวดล้อมในการเพาะเห็ดกระดุมในประเทศเนปาล โดยการติดตั้งอุปกรณ์ IoTs เพื่อวัดปริมาณความชื้นในอากาศ ในการทดลองได้ใช้ความชื้นสัมพัทธ์ระหว่าง 70-90% เพื่อใช้ในการผลิตเห็ด (Subedi, Luitel, Baskota, & Acharya, 2019) 4. การดูแลรักษาเห็ดนางฟ้าช่วงเปิดดอก เห็ดที่อยู่ในกลุ่มเดียวกัน ได้แก่ เห็ดนางฟ้า เห็ดนางฟ้าภูฐาน เห็ดนางรม ความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนไม่ควรต่ำกว่า 80% (ชลธิชา โคประโคน, 2559) 5. น้ำที่ใช้รดเห็ดนางฟ้าควรมีสภาพเป็นกลาง คือ มีคา pH ประมาณ 7.0 วิธีการรดน้ำเห็ดในโรงเรือนให้ใช้ระบบพ่นฝอย หรือใช้สายยางธรรมดาหรือบัวรดน้ำ ชนิดฝอยละเอียดก็ได้ แต่ต้องควบคุมให้มีความชื้นประมาณ 80-85% (พรพรรณ ไชยชุมพล, 2557)	ปัจจัยในการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ในโรงเรือนผลิตเห็ด พบว่า สามารถเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ได้หลายวิธี เช่น การใช้สายยางรดน้ำ การสเปรย์น้ำ หรืออาจใช้เครื่องเพิ่มความชื้นในการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ในโรงเรือน โดยความชื้นสัมพัทธ์ ที่เหมาะสมในการผลิตเห็ดกลุ่มเย็นอยู่ที่ 70-90%

ตารางที่ 1 (ต่อ)

ประเด็นปัจจัยที่ศึกษา	สรุปผลประเด็นที่ศึกษา
6. ในช่วงเปิดดอกเห็ดนางฟ้า ถ้าใช้อุปกรณ์สปริงเกอร์ช่วย ก็ควรใช้แบบละอองฝอย ไม่แรงเกินไป เช่น มินิสปริงเกอร์ สายยาง บัวรดน้ำ กระบอกฉีดน้ำหรือฟ็อกกี้ รดน้ำ 2-3 เวลา เช้า เที่ยง เย็น ขึ้นอยู่กับฤดูกาล ถ้าเป็นฤดูฝนก็รดน้ำ 1-2 เวลา โดยพิจารณาจากองค์ประกอบอื่นๆ ร่วมด้วย ได้แก่ ชนิดของเห็ด อุณหภูมิ ความชื้น ลม และอากาศ โดยช่วงที่เห็ดออกดอกควรมีความชื้นสัมพัทธ์ 75-85% (นัยนา ยังเกิด และปรียนันท์ แสงดี, 2558)	
2) อุณหภูมิ 1. เห็ดนางรมจะออกดอกดีที่อุณหภูมิ 28-30 องศาเซลเซียส ซึ่งในประเทศอินโดนีเซียจะมีอุณหภูมิประมาณ 25-32 องศาเซลเซียส อุณหภูมิจึงเหมาะแก่การผลิตเห็ดแต่ต้องจัดการความชื้นให้เหมาะสมเพื่อการเปิดดอกเห็ด (Cikarge & Arifin, 2018) 2. ในประเทศอิหร่าน ในช่วงที่กำลังเปิดดอกเห็ดนางรมมีการควบคุมอุณหภูมิที่ 15-21 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการออกดอกของเห็ดนางรม (Jeznabadi, Jafarpour, & Eghbalsaied, 2016) 3. ระยะบ่มเชื้อเพื่อให้เส้นใยเจริญเต็มที่ในช่วงระยะเวลา 25-35 วัน อุณหภูมิที่ 28-33 องศาเซลเซียส และในระยะออกดอกที่อุณหภูมิ 28-32 องศาเซลเซียส (นัยนา ยังเกิด และปรียนันท์ แสงดี, 2558) 4. ในการผลิตเห็ดนางฟ้า ถ้าอุณหภูมิต่ำกว่า 15 องศาเซลเซียส หรือสูงกว่า 35 องศาเซลเซียส เห็ดนางฟ้าจะไม่ออกดอก (พรพรรณ ไชยชุมพล, 2557) 5. การรักษาอุณหภูมิในโรงเรือนให้อยู่ระหว่าง 20-30 องศาเซลเซียส จะเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดสำหรับเห็ดนางฟ้า ซึ่งทำให้เห็ดนางฟ้าให้ผลผลิตดี (ชลธิชา โคประโคน, 2559)	อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการผลิตเห็ดนางฟ้าในระยะของการเปิดดอกเห็ด ควรรักษาอุณหภูมิระหว่าง 20-30 องศาเซลเซียส จะทำให้ได้ผลผลิตเห็ดที่ดี ในกรณีที่อุณหภูมิมากกว่า 35 องศาเซลเซียส เห็ดจะไม่ออกดอก หรือที่อุณหภูมิต่ำกว่า 15 องศาเซลเซียส เห็ดจะห่อ ขอบใบแตก ดอกไม่สมบูรณ์
3) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 1. ในช่วงที่กำลังเปิดดอกเห็ดนางรม ให้มีการควบคุมความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ระดับไม่เกิน 2,000 ppm (Jeznabadi, Jafarpour, & Eghbalsaied, 2016) 2. เมื่อความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงกว่า 2,000 ppm เห็ดนางฟ้าจะชะลอการเจริญเติบโต ทำให้ได้ผลผลิตน้อย (คาร์บอนไดออกไซด์สำหรับการเพาะเห็ด, 2561) 3. ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งหนักกว่าอากาศทั่วไปจะสามารถกระจายออกไปโดยรอบได้ง่าย สำหรับโรงเรือนที่มีขนาดใหญ่มากอาจต้องใช้พัดลมดูดหรือเป่าอากาศด้วย (พรพรรณ ไชยชุมพล, 2557) 4. ในโรงเรือนถ้ามีความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์พอเหมาะจะช่วยกระตุ้นเส้นใยในการสร้างตุ่มเห็ด แต่ถ้ามีมากเกินไปเห็ดนางฟ้าจะมีลำต้นยืดยาวออกไป ดอกเห็ด บิดเบี้ยว มีขนาดเล็กหรือไม่ออกดอก (นานทรี หุ้นเหี้ยง, 2559) 5. คาร์บอนไดออกไซด์จะเป็นตัวกระตุ้นเส้นใยในการสร้างดอกเห็ดปกติในบรรยากาศจะมีความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ประมาณ 300 ppm แต่หากเพิ่มเป็น 1,000-2,000 ppm จะช่วยกระตุ้นการเจริญของเส้นใย ถ้ามีความเข้มข้นที่มากเกินไปจะทำให้ดอกเห็ดน้อยลงหรือไม่เกิดดอกเห็ด (ดำเกิง ป้องพาล, 2547)	ในโรงเรือนผลิตเห็ดจะต้องมีความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่พอเหมาะ ซึ่งจะช่วยกระตุ้นเส้นใยให้เห็ดเจริญเติบโตได้ดี แต่ถ้ามีมากเกินไป เห็ดจะมีลำต้น ยืดยาว ดอกเอนเข้าหาแสง ดอกเห็ด บิดเบี้ยวไม่สวยงาม โดยความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่พอเหมาะอยู่ที่ไม่เกิน 2,000 ppm ในกรณีที่มีความเข้มข้นเกินกว่า 2,000 ppm สามารถกำจัดออกโดยใช้พัดลมดูดอากาศหรือการเป่าอากาศ
4) แสง 1. เห็ดจำเป็นต้องใช้แสงเพื่อการเจริญเติบโต ปริมาณแสงที่เหมาะสมต่อการผลิตเห็ดนางรมจะอยู่ในช่วง 500-1,000 lux (Jeznabadi, Jafarpour, & Eghbalsaied, 2016) 2. การผลิตเห็ดในโรงเรือน สำหรับแสงสว่างจะใช้ไฟ LED ในการผลิตเห็ด (Yang Guoguo, Bao Yidan & Lu Yangyang, 2016) 3. จากการศึกษาแสง LED ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของเห็ด พบว่าแสงจากหลอดไฟ LED โดยใช้แสงสีแดง-น้ำเงิน ในสัดส่วน แดง 2 ใน 3 และ น้ำเงิน 1 ใน 3 จะกระตุ้นให้เห็ดเจริญเติบโตได้ดีที่สุด (Zhi-Li Yi et al., 2014) 4. เห็ดนางฟ้าต้องการแสงปานกลาง ขนาดพอที่จะอ่านหนังสือได้ เห็ดนางฟาที่ได้รับแสงสว่างไม่เพียงพอจะทำให้หมวกดอก มีขนาดเล็ก ก้านดอกยาว ดอกเห็ดจะเอนเข้าหาแสง และให้ผลผลิตต่ำ (พรพรรณ ไชยชุมพล, 2557)	สำหรับโรงเรือนปิด ปริมาณแสงที่เหมาะสมต่อการเพาะเห็ดคือแสงรำไร ความเข้มแสงไม่เกิน 500 lux ซึ่งจะช่วยกระตุ้นให้เห็ดออกดอก ถ้าปริมาณแสงน้อยเกินไป เห็ดจะมีขนาดดอกเล็ก ก้านดอกยาว ดอกเอนเข้าหาแสง กรณีที่ใช้แสงจากหลอดไฟ LED พบว่าแสงสีแดง-น้ำเงิน เป็นแสงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเห็ด

ตารางที่ 1 (ต่อ)

ประเด็นปัจจัยที่ศึกษา	สรุปผลประเด็นที่ศึกษา
5. โรงเรือนต้องมีความเข้มแสงในโรงเรือนให้เพียงพอกับการเจริญเติบโตของดอกเห็ดนางฟ้า โดยใช้วิธีเปิดช่องหน้าต่างหรือช่องแสง หรือใช้แสงไฟช่วย โดยเฉพาะในช่วงเก็บดอกเห็ดตอนเช้ามืด (นัยนา ยังเกิด และปรียนันท์ แสงดี, 2558) 6. เห็ดนางฟ้าต้องการแสงไม่มาก ขนาดของแสงที่เหมาะสมคือ สว่างพอที่จะอ่านหนังสือออก แสงสีน้ำเงินจะกระตุ้นการออกดอกของเห็ดนางฟ้ามากกว่าสีอื่น (นานทรี หุ้นเหี้ยง, 2559)	
5) ธาตุอาหารหลัก 1. เห็ดไม่สามารถสังเคราะห์แสงเพื่อสร้างอาหารเองได้ จึงต้องอาศัยอาหารที่มีอยู่ในธรรมชาติหรืออาหารที่มีอยู่ในแหล่งต่างๆ เช่น ไม้ผุ รากไม้ หรือกองของซากพืชซากสัตว์ เห็ดมีน้ำย่อยที่สามารถย่อยอาหารเชิงซ้อนได้ โดยเฉพาะพวกที่ให้พลังงานได้ เช่น ธาตุคาร์บอนที่อยู่ในรูปเชิงซ้อน ได้แก่ พวกลิกนิน (Lignin) ฮิมิเซลลูโลส (Hemicellulose) (อนุสรณ์ ส่งทิพย์เจริญกุล, 2561) 2. การผลิตก้อนเห็ดจำเป็นต้องสร้างแหล่งอาหารให้เห็ดสามารถเจริญเติบโตได้ เช่น ฟางข้าว ขี้เลื่อยไม้เบญพรรณ (อนุสรณ์ ส่งทิพย์เจริญกุล, 2561) 3. อาหารที่เห็ดได้จากเศษซากพืชคือ น้ำตาลในรูปน้ำตาลกลูโคส เซลลูโลส แป้ง ฯลฯ บางชนิดมีสูตรโครงสร้างที่ซับซ้อน นอกจากากน้ำตาลแล้ว ยังมีโปรตีนและธาตุอาหารอื่นๆ เห็ดบางชนิดมีเอนไซม์ที่ช่วยย่อยอาหารเป็นอย่างดี โดยอาหารจะถูกดูดซึมเข้าทางผนังเซลล์ (ดำเกิง ป้องพาล, 2547)	เห็ดสังเคราะห์อาหารเองไม่ได้ แต่มีเอนไซม์ในการย่อยอาหารแล้วดูดซึมอาหารเข้าทางผนังเซลล์ โดยธาตุอาหารหลักคือ น้ำตาลซึ่งได้จากไม้ผุ รากไม้ซากพืชซากสัตว์
6) ธาตุอาหารรอง 1. วิตามินและเกลือแร่ เป็นธาตุอาหารที่เห็ดจำเป็นต้องใช้ในการเจริญเติบโต เช่น คาร์บอน ไนโตรเจน ออกซิเจน วิตามินและเกลือแร่ ในส่วนของธาตุคาร์บอน ไม่สามารถย่อยสลายธาตุคาร์บอนที่ซับซ้อนได้ จึงใช้ธาตุคาร์บอนจากแหล่งอาหารหรือจากวัสดุเพาะได้ (อนุสรณ์ ส่งทิพย์เจริญกุล, 2561) 2. เห็ดต้องการไนโตรเจนในการสังเคราะห์โปรตีน แหล่งที่ให้ไนโตรเจนที่เหมาะสม แก่เห็ด คือ ยูเรีย เกลือแอมโมเนียม ซึ่งอาจจะรับจากปุ๋ยธรรมชาติจำพวกมูลสัตว์ (ดำเกิง ป้องพาล, 2547)	เห็ดจำเป็นต้องใช้ธาตุอาหารรองในการเจริญเติบโต วิตามินและเกลือแร่ โดยธาตุอาหารรองเหล่านี้จะได้จากแหล่งอาหารหลักหรือวัสดุเพาะ ซึ่งจะมี ธาตุอาหารรองอยู่ในนั้นแล้ว
7) การถ่ายเทอากาศ 1. ปริมาณก๊าซออกซิเจนที่มีในโรงเรือน ต้องมีปริมาณก๊าซออกซิเจนที่เพียงพอมีการถ่ายเทอากาศที่ดี มีอากาศหมุนเวียนในโรงเรือน เพราะเห็ดจะเจริญเติบโตในสภาวะที่มีก๊าซออกซิเจน ในกรณีที่เป็นโรงเรือนที่ใช้วัสดุคลุมโรงเรือนทั้งหมด จะต้องเปิดให้อากาศถ่ายเท โดยมักจะทำในช่วงเวลาเช้าโดยการเปิดโรงเรือนทิ้งไว้ประมาณ 1 ชั่วโมง หรืออาจจะติดตั้งพัดลมระบายอากาศ เพื่อสร้างการถ่ายเทอากาศในโรงเรือน (นัยนา ยังเกิด และปรียนันท์ แสงดี, 2558) 2. เห็ดต้องการออกซิเจนค่อนข้างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งเวลาเกิดดอกเห็ด ในโรงเรือนเห็ดมักพบปัญหาเรื่องอากาศเสมอจากขบวนการหมักของวัสดุเพาะในกองหรือจากการหายใจของเส้นใยและดอกเห็ด ในโรงเห็ดขนาดใหญ่อาจมีปัญหาเกี่ยวกับอากาศ จำเป็นต้องจัดระบบการหมุนเวียนอากาศให้มีประสิทธิภาพ โดยอาจใช้พัดลมช่วยถ่ายเทอากาศ (ดำเกิง ป้องพาล, 2547)	ในโรงเรือนผลิตเห็ด จำเป็นต้องมีการถ่ายเทอากาศที่ดี ในอากาศมีปริมาณ ก๊าซออกซิเจนที่เพียงพอ อากาศหมุนเวียนดี สำหรับโรงเรือนที่มีปัญหาเกี่ยวกับการถ่ายเทอากาศจะต้องใช้พัดลมช่วยถ่ายเทอากาศ
8) น้ำและจำนวนครั้งในการรดน้ำ 1. น้ำที่ใช้รดเห็ดนางฟ้าควรมีสภาพเป็นกลาง คือ มีคา pH ประมาณ 7.0 (พรพรรณ ไชยชุมพล, 2557) 2. การรดน้ำสามารถทำได้หลายวิธี ตั้งแต่การใช้สายยาง บัวรดน้ำ สปริงเกอร์ กระบอกฉีดน้ำ เป็นต้น โดยการรดน้ำจะพิจารณาจากช่วงฤดูกาล คือ จะรดน้ำ 2-3 เวลา ยกเว้นในช่วงฤดูฝนจะรดน้ำ 1-2 เวลา หรืออาจพิจารณาองค์ประกอบอื่นๆ เช่น อุณหภูมิ ความชื้น ลม (นัยนา ยังเกิด และปรียนันท์ กวีวรวุฒิ, 2558) 3. การรดน้ำเห็ดจะเปิดปั๊มน้ำวันละ 3 ครั้ง ในเวลา 9:00 น. 13:00 น. และ 15:00 น. ครั้งละ 5 นาที เพื่อให้มีปริมาณน้ำเพียงพอสำหรับการเพิ่มความชื้นในโรงเรือน ด้วยระบบการพ่นละอองน้ำ โดยกำหนดความชื้นไว้ที่ 90-95% (Chieochan, Saokaew & Boonchieng, 2017)	การรดน้ำเป็นการเพิ่มความชื้น ในโรงเรือนให้กับเห็ด จำนวนครั้งของการรดน้ำจะขึ้นกับความชื้นในสภาพอากาศ ณ ช่วงฤดูกาลนั้นๆ เช่นในฤดูฝน ที่มีความชื้นสูง อาจจะรดน้ำน้อยกว่า ในฤดูกาลอื่นๆ ที่มีความชื้นสัมพัทธ์ ในอากาศน้อย โดยการรดน้ำที่เกษตรกรจะรดน้ำในโรงเรือนจะอยู่ที่ประมาณ 3 ครั้งต่อวัน

ตารางที่ 1 (ต่อ)

ประเด็นปัจจัยที่ศึกษา	สรุปผลประเด็นที่ศึกษา
4. ควบคุมการรดน้ำ โดยปรับตั้งการควบคุมสภาวะแวดล้อมแบบอัตโนมัติไร้สายภายในโรงเรือนเปิดดอกเห็ดนางฟ้า โดยปรับตั้งการควบคุมสภาพแวดล้อมในโรงเรือนไว้ให้รดน้ำ 3 เวลาต่อวัน ครั้งละ 10 นาที (จารินี จงปลื้มปิติ และคณะ, 2563)	โดยรดน้ำ 5-10 นาที ซึ่งน้ำที่ใช้รดควรมีสภาพเป็นกลาง มีค่า pH ประมาณ 7.0
9) การจัดเรียงก้อนเห็ด 1. ในการเปิดดอกเห็ดนางฟ้า เห็ดนางรม มีรูปแบบในการเรียงที่ทำให้เห็ดเจริญเติบโตได้ดี และประหยัดเนื้อที่ในการจัดเรียง อาจจัดเป็นแผงแบบรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าเป็นรูปทรงตัวเอ หรือแบบแขวนก็ได้ แต่โดยทั่วไปจะทำการเรียงเป็นชั้นแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า (นัยนา ยังเกิด และปรียนันท์ กวีวรวุฒิ, 2558) 2. เกษตรกรจะวางก้อนเห็ดในแนวนอนขนานกับพื้นโลก ซึ่งเห็ดจะออกดอก ในทิศทางต้านแรงโน้มถ่วงของโลก จะมีการชูก้านดอกเพื่อรับแสง การวางก้อนเห็ดจะมีการเรียงโดยไม่เว้นระยะของชั้น และเรียงให้สูงขึ้นในแนวตั้ง เพื่อประโยชน์ในการประหยัดพื้นที่ในการจัดเรียง (อนุสรณ์ ส่งทิพย์เจริญกุล, 2561) 3. กรณีที่ทำชั้นแล้วกลัวจะรับน้ำหนักไม่ได้ ก็จะทำชั้นให้เรียงก้อนเห็ดได้ 4-5 ชั้นเป็นอย่างน้อย ทั้งนี้การไม่มีการเว้นระยะห่างของชั้น จะทำให้การหมุนเวียนของอากาศไม่ดี (นัยนา ยังเกิด และปรียนันท์ กวีวรวุฒิ, 2558)	การจัดเรียงก้อนเห็ดเพื่อการเปิดดอกในโรงเรือนผลิตเห็ด จะเรียงก้อนเห็ดในแนวนอนให้ขนานกับพื้นโลก เห็ดจะชูก้านดอกเพื่อรับหาแสง การเรียงอาจเรียงซ้อนทับกันสูงขึ้นไปในแนวตั้งเพื่อประโยชน์ในการประหยัดพื้นที่ในการจัดเรียง จะทำเอียงเป็นรูปทรงตัวเอก็ได้ เพื่อให้ดอกเห็ดได้รับแสง อาจมีการเว้นระยะห่างของชั้น เพื่อการหมุนเวียนอากาศที่ดี
10) การดูแลอื่นๆ 1. ในการผลิตเห็ด จำเป็นต้องพิจารณาและดูแลรักษาก้อนเชื้อให้มีความสมบูรณ์ เพื่อให้เห็ดยังคงเจริญเติบโตได้ดี ทั้งนี้จะมีแมลงและโรคที่จะมารบกวนการเจริญเติบโตของเห็ด (นัยนา ยังเกิด และปรียนันท์ กวีวรวุฒิ, 2558) 2. เมื่อหมดฤดูกาลผลิตเห็ดแล้ว ต้องพักโรงเรือนอย่างน้อย 2-3 สัปดาห์เพื่อทำความสะอาดและฉีดพ่นสารป้องกันแมลงหรือสารฆ่าเชื้อ เพื่อป้องกันเชื้อโรคเดิม จากการผลิตเห็ดในฤดูกาลก่อนหน้า ไปแพร่เชื้อในฤดูกาลปัจจุบัน (นัยนา ยังเกิด และปรียนันท์ กวีวรวุฒิ, 2558)	การผลิตเห็ดในโรงเรือนต้องดูแลรักษาโรงเรือนและก้อนเห็ดให้สะอาด ไม่ให้มีโรคและแมลงรบกวน เมื่อหมดฤดูกาลต้องมีการทำความสะอาดและฆ่าเชื้อ ในโรงเรือน และพักโรงเรือน 2-3 สัปดาห์ก่อนเปิดโรงเรือนอีกครั้ง
11) เทคโนโลยี IoTs 1. ผลการศึกษาพบว่าเทคโนโลยี IoTs สามารถควบคุมความชื้นในโรงเรือนในระดับ 90-95% ได้ตลอดระยะเวลาการผลิตเห็ดและมีความเหมาะสมในการเพาะเห็ดหลินจือ (Chieochan, O., Saokaew, A., & Boonchieng, E., 2017) 2. ผลการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพระบบการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นจำนวน 5 วัน พบว่าโรงเรือนที่ไม่มีระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้น ไม่มีการออกดอกของเห็ด อุณหภูมิเฉลี่ย 32.28 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 75.09% ส่วนโรงเรือนที่มีระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้น อุณหภูมิเฉลี่ย 30.40 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 86.37% (ชินาพัฒน์ สกุลราศรีสวย, ตรีวาทกิจ, ลาภวัต วงศ์ประชา และอังศุมาลิน สมเทพ, 2561) 3. การใช้อุปกรณ์เซนเซอร์สำหรับวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ การทดลองพบว่าเมื่อตั้งค่าไม่ให้ต่ำกว่า 70% พบว่าหัวพ่นไอน้ำจะทำงานเมื่อความชื้นเท่ากับ 70% หรือต่ำกว่านั้น และพัดลมระบายอากาศจะตั้งให้ทำงานเมื่อมีอุณหภูมิสูงกว่า 33 องศาเซลเซียสหรือความชื้นมากกว่าหรือเท่ากับ 80% (นิติคม อริยพิมพ์ และชัยพร อัดโดดดร, 2563) 4. ระบบควบคุมการให้น้ำเห็ดนางฟ้าภูฐานแบบพ่นหมอกด้วยระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ โดยทำการทดสอบโดยผู้ใช้แอพพลิเคชั่นสั่งเปิดและปิดจำนวน 15 ครั้ง พบว่าระบบสามารถทำงานอัตโนมัติร่วมกับเซ็นเซอร์ในการอ่านค่าอุณหภูมิและความชื้น เพื่อสั่งเปิดการให้น้ำได้อย่างสมบูรณ์ ถูกต้อง 66.67-100% (ปัทมนันท์ อิสรานนทกุล และชำนาญ รักพงษ์, 2562) 5. การพัฒนารูปแบบระบบควบคุมฟาร์มอัจฉริยะในโรงเรือนปลูกพืชโดยใช้คอมพิวเตอร์แบบฝังเหมาะสมกับการพัฒนาระบบควบคุมฟาร์มอัจฉริยะในโรงเรือนปลูกพืชโดยใช้คอมพิวเตอร์แบบฝังในแปลงพืชทดลองในระดับมากที่สุด ช่วยให้มีความสะดวกสบายและแบ่งเบาภาระของเกษตรกร ในการควบคุมสั่งเปิด-ปิดการให้น้ำในโรงเรือนผ่านสมาร์ตโฟน (ปวันนพัสตร์ ศรีทรงเมือง, ชาญณรงค์ ศรีทรงเมือง, สุมนา บุษบก และชุติกานต์ หอมทรัพย์, 2564) 6. อุปกรณ์ IoTs ในการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นพบว่า เซ็นเซอร์สามารถตรวจวัดและส่งข้อมูลไปยัง IoT แพลตฟอร์ม สามารถใช้ติดตามและตรวจสอบปัจจัยการผลิตของโรงเรือนเพาะเห็ดได้ (Subedi, A., Luitel, A., Baskota, M., & Acharya, T. D., 2019)	การใช้เทคโนโลยี IoT ในการผลิตเห็ดพบว่า สามารถใช้ในการตรวจวัดและควบคุมปัจจัยในการผลิตเห็ดได้ โดยทั่วไปจะควบคุมปัจจัย 3 ปัจจัยคือ 1) อุณหภูมิ 2) ความชื้น และ 3) คาร์บอนไดออกไซด์ โดยเทคโนโลยี IoT จะสามารถควบคุมปัจจัยการผลิตให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเห็ด

จากตารางที่ 1 เมื่อแบ่งขั้นตอนการผลิตเห็ดออกเป็น 2 ระยะคือ 1. ระยะการผลิตก้อนเชื้อ 2. ระยะการเปิดดอก และเมื่อพิจารณาเฉพาะขั้นตอนการเปิดดอก พบว่า ปัจจัยที่สำคัญในช่วงระยะการเปิดดอกจะประกอบไปด้วย 8 ปัจจัย เนื่องจากปัจจัยธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองสามารถควบคุมปัจจัยดังกล่าวได้ในช่วงของการผลิตก้อนเชื้อ นอกจากนั้นการถ่ายเทอากาศสามารถใช้การควบคุมความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นระบบการควบคุมที่ทำให้การถ่ายเทอากาศในโรงเรือนดีไปด้วย สำหรับปัจจัยน้ำและจำนวนครั้งในการรดน้ำ จะแปรผันกับความชื้นสัมพัทธ์ กล่าวคือเมื่อควบคุมปัจจัยความชื้นสัมพัทธ์ในโรงเรือนได้แล้วก็ไม่จำเป็นต้องควบคุมปัจจัยจำนวนครั้งในการรดน้ำ เพียงแต่ในการใช้น้ำเพื่อเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ในโรงเรือน จำเป็นต้องใช้น้ำที่สะอาดและมีค่าความเป็นกรด-เบส เป็นกลาง ค่า pH ประมาณ 7.0 ดังนั้น จากการวิเคราะห์ปัจจัยที่เหลือจากการอธิบายข้างต้น พบว่า มีปัจจัยจำนวน 6 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการผลิตเห็ด โดยมีปัจจัยหลักจำนวน 4 ปัจจัย คือ 1. ความชื้นสัมพัทธ์ 2. อุณหภูมิ 3. ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 4. แสง และมีปัจจัยรองจำนวน 2 ปัจจัยคือ 1. การจัดเรียงก้อนเห็ด 2. การดูแลอื่นๆ (โรค แมลง) ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลกระทบของปัจจัยที่ส่งผลต่อการผลิตเห็ดกลุ่มเย็นในแต่ละขั้นตอนการผลิต

ผลกระทบ/ขั้นตอนการผลิต ปัจจัย	ปัจจัยที่ส่งผลต่อการผลิตเห็ดกลุ่มเย็น				ระยะการผลิต	
	ด้านการเจริญเติบโต	ด้านความสม่ำเสมอ	ด้านจำนวนผลผลิต	ด้านระยะเวลา	ขั้นตอนการผลิตก้อนเห็ด	ขั้นตอนการเปิดดอก
1. ความชื้นสัมพัทธ์	○	●	●	●	✓	✓
2. อุณหภูมิ	●	●	●	●	✓	✓
3. ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	○	●	●	●		✓
4. แสง	○	●	●	●		✓
5. ธาตุอาหารหลัก	●	●	●	●	✓	
6. ธาตุอาหารรอง	○	●	●	●	✓	
7. การถ่ายเทอากาศ		○				✓
8. น้ำและจำนวนครั้งในการรดน้ำ		○				✓
9. การจัดเรียงก้อนเห็ด						✓
10. การดูแลอื่นๆ (โรค แมลง)		●	○			✓
11. เทคโนโลยี IoT						✓

จากตารางที่ 2 พบว่า ในส่วนของธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรอง จะเป็นการสะสมอาหารในช่วงขั้นตอนการผลิตก้อนเห็ด ปัจจัยทั้งสองนี้จึงไม่มีผลกระทบต่อการควบคุมการผลิตในขั้นตอนของการเปิดดอก เมื่อพิจารณาเฉพาะในขั้นตอนของเปิดดอกของการผลิตเห็ดกลุ่มเย็น มีปัจจัยหลักที่สำคัญต่อการผลิตจำนวน 4 ปัจจัย ประกอบไปด้วย 1. ความชื้นสัมพัทธ์ ควรมีความชื้นสัมพัทธ์ 70-90% โดยสามารถสร้างความชื้นสัมพัทธ์ในโรงเรือนได้หลายวิธี แต่ไม่ควรให้น้ำไปสัมผัสดอกเห็ดโดยตรง เพราะจะทำให้เห็ดชุ่มน้ำเห็ดอาจเน่าเสียได้ง่าย 2. อุณหภูมิ อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเห็ดกลุ่มเย็นอยู่ที่ 20-30 องศาเซลเซียส ในกรณีที่อุณหภูมิมากกว่า 35 องศาเซลเซียส เห็ดจะไม่ออกดอกหรือที่อุณหภูมิต่ำกว่า 15 องศาเซลเซียสเห็ดจะห่อ ขอบใบแตก ดอกไม่สมบูรณ์ 3. ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่พอเหมาะอยู่ที่ไม่เกิน 2,000 ppm ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่พอเหมาะจะช่วยกระตุ้นเส้นใยให้เห็ดออกดอกได้ดี แต่ถ้ามีปริมาณที่สูงจะทำให้เห็ดมีลำต้นยืดยาว ดอกเห็ดบิดเบี้ยว แต่เนื่องจากปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สำหรับ การทำงานของเกษตรกรพบว่า ที่ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มากกว่า 1,500 ppm จะทำให้มีอาการปวดศีรษะ วิงเวียน หมดแรง และไม่มีสมาธิ (อริสา กาญจนากระจ่าง และภารดี ช่วยบำรุง, 2560) ดังนั้นเพื่อความปลอดภัยในการทำงาน ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สำหรับการทำงานในโรงเรือนไม่ควรเกิน 1,000 ppm ในกรณีที่มีปริมาณเกินกว่า 1,000 ppm สามารถกำจัดออกโดยใช้พัดลมดูดอากาศหรือการเป่าอากาศ 4. แสง สำหรับโรงเรือนปิด ปริมาณแสงที่เหมาะสมต่อการผลิตเห็ดจะมีความเข้มข้นของแสงไม่เกิน 500 lux ถ้าแสงน้อยเกินไป

เห็ดจะไม่สมบูรณ์ มีขนาดเล็ก ก้านดอกยาวเพื่อเอนเข้าหาแสง โดยสามารถใช้แสงได้หลายประเภทในการผลิตเห็ด กรณีที่ใช้แสงจากหลอดไฟ LED พบว่าแสงสี แดง-น้ำเงิน เป็นแสงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเห็ด กรณีการผลิตเห็ดในโรงเรือนโดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของทุกสรรพสิ่ง อาจพิจารณาการจัดเรียงก้อนเห็ดด้วย เนื่องจากการจัดเรียงก้อนเห็ด ส่งผลต่อก้อนเชื้อที่สัมผัสกับปัจจัยหลัก เช่น กรณีที่จัดเรียงเห็ดแบบซ้อนทับกันในแนวตั้ง จะทำให้ก้อนเชื้อตรงกลางไม่ได้สัมผัสกับความชื้นสัมพัทธ์เหมือนกับก้อนเชื้อที่อยู่ด้านล่างสุดหรือบนสุด นอกจากนั้นการจัดเรียงในลักษณะดังกล่าว อาจจะให้เกิดการสะสมความร้อนในก้อนเชื้อการคายความร้อนออกมาได้ยากขึ้น จึงต้องหาวิธีการจัดเรียงก้อนเชื้อในรูปแบบที่เหมาะสม เพื่อให้เห็ดเจริญเติบโตได้ดีที่สุด

การทดสอบการควบคุมปัจจัยในการผลิตเห็ด โดยกำหนดปัจจัยในการผลิตคือ 1. ความชื้นสัมพัทธ์ที่ 70-90% 2. อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเห็ดกลุ่มเย็นที่ 20-30 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิภายในโรงเรือนและภายนอกโรงเรือน ระหว่างเดือน พ.ค. 64 - ธ.ค. 64 แสดงดังรูปที่ 1 และความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนและภายนอกโรงเรือน ระหว่างเดือน พ.ค. 64 - ธ.ค. 64 แสดงดังรูปที่ 2

อุณหภูมิภายในโรงเรือน ไม่เกิน 30 °C **อุณหภูมิภายนอกโรงเรือนที่เกิน 30 °C**

ภาพที่ 1 อุณหภูมิภายในโรงเรือนและภายนอกโรงเรือน ระหว่างเดือน พ.ค. 64 - ธ.ค. 64

ความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนไม่น้อยกว่า 70% **ความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกโรงเรือนไม่เกิน 70%**

ภาพที่ 2 ความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนและภายนอกโรงเรือน ระหว่างเดือน พ.ค. 64 - ธ.ค. 64

จากภาพที่ 1 และ 2 พบว่า เมื่อกำหนดปัจจัยการผลิตตามเงื่อนไขปัจจัยหลัก 4 ปัจจัย โดยพิจารณาปัจจัยที่สำคัญที่สุด 2 ปัจจัยคืออุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์พบว่า โรงเรือนที่ติดตั้งเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของทุกสรรพสิ่งสามารถควบคุมปัจจัยการผลิตให้เหมาะสมต่อการผลิตเห็ดกลุ่มเย็น

บทสรุป

ปัจจัยหลักที่สำคัญต่อการผลิตเห็ดกลุ่มเย็นในช่วงระยะของการเปิดดอกสำหรับโรงเรือนปิดประกอบไปด้วย 4 ปัจจัยที่สำคัญ ได้แก่ ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และแสง โดยปัจจัยสำคัญที่สุด 2 ปัจจัยคือ ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิ ซึ่งปริมาณของแต่ละปัจจัยที่เหมาะสมคือ ความชื้นสัมพัทธ์ที่ 70-90% อุณหภูมิ 20-30 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไม่เกิน 1,000 ppm และความเข้มข้นแสงไม่ควรเกิน 500 lux และมีปัจจัยรองจำนวน 1 ปัจจัยคือ การจัดเรียงก้อนเห็ด ในกรณีที่ผลิตเห็ดในโรงเรือนที่ควบคุมปัจจัยการผลิตโดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของทุกสรรพสิ่ง การจัดเรียง

ก้อนเห็ดอาจเป็นปัจจัยที่สำคัญปัจจัยหนึ่ง ที่ทำให้ก้อนเห็ดได้รับปัจจัยในการผลิตที่เท่าๆ กัน ในทุกๆ ก้อน และเมื่อทดสอบการควบคุมปัจจัยการผลิตอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์พบว่า โรงเรือนที่ติดตั้งเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของทุกสรรพสิ่งสามารถควบคุมปัจจัยการผลิตให้เหมาะสมต่อการผลิตเห็ดกลุ่มเย็น

เอกสารอ้างอิง

จาริณี จงปลื้มปิติ, พลเทพ เวงสูงเนิน, สาวิตรี ประภาการ, ณัฐดนย์ พรรณุเจริญวงษ์ และพลกฤต ปุ่นนอก. (2563). การควบคุมจากค่าปรับตั้งที่ใช้ในการควบคุมสภาวะแวดล้อมแบบอัตโนมัติไร้สายภายในโรงเรือนเปิดดอกเห็ดนางฟ้า. **Farm Engineering and Automation Technology Journal**, 6(1), 40-49.

ชลธิชา โคประโคน. (2559). **การศึกษาการลงทุนเพาะเห็ดนางฟ้า**. วิทยานิพนธ์ หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน คณะโลจิสติกส์, มหาวิทยาลัยบูรพา.

ชาญยุทธ์ ภาณุทัต. (2561). **สถานการณ์เห็ดของประเทศไทย**. เอกสารประกอบการบรรยายพิเศษ ณ สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่ง มก. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ชินาพัฒน์ สกุลราศรีสวย, ตรี วาทกิจ, ลาภวัต วงศ์ประชา และอังศุมาลิน สมเทพ. (2561). การเปรียบเทียบประสิทธิภาพระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเห็ดในโรงเพาะเห็ด กรณีศึกษา: ฟาร์มเห็ดบ้านเนินสะอาด. **JOURNAL OF INFORMATION SCIENCE AND TECHNOLOGY**, 8(2), 46-55.

ดำเกิง ป้องพาล. (2547). **การผลิตเห็ด**. เอกสารประกอบการสอนเรื่องการผลิตเห็ด. เชียงใหม่: สาขาพืชผัก ภาควิชาพืชสวน คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

เติมพงศ์ แสงปกรณ์กิจ. (2556). **เห็ดนางรม**. กรุงเทพฯ: มปป.

นัยนา ยังเกิด และปรียนันท์ แสงดี. (2558). **เพาะเห็ดขาย**. กรุงเทพฯ: บริษัท สำนักพิมพ์เอ็มไอเอส จำกัด.

นานทรี หุ้นเหี้ยง. (2559). **การศึกษาปัจจัยทางกายภาพที่มีผลต่อความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิ ภายในห้องเพาะเลี้ยงเห็ดนางฟ้าภูฐานซึ่งสร้างขึ้นด้วยวงบ่อซีเมนต์ตามแบบจำลองหม้อดินเก็บความเย็น**. วิทยานิพนธ์ หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาฟิสิกส์ศึกษา คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.

นิติคม อริยพิมพ์ และ ชัยพร อัดโดดดร. (2563). การออกแบบและสร้างระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสำหรับโรงเรือนเพาะเห็ดนางฟ้าแบบอัตโนมัติที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์. **Journal of Energy and Environment Technology of Graduate School Siam Technology College**, 7(2), 59-72.

บุญยัง สิงห์เจริญ และสันติ สาแก้ว. (2559). ระบบควบคุมอุณหภมิและความชื้นในโรงเรือนเพาะเห็ด. ใน **การประชุมวิชาการระดับชาติมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ครั้งที่ 1 (The 1st RUSNC)**, 176-183.

ปวันนพัสตร์ ศรีทรงเมือง, ชาญณรงค์ ศรีทรงเมือง, สุมนา บุษบก และชุติกานต์ หอมทรัพย์. (2564). การพัฒนารูปแบบระบบควบคุมฟาร์มอัจฉริยะในโรงเรือนปลูกพืชโดยใช้คอมพิวเตอร์แบบฝัง. **RMUTT Research Journal Rajamangala University of Technology Thanyaburi**, 20(1), 21-29.

ปัทมนันท์ อิสรานนทกุล และชำนาญ รักพงษ์. (2562). ระบบควบคุมการให้น้ำเห็ดนางฟ้าภูฐานแบบพ่นหมอกด้วยระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์. **JOURNAL OF INFORMATION SCIENCE AND TECHNOLOGY**, 9(1), 1-8.

พรพรรณ ไชยชุมพล. (2557). **ต้นทุนและผลตอบแทนของธุรกิจฟาร์มเพาะเห็ดนางฟ้าในจังหวัดลำปาง**. การค้นคว้าด้วยตนเองหลักสูตรบริหารธุรกิจมหาบัณฑิต, สาขาวิชาบริหารธุรกิจ บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเนชั่น.

วิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีสตูล . (2557). **เห็ดและความสำคัญของการผลิตเห็ด**. <http://www.satunatc.ac.th/lms/course/view.php?id=3> (สืบค้นเมื่อ 8 ธันวาคม 2564).

วีรศักดิ์ ฟองเงิน, สุรพงษ์ เพ็ชร์หาญ และรัฐสิทธิ์ ยะจ่อ. (2561). การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีไอโอทีควบคุมฟาร์มอัจฉริยะในโรงเรือนเพาะเห็ดนางฟ้า. **Journal of Information Technology Management and Innovation**, 5(1), 172-182.

ศุภวุฒิ ผากา, สันติ วงศ์ใหญ่ และอดิศร ถมยา. (2557). การพัฒนาระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเห็ดในโรงเพาะเห็ดบ้านทุ่งบ่อแป้น ตำบลปงยางคก อำเภอห้างฉัตร จังหวัดลำปาง. **Journal of Industry Technology Lampang Rajabhat University**, 7(1), 58-69.

สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. (2564). **การรวบรวมข้อมูลการผลิตและการตลาดเห็ดเศรษฐกิจและเห็ดป่ากินได้ในประเทศไทย**. <https://waa.inter.nstda.or.th/stks/pub/2021/20210817-economic-mushroom-market.pdf> (สืบค้นเมื่อ 15 กุมภาพันธ์ 2565).

อนุสรณ์ ส่งทิพย์เจริญกุล. (2561). **รูปแบบการพัฒนาการถ่ายทอดความรู้การเพาะเห็ดอินทรีย์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมของฟาร์มเห็ดในภาคตะวันตก**. วิทยานิพนธ์ หลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต, สาขาวิชาสิ่งแวดล้อมศึกษา บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์.

อริสา กาญจนากระจ่าง และภารดี ช่วยบำรุง. (2560). การตรวจวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพการระบายอากาศภายในห้องเรียน. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**. 25, 960-974.

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)** (pp. 1-6).

Cikarge, G., & Arifin, F. (2018). Oyster Mushrooms Humidity Control Based on Fuzzy Logic by Using Arduino ATMega238 Microcontroller. **Paper presented at the Journal of Physics: Conference Series**. 1140 (pp. 1-12).

Jeznabadi, E. K., Jafarpour, M., & Eghbalsaied, 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.

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** (pp. 46-54).

Yang Guoguo, Bao Yidan, & Lu Yangyang. (2016). **China Patent No. CN201520906798.6U**.

Zhi-Li Yi, Wen-Fang Huang, Yan Ren, Eugen Onac, Guo-Fu Zhou, Sheng Peng, . . . Li, H.-H. (2014). LED lights increase bioactive substances at low energy costs in culturing fruiting bodies of Cordyceps militaris. **Scientia Horticulturae**, 175, 139-143.