

Research Article

Received:

28 September 2024

Received in revised form:

26 January 2025

Accepted:

30 January 2025

Siwat Kamonkunanon^{1,*}, Eakruthai Chutchaidej², Suttida Wittanalai³, Keowalee Rangsisuttaporn², Kitti Mueangtoom³ and Patipat Thanompongchart¹

¹Faculty of Industrial Technology, Uttaradit Rajabhat University, Muang District, Uttaradit Province, 53000 Thailand

²Faculty of Humanities and Social Sciences, Uttaradit Rajabhat University, Muang District, Uttaradit Province, 53000 Thailand

³Faculty of Science and Technology, Uttaradit Rajabhat University, Muang District, Uttaradit Province, 53000 Thailand

*Corresponding author's E-mail: siwat3003@uru.ac.th



Extended Abstract (1/2)

The cultivation of oyster mushrooms is a vital economic activity in ten subdistricts of Uttaradit Province, Thailand, where mushrooms are sold at 40 to 50 Baht per kilogram. However, local farmers struggle with crop growth and pest attacks. This is because traditional production facilities can not keep four important environmental conditions in check: 1) the temperature should be between 28 °C and 32 °C; 2) the relative humidity should be between 70% and 90%; 3) the carbon dioxide (CO₂) level should not be higher than 2,000 ppm; and 4) the light level should not be higher than 100 lux. In response, a large-scale effort was made to improve production facilities by adding new technologies that reduce heat, control light intensity, ventilate excess CO₂, and increase humidity.

The project followed a three-step approach: 1) raising awareness and comprehension among farmers, 2) providing education and disseminating knowledge about controlled-environment mushroom cultivation, and 3) upgrading farmers' mushroom production facilities. After they were finished, all ten greenhouses in the ten subdistricts kept the best conditions for growing plants: temperatures between 28.6 °C and 31.7 °C, humidity levels between 78.2% and 81.3%, CO₂ levels between 285 and 1,365 ppm, and light levels between 51 and 92 lux.

Experimental trials conducted in three upgraded facilities demonstrated a yield increase of 25.6% to 26.4% over a 30-day cultivation period. Across all ten facilities, after one full production cycle, yields increased by 21.4% to 33.2%, with an average increase of 26.2%. Additionally, production time decreased by 13.5% to 28.0%, averaging a reduction of 22.5%. Improved environmental control also enhanced the quality of the mushrooms, resulting in more uniform and structurally superior fruiting bodies. The nutritional profile showed that the amount of protein went up from 29.65 ± 2.00% to 31.81 ± 1.16%, which is a 10.94% rise. The amount of antioxidants also went up from 50.54 ± 3.68% to 70.69 ± 2.70%, which is a 39.9% rise. These enhancements significantly improved the marketability of the mushrooms, allowing farmers to increase their selling price to 80 Baht per kilogram, representing a price increase of 14.3% to 100%. Consequently, the

Keywords:

Uttaradit Province
Smart farm
Mushroom production
Factors of production
Oyster mushroom



Extended Abstract (2/2)

mushroom-producing community experienced a minimum income boost of 40.5%, enhancing the economic sustainability of their operations.

Beyond individual financial gains, this project contributed to broader agricultural development. The establishment of ten prototype greenhouses in the region provided valuable models for other farmers in Uttaradit and neighboring provinces to replicate. In addition, the establishment of two community-based learning centers in the Wang Din and Ban Mo Subdistricts provided structured curricula on controlled-environment mushroom cultivation. These centers, managed by trained local innovators, facilitate both theoretical

and hands-on training, supported by laboratory equipment and experimental setups. This initiative has empowered local farmers, transforming them into agricultural innovators capable of further refining mushroom production techniques.

From an economic perspective, the investment required for greenhouse upgrades, including insulation improvements, humidifiers, and ventilation systems, was approximately 20,500 Baht per facility, with an annual maintenance and utility cost of 2,400 Baht. Given an average production capacity of 3,000 mushroom logs per cycle, farmers realized an annual net income increase of 74,600 Baht (or 24,800 Baht per cycle). Financial analysis indicated a payback period of approximately five months, with a net present value (NPV) of 290,780 Baht and an internal rate of return (IRR) of 363%, underscoring the economic feasibility of this investment.

Socially, the project fostered a paradigm shift in mushroom farming, promoting the adoption of controlled-environment agriculture among local growers. Initially, farmers required close guidance to integrate and manage technological improvements effectively. However, as they became proficient, their confidence in these technologies grew, reinforcing the benefits of precise environmental control. There are six main parts to the new learning and innovation platform (LIP) that make it easier for knowledge to be shared: 1) lead innovators trained through the research initiative; 2) assistant instructors helping to teach the curriculum; 3) classrooms set aside in greenhouses; 4) structured teaching materials created through knowledge management processes; 5) experimental labs in community greenhouses; and 6) the tools needed for hands-on training. This structured approach ensures ongoing skill development and innovation in mushroom farming.

Overall, this project has significantly improved oyster mushroom production in Uttaradit Province through strategic facility enhancements and farmer education. The combination of increased yields, improved mushroom quality, reduced production time, and economic viability underscores the potential for wider adoption of controlled-environment agriculture in Thailand and beyond. The establishment of prototype greenhouses and community learning centers further strengthens knowledge-sharing mechanisms, ensuring long-term sustainability and continuous innovation in the sector.

บทความวิจัย

วันที่รับบทความ:

28 กันยายน 2567

วันแก้ไขบทความ:

26 มกราคม 2568

วันตอบรับบทความ:

30 มกราคม 2568

ศิริวัฒน์ กมลคุณานนท์^{1*} เอกฤทัย ฉัตรชัยเดช² สุทธิดา วิทาลัย³ เกวลี รังษีสุนทราภรณ์²
กิตติ เมืองคุ้ม³ และ ปฏิพัทธ์ ถนอมพงษ์ชาติ¹

¹คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์ อำเภอเมือง จังหวัดอุดรดิตถ์ 53000

²คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์ อำเภอเมือง จังหวัดอุดรดิตถ์ 53000

³คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์ อำเภอเมือง จังหวัดอุดรดิตถ์ 53000

*ผู้เขียนหลัก อีเมล: siwat3003@uru.ac.th



บทคัดย่อ

ชุมชนผู้ผลิตเห็ดใน 10 ตำบล ของจังหวัดอุดรธานี ผลิตเห็ดซึ่งจำหน่ายในราคา 40-50 บาทต่อกิโลกรัม เนื่องจากผลผลิตเห็ดไม่สมบูรณ์และมีแมลงรบกวน สาเหตุเกิดจากโรงเรือนผลิตเห็ดไม่สามารถควบคุมปัจจัยการผลิตที่สำคัญ 4 ด้าน ดังนี้ 1) อุณหภูมิ 28-32 องศาเซลเซียส 2) ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70-90 3) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไม่เกิน 2,000 พีพีเอ็ม และ 4) ความเข้มแสงไม่เกิน 100 ลักซ์ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องปรับปรุงแต่ละโรงเรือนเพื่อป้องกันความร้อน ปรับความเข้มแสง ระบายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และติดตั้งเทคโนโลยีเครื่องเพิ่มความชื้นสำหรับควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ เพื่อควบคุมทั้ง 4 ปัจจัยหลักของการผลิตให้เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของเห็ด ด้วยกระบวนการดังนี้ ขั้นตอนที่ 1 การสร้างความตระหนักและความเข้าใจให้กับเกษตรกร ขั้นตอนที่ 2 การฝึกอบรมและการถ่ายทอดความรู้การผลิตเห็ดในโรงเรือน และขั้นตอนที่ 3 การปรับปรุงโรงเรือนผลิตเห็ดของเกษตรกร ส่งผลให้ทั้ง 10 โรงเรือน ใน 10 ตำบล สามารถควบคุมปัจจัยการผลิต ดังนี้ 1) อุณหภูมิ 28.6-31.7 องศาเซลเซียส 2) ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 78.2-81.3 3) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 285-1,365 พีพีเอ็ม และ 4) ความเข้มแสง 51-92 ลักซ์ ผลการทดลองผลิตเห็ดในโรงเรือน 3 แห่ง พบว่า ในช่วงระยะเวลา 30 วัน ผลผลิตเห็ดมีปริมาณเพิ่มขึ้นร้อยละ 25.6-26.4 เมื่อผลิตจนครบ 1 ฤดูกาล ทั้ง 10 โรงเรือน ใน 10 ตำบล มีผลผลิตเห็ดเพิ่มขึ้นร้อยละ 21.4-33.2 เฉลี่ยร้อยละ 26.2 ลดระยะเวลาการผลิตร้อยละ 13.5-28.0 เฉลี่ยร้อยละ 22.5 นอกจากนั้นสามารถจำหน่ายผลผลิตเห็ดในราคา 80 บาทต่อกิโลกรัม เพิ่มขึ้นร้อยละ 14.3-100.0 ส่งผลให้ชุมชนผู้ผลิตเห็ดมีรายได้เพิ่มขึ้นอย่างน้อยร้อยละ 40.5

คำสำคัญ:

จังหวัดอุดรธานี
โรงเรือนอัจฉริยะ
การผลิตเห็ด
ปัจจัยการผลิต
เห็ดนางฟ้า

บทนำ

เห็ดเป็นแหล่งโปรตีนที่เป็นส่วนประกอบของอาหารในทุกลกลุ่มผู้บริโภค ทั้งกลุ่มที่ไม่รับประทานเนื้อสัตว์และกลุ่มที่รับประทานมังสวิรัต เห็ดจึงเป็นที่ต้องการของตลาด ประเทศไทยมีผลผลิตเห็ดดังนี้ เห็ดนางฟ้า เห็ดนางรม และเห็ดเป๋าฮื้อ (Numsiri et al., 2021) ผู้ผลิตเห็ดส่วนใหญ่เป็นเกษตรกรรายย่อยร้อยละ 71.6 มีกำลังการผลิต 1,000–30,000 ก้อนต่อโรงเรือนต่อปี คิดเป็นมูลค่าทางเศรษฐกิจประมาณ 5,000 ล้านบาท โดยทั้งประเทศมีกำลังการผลิตรวม 150,000 ตัน คิดเป็นมูลค่าทางเศรษฐกิจทั้งระบบกว่า 9,000 ล้านบาท แบ่งเป็นการบริโภคภายในประเทศ ร้อยละ 95 และส่งออก ร้อยละ 5 (The National Science and Technology Development Agency, 2021)

โรงเรือนการผลิตเห็ดกลุ่มเย็น ซึ่งประกอบด้วย เห็ดนางฟ้า เห็ดนางรม เห็ดเป๋าฮื้อ และเห็ดโคนญี่ปุ่น ต้องมีอุณหภูมิที่เหมาะสมคือ ระหว่าง 28–32 องศาเซลเซียส และไม่เกิน 35 องศาเซลเซียส โรงเรือนเปิดดอกของเกษตรกรจึงต้องมุ่งหลังคาจากเพื่อลดอุณหภูมิ (Singjaroen & Sakaew, 2016) แต่เนื่องจากสภาพแวดล้อมในปัจจุบันมีอุณหภูมิและฤดูกาลที่แปรปรวนและเปลี่ยนไปตามสภาวะเรือนกระจก (Greenhouse effect) จึงส่งผลกระทบต่อการผลิตเห็ด ดังนั้นโรงเรือนเปิดดอกของเกษตรกรจึงไม่เหมาะสมต่อการผลิตเห็ด หากไม่สามารถควบคุมปัจจัยการผลิตได้ และมีปัญหาแมลงซึ่งเป็นพาหะของการติดเชื้อโรคในก้อนเห็ดจากก้อนสู่ก้อน เกษตรกรส่วนใหญ่จึงใช้ยาฆ่าแมลงพ่นไปที่ก้อนเชื้อเพื่อกำจัดแมลง ซึ่งทำให้มีต้นทุนสูงขึ้น ส่งผลให้เกษตรกรได้รับสารพิษจากยาฆ่าแมลงสะสม และผู้บริโภคอาจจะได้รับสารพิษจากยาฆ่าแมลงที่ปนในดอกเห็ดที่ยังไม่ทันสลายตัว (Kamonkunanon & Thammasongsa, 2019) จากการสุ่มตรวจยาฆ่าแมลงตกค้างในเห็ดโดยศูนย์วิจัยและประเมินความเสี่ยงด้านอาหารปลอดภัย พบว่ามีสารไซเพอร์เมทรินตกค้าง 2 ตัวอย่าง จาก 5 ตัวอย่าง (National Food Institute, Thailand, 2014)

ประกาศกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ เรื่องกำหนดมาตรฐานสินค้าเกษตร: เห็ดสกุลนางรม มาตรฐานเลขที่ มกษ. 1514-2555 (Ministry of Agriculture and Cooperatives, 2012) ที่ครอบคลุมเห็ดสกุลนางรม (*Pleurotus mushroom* หรือ *Pleurotoid mushroom*) ชนิดที่ผลิตเป็นการค้าเพื่อนำมาจำหน่ายสด ได้แก่ เห็ดนางรมภูฐาน (*Oyster mushroom-Bhutan*) เห็ดนางรมฮังการี (*Oyster mushroom-Hungary*) เห็ดเป๋าฮื้อ (*Abalone mushroom*) และเห็ดนางรมหลวง (*King oyster mushroom*) ได้กำหนดคุณภาพขั้นต้นของเห็ดสกุลนางรม คือ เป็นเห็ดสกุลนางรมแบบทั้งกลุ่มหรือดอกเห็ดเดี่ยว ดอกเห็ดมีความสด ไม่เน่าเสีย สะอาด ไม่มีศัตรูเห็ด ไม่มีร่องรอยความเสียหายเนื่องจากศัตรูเห็ด ไม่มีความชื้นที่ผิดปกติ

และไม่มีการเปลี่ยนแปลงปลอมหรือสืบทอดจากการเสื่อมสภาพ อย่างไรก็ตามเนื่องจากประกาศกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ เรื่องกำหนดมาตรฐานสินค้าเกษตร: เห็ดสกุลนางรม มาตรฐานเลขที่ มกษ. 1514-2555 ไม่ได้กำหนดเกณฑ์เกี่ยวกับคุณภาพด้านปริมาณโปรตีนและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของเห็ดสกุลนางรม จึงมีการศึกษาเปรียบเทียบปริมาณโปรตีนที่วิเคราะห์ด้วยวิธี Kjeldahl method (AOAC, 2000) และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่วิเคราะห์ด้วยวิธี DPPH Free Radical Scavenging (Butkhu et al., 2017) คุณค่าทางโภชนาการและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่จำหน่ายในประเทศไทย (Pasakawee et al., 2018) พบว่า เห็ดนางฟ้าภูฐานมีปริมาณโปรตีนร้อยละ 33.97±0.02 (g/100 g dried weight of fresh sample) และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ร้อยละ 69.90 ± 0.04 inhibition of DPPH assay (fresh sample)

การผลิตเห็ดมี 4 ปัจจัยหลักที่สำคัญ ประกอบด้วย

- 1) อุณหภูมิระหว่าง 28–32 องศาเซลเซียส
- 2) ความชื้นสัมพัทธ์ ร้อยละ 70–90
- 3) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไม่เกิน 2,000 พีพีเอ็ม และ
- 4) ความเข้มแสงไม่เกิน 100 ลักซ์ (Chieochan et al., 2017; Khambun et al., 2021; Youngkerd & Sangdee, 2015) โรงเรือนผลิตเห็ดของเกษตรกรควรเป็นโรงเรือนปิดเนื่องจากมีระบบการควบคุมที่ดีกว่าโรงเรือนแบบดั้งเดิม (Chanasuk et al., 2018) ซึ่งโรงเรือนปิดที่ใช้เทคโนโลยีในการควบคุมปัจจัยการผลิตทำให้สามารถควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ระหว่าง 28–32 องศาเซลเซียส ควบคุมความชื้น สัมพัทธ์ระหว่างร้อยละ 70–90 ด้วยเครื่องเพิ่มความชื้น ทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นอย่างน้อยร้อยละ 20 สร้างรายได้เพิ่มขึ้นอย่างน้อยร้อยละ 30 จากผลผลิตที่เพิ่มขึ้นและราคาจำหน่ายที่เพิ่มขึ้นจากผลผลิตเห็ดที่สมบูรณ์ (Kamonkunanon et al., 2024)

สถานการณ์ที่เป็นอยู่เดิม

จังหวัดอุดรธานีมีฟาร์มผลิตเห็ดประมาณ 15 ฟาร์มกระจายใน 5 อำเภอ คือ อำเภอเมือง อำเภอลับแล อำเภอพิชัย อำเภอทองแสนขัน และอำเภอท่าปลา เกษตรกรมี 2 ธุรกิจที่สำคัญ คือ การผลิตก้อนเชื้อเห็ดและการผลิตดอกเห็ดเพื่อการจำหน่าย มีรายได้หมุนเวียนปีละ 10,000,000 ถึง 15,000,000 บาท แต่เกษตรกรยังประสบปัญหารายได้ไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากการผลิตเห็ดสามารถผลิตได้ปีละ 8–9 เดือน หากผลผลิตเห็ดไม่สมบูรณ์และไม่มีความปลอดภัยทำให้ถูกกดราคาซื้อ ในกรณีที่มีแมลงศัตรูเห็ด เกษตรกรต้องใช้ยาฆ่าแมลงซึ่งเป็นอันตรายต่อผู้บริโภค และเกษตรกรไม่สามารถกำหนดราคาขายได้

จากการจัดการความรู้ (Knowledge management, KM) ร่วมกับผู้มีส่วนได้ส่วนเสียในการผลิตเห็ดนางฟ้าในจังหวัดอุดรธานี ซึ่งประกอบด้วยนักวิชาการจากสถาบันอุดมศึกษา เกษตรกร

บุคลากรจากสำนักงานเกษตรและสหกรณ์จังหวัดอุดรดิตถ์ เพื่อแลกเปลี่ยนความรู้และสถานการณ์ที่เกี่ยวข้องใน 6 ประเด็น คือ 1) ด้านการผลิตก่อนเชื้อเห็ด 2) ด้านการผลิตเห็ด 3) ด้านการจัดการโรงเรือน 4) ด้านการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตร 5) ด้านการตลาด และ 6) ด้านอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง ซึ่งพบว่าปัญหาหลักของการผลิตเห็ด คือ เกษตรกรไม่สามารถควบคุมปัจจัยการผลิตในโรงเรือนได้ โดยโรงเรือนของเกษตรกรใช้งานเพียงสายยางรดน้ำหรือติดสปริงเกอร์เพื่อเพิ่มความชื้นในโรงเรือน ซึ่งไม่สามารถสร้างความชื้นสัมพัทธ์ในโรงเรือนให้สูงเพียงพอต่อการเจริญเติบโตของเห็ด ดังแผนที่ความคิด (Mind map) ในภาพที่ 1 (Figure 1)

ปัญหาหลักของการผลิตเห็ด ดังภาพที่ 2 (Figure 2) มีดังนี้ 1) เกษตรกรสามารถจำหน่ายเห็ดสดได้เพียง 40-50 บาทต่อกิโลกรัม 2) ผลผลิตเห็ดไม่มีคุณภาพ เนื่องจากมีลักษณะแห้งเหี่ยวหรือแฉะเกินไป 3) การใช้จ่ายค่าแมลงในการกำจัดแมลงรบกวน โดยเฉพาะแมลงหวี่ที่จะนำเชื้อโรคให้ติดต่อกับก้อนสูก้อน 4) เกษตรกรไม่สามารถผลิตเห็ดในช่วงฤดูร้อน เนื่องจากมีอุณหภูมิสูงกว่า 35 องศาเซลเซียส ซึ่งเห็ดไม่สามารถเจริญเติบโตได้ และ 5) การเก็บดอกเห็ดมีระยะเวลาการเก็บรักษาสั้น สามารถเก็บไว้ได้เพียง 1-2 วัน หลังจากนั้นเห็ดจะเกิดการเน่าเสีย ในปี พ.ศ. 2565 มีการสำรวจการใช้จ่ายค่าแมลงของฟาร์มผลิตเห็ดใน 5 อำเภอของ

จังหวัดอุดรดิตถ์ พบการใช้จ่ายค่าแมลงสูงถึง 8 ฟาร์ม จาก 10 ฟาร์ม ซึ่งส่งผลอันตรายต่อผู้บริโภคเป็นอย่างมาก

การคำนวณต้นทุนการผลิตพบว่า เกษตรกรควรผลิตเห็ดได้อย่างน้อย 250 กรัมต่อก้อน แต่ผลผลิตเห็ดมีปริมาณเฉลี่ยเพียง 229.7 กรัมต่อก้อน ซึ่งเมื่อหักต้นทุนทั้งหมดแล้วเกษตรกรจะมีกำไรเหลือจากการผลิตร้อยละ 25 ในกรณีที่ผลผลิตไม่มีคุณภาพ ดอกเห็ดมีขนาดเล็กและไม่สมบูรณ์ เกษตรกรจำหน่ายผลผลิตได้ในราคาเพียง 40-50 บาทต่อกิโลกรัม จากราคาทั่วไป 60-70 บาทต่อกิโลกรัม หากเกษตรกรไม่สามารถจำหน่ายเห็ดในตลาดท้องถิ่น จะต้องจำหน่ายผลผลิตให้กับพ่อค้าคนกลางซึ่งเหมาไปส่งที่ตลาดค้าส่ง ก็จะถูกกดราคาจากพ่อค้าคนกลางเหลือเพียง 30-40 บาทต่อกิโลกรัมเท่านั้น ทำให้เกษตรกรต้องประสบปัญหาขาดทุนในการผลิตบางฤดูกาล

จากการสำรวจโรงเรือนผลิตเห็ดของเกษตรกรทั้ง 10 ตำบลในจังหวัดอุดรดิตถ์ ซึ่งมีสภาพพื้นที่โรงเรือนดังภาพที่ 3 (Figure 3) พบว่า สาเหตุหลักของการผลิตเห็ดแล้วผลผลิตที่ได้ไม่สมบูรณ์และมีแมลงรบกวน เกิดจากโรงเรือนของเกษตรกรไม่สามารถควบคุมปัจจัยการผลิต 3 ด้าน คือ อุณหภูมิในโรงเรือนระหว่าง 29.7-36.5 องศาเซลเซียส ซึ่งสูงกว่าค่าปัจจัยที่เหมาะสม ความชื้นสัมพัทธ์ระหว่างร้อยละ 44.2-68.4 ซึ่งต่ำกว่าค่าปัจจัยที่

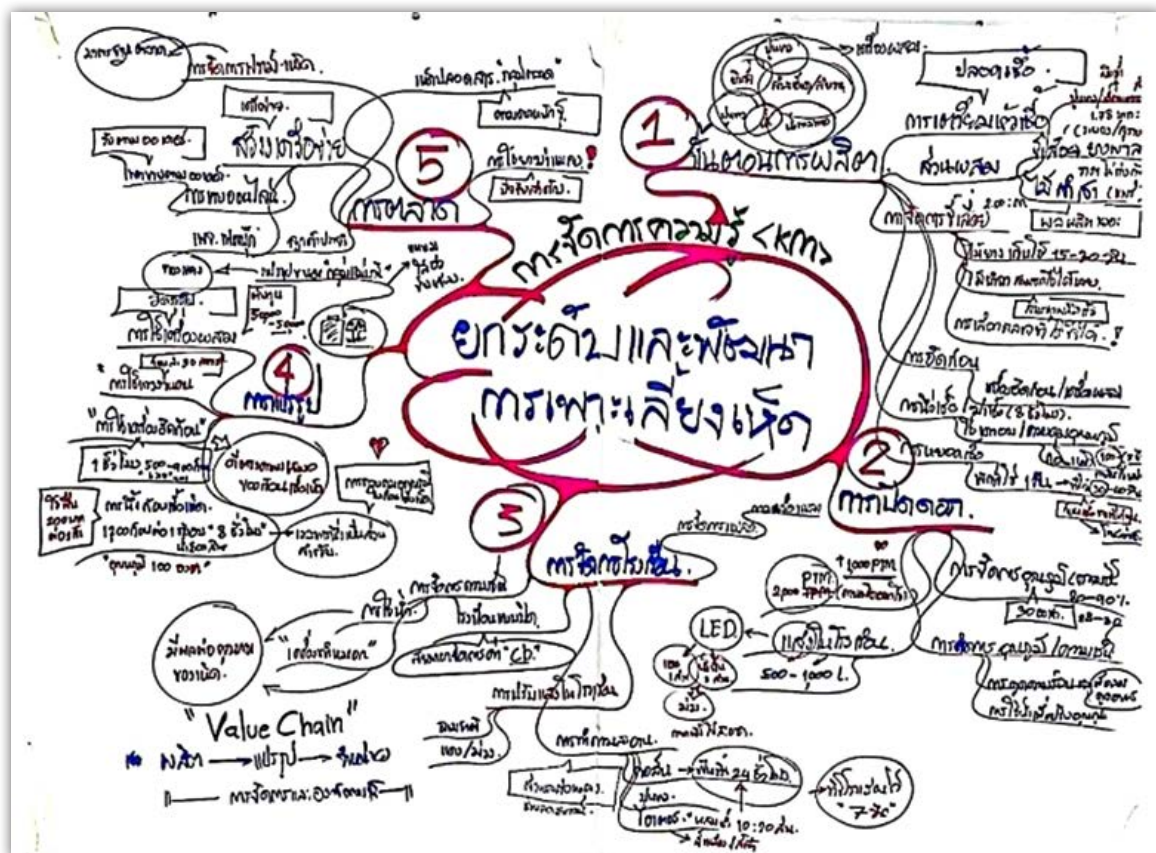


Figure 1 Knowledge management and mind map of mushroom production situation in Uttaradit Province

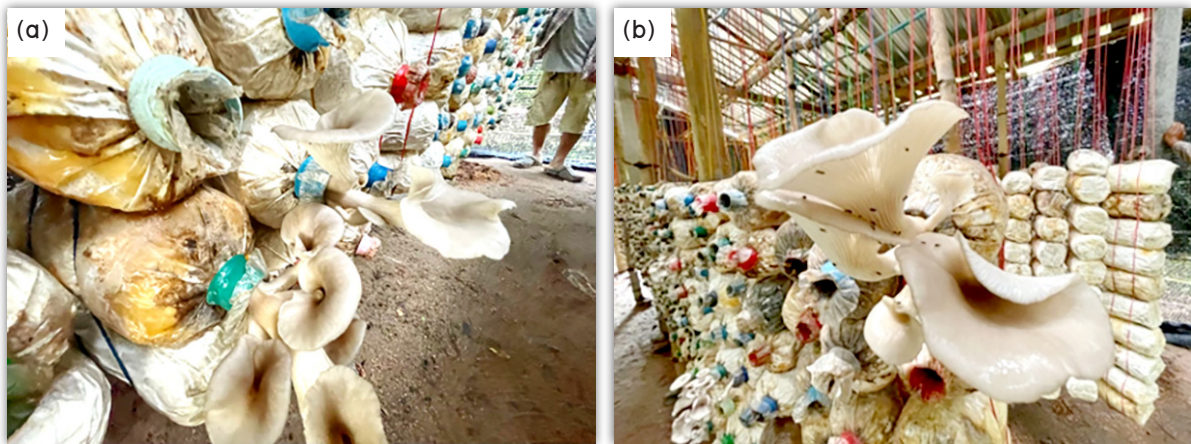


Figure 2 Characteristics of mushrooms in farmers' farms; (a) Incomplete mushrooms and (b) Infested by mushroom pests



Figure 3 Uncontrolled environmental factors affecting mushroom production inside the farm; (a) Excessive light intensity and (b) Low humidity leading to insufficient moisture retention

เหมาะสม และความเข้มแสงระหว่าง 87-123 ลักซ์ ซึ่งสูงกว่าค่าปัจจัยที่เหมาะสม และมี 1 ปัจจัยที่อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดคือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ระหว่าง 292-1,867 พีพีเอ็ม

การวิเคราะห์ปัญหาของเกษตรกรและการวางแผนทางการใช้เทคโนโลยีในการแก้ปัญหาให้กับเกษตรกรใน 10 ตำบล ประกอบด้วย ตำบลดู่ตะเภา ตำบลไผ่ล้อม ตำบลหาดล้า ตำบลป้าเช่า ตำบลวังดิน ตำบลชัยชุมพล ตำบลจริม ตำบลไร่ฮ้อย ตำบลบ้านหม้อ และตำบลบ่อทอง ใน 5 อำเภอ คือ อำเภอเมือง อำเภอลับแล อำเภอฟิชัย อำเภอทองแสนขัน และอำเภอท่าปลา พบว่าต้องทำการควบคุมปัจจัยที่สำคัญ 2 ด้าน คือ การควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ โดยผลการแนะนำการปรับใช้เทคโนโลยีในโรงเรือนทั้ง 10 ตำบล ดังตารางที่ 1 (Table 1) ดังนี้

การควบคุมอุณหภูมิในโรงเรือน พบว่ามี 8 โรงเรือน ของตำบลดู่ตะเภา ตำบลไผ่ล้อม ตำบลหาดล้า ตำบลวังดิน ตำบลชัยชุมพล ตำบลจริม ตำบลไร่ฮ้อย และตำบลบ่อทอง ใช้วัสดุคลุมโรงเรือนที่เป็นฉนวนความร้อนด้วยวัสดุธรรมชาติ เช่น ดับจาก และ

วัสดุสังเคราะห์ที่สามารถป้องกันความร้อนจากภายนอกเข้าไปในโรงเรือน ทำให้สามารถผลิตเห็ดในช่วงฤดูฝนและฤดูหนาวได้ แต่ในฤดูร้อนที่มีอากาศร้อนมากจะไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ สำหรับ 2 โรงเรือนของตำบลป้าเช่าและตำบลบ้านหม้อ ใช้เทคโนโลยีในการควบคุมอุณหภูมิ คือ พัดลมระบายความร้อนออกจากโรงเรือนเพื่อทำให้โรงเรือนสามารถผลิตเห็ดในช่วงฤดูร้อนที่ไม่ร้อนจัดในบางปี นอกจากนี้ยังมีการติดตั้งวัสดุคลุมโรงเรือนเพิ่มขึ้นอีก 1 ชั้น เพื่อเป็นฉนวนความร้อนทำให้อุณหภูมิในโรงเรือนลดลง สำหรับโรงเรือนที่ติดตั้งพัดลมระบายความร้อนไม่จำเป็นต้องเพิ่มวัสดุคลุมโรงเรือนเนื่องจากสามารถระบายความร้อนออกจากโรงเรือนได้

การควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ในโรงเรือน พบว่ามี 5 โรงเรือน ของตำบลดู่ตะเภา ตำบลไผ่ล้อม ตำบลหาดล้า ตำบลชัยชุมพล และตำบลบ่อทอง ใช้สายยางรดน้ำเพื่อเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ในโรงเรือน สำหรับ 4 โรงเรือน ของตำบลป้าเช่า ตำบลวังดิน ตำบลจริม และตำบลไร่ฮ้อย ใช้ระบบสปริงเกอร์ในการรดน้ำ และ 1 โรงเรือน ของตำบลบ้านหม้อ ใช้ระบบพ่นน้ำวาพอร์ชั่น นอกจากนี้

Table 1 Controlling production factors of farms before conducting research

District	Site-situation							Development/improvement
	Temperature control			Humidity control				Technology that needs to be added and improved
	Use materials to cover the farm	Use a ventilation fan	Must improve	Use a hose	Use a sprinkler	Use Evaporation wall	Must improve	
1. Khung Taphao Subdistrict	☑			☑				– Add material to cover the farm – Use a humidifier
2. Pai Lom Subdistrict	☑			☑				– Add material to cover the farm – Use a humidifier – Add a ventilation fan
3. Had La Subdistrict	☑			☑				– Add material to cover the farm – Use a humidifier
4. Pa Sao Subdistrict		☑			☑			– Use a humidifier
5. Wang Din Subdistrict	☑				☑			– Add material to cover the farm – Use a humidifier
6. Chaijumphon Subdistrict	☑			☑				– Add material to cover the farm – Use a humidifier
7. Charim Subdistrict	☑				☑			– Add material to cover the farm – Use a humidifier
8. Rai Oi Subdistrict	☑				☑			– Add material to cover the farm – Use a humidifier
9. Ban Mor Subdistrict		☑				☑		– Use a humidifier
10. Bo Thong Subdistrict	☑			☑				– Add material to cover the farm – Use a humidifier

ยังแนะนำวิธีการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ด้วยเครื่องเพิ่มความชื้นในโรงเรือน ซึ่งเมื่อใช้งานแล้วจะสามารถควบคุมอุณหภูมิในโรงเรือนได้ด้วย

การควบคุมปัจจัยการผลิตของเกษตรกร พบว่า 8 โรงเรือนของตำบลทุ่งตะเกียบ ตำบลไผ่ล้อม ตำบลหาดล้า ตำบลวังดิน ตำบลชัยชุมพล ตำบลจรัล ตำบลไร่ฮ้อย และตำบลบ่อทอง ต้องปรับปรุงทั้งการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ และ 2 ตำบล คือ ตำบลป่าเขาและตำบลบ้านหม้อ ปรับปรุงเฉพาะการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ โดยการควบคุมอุณหภูมิจะใช้วัสดุคลุมโรงเรือนเพื่อเป็นฉนวนความร้อนป้องกันรังสีความร้อนที่จะแผ่เข้ามาในโรงเรือนผลิตเห็ด สำหรับการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์จะใช้เครื่องเพิ่มความชื้นที่สามารถสร้างความชื้นสัมพัทธ์ในโรงเรือนที่ระดับร้อยละ 70-90 นอกจากนั้น เมื่อเครื่องเพิ่มความชื้นทำงานและฟ่นละอองฝอยซึ่งทำให้เพิ่มความชื้นแล้ว ละอองฝอยที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิใน

โรงเรือน ทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อน ทำให้โรงเรือนมีอุณหภูมิไม่เกิน 35 องศาเซลเซียส ส่งผลให้เห็ดสามารถเจริญเติบโตได้

กระบวนการที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงและการยอมรับของชุมชนเป้าหมาย

ขั้นตอนที่ 1 การสร้างความตระหนักและความเข้าใจให้กับเกษตรกร

เกษตรกรทั้ง 10 ตำบลที่เป็นกลุ่มเป้าหมายจำนวน 50 คน เข้าร่วมการจัดการความรู้ในประเด็นการควบคุมปัจจัยการผลิตเห็ดเพื่อสร้างแนวปฏิบัติที่ดีและแลกเปลี่ยนเทคนิคการผลิตเห็ดระหว่างนักวิจัยและเกษตรกร โดยกำหนดคุณสมบัติเกษตรกรที่เข้าร่วมคือ 1) ประกอบอาชีพผลิตเห็ดในจังหวัดอุดรธานี 2) มีประสบการณ์ใน

การผลิตเห็ดอย่างน้อย 5 ปี และ 3) มีทัศนคติที่ดีในการเปลี่ยนแปลงการผลิตเห็ดให้ทันสมัย และการควบคุมปัจจัยการผลิตเห็ดต้องควบคุมปัจจัยหลัก 4 ปัจจัย คือ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และความเข้มแสง จากนั้นนำผลการจัดการความรู้มาจัดทำเป็นคู่มือการควบคุมปัจจัยการผลิต ดังภาพที่ 4 (Figure 4)

การควบคุมปัจจัยการผลิต 4 ปัจจัยหลังปรับปรุงโรงเรือน มีดังนี้ 1) อุณหภูมิ เกษตรกรจะใช้วัสดุคลุมโรงเรือนซึ่งเป็นฉนวนความร้อน และใช้เครื่องเพิ่มความชื้นในการลดอุณหภูมิในโรงเรือนให้เหลือ 28–32 องศาเซลเซียส 2) ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70–90 เกษตรกรต้องตั้งเวลาอัตโนมัติในการเปิดเครื่องเพิ่มความชื้นในโรงเรือน โดยเปิดทุกชั่วโมงเป็นเวลา 15–20 นาที โดยสังเกตจากเซ็นเซอร์ที่อ่านค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ติดตั้งในโรงเรือน 3) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไม่เกิน 2,000 พีพีเอ็ม ในกรณีที่ใช้วัสดุคลุมโรงเรือนที่มีช่องระบายอากาศได้ เช่น พลาสติกทางการเกษตร ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่สะสมจะเกิดขึ้นไม่เกิน 700 พีพีเอ็ม ซึ่งเห็ดสามารถเจริญเติบโตได้ดี และ 4) ความเข้มแสงต้องไม่เกิน 100 ลักซ์ และเมื่อสามารถควบคุมปัจจัยการผลิตทั้ง 4 ปัจจัยได้แล้ว เกษตรกรจึงนำก้อนเชื้อเห็ดไปเปิดดอกเพื่อให้เห็ดเจริญเติบโตตามปัจจัยการผลิตที่เหมาะสม

ขั้นตอนที่ 2 การฝึกอบรมและการถ่ายทอดความรู้การผลิตเห็ดในโรงเรือน

ภาคทฤษฎีโดยการบรรยายให้เกษตรกรเข้าใจในหลักการทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีในการควบคุมปัจจัยการผลิตเห็ด และภาคปฏิบัติโดยการลงพื้นที่ในแต่ละตำบลเพื่ออบรมการผลิตเห็ดในแต่ละโรงเรือนโดยต้องฝึกฝนแบบเรียนรู้ด้วยการฝึกปฏิบัติด้วยตนเอง โดยใช้ความรู้จากขั้นตอนที่ 1 ในการควบคุมปัจจัยการผลิตและการควบคุมแต่ละปัจจัยการผลิตดังภาพที่ 5 (Figure 5)

ขั้นตอนที่ 3 การปรับปรุงโรงเรือนผลิตเห็ดของเกษตรกร

การปรับปรุงโรงเรือนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการควบคุมปัจจัยการผลิต โดยนำเทคโนโลยีในการควบคุมปัจจัยการผลิต และคำแนะนำการปรับปรุงโรงเรือนและปรับใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมติดตั้งในโรงเรือนต่าง ๆ จำนวน 10 ตำบล โดยการควบคุมปัจจัยการผลิต 4 ปัจจัย พบว่า โรงเรือนของเกษตรกรส่วนใหญ่เป็นโรงเรือนกึ่งปิด สามารถระบายอากาศได้ ทำให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สะสมไม่เกิน 2,000 พีพีเอ็ม ยกเว้นโรงเรือนในตำบลไผ่ล้อม ที่ติดตั้งพลาสติกแบบใสทั้งโรงเรือน ทำให้เกิดการสะสมของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และสะสมความร้อน จึงติดตั้งพัดลมระบายความร้อนที่จะเปิดทุก ๆ 2 ชั่วโมง เป็นเวลา 20 นาที ในช่วงเวลา 10.00–18.00 น. ของทุกวัน เพื่อให้ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

มีความเข้มข้นไม่เกิน 2,000 พีพีเอ็ม ในส่วนของปัจจัยความเข้มแสงในโรงเรือน พบว่า เมื่อปรับปรุงโรงเรือนด้วยการเพิ่มวัสดุคลุมโรงเรือนแล้ว โรงเรือนทั้ง 10 ตำบล มีปริมาณความเข้มแสงตลอดทั้งวันไม่เกิน 100 ลักซ์ โดยค่าความเข้มแสงทั้ง 10 ตำบลอยู่ระหว่าง 51–92 ลักซ์ การปรับปรุงโรงเรือนผลิตเห็ดทั้ง 10 ตำบล ดังตารางที่ 2 (Table 2)

นอกจากนี้โรงเรือนของตำบลป่าเป้า ซึ่งมีสัญญาณ Wi-Fi จึงติดตั้งอุปกรณ์ IoTs เพื่อควบคุมเครื่องเพิ่มความชื้นให้ควบคุมที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 80 ตลอดระยะเวลาในการผลิต ดังภาพที่ 6 (Figure 6)

ในช่วงฤดูการผลิตเห็ดประมาณ 100–120 วัน เกษตรกรต้องควบคุมปัจจัยการผลิตทั้ง 4 ปัจจัยให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมตามคู่มือ เกษตรกรต้องจดบันทึกผลการผลิตเห็ดตลอดฤดูกาลผลิตเพื่อเปรียบเทียบผลการผลิตกับการผลิตในโรงเรือนแบบดั้งเดิมสำหรับการควบคุมปัจจัยการผลิต ทดลองควบคุม 10 โรงเรือน โดยติดตั้งเซ็นเซอร์รุ่น CTH-5000 เพื่อตรวจวัดอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และเซ็นเซอร์รุ่น LD-JX-655 เพื่อตรวจวัดค่าความเข้มแสง เพื่อติดตามค่าปัจจัยให้อยู่ในช่วงที่กำหนดและเหมาะสมกับการเจริญเติบโตของเห็ดในโรงเรือน ผลการควบคุมปัจจัยการผลิตจาก 10 โรงเรือน ดังตารางที่ 3 (Table 3)

การทดลองผลิตดอกเห็ดใน 4 โรงเรือน ซึ่งประกอบด้วย การผลิตดอกเห็ดในโรงเรือนแบบดั้งเดิม ซึ่งเป็นโรงเรือนแบบกึ่งเปิดที่มีช่องเปิดและระบายอากาศได้ดีแต่ไม่สามารถกักเก็บความชื้นได้ (ตัวแปรควบคุม) จำนวน 1 โรงเรือน ซึ่งเป็นโรงเรือนเดิมในตำบลไผ่ล้อม และโรงเรือนที่ติดตั้งเทคโนโลยีใน 3 โรงเรือน ในตำบลคังตะเกา ตำบลไผ่ล้อม และตำบลไร่ฮ้อย

ผลการบันทึกน้ำหนักดอกเห็ดที่ผลิตได้ใน 4 โรงเรือน ในช่วงเวลา 30 วัน ดังตารางที่ 4 (Table 4) พบว่า ในระยะเวลา 30 วันของการเปิดดอก โรงเรือนแบบดั้งเดิมผลิตเห็ดได้ 10,092.3 กรัม โรงเรือนที่ใช้เทคโนโลยีผลิตได้ระหว่าง 12,675.3–12,759.2 กรัม คิดเป็นสัดส่วนที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 25.6–26.4 จากข้อมูลทั้งหมดแสดงว่า เมื่อเกษตรกรนำก้อนเชื้อเห็ดจากแหล่งเดียวกันไปเปิดดอกในโรงเรือนที่ใช้เทคโนโลยีควบคุมปัจจัยการผลิต ทำให้จำนวนดอกเห็ดเพิ่มขึ้น น้ำหนักต่อดอกเพิ่มขึ้น และปริมาณผลผลิตเพิ่มขึ้น ในกรณีที่เกษตรกรนำไปจำหน่ายในราคาเดิมต่อกิโลกรัม เกษตรกรจะมีรายได้เฉลี่ยเพิ่มขึ้นร้อยละ 26.2 นอกจากนี้การผลิตเห็ดในโรงเรือนแบบใช้เทคโนโลยีทำให้ออกดอกเห็ดมีขนาดใหญ่ขึ้น จึงจำหน่ายในราคา 80 บาทต่อกิโลกรัม เกษตรกรจึงมีรายได้เพิ่มขึ้นจากราคาจำหน่ายที่เพิ่มขึ้นและปริมาณผลผลิตที่เพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 40.5

น้ำหนักเห็ดสะสมในช่วงเวลา 30 วัน ดังภาพที่ 7 (Figure 7) ซึ่งพบว่า เห็ดที่ผลิตในโรงเรือนแบบดั้งเดิมจะออกผลผลิต 3 รอบ ในช่วง 30 วัน แต่การผลิตเห็ดในโรงเรือนที่ใช้เทคโนโลยีควบคุมปัจจัยการผลิต นอกจากจะให้ผลผลิต 3 รอบแล้ว ยังพบว่าในช่วง

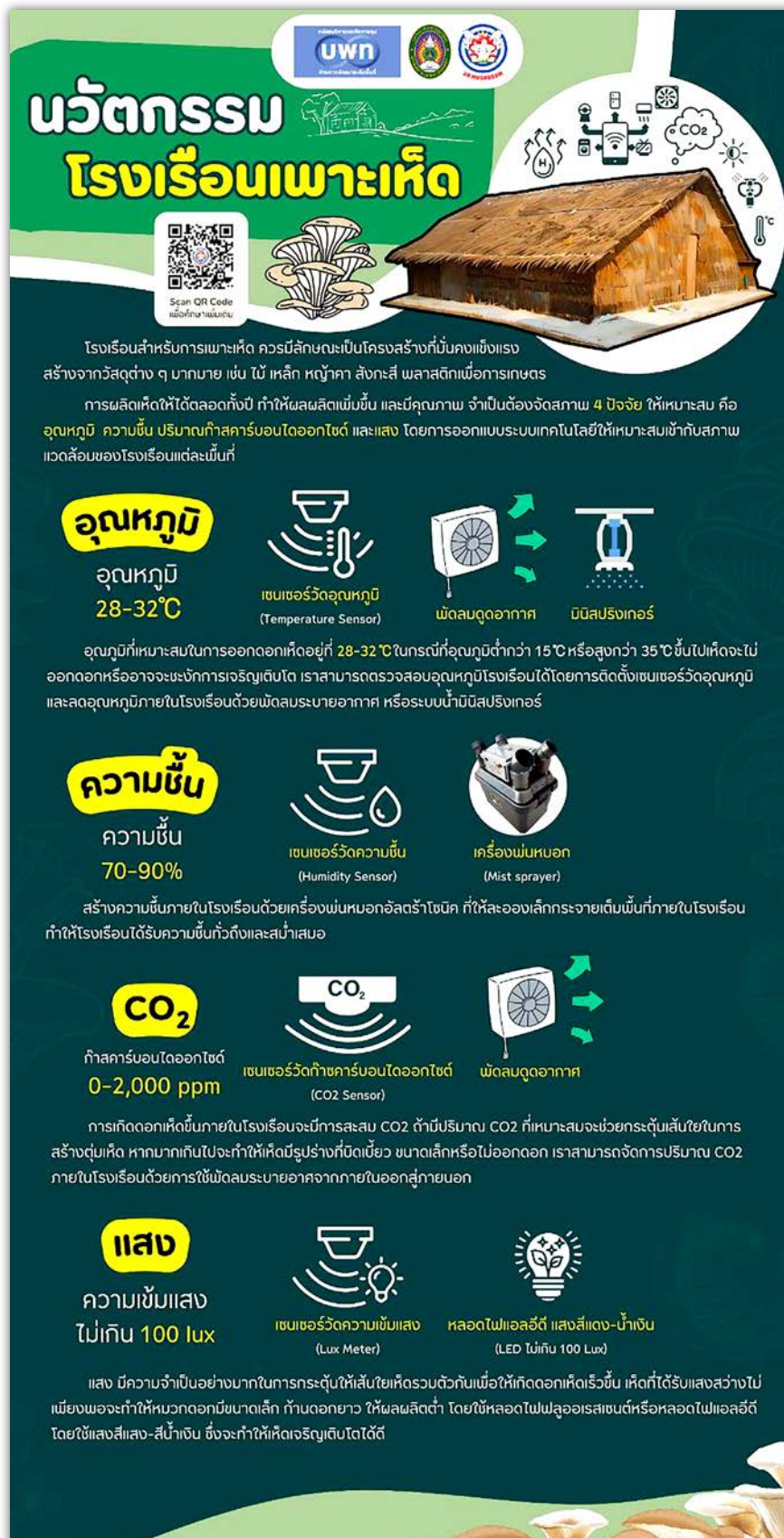


Figure 4 Infographic summarizing key insights from knowledge management

ระหว่างรอบการออกดอก เห็ดยังออกดอกตลอดช่วง 30 วัน ทำให้ผลผลิตรวม 30 วัน จากโรงเรือนที่ใช้เทคโนโลยีควบคุมปัจจัยการ

ผลิตมีปริมาณใกล้เคียงกันและสูงกว่าผลผลิตจากโรงเรือนแบบดั้งเดิม ร้อยละ 26.2 นอกจากนี้ยังทำการทดลองผลิตเห็ดใน 1



Figure 5 Individual training through Learning by Doing in; (a) Wangdin Subdistrict and (b) Chaijumphon Subdistrict

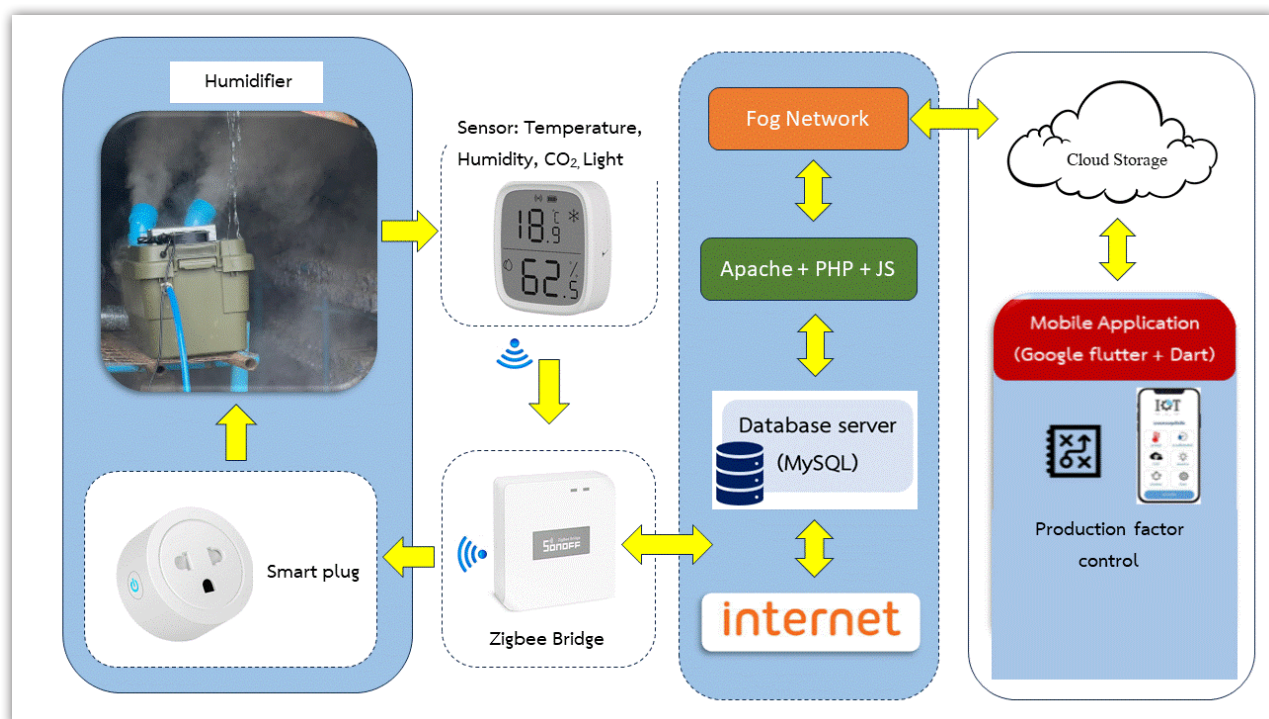


Figure 6 IoTs architecture of mushroom production

ฤดูกาล โดยเก็บข้อมูลการผลิตก่อนเห็ดโรงเรือนละ 1,000 ก้อน พบว่าผลผลิตเห็ดของแต่ละโรงเรือนเพิ่มขึ้นจากเดิมในทุกโรงเรือน ระหว่างร้อยละ 21.4–33.2 เฉลี่ยร้อยละ 26.2 ลดระยะเวลาการผลิตร้อยละ 13.5–28.0 เฉลี่ยร้อยละ 22.5 ผลผลิตก่อนและหลังการปรับปรุงโรงเรือนดังตารางที่ 5 (Table 5) และผลผลิตเห็ดที่ผลิตได้ ดังภาพที่ 8 (Figure 8)

การเปรียบเทียบการผลิตเห็ดในเชิงคุณภาพ ดังตารางที่ 6 (Table 6) พบว่า ผลผลิตเห็ดที่ผลิตได้จากโรงเรือนแบบใช้เทคโนโลยีควบคุมปัจจัยการผลิตได้ผลผลิตเห็ดสูงกว่าร้อยละ 26.2 และลักษณะของเห็ดมีรูปร่างของดอกเห็ดที่สมบูรณ์ แตกต่างกับโรงเรือนแบบดั้งเดิมที่มีลักษณะขอบดอกเห็ดแตก กลางดอกเห็ดเป็นแอ่ง และดอกบิดเบี้ยว เนื่องจากเห็ดที่ผลิตจากโรงเรือนแบบ

Table 2 Results of farm improvements and technology installation

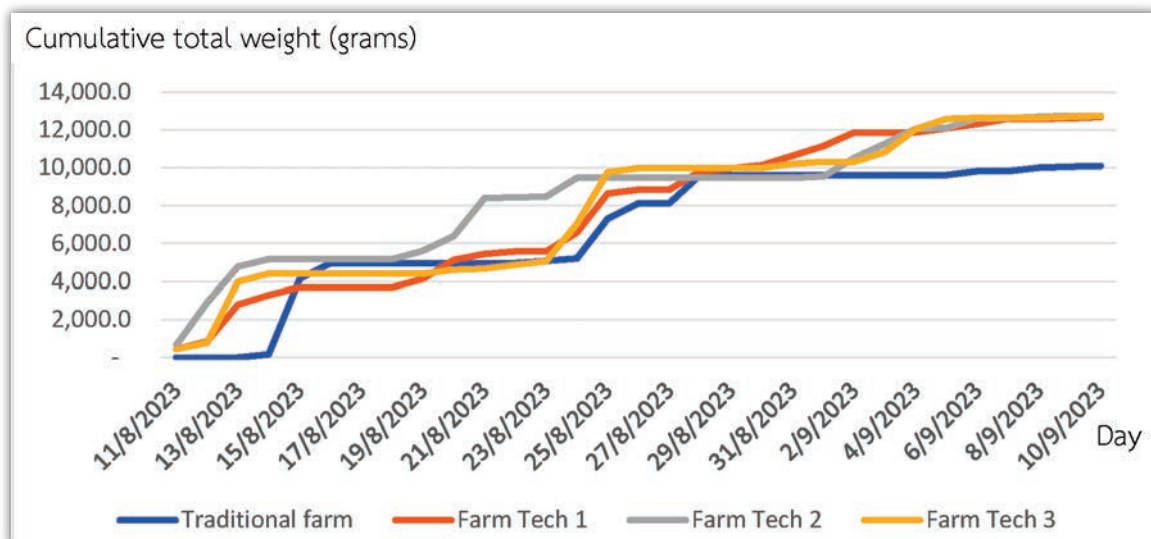
Community	Improving farm covering materials	Illustration	Installation of appropriate technology	Illustration
1. Khung Taphao Subdistrict	Install two layers of agricultural plastic		Install a humidifier	
2. Pai Lom Subdistrict	Install thick clear plastic		Install a humidifier	
			Install two ventilation fans	
3. Had La Subdistrict	Install two layers of agricultural plastic		Install a humidifier	
4. Pa Sao Subdistrict	Not improve		Install two humidifiers	
			Install IoT	
5. Wang Din Subdistrict	Install two layers of agricultural plastic		Install a humidifier	
6. Chaijumphon Subdistrict	Install two layers of agricultural plastic		Install a humidifier	
7. Charim Subdistrict	Install two layers of agricultural plastic		Install a humidifier	
8. Rai Oi Subdistrict	Install two layers of agricultural plastic		Install two humidifiers	
9. Ban Mor Subdistrict	Not improve		Install a humidifier	
10. Bo Thong Subdistrict	Install two layers of agricultural plastic		Install a humidifier	

Table 3 Results of controlling production factors in the farm

Factors of production	Control factor	Factor values before improvement	Factor values after improvements	Controlling
1. Temperature (°C)	28–32	29.7–36.5	28.6–31.7	– Install covering plastic – Install ventilation fan
2. Humidity (%)	70–90	44.2–68.4	78.2–81.3	– Install humidifier
3. Carbon dioxide (ppm)	< 2,000	292–1,867	285–1,365	– Install covering plastic – Install ventilation fan
4. Light (lux)	< 100	87–213	51–92	– Install covering plastic

Table 4 Mushroom production results produced in 4 farms

Farms	Traditional farm	Farm using technology Farm no.1	Farm using technology Farm no.2	Farm using technology Farm no.3
Mushroom production				
Size of farm (W x L x H) (m x m x m)	4.0 x 6.0 x 3.2	4.0 x 6.0 x 3.2	5.0 x 5.0 x 3.2	4.0 x 6.0 x 3.0
Number of mushrooms lumps (lumps)	3,000	3,000	3,000	3,000
Total mushroom weight (grams)	10,092.3	12,675.3	12,759.2	12,734.8
The total mushroom weight increased from the original farm (%)	0	+25.6	+26.4	+26.2

**Figure 7** Accumulated mushroom weight over a period of 30 days in all 4 mushroom farms

ดั้งเดิมมีค่าปัจจัยความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ ปริมาณความชื้นไม่เพียงพอ ทำให้ขอบแห้งแตก ดอกบิดเบี้ยว แตกต่างจากเห็ดที่ผลิตจากโรงเรือนที่ใช้เทคโนโลยีควบคุมปัจจัยการผลิต ที่มีการรักษาระดับความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเห็ด และมีปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้นร้อยละ 10.9 และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) เพิ่มขึ้นร้อยละ 39.9

ความรู้หรือความเชี่ยวชาญที่ใช้

การออกแบบโรงเรือน

โรงเรือนที่ใช้ในการผลิตเห็ดควรเป็นโรงเรือนกึ่งปิด คือ โรงเรือนที่ไม่มีช่องเปิดเป็นหน้าต่าง โดยทั่วไปการใช้วัสดุธรรมชาติ

Table 5 Mushroom production for one season of farms in 10 subdistricts

Community	Mushroom production before greenhouse renovation (kg)	Mushroom production after greenhouse renovation (kg)	Change (%)	Reduce production time (%)
1. Khung Taphao Subdistrict	219	273	24.7	23.5
2. Pai Lom Subdistrict	232	294	26.7	23.3
3. Had La Subdistrict	228	287	25.9	27.9
4. Pa Sao Subdistrict	242	312	28.9	25.3
5. Wang Din Subdistrict	236	309	30.9	28.0
6. Chaijumpun Subdistrict	202	269	33.2	24.2
7. Charim Subdistrict	219	268	22.4	19.0
8. Rai Oi Subdistrict	238	289	21.4	19.3
9. Ban Mor Subdistrict	244	301	23.4	13.5
10. Bo Thong Subdistrict	237	296	24.9	21.5
Average	229.7	289.8	26.2	22.5



Figure 8 Mushroom yields produced from farms that use technology to produce; (a) Mushroom flowers and (b) Mushrooms produced in farms

เช่น ดับจาก ฟาง หญ้าแฝก ไม้ไผ่ตาข่ายกรองแสง หรือวัสดุสังเคราะห์ที่หาได้ง่ายในท้องถิ่น เช่น พลาสติกที่มีราคาถูกในการทำโรงเรือน (Kamonkunanon et al., 2022) ซึ่งมีข้อดีคือ 1) สามารถควบคุมปัจจัยการผลิตได้บางส่วน เช่น สามารถควบคุมอุณหภูมิในโรงเรือนให้ต่ำกว่าภายนอกโรงเรือนได้ 2) สามารถกักเก็บความชื้นในโรงเรือนได้ในระดับหนึ่ง 3) สามารถถ่ายเทอากาศได้ ทำให้โรงเรือนไม่มีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สะสม และ 4) ค่า

ก่อสร้างโรงเรือนราคาไม่สูง เนื่องจากวัสดุคลุมโรงเรือนเน้นวัสดุที่หาได้ง่ายและมีราคาถูกในท้องถิ่น และข้อด้อย คือ 1) ในช่วงที่มีอากาศร้อนมาก อุณหภูมิในโรงเรือนจะสูง ทำให้ไม่สามารถผลิตเห็ดได้ 2) ไม่สามารถควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ในโรงเรือนให้เหมาะสมกับการผลิตเห็ดได้ตลอดเวลา ความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสมจะเป็นช่วงหลังจากการรดน้ำในโรงเรือนประมาณ 10-20 นาที และ 3) ไม่สามารถป้องกันแมลงศัตรูเห็ดได้

Table 6 Physical characteristics and quality of mushroom products from traditional and technological farms

Mushroom quantity & quality		
Physical & Quantity	Incomplete flower appearance, wrap and curl	Flowers appear perfect, mushrooms blooming, the middle of the flower is a basin (+26.2%)
Protein (% (g/100 g dried weight))	29.65 ± 2.00	31.80 ± 1.16 (+10.94)
Antioxidant Activity (% inhibition of DPPH assay)	50.54 ± 3.68	70.69 ± 2.70 (+39.87)

ปัจจัยการผลิตเกิดในโรงเรือน

ปัจจัยการผลิตที่สำคัญ 4 ปัจจัย ประกอบด้วย 1) อุณหภูมิ โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการผลิตเห็ดนางฟ้าในระยะของการเปิดดอกเห็ด ควรอยู่ระหว่าง 28–32 องศาเซลเซียส เพื่อให้ได้ผลผลิตเห็ดที่ดี (Singjaroen & Sakaew, 2016; Youngkerd & Sangdee, 2015) ในกรณีที่อุณหภูมิสูงกว่า 35 องศาเซลเซียส เห็ดจะไม่ออกดอก ในกรณีที่อุณหภูมิต่ำกว่า 15 องศาเซลเซียส เห็ดจะห่อ ขอบใบแตก และดอกไม่สมบูรณ์ (Cikarge & Arifin, 2018; Jeznabadi et al., 2016; Kamonkunanon et al., 2022; Koprakon, 2016) 2) ความชื้นสัมพัทธ์ ควรมีความชื้นสัมพัทธ์ระหว่างร้อยละ 70–90 (Subedi et al., 2019) โดยสามารถสร้างความชื้นสัมพัทธ์ในโรงเรือนได้หลายวิธี เช่น การใช้สายยางรดน้ำ และการสเปรย์น้ำ (Youngkerd & Sangdee, 2015) หรืออาจใช้เครื่องเพิ่มความชื้นในการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ในโรงเรือน ซึ่งเป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากเครื่องเพิ่มความชื้นสามารถทำความชื้นสัมพัทธ์ได้สูงร้อยละ 85–90 (Yang et al., 2016) แต่ไม่ควรให้ดอกเห็ดสัมผัสน้ำโดยตรงเพราะจะทำให้เห็ดฉ่ำน้ำและเน่าเสียได้ง่าย 3) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในโรงเรือนผลิตเห็ดต้องมีความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่พอเหมาะ ซึ่งจะช่วยกระตุ้นเส้นใยให้เห็ดเจริญเติบโตได้ดี (Pongpan, 2004) แต่หากมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากเกินไป เห็ดจะมีลำต้นยืดยาว ดอกเอนเข้าหาแสง ดอกเห็ดบิดเบี้ยวไม่สวยงาม (Hunheng, 2016) โดยความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่พอเหมาะต้องไม่เกิน 2,000 พีพีเอ็ม (Jeznabadi et al., 2016) ในกรณีที่ความเข้มข้นเกินกว่า 2,000 พีพีเอ็ม สามารถกำจัดโดยใช้พัดลมดูดอากาศหรือการเป่าอากาศ (Chaichupon, 2014) 4) ความเข้มแสง สำหรับโรงเรือนปิด ปริมาณแสงที่เหมาะสมกับการผลิตเห็ดคือแสงรำไรที่มีความเข้มแสงไม่เกิน 100 ลักซ์ (Kamonkunanon et al., 2024; Prikupets, 2018) ซึ่งจะช่วยกระตุ้นให้เห็ดออกดอก

ถ้าปริมาณแสงน้อยเกินไป เห็ดจะมีขนาดดอกเล็ก ก้านดอกยาว ดอกเอนเข้าหาแสง (Chaichupon, 2014) กรณีที่ใช้แสงจากหลอดไฟแอลอีดี (LED) พบว่าแสงสีแดง-น้ำเงิน เป็นแสงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเห็ด (Guoguo et al. 2016; Yi et al., 2014)

การใช้เทคโนโลยีควบคุมปัจจัยการผลิตในโรงเรือน

การผลิตเห็ดจำเป็นต้องจัดสภาพปัจจัยให้เหมาะสมต่อการผลิต ซึ่งประกอบด้วย อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และความเข้มแสง โดยอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการผลิตเห็ดเป็นอย่างยิ่ง และเป็นปัจจัยที่ยากในการควบคุม การผลิตเห็ดในโรงเรือนของเกษตรกร ส่วนใหญ่จะใช้น้ำที่ด้านหลังของก้อนเห็ด เพื่อไม่ให้ น้ำเข้าไปในก้อนเห็ด ซึ่งทำให้อากาศติดเชื้อรา เกษตรกรอาจติดตั้งสปริงเกอร์ด้านบนของโรงเรือน และเปิดสปริงเกอร์เป็นเวลา 5–10 นาที เพื่อเพิ่มความชื้นในโรงเรือน นอกจากนั้นการรดน้ำหรือพ่นน้ำในลักษณะนี้ จะเพิ่มความชื้นให้สูงขึ้นได้ประมาณร้อยละ 10–20 โดยความชื้นสัมพัทธ์ที่ทำให้สูงสุดจะอยู่ที่ร้อยละ 60–70 ซึ่งยังไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเห็ดกลุ่มเห็ดที่ต้องการความชื้นสัมพัทธ์ที่ร้อยละ 80–90 (Youngkerd & Sangdee, 2015) การใช้งานเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของทุกสรรพสิ่ง (Internet of Things, IoTs) และเทคโนโลยีการเกษตรที่เหมาะสมจึงมีความจำเป็นต่อการผลิตเห็ดให้มีคุณภาพ เช่น การใช้เครื่องเพิ่มความชื้นในอากาศสำหรับโรงเรือนปิดที่สามารถสร้างความชื้นสัมพัทธ์ที่ร้อยละ 70–90 ได้ (Kamonkunanon & Thanompongchart, 2020) แต่การใช้เครื่องสร้างความชื้นในอากาศไม่สามารถทำงานได้เพียงลำพัง เนื่องจากต้องเชื่อมโยงกับปัจจัยอื่นโดยเฉพาะอุณหภูมิ

สถานการณ์ใหม่ ที่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม

กระบวนการจัดการความรู้ในการผลิตเห็ดโดยใช้เทคโนโลยีในชุมชนของจังหวัดอุดรดิตถ์จำนวน 10 ตำบล พบว่าชุดความรู้ที่จำเป็นสำหรับการควบคุมปัจจัยการผลิตเห็ดต้องประกอบด้วย 4 ปัจจัยที่สำคัญ คือ การควบคุมอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และความเข้มแสง โดยเกษตรกรต้องปรับแสงในโรงเรือนและติดตั้งเทคโนโลยีที่เหมาะสมในโรงเรือนเพื่อควบคุมปัจจัยการผลิตเห็ด เมื่อเกษตรกรได้ปรับปรุงโรงเรือนและติดตั้งเทคโนโลยีแล้วพบว่าทั้ง 4 ปัจจัยอยู่ในช่วงที่เหมาะสมคือ 1) อุณหภูมิอยู่ในช่วง 28.6–31.7 องศาเซลเซียส 2) ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 78.2–81.3 3) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 285–1,365 พีพีเอ็ม และ 4) ความเข้มแสง 51–92 ลักซ์ ส่งผลให้ผลผลิตเห็ดจากโรงเรือนแบบใช้เทคโนโลยีที่ทดลองผลิตเห็ดใน 1 ฤดูกาล โรงเรือนละ 1,000 กิโลกรัม พบว่าผลผลิตเห็ดของทั้ง 10 โรงเรือน เพิ่มขึ้นจากการผลิตในโรงเรือนแบบดั้งเดิมร้อยละ 21.4–33.2 เฉลี่ยร้อยละ 26.2 และสามารถลดระยะเวลาการผลิตเห็ดร้อยละ 13.5–28.0 เฉลี่ยร้อยละ 22.5 และพบว่าดอกเห็ดมีลักษณะดอกสมบูรณ์ ดอกเห็ดบานและกลางดอกเป็นแอ่ง ปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 29.65 เป็นร้อยละ 31.80 คิดเป็นสัดส่วนที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 10.94 ฤทธิ์สารต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 50.54 ± 3.68 เป็นร้อยละ 70.69 ± 2.70 คิดเป็นสัดส่วนที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 39.87

ผลผลิตเห็ดมีราคาจำหน่ายเพิ่มขึ้นเป็น 80 บาทต่อกิโลกรัม เพิ่มขึ้นร้อยละ 14.3 ทำให้เกษตรกรมีรายได้เพิ่มขึ้นรวมร้อยละ 40.5 นอกจากนั้นยังมีโรงเรือนต้นแบบใน 10 ตำบล ในจังหวัดอุดรดิตถ์ เกษตรกรรายอื่น ๆ ในจังหวัดอุดรดิตถ์และจังหวัดใกล้เคียงสามารถศึกษาและใช้เป็นต้นแบบในการปรับปรุงโรงเรือนและปรับใช้เทคโนโลยีเพื่อการผลิตเห็ด และเกิดศูนย์การเรียนรู้การผลิตเห็ดระดับชุมชนจำนวน 2 แห่ง ที่ตำบลวังดิน และตำบลบ้านหม้อ จังหวัดอุดรดิตถ์ ที่มีหลักสูตรการผลิตเห็ดในโรงเรือนแบบใช้เทคโนโลยี โดยมีเกษตรกรที่ได้รับการพัฒนาและยกระดับเป็นนวัตกรรม ทำหน้าที่จัดการเรียนรู้ทั้งภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติในศูนย์การเรียนรู้ พร้อมทั้งมีอุปกรณ์และห้องปฏิบัติการเพื่อให้เกษตรกรได้ทดลองและคิดค้นนวัตกรรมในการผลิตเห็ดต่อไป

ผลกระทบและความยั่งยืน ของการเปลี่ยนแปลง

ด้านเศรษฐกิจ

ความคุ้มค่าของโครงการกรณีการลงทุนเพิ่มในการ

ประยุกต์ใช้เทคโนโลยีในการผลิตเห็ด พบว่าในกรณีที่มีโรงเรือนดั้งเดิมและต้องลงทุนปรับปรุงวัสดุคลุมโรงเรือนและติดตั้งเทคโนโลยี เช่น เครื่องเพิ่มความชื้น พัดลมระบายความร้อน เป็นต้น ใช้เงินลงทุนประมาณ 20,500 บาท มีค่าบำรุงรักษาและสาธารณูปโภคเพิ่มขึ้นปีละ 2,400 บาท สามารถผลิตเห็ดได้ 3,000 กิโลกรัม ทำให้เกษตรกรมีรายได้เพิ่มขึ้นสุทธิ 74,600 บาทต่อปี (เพิ่มขึ้น 24,800 บาทต่อรอบการผลิต) เมื่อลงทุนในช่วงระยะ 5 ปี คิดอัตราดอกเบี้ยที่สนใจ (Minimum Attractive Rate of Return, MARR) ที่ร้อยละ 6.25 พบว่าระยะเวลาในการคืนทุน (Payback period) เท่ากับ 5 เดือน มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value, NPV) เท่ากับ 290,780 บาท และค่าอัตราดอกเบี้ยตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return, IRR) เท่ากับร้อยละ 363 ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าการลงทุนปรับปรุงโรงเรือนและติดตั้งเทคโนโลยีเพื่อการผลิตเห็ดมีความคุ้มค่าในการลงทุน

ด้านสังคมและการเรียนรู้

การผลิตเห็ดในโรงเรือนแบบใช้เทคโนโลยี ทำให้เกษตรกรตระหนักถึงการใช้นวัตกรรมในการผลิตเห็ด ในระยะแรกมีการส่งเสริมติดตามการใช้เทคโนโลยีอย่างใกล้ชิด เพื่อให้เกษตรกรเกิดความรู้สึกรู้สึกพอใจที่ได้รับการดูแลและแนะนำ หลังจากเกษตรกรมีความคุ้นชินกับเทคโนโลยีแล้ว เกษตรกรจะมีความต้องการใช้เทคโนโลยีในการผลิตเห็ด เนื่องจากจะทำให้ผลผลิตเห็ดมีคุณภาพจำหน่ายในราคาสูง และสามารถเป็นแหล่งเรียนรู้ให้กับเกษตรกรกลุ่มอื่น ๆ ในจังหวัดอุดรดิตถ์และจังหวัดใกล้เคียงต่อไป การพัฒนาตัวแบบการเรียนรู้และนวัตกรรม (Learning & Innovation Platform, LIP) เพื่อใช้เป็นโรงเรือนฝึกอาชีพในการผลิตเห็ดด้วยเทคโนโลยี โดยจัดองค์ประกอบซึ่งประกอบด้วย 1) นายสถานี เป็นนวัตกรรมที่ผ่านการยกระดับจากงานวิจัย สามารถรับ ปรับใช้ และคิดค้นนวัตกรรมได้ เพื่อทำหน้าที่เป็นผู้จัดการหลักสูตรการเรียนรู้การผลิตเห็ดด้วยเทคโนโลยี 2) ผู้ช่วยนายสถานีหรือผู้ช่วยผู้อำนวยการ เป็นนวัตกรรมที่ทำหน้าที่ช่วยนายสถานีในการจัดหลักสูตร 3) ห้องเรียน ต้องมีสถานที่ที่สามารถจัดการเรียนการสอนภาคทฤษฎีได้ ซึ่งอยู่ในโรงเรือนของเกษตรกร 4) สื่อการสอน ใช้สื่อการสอนจากกระบวนการจัดการความรู้ เพื่อเป็นคู่มือในการสอนและการปฏิบัติงาน 5) ห้องปฏิบัติการ ใช้โรงเรือนของชุมชนเป็นห้องปฏิบัติการในการทดลองการผลิตเห็ด และ 6) อุปกรณ์การทดลอง ต้องจัดอุปกรณ์และวัสดุต่าง ๆ ที่สามารถใช้ในการทดลองได้ โดยตัวแบบการเรียนรู้และนวัตกรรมจะเป็นชุมชนนวัตกรรมแห่งการเรียนรู้การผลิตเห็ดด้วยเทคโนโลยี เพื่อให้เกษตรกรได้ผลิตเห็ดที่มีคุณภาพ และพัฒนานวัตกรรมในการผลิตเห็ดต่อไปในอนาคต โดยองค์ประกอบของตัวแบบการเรียนรู้และนวัตกรรม ดังภาพที่ 9 (Figure 9)

การรวมกลุ่มเป็นเครือข่ายผู้ผลิตเห็ดในจังหวัดอุดรดิตถ์ เพื่อซื้อวัสดุในการผลิตหรือการหิบบ่มวัสดุสำหรับการผลิตเห็ด



Figure 9 LIP Ecosystem of mushroom production

เช่น ขี้เลื่อย รำข้าว วัสดุประเภทถั่ว เป็นต้น เกษตรกรทั้ง 10 กลุ่ม ยังคงติดต่อ แลกเปลี่ยนดูงาน ช่วยเหลือกันในการปรับปรุงโรงเรียน เช่น เกษตรกรตำบลวังดินช่วยเกษตรกรตำบลบ้านหม้อในการ ปรับระบบควบคุมความชื้นในโรงเรือนผลิตเห็ดจากระบบผนัง อีวาโพเรชั่นเป็นระบบควบคุมความชื้นด้วยเครื่องเพิ่มความชื้นใน โรงเรือน เป็นต้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณกองทุนส่งเสริม ววน. และหน่วยบริหารและ จัดการทุนด้านการพัฒนาระดับพื้นที่ (บพท.) ภายใต้แผนชุมชน นวัตกรรมประจำปี 2566 (เลขที่สัญญาทุน A11F660054)

References

- AOAC. (2000). *Official methods of analysis Association of Official Analytical Chemist*. USA: Washington D.C.
- Butkhup, L., Samappito, W., & Jorjong, S. (2018). Evaluation of bioactivities and phenolic contents of wild edible mushrooms from northeastern Thailand. *Food Science and Biotechnology*, 27(1), 193–202.
- Chaichupon, P. (2017). *Costs and returns of the gray oyster mushroom production farm business in Lampang province*. (Research report). Lampang: Nation University. (in Thai).
- Chanasuk, K., Kopraser, K., Ditsathaporncharoen, S., & Sukcharoenpong, S. (2018). Loss analysis of post-harvest management system of phoenix oyster mushroom in Nakhon Pathom province. *Journal of Management Science Nakhon Pathom Rajabhat University*, 5(2), 130–145. (in Thai).
- 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 (IJCSE), (July 12–14, 2017), Nakhon Si Thammarat, Thailand.
- Cikarge, G. P., & Arifin, F. (2018). Oyster mushrooms humidity control based on fuzzy logic by using Arduino ATmega238 microcontroller. *Journal of Physics: Conference Series*, 1140, 012002.
- Guoguo, Y., Yidan, B., & Yangyang, L. (2016). China Patent No. CN201520906798.6U. Retrieved August 24, 2023, from: <https://patents.google.com/patent/CN205179833U/en?q=technology+mushroom+oyster+humidity&dq=technology+mushroom+oyster+humidity>.

- Hunheng, N. (2016). *Study of physical factors affecting relative humidity and temperature inside the breeding room gray oyster mushrooms which are made from cement ponds following the model of cold storage clay pots*. (Research report). Chonburi: Burapha University. (in Thai).
- 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.
- Kamonkunanon, S., Jaruwatcharaset, C., Khumfu, P., Ketviriyakit, C., Songneam, N., & Supawantanakul, D. (2024). A comparing of gray oyster mushroom product in smart farm and traditional farm. *Journal of Wittayasara: Integration Apply Engineering and Industrial Technology*, 17(1), 29–41. (in Thai).
- Kamonkunanon, S., & Thammawongsa, N. (2019). *Development of a closed system mushroom cultivation house using technology to change the cultivation model of Thai farmers*. (Research report). Uttaradit: Uttaradit Rajabhat University. (in Thai).
- Kamonkunanon, S., & Thanompongchart, P. (2020). *The evaporation sprayer in a closed system farm for agriculture*. (Research report). Uttaradit: Uttaradit Rajabhat University. (in Thai).
- 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 8 th, (March 25, 2022), Loei Rajabhat University, Loei, Thailand. (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).
- Koprakon, C. (2016). *Study of investment in gray oyster mushroom production*. (Research report). Chonburi: Burapha University. (in Thai).
- Ministry of Agriculture and Cooperatives. (2012). *Notification of the Ministry of Agriculture and Cooperatives Subject: Thai Agricultural Standard: Pleurotus mushrooms (TAS 1514–2012), under the Agricultural Standards act B.E. 2551 (2008)*. National Food Institute, Thailand. (2014). Pesticides in gray oyster mushrooms. Thairat, (24 October 2014), 7. Retrieved August 24, 2023, from: <https://www.thairath.co.th/content/458680>. (in Thai).
- Numsiri, J., Khithen, T., Sukkasem, A., & Rungjindamai, N. (2021). A study of oyster mushrooms for producing cellulase enzyme. *Burapha Science Journal*, 27(3), 1425–1436. (in Thai).
- Pasakawee, K., Banjongsinsiri, P., Donrung, N., & Satiankomsorakrai, J. (2018). Nutritional and antioxidant properties of selected-commercial mushroom in Thailand. *Journal of Food Science and Agricultural Technology*, 4(Spl. Iss.), 36–40.
- Pongpan, D. (2004). *Mushroom production*. Chiang Mai: Vegetable Plant Branch, Department of Horticulture Faculty of Agricultural Production Maejo University. (in Thai).
- Prikupets, L. B. (2018). Technological lighting for agro-industrial installations in Russia. *Light & Engineering*, 26(1), 7–17.
- Singjaroen, B., & Sakaew, S. (2016). *Temperature and humidity control system in mushroom farm*. The 1st Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi National Conference, 176–183, (June 22, 2016), Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi, Phra Nakhon Si Ayutthaya, Thailand. (in Thai).
- Subedi, A., Luitel, A., Baskota, M., & Acharya, T. D. (2019). IoT based monitoring system for white button mushroom farming. *Proceedings 2020*, 42(1), 46.
- The National Science and Technology Development Agency. (2021). Collection of data on production and marketing of economic mushrooms and wild edible mushrooms in Thailand. Retrieved February 15, 2023 from: <https://waa.inter.nstda.or.th/stks/pub/2021/20210817-economic-mushroom-market.pdf>. (in Thai).
- Yi, Z. L., Huang, W. F., Ren, Y., Onac, E., Zhou, G. F., Peng, S., Wang, X. J., & 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.
- Youngkerd, N., & Sangdee P. (2015). *Mushroom production for sale*. Bangkok: MIS Publishing. (in Thai).