

Research Article

Received:

8 November 2025

Received in revised form:

28 January 2026

Accepted:

10 February 2026

Siwat Kamonkunanon¹, Patipat Thanompongchart¹, Eakruthai Chutchajej², Suttida Wittanalai³, Keowalee Rangsisuttaporn², Kitti Mueangtoom³ and Sittinan Thongsiri^{1,*}

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: sittinan.tho@uru.ac.th



Extended Abstract (1/2)

Background: Mushroom cultivation is an important livelihood activity in northern Thailand, particularly in community-based production systems that supply fresh mushrooms to local and regional markets. In Uttaradit and Nan provinces, fourteen farms in Uttaradit and ten farms in Nan producing Bhutanese oyster mushrooms, oyster mushrooms, and wood ear mushrooms faced persistent production challenges. These included high contamination rates of *Trichoderma* fungi (5–9%), low yields of less than 250 grams per mushroom block, and elevated production costs. The root causes were identified as inadequate sterilization procedures, poor contamination control during spawn inoculation, and reliance on traditional substrate formulations for mushroom blocks that were not optimized for local environmental conditions. These constraints limited productivity, reduced income stability, and increased losses from contaminated mushroom blocks.

Objectives: This study aimed to develop and implement a high-efficiency mushroom block production system that reduces fungal contamination, increases yield, lowers production costs, and strengthens economic, social, and environmental sustainability in mushroom-producing communities. The project also sought to enhance farmers' technical capacity through participatory knowledge transfer and to demonstrate scalable area-based innovation aligned with local resources and the sufficiency economy philosophy.

Methodology: The intervention followed a participatory, multi-stage approach. First, the project fostered awareness and shared understanding through study visits, researcher-farmer knowledge exchange, and systematic knowledge management. These activities culminated in the development of a high-efficiency mushroom block production manual covering four critical stages: (1) mushroom block formulation, (2) sterilization processes, (3) spawn inoculation, and (4) incubation and fruiting management. Second, structured training and on-site learning were conducted, combining theoretical instruction with hands-on

SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS





Extended Abstract (2/2)

mushroom block production and direct technology transfer. Farmers were encouraged to adapt high-efficiency production techniques to their local contexts rather than applying a rigid, standardized model. Third, production procedures were improved through individualized coaching and repeated practice. Farmers in selected subdistricts applied refined sterilization, inoculation, and substrate management methods. Microbiological quality was monitored by measuring yeast and mold

contamination, heavy metal residues, and *Trichoderma* infection rates in mushroom blocks.

Results and Findings: The improved production system yielded significant technical and economic gains. High-efficiency mushroom blocks showed yeast and mold contamination levels of 8.6×10^3 cfu/g, within acceptable safety thresholds ($<10.0 \times 10^3$ cfu/g), with no detectable lead or cadmium residues. The *Trichoderma* contamination rate declined dramatically from 5.8% to 0.1%, representing a 98.5% reduction. Across seven subdistricts, farmers collectively produced 1,248,000 mushroom blocks per year. Improvements in spawn inoculation practices reduced spawn usage per farm and lowered overall production costs by 21.4%. Average mushroom yield increased from 224.8 grams per block to 327.1–342.3 grams per block, corresponding to a 45.5–50.4% increase and an overall productivity gain of approximately 47.5%. These gains translated directly into improved incomes. Farmers earned an additional 45,504–164,592 THB per year (1,516.80 – 5,486.4 USD/Year) from reduced losses and higher yields. Cost savings from reduced spawn usage amounted to 6,000–18,000 THB per year per farm (200 – 600 USD/Year/Farm). Income from increased production rose by 45.3–52.3%, equivalent to 106,995–123,375 THB annually (3,566.50 – 4,112.50 USD/Year). Total net income gains ranged from 158,499 to 305,967 THB per year (5,283.30 – 10,198.90 USD/Year).

Outcome, Impacts, and Sustainability: The new mushroom fruiting management system cut the amount of working capital needed by up to four times. For example, farmers producing 10,000 blocks could stagger purchases in four cycles of 2,500 blocks, reducing initial capital requirements from 80,000 THB to 20,000 THB (2,666.67 – 666.67 USD) while maintaining continuous monthly income from staggered harvests. Socially, mushroom producers in Uttaradit established a cooperative network to exchange knowledge and jointly procure production materials, reducing input costs and strengthening collective capacity. Increased production also generated local employment, including seasonal jobs for students during school holidays. The innovation focused on making the best use of agricultural waste products that are available in the area, like rice straw, sawdust, rice husk, and other by-products. This approach reduced production costs, improved mushroom quality, and mitigated environmental problems associated with agricultural waste burning.

Keywords: Uttaradit Province, Nan Province, Mushroom production innovation, Technology transfer, *Trichoderma* fungus

บทความวิจัย

วันที่รับบทความ:

8 พฤศจิกายน 2568

วันที่แก้ไขบทความ:

28 มกราคม 2569

วันที่ตอบรับบทความ:

10 กุมภาพันธ์ 2569

ศิริวัฒน์ กมลคุณานนท์¹ ปฏิพัทธ์ ถนอมพงษ์ชาติ¹ เอกฤทัย ฉัตรชัยเดช² สุทธิดา วิทนาลัย³
เกรลีย์ รังษีสุทธาภรณ์² กิตติ เมืองดุ่ม³ และ สิทธิพันธ์ ทองศิริ^{1*}

¹คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ อำเภอเมือง จังหวัดอุตรดิตถ์ 53000

²คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ อำเภอเมือง จังหวัดอุตรดิตถ์ 53000

³คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ อำเภอเมือง จังหวัดอุตรดิตถ์ 53000

*ผู้เขียนหลัก อีเมล: sittinan.tho@uru.ac.th

บทคัดย่อ

สถานการณ์ที่เป็นอยู่เดิม: การเพาะเห็ดเป็นอาชีพที่สำคัญในภาคเหนือของประเทศไทย โดยเฉพาะการผลิตเห็ดที่ชุมชนเป็นฐานการป้อนเห็ดสดให้กับตลาดท้องถิ่นและภูมิภาค ในจังหวัดอุตรดิตถ์มีฟาร์มเห็ด 14 ฟาร์ม และน่าน 10 ฟาร์ม ที่ผลิตเห็ดนางฟ้าภูฐาน เห็ดนางรม และเห็ดหูหนู ประสบปัญหาการผลิตอย่างต่อเนื่อง ก้อนเห็ดมีอัตราการปนเปื้อนเชื้อราไตรโครเดอร์มาสูงถึงร้อยละ 5-9 ผลผลิตต่อก้อนต่ำกว่า 250 กรัม และต้นทุนการผลิตที่สูงขึ้น สาเหตุหลักคือขั้นตอนการฆ่าเชื้อที่ไม่ถูกต้อง ขั้นตอนการหยอดเชื้อเห็ดที่ไม่สามารถควบคุมการปนเปื้อน และการใช้สูตรวัสดุเพาะเห็ดแบบดั้งเดิมที่ไม่ได้ปรับให้เหมาะสมกับบริบทท้องถิ่น เกิดข้อจำกัดในการเพิ่มผลผลิต รายได้ไม่คงที่ และเกิดความสูญเสียจากก้อนเห็ดที่ปนเปื้อน

วัตถุประสงค์: การศึกษานี้มีเป้าหมายเพื่อพัฒนาและดำเนินการผลิตก้อนเห็ดที่มีประสิทธิภาพสูง ลดการปนเปื้อนของเชื้อราไตรโครเดอร์มา เพิ่มผลผลิต ลดต้นทุนการผลิต เพื่อเสริมสร้างที่ยั่งยืนทางเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อมในชุมชนผู้ผลิตเห็ด โครงการยังมุ่งหวังที่จะเสริมสร้างทักษะของเกษตรกรผ่านการถ่ายทอดเทคโนโลยี จัดการความรู้แบบมีส่วนร่วมและปรับใช้นวัตกรรมไปใช้ในพื้นที่ให้สอดคล้องกับการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ท้องถิ่นตามหลักปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียง

วิธีการดำเนินงาน: ดำเนินการตามแนวทางการมีส่วนร่วม ขั้นตอนแรกเริ่มจากโครงการได้ส่งเสริมการรับรู้และความเข้าใจร่วมกันผ่านการศึกษาดูงาน การแลกเปลี่ยนความรู้ระหว่างนักวิจัยและเกษตรกร และการจัดการความรู้อย่างเป็นระบบ เพื่อนำไปสู่การพัฒนาคู่มือการผลิตก้อนเห็ดประสิทธิภาพสูงซึ่งครอบคลุม 4 ขั้นตอนสำคัญ: (1) การเตรียมก้อนเห็ด (2) กระบวนการฆ่าเชื้อ (3) การหยอดเชื้อเห็ด และ (4) การบ่มและการเปิดดอก ขั้นตอนที่สอง การฝึกอบรวมในสถานที่ที่ได้รับการพัฒนาขึ้นร่วมกัน โดยผสมผสานการสอนภาคทฤษฎีและการผลิตก้อนเห็ดแบบลงมือทำ การถ่ายทอดเทคโนโลยีโดยตรงเพื่อให้เกษตรกรได้มีทักษะการผลิตก้อนเห็ดประสิทธิภาพสูงและปรับใช้ให้เข้ากับบริบทท้องถิ่นแทนการใช้แบบรูปการผลิตแบบดั้งเดิม ขั้นตอนที่สาม การผลิตที่มีการฝึกสอนแบบเฉพาะบุคคลและการฝึกฝนซ้ำในชุมชนเป้าหมาย ได้ปรับปรุงวิธีการฆ่าเชื้อ การหยอดและบ่มเชื้อ และทดสอบคุณภาพทางจุลชีววิทยาโดยการวัดการปนเปื้อนของยีสต์และเชื้อรา การตกค้างของโลหะหนัก และอัตราการปนเปื้อนเชื้อราไตรโครเดอร์มา



คำสำคัญ:

จังหวัดอุตรดิตถ์

จังหวัดน่าน

นวัตกรรมการผลิตเห็ด

การถ่ายทอดเทคโนโลยี

เชื้อราไตรโครเดอร์มา



บทคัดย่อ (2/2)

ผลการดำเนินงาน: ระบบการผลิตที่ปรับปรุงแล้วให้ผลลัพธ์ทางเทคนิคและเศรษฐกิจที่สำคัญคือ ก้อนเห็ดประสิทธิภาพสูงมีการปนเปื้อนของยีสต์และเชื้อราอยู่ที่ 8.6×10^3 cfu/g ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ความปลอดภัยที่ยอมรับได้ ($<10.0 \times 10^3$ cfu/g) โดยไม่มีสารตะกั่วหรือสารแคดเมียมที่ตรวจพบได้ อัตราการปนเปื้อนเชื้อราไตรโคเดอราลดลงจากร้อยละ 5.8 เป็น 0.1 คิดเป็นการการลดลงร้อยละ 98.5 ใน 7 ตำบล เกษตรกรผลิตก้อนเห็ดรวมกันได้ 1,248,000 ก้อนต่อปี การปรับปรุงวิธีการหยอดเชื้อช่วยลดการใช้

เชื้อเห็ดต่อฟาร์มและลดต้นทุนการผลิตโดยรวมลงร้อยละ 21.4 ผลผลิตเห็ดเพิ่มขึ้นจาก 224.8 เป็น 327.1-342.3 กรัมต่อก้อน เพิ่มขึ้นร้อยละ 45.5-50.4 เฉลี่ยร้อยละ 47.5 สร้างรายได้ที่สูงขึ้นโดยตรงให้กับเกษตรกร 45,504-164,592 บาทต่อปี ประหยัดค่าใช้จ่ายจากการลดการใช้เชื้อเห็ดอยู่ที่ 6,000-18,000 บาทต่อปีต่อฟาร์ม รายได้จากการเพิ่มผลผลิตเพิ่มขึ้น ร้อยละ 45.3-52.3 เทียบเท่ากับ 106,995-123,375 บาทต่อปี ผลกำไรสุทธิรวมอยู่ระหว่าง 158,499 ถึง 305,967 บาทต่อปี

ผลลัพธ์ ผลกระทบ และความยั่งยืน: ระบบการจัดการใหม่ในการเปิดดอกช่วยลดจำนวนเงินทุนหมุนเวียนที่ต้องใช้ลงได้ถึง 4 เท่า ตัวอย่างเช่น เกษตรกรที่ผลิตดอกเห็ด 10,000 ก้อนสามารถแบ่งการซื้อออกเป็นสี่รอบ รอบละ 2,500 ก้อน ลดเงินทุนเริ่มต้นจาก 80,000 บาท เหลือ 20,000 บาท แต่ยังคงมีรายได้อย่างต่อเนื่องจากการเก็บเกี่ยวผลผลิตที่ออกมาอย่างสม่ำเสมอ ในด้านสังคม ผู้ผลิตเห็ดในจังหวัดอุดรดิษฐ์ได้จัดตั้งเครือข่ายความร่วมมือเพื่อแลกเปลี่ยนความรู้และจัดซื้อวัสดุการผลิตร่วมกัน ช่วยลดต้นทุนการผลิตและเสริมสร้างความสามารถร่วมกัน การเพิ่มผลผลิตยังสร้างงานในท้องถิ่น รวมถึงมีงานสำหรับนักเรียนในช่วงปิดเทอมด้วย นวัตกรรมมุ่งเน้นการใช้ผลิตภัณฑ์ของเสียทางการเกษตรที่มีอยู่ในพื้นที่ให้เกิดประโยชน์สูงสุด เช่น ฟางข้าว ชี้เลื่อยไม้ ไร่ข้าว และผลิตภัณฑ์เหลือทิ้งอื่น ๆ ซึ่งช่วยลดต้นทุนการผลิต ปรับปรุงคุณภาพของก้อนเห็ด และบรรเทาปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับการเผาไหม้ของเสียทางการเกษตร

บทนำ Introduction

เกษตรกรในประเทศไทยประกอบอาชีพผลิตเห็ดมากกว่า 10,000 ครัวเรือน สร้างรายได้ไม่ต่ำกว่า 10,000 ล้านบาท ในแต่ละปี (National Science and Technology Development Agency, 2021) เนื่องจากประเทศไทยมีสภาพอากาศเหมาะกับการผลิตเห็ดกรรมวิธีการผลิตเห็ดไม่ยุ่งยาก และใช้ระยะเวลาสั้นในการผลิต (Saengpakornkit, 2009) นอกจากนี้ยังเป็นที่ต้องการในตลาดเป็นจำนวนมาก แบ่งเป็นการบริโภคภายในประเทศร้อยละ 97 ประเทศไทยผลิตเห็ดมากที่สุด 5 อันดับแรก ได้แก่ เห็ดฟาง เห็ดนางฟ้า เห็ดนางรม เห็ดเป๋าฮื้อ เห็ดหูหนู (Office of Agricultural Research and Development Region 1, 2022)

กระบวนการผลิตเห็ดที่ส่งผลต่อผลผลิตเห็ดทั้งในเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ มี 2 กระบวนการ คือ การผลิตก้อนเห็ดและการเปิดดอกเห็ด ทำให้มีการศึกษากระบวนการเปิดดอกเห็ดในฟาร์มอัจฉริยะ ซึ่งสามารถผลิตเห็ดได้ปริมาณเพิ่มขึ้นร้อยละ 15-20 (Kamokunanon et al., 2022) และมีคุณภาพดีกว่าเห็ดที่ผลิตในฟาร์มแบบดั้งเดิม ทำให้เกษตรกรมีรายได้เพิ่มขึ้นอย่างน้อยร้อยละ 30 สำหรับกระบวนการผลิตก้อนเห็ดส่วนใหญ่เน้นการใช้วัสดุทางเลื้อก แต่ยังไม่มีการบวนการผลิตก้อนเห็ดที่มีการปรับปรุงอาหารเพื่อเพิ่มปริมาณผลผลิตเห็ด ดังนั้นเกษตรกรจึงใช้สูตรอาหารผสมก้อนเห็ดที่บอกต่อกันมา หรือจากเอกสารแผ่นพับที่เรียนรู้จากหน่วยงานต่าง ๆ และไม่มีการพัฒนาสูตรอาหารให้เหมาะสมกับวัสดุเพาะที่ใช้ งาน ซึ่งการปรับปรุงการผลิตก้อนเห็ดจะสามารถลดอัตราการปนเปื้อนเชื้อราไตรโครเดอร์มาให้ต่ำกว่าร้อยละ 1.0 ลดปริมาณการหยอดหัวเชื้อเห็ดลงมากกว่าร้อยละ 15.0 และเพิ่มผลผลิตดอกเห็ดร้อยละ 33.7 (Kamokunanon et al., 2024)

สถานการณ์ที่เป็นอยู่เดิม Former Situation

การประกอบธุรกิจผลิตเห็ดในจังหวัดอุดรดิตรดิตต์และจังหวัดน่านแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ 1) การผลิตก้อนเห็ด และ 2) การผลิตดอกเห็ด ทำให้มีรายได้หมุนเวียนมากกว่าปีละ 25 ล้านบาท (Kamokunanon et al., 2025) และเป็นแหล่งผลิตก้อนเห็ดสำหรับจำหน่ายในจังหวัดและจังหวัดใกล้เคียง รวมถึงกรุงเทพมหานครและปริมณฑล โดยมีฟาร์มผลิตก้อนเห็ดเพื่อจำหน่ายในจังหวัดอุดรดิตรดิตต์ 14 ฟาร์ม และจังหวัดน่าน 10 ฟาร์ม ซึ่งก้อนเห็ดที่ได้รับความนิยมมากที่สุด 3 อันดับแรก คือ ก้อนเห็ดนางฟ้าภูฐาน เห็ดนางรม และเห็ดหูหนู ตามลำดับ

จังหวัดอุดรดิตรดิตต์มีการผลิตก้อนเห็ดใน 4 อำเภอ คือ อำเภอเมือง อำเภอลับแล อำเภอพิชัย และอำเภอทองแสนขัน สร้างมูลค่าทางเศรษฐกิจประมาณเดือนละ 800,000-1,000,000 บาท มูลค่าจากการขายดอกเห็ดประมาณเดือนละ 400,000-600,000 บาท รวมมูลค่าทางเศรษฐกิจมากกว่า 15 ล้านบาทต่อปี โดยมีเพียง 1 ฟาร์มในอำเภอพิชัยที่มีกำลังการผลิตมากกว่า 30,000-40,000 ก้อนต่อเดือน และส่งไปจำหน่ายในจังหวัดอุดรดิตรดิตต์และจังหวัดใกล้เคียง เช่น จังหวัดสุโขทัยแพร่ เป็นต้น รวมทั้งกรุงเทพมหานครและปริมณฑล แต่ปริมาณการจำหน่ายก้อนเห็ดขึ้นอยู่กับคุณภาพของก้อนเห็ด ซึ่งต้องไม่มีเชื้อราเกิดขึ้นในก้อนเห็ดจากกระบวนการผลิต และก้อนเห็ดสามารถเปิดดอกได้ในปริมาณมาก

จังหวัดน่านมีการผลิตก้อนเห็ดใน 4 อำเภอ คือ อำเภอเมือง อำเภอเชียงกลาง อำเภอภูเพียง และอำเภอเวียงสา สร้างมูลค่าทางเศรษฐกิจประมาณเดือนละ 500,000-7,000,000 บาท มูลค่าจากการขายดอกเห็ดประมาณเดือนละ 300,000-400,000 บาท รวมมูลค่าทางเศรษฐกิจมากกว่า 10 ล้านบาทต่อปี แต่ปริมาณการผลิตก้อนเห็ดไม่สม่ำเสมอ ขึ้นลงตามคุณภาพของก้อนเห็ดหรือตามคำสั่งซื้อของฟาร์มที่นำไปเปิดดอกเห็ดในโรงเรือน เช่น เมื่อสั่งซื้อก้อนเห็ดจากผู้ผลิตแล้วนำมาเปิดดอกเห็ดในฟาร์ม หากพบการปนเปื้อนเชื้อราไตรโครเดอร์มาในก้อนเห็ดในปริมาณสูง และก้อนเห็ดให้ผลผลิตต่ำกว่า 250 กรัมต่อก้อน (Kamokunanon & Khumfu, 2024) เกษตรกรจะไม่สั่งซื้อก้อนเห็ดจากผู้จำหน่ายรายเดิม และจะเปลี่ยนไปซื้อจากฟาร์มผลิตก้อนเห็ดแหล่งอื่น ๆ เพื่อค้นหาผู้ผลิตก้อนเห็ดที่มีคุณภาพ ทำให้เกษตรกรที่ประกอบอาชีพผลิตก้อนเห็ดต้องผลิตก้อนเห็ดตามคำสั่งซื้อของลูกค้า

ปัญหาก้อนเห็ดไม่มีคุณภาพและให้ผลผลิตต่ำยังคงเป็นปัญหาที่เกษตรกรไม่สามารถแก้ไขได้ เนื่องจากสาเหตุหลักดังนี้ เกษตรกรผู้ผลิตก้อนเห็ดไม่สามารถควบคุมคุณภาพก้อนเห็ดให้ปราศจากเชื้อราไตรโครเดอร์มา และก้อนเห็ดให้ผลผลิตดอกเห็ดต่ำ จาก 2 สาเหตุ คือ 1) เกษตรกรขาดความรู้ในการผลิตก้อนเห็ดที่ให้ผลผลิตสูง และกระบวนการฆ่าเชื้อที่ลดการปนเปื้อนเชื้อราไตรโครเดอร์มา และ 2) กระบวนการควบคุมปัจจัยการผลิตเห็ดในโรงเรือน 4 ปัจจัย คือ อุณหภูมิ ความชื้น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และแสง (Kamokunanon et al., 2025) ดังนั้นผู้ผลิตก้อนเห็ดในจังหวัดอุดรดิตรดิตต์และน่านจึงต้องการเทคโนโลยีการผลิตก้อนเห็ดประสิทธิภาพสูงที่ให้ผลผลิตดอกเห็ดสูง ออกดอกไว และปราศจากเชื้อราไตรโครเดอร์มา และการควบคุมปัจจัยการผลิตเห็ดในโรงเรือนจากการลงพื้นที่สำรวจข้อมูลใน 5 ฟาร์ม พบว่า 4 ฟาร์มใช้สูตรการผลิตก้อนเห็ดแบบดั้งเดิมที่ใช้มากกว่า 15 ปี โดยมี 1 ฟาร์มลงทุนซื้อหัวอาหารสำหรับการผลิตก้อนเห็ดน้ำหนัก 10 กิโลกรัมในราคาถุงละ 220 บาท ซึ่งทำให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้นร้อยละ 15 และการผลิตก้อนเห็ดใน 7 ตำบล ในจังหวัดอุดรดิตรดิตต์ 5 ตำบล คือ ตำบลไผ่ล้อม ตำบลป่าเซ่า ตำบลวังดิน ตำบลบ้านหม้อ และตำบล

บ่อทอง และจังหวัดน่าน 2 ตำบล คือ ตำบลดู่ใต้ และตำบลบ่อสวก ดังภาพที่ 1 (Figure 1) และมีอัตราการปนเปื้อนเชื้อราไตรโครเดอร์มา ในก้อนเห็ด และผลผลิตจากการผลิตก้อนเห็ดสูตรดั้งเดิม ดังตารางที่ 1 (Table 1) ผลผลิตก้อนเห็ดใน 7 ตำบล รวมเดือนละ 104,000 ก้อน โดยก้อนเห็ดที่ติดเชื้อราเฉลี่ย 5,948 ก้อนต่อเดือน คิดเป็นอัตราการปนเปื้อนราร้อยละ 5.8 และชุมชนมีผลผลิตเห็ดจากสูตรอาหารแบบดั้งเดิมระหว่าง 198.1–237.8 กรัมต่อก้อน เฉลี่ย 224.8 กรัมต่อก้อน โดยส่วนที่สำคัญคือ อัตราการปนเปื้อนราสูงถึงร้อยละ 5.8 ทำให้สูญเสียก้อนเห็ด 5,948 ก้อน เมื่อคำนวณราคาจำหน่าย 8 บาทต่อก้อน จึงมีมูลค่าความสูญเสีย 47,584 บาทต่อเดือน หรือ 571,008 บาทต่อปี สาเหตุหลักในการผลิตก้อนเห็ดแล้วได้ผลผลิตที่ติดเชื้อราคือ กระบวนการนึ่งก้อนเห็ดที่ไม่สามารถฆ่าเชื้อราได้หมด และกระบวนการหยอดเชื้อที่ไม่ได้ป้องกันการปนเปื้อนเชื้อรา ดังภาพที่ 2 (Figure 2) ทำให้เกิดการปนเปื้อนในก้อนเห็ดและนำไปสู่ผลผลิตก้อนเห็ดที่เสียหายไม่สามารถจำหน่ายได้ ดังภาพที่ 3 (Figure 3)

นอกจากนี้กระบวนการผลิตก้อนเห็ดของเกษตรกร ดังตารางที่ 2 (Table 2) ยังเป็นกระบวนการผลิตแบบบอกต่อกันมา

ไม่มีการปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อลดอัตราการปนเปื้อนเชื้อรา โดยใช้เวลานึ่งก้อนเห็ด 4–5 ชั่วโมง ซึ่งไม่เพียงพอที่จะทำให้ก้อนเห็ดปลอดเชื้อรา กระบวนการหยอดเชื้อเห็ดไม่มีการป้องกันเชื้อรา มีเพียงตำบลบ้านหม้อที่มีห้องหยอดเชื้อซึ่งเป็นห้องเฉพาะที่ไม่มีลมพัดผ่าน

กระบวนการที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงและการยอมรับของชุมชนเป้าหมาย Pathways of Change and Acceptance in the Target Community

ขั้นตอนที่ 1 การสร้างความตระหนักและความเข้าใจ ให้กับเกษตรกร

การศึกษาดูงานและการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ระหว่างนักวิจัยและเกษตรกร โดยกำหนดคุณสมบัติของเกษตรกรที่เข้าร่วมกิจกรรม คือ ประกอบอาชีพผลิตก้อนเห็ดในจังหวัดอุตรดิตถ์หรือน่าน และมีประสบการณ์ในการผลิตก้อนเห็ดอย่างน้อย 5 ปี



Figure 1 Mushroom block production in 7 subdistricts; (a) Pai Lom, (b) Pa Sao, (c) Wang Din, (d) Ban Mor, (e) Bo Thong, (f) Doo Tai, and (g) Bor Suag

Table 1 The rate of *Trichoderma* in mushroom blocks and the yield obtained from producing mushroom blocks using the traditional formula

Subdistricts	Number of mushroom blocks produced (blocks/month)	Number of mushroom blocks infected with fungal contaminants (blocks)	Fungal infection rate (%)	Output (gram/spawn)
1. Pai Lom	10,000	650	6.5	228.4
2. Pa Sao	16,000	1082	6.8	235.8
3. Wang Din	10,000	523	5.2	236.5
4. Ban Mor	30,000	1524	5.1	237.8
5. Bo Thong	20,000	1124	5.6	214.9
6. Doo Tai	10,000	623	6.2	221.8
7. Bor Suag	8,000	421	5.3	198.1
Average/Summary	104,000	5,948	5.8	224.8



Figure 2 Steps in mushroom block production that contribute to *Trichoderma* infection; (a) Mushroom block steaming process and (b) Mushroom inoculation process

หลังจากเข้าร่วมกิจกรรมการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ จึงดำเนินการจัดการความรู้เพื่อสังเคราะห์องค์ความรู้และผลิตคู่มือการผลิตก้อนเห็ดประสิทธิภาพสูงใน 4 ประเด็น คือ กระบวนการทำก้อนเห็ด การฆ่าเชื้อก้อนเห็ด การหยอดเชื้อเห็ดและการบ่มเชื้อ และการเปิดดอกเห็ด ดังภาพที่ 4 (Figure 4)

กระบวนการผลิตก้อนเห็ดมีขั้นตอนที่สำคัญคือ การใช้สูตรอาหารที่เหมาะสมกับวัสดุเพาะ โดยต้องมีสัดส่วนของวัสดุเพาะตามคู่มือการผลิต การนึ่งฆ่าเชื้อจะต้องปรับเวลาให้ครบ 6 ชั่วโมงโดยนับเวลานาทีที่ 1 เมื่อความร้อนบริเวณใจกลางก้อนเห็ดมีอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส การหยอดเชื้อเห็ดต้องหยอดเชื้อในปริมาณที่ลดลงจากแบบดั้งเดิมและต้องทำให้ห้องหยอดเชื้อป้องกันลมพัดผ่าน เพื่อไม่ให้เชื้อในอากาศเข้าไปในก้อนเห็ด ซึ่งเกษตรกรใน

ทุกชุมชนต้องดำเนินการผลิตก้อนเห็ดตามคู่มือที่จัดทำและนำไปติดตั้งในทุกฟาร์มที่ผลิตก้อนเห็ด นอกจากนั้นเมื่อนำก้อนเห็ดไปเปิดดอกในโรงเรือน เกษตรกรต้องควบคุมปัจจัยการผลิต 4 ปัจจัยให้ตรงตามที่กำหนด เพื่อให้เห็ดเจริญเติบโตได้ดีตามปัจจัยการผลิตที่เหมาะสม

ขั้นตอนที่ 2 การฝึกอบรมและการถ่ายทอดความรู้การผลิตก้อนเห็ด

เกษตรกรมีการเรียนรู้ในพื้นที่ร่วมกับการบรรยายภาคทฤษฎีและทดลองผลิตก้อนเห็ดด้วยตนเอง ซึ่งกระบวนการฝึกผลิตก้อนเห็ดประสิทธิภาพสูงจะดำเนินการตามคู่มือที่ติดตั้งในฟาร์มผลิตก้อนเห็ดทุกแห่ง การถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตไปสู่

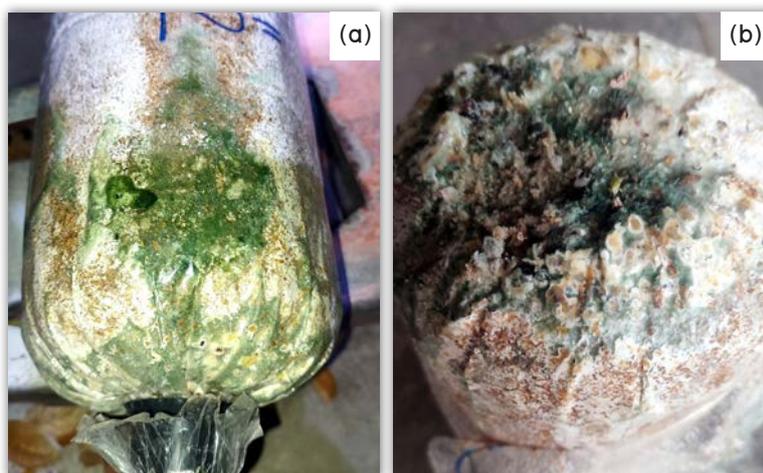


Figure 3 *Trichoderma*-infected mushroom block; (a) The side of the mushroom block and (b) The top of the mushroom block

Table 2 Mushroom block production process in the pre-change scenario and improvement plan

Subdistricts	Site-situation						Mushroom block mix formula	Development/improvement
	Streaming time			Inoculation process				
	4 h	5 h	*6 h	No guard	Use guard	**Use room		
1. Pai Lom		✓		✓			✓	– Increase streaming time from 5 to 6 h – Use room for inoculation – Use new block mix formula
2. Pa Sao	✓				✓		✓	– Increase streaming time from 4 to 6 h – Use room for inoculation – Use new block mix formula
3. Wang Din		✓			✓		✓	– Increase streaming time from 5 to 6 h – Use room for inoculation – Use new block mix formula
4. Ban Mor		✓				✓	✓	– Increase streaming time to 6 h – Use new block mix formula
5. Bo Thong	✓			✓			✓	– Increase streaming time from 4 to 6 h – Use room for inoculation – Use new block mix formula
6. Doo Tai		✓			✓		✓	– Increase streaming time from 5 to 6 h – Use room for inoculation – Use new block mix formula
7. Bor Suag		✓		✓			✓	– Increase streaming time from 5 to 6 h – Use room for inoculation – Use new block mix formula

Note: *Good practice for streaming time, **Good practice for inoculation process

เกษตรกร เพื่อให้เกษตรกรนำชุดความรู้ไปใช้เป็นแนวทางในการผลิตก้อนเห็ด โดยการปรับใช้เทคโนโลยีกระบวนการผลิตก้อนเห็ดประสิทธิภาพสูง

การทดลองเปรียบเทียบผลผลิตดอกเห็ดจำนวน 9 ทริตเมนต์ ทริตเมนต์ละ 1,000 ก้อน ประกอบด้วย ทริตเมนต์ A เป็นก้อนเห็ดของเกษตรกรที่ไม่ได้เข้าร่วมโครงการ จำนวน 1,000



Figure 4 Mushroom block production guide; (a) Material mixing, (b) Streaming, (c) Inoculating the mushroom spawn, and (d) Mushroom flowering production

ก้อน ทรีตเมนต์ B เป็นก้อนเห็ดแบบดั้งเดิมของเกษตรกร จำนวน 1,000 ก้อน และทรีตเมนต์ C-I เป็นก้อนเห็ดจากการผลิตก้อนเห็ดประสิทธิภาพสูงจาก 7 ตำบล ดังนี้ จังหวัดอุดรธานี 5 ตำบล คือ ตำบลไผ่ล้อม ตำบลป่าเช่า ตำบลวังดิน ตำบลบ้านหม้อ และตำบลบ่อทอง และจังหวัดน่าน 2 ตำบล คือ ตำบลคูใต้ และตำบลบ่อสวก ตำบลละ 1,000 ก้อน รวมทั้งหมด 9 ทรีตเมนต์ จำนวนรวม 9,000 ก้อน โดยนำไปเปิดดอกเห็ดในโรงเรือนที่สามารถควบคุมปัจจัยการผลิตเห็ดได้ทั้ง 4 ปัจจัย โดยมีผลการทดลองเปิดดอกดังตารางที่ 3 (Table 3)

การเปิดดอกเห็ดจากก้อนเห็ดที่ไม่ได้เข้าร่วมโครงการก้อนเห็ดสูตรดั้งเดิม และก้อนเห็ดประสิทธิภาพสูงจาก 7 ตำบล มีผลผลิตเฉลี่ยต่อก้อนเท่ากับ 175.1, 224.8, 327.3, 330.6, 338.1, 342.3, 326.7, 327.1 และ 329.2 กรัม ตามลำดับ โดยใช้ผลผลิตดอกเห็ดจากก้อนเห็ดสูตรดั้งเดิมเป็นฐาน พบว่า ผลผลิตดอกเห็ดจากกลุ่มที่ไม่ได้เข้าร่วมโครงการให้ผลผลิตต่ำกว่าร้อยละ 22.1 ผลการผลิตดอกเห็ดจากก้อนเห็ดประสิทธิภาพสูงทั้ง 7 ตำบล เพิ่มขึ้นจากเดิมที่ 224.8 กรัม คิดเป็นร้อยละที่เพิ่มขึ้น 45.6, 47.1, 50.4, 52.3, 45.3, 45.5 และ 46.4 ตามลำดับ เฉลี่ยเพิ่มขึ้นร้อยละ 47.5 เมื่อทดสอบความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA) ดังตารางที่ 4 (Table 4) พบว่า ผลผลิตเห็ดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 ($p\text{-value} = 0.0002125 > 0.05$) แต่เมื่อทดสอบความแตกต่างทางสถิติ t-Tests (2-tailed) ระหว่างผลการ

ผลิตดอกเห็ดจากก้อนเห็ดสูตรดั้งเดิมกับค่าเฉลี่ยผลผลิตดอกเห็ดจากก้อนเห็ดประสิทธิภาพสูงของ 7 ตำบล พบว่า ผลผลิตเห็ดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 ($p\text{-value} = 0.0026 < 0.05$) ปริมาณดอกเห็ดเพิ่มขึ้นในทุกชุมชนเนื่องจากการใช้ก้อนเห็ดประสิทธิภาพสูงในการเปิดดอก ซึ่งผลิตจากการปรับสูตรอาหารในก้อนเห็ดให้มีปริมาณธาตุอาหารที่เหมาะสมกับปริมาณเชื้อเห็ดในก้อน ซึ่งเป็นผลจากการทดลองที่พบว่าสัดส่วนของธาตุอาหารหลักที่อยู่ในรำข้าวส่งผลต่อปริมาณดอกเห็ด โดยเพิ่มจากร้อยละ 6 เป็น 12

การวิเคราะห์ต้นทุนด้านพลังงานในการผลิตที่เปลี่ยนแปลงโดยการทดลองผลิตก้อนเห็ดจำนวน 1,000 ก้อน กรณีใช้เชื้อเพลิงไม้ฟืนในการนึ่งฆ่าเชื้อที่ระยะเวลารวม 6 ชั่วโมง พบว่า ใช้เชื้อเพลิง 228 กิโลกรัม และน้ำ 420 ลิตร มีค่าใช้จ่ายไม้ฟืน 182.40 บาท (อ้างอิงราคาเชื้อเพลิงตันละ 800 บาท) และค่าน้ำ 5.04 บาท (ราคาน้ำประปาส่วนภูมิภาค 0.012 บาทต่อลิตร) รวมต้นทุน 187.44 บาท คิดเป็นราคาต้นทุนที่ 0.16 บาทต่อก้อน และกรณีการปรับกระบวนการนึ่งใหม่โดยมีระยะเวลา 9 ชั่วโมง เพื่อบริเวณใจกลางก้อนเห็ดมีอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ใช้เชื้อเพลิงไม้ฟืน 283 กิโลกรัม น้ำ 600 ลิตร มีค่าใช้จ่ายไม้ฟืน 226.4 บาท และค่าน้ำ 7.20 บาท รวมต้นทุน 233.6 บาท คิดเป็นราคาต้นทุน 0.20 บาทต่อก้อน ทำให้ต้นทุนด้านพลังงานสูงขึ้น 0.04 บาท แต่เกษตรกรสามารถลดอัตราการปนเปื้อนเชื้อราไตรโคเดอรมาจากร้อยละ

Table 3 Results of Increases in mushroom yield when using high-efficiency mushroom blocks

Subdistricts	Did not participate in the project (Treatment A)	Original formula (Treatment B)	Pai Lom (Treatment C)	Pa Sao (Treatment D)	Wang Din (Treatment E)	Ban Mor (Treatment F)	Bo Thong (Treatment G)	Doo Tai (Treatment H)	Bor Suag (Treatment I)	Avg. in 7 Subdistricts
Flowering time	(gram/block)	(gram/block)	(gram/block)	(gram/block)	(gram/block)	(gram/block)	(gram/block)	(gram/block)	(gram/block)	(gram/block)
1	30.9	62.1	92.9	91.2	103.9	123.0	93.2	108.0	99.3	101.6±11.3
2	44.9	59.7	66.8	73.1	90.6	77.3	64.3	72.2	73.0	73.9±8.5
3	26.9	31.0	57.5	55.2	46.4	41.0	57.2	44.8	47.3	49.9±6.6
4	23.7	16.7	29.2	28.2	30.7	27.6	25.5	26.3	26.0	27.6±1.9
5	16.1	15.5	26.5	25.7	22.3	23.5	25.1	23.3	24.4	24.4±1.5
6	13.2	14.8	24.3	20.4	14.3	16.5	22.6	20.1	21.2	19.9±3.5
7	9.6	10.5	13.9	16.6	11.6	14.4	18.5	15.4	15.5	15.1±2.2
8	6.5	8.8	10.1	12.5	10.5	10.2	13.5	8.2	13.3	11.2±2.0
9	3.3	5.7	6.1	7.7	7.8	8.8	6.8	8.8	9.2	7.9±1.1
Sum.	175.1	224.8	327.3	330.6	338.1	342.3	326.7	327.1	329.2	331.6±6.1
Increase (%)	- 22.1	-	45.6	47.1	50.4	52.3	45.3	45.5	46.4	47.5±2.7

Table 4 Results of ANOVA of mushroom production

Source of variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Rows	58839.9	8	7354.99	84.3598	5.070E-31	2.08676
Columns	3158.62	8	394.828	4.52857	0.0002125	2.08676
Error	5579.91	64	87.186			
Total	67578.5	80				

5.8 เหลือร้อยละ 0.1 ซึ่งทำให้สามารถจำหน่ายก้อนเห็ดได้เพิ่มขึ้น ทำให้เกษตรกรมีกำไรเพิ่มขึ้นเฉลี่ยต่อก้อน 0.45 บาท เมื่อหักต้นทุนที่สูงขึ้น 0.04 บาท ทำให้มีรายได้เพิ่มขึ้นสุทธิ 0.41 บาทต่อก้อน

การพัฒนาเกณฑ์คุณภาพก้อนเห็ดประสิทธิภาพสูงและการพัฒนาเกณฑ์การสร้างกระบวนการผลิตก้อนเห็ดปลอดเชื้อราโดยการทดลองหาสูตรอาหาร และวัสดุเพาะที่เหมาะสมต่อการเจริญของเห็ดนางฟ้าภูฐานในวัสดุเพาะ 3 ทริตเมนต์ ประกอบด้วย ทริตเมนต์ 1 ก้อนเห็ดที่เกษตรกรผลิตแบบดั้งเดิม ทริตเมนต์ 2 ก้อนเห็ดประสิทธิภาพสูง และทริตเมนต์ 3 ก้อนเห็ดที่ไม่ได้เข้าร่วมโครงการ ปลอดการปนเปื้อนเชื้อรา โดยมีองค์ประกอบ อัตราส่วน และวิธีการฆ่าเชื้อที่แตกต่างกัน และทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมี ปริมาณธาตุอาหาร ประสิทธิภาพในการสร้างเส้นใย การเปิดดอก ผลผลิต และการปนเปื้อน ดังผลการทดลองในภาพที่ 5 (Figure 5) ผลการวิเคราะห์คุณภาพก้อนเห็ด 3 ทริตเมนต์ ดังนี้

1) การปนเปื้อนเชื้อราไตรโคเรเตอร์มา การวิเคราะห์การปนเปื้อนของเชื้อราในก้อนเห็ดทั้ง 3 ทริตเมนต์ ด้วยวิธี Standard multiple tube method ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 5 (Table 5) พบว่า ทริตเมนต์ 2 มีการปนเปื้อนของยีสต์และราวน้อยที่สุด และทริตเมนต์ 1 พบการปนเปื้อนของยีสต์และรามากที่สุด โดยทั่วไป

ปริมาณยีสต์และราที่พบในก้อนเชื้อเห็ดที่เหมาะสมไม่ควรเกิน 10.0×10^3 cfu/g หากเกินเป็นการบ่งชี้ถึงการปนเปื้อนที่มากเกินไปเสี่ยงต่อการเกิดโรคในก้อนเชื้อเห็ดและทำให้ผลผลิตมีปริมาณลดลง แม้ว่ามาตรฐานสินค้าเกษตร (มกษ. 2504-2555) เรื่องการปฏิบัติทางการเกษตรที่ดีสำหรับเห็ดเพาะในถุง (Ministry of Agriculture and Cooperatives, 2012) และมาตรฐานสินค้าเกษตร (มกษ. 2510-2563) การปฏิบัติที่ดีสำหรับการผลิตก้อนเชื้อเห็ด (Ministry of Agriculture and Cooperatives, 2020) จะไม่ได้กำหนดเกณฑ์มาตรฐานเกี่ยวกับปริมาณเชื้อราที่ปนเปื้อนในก้อนเชื้อเห็ด มีเพียงเกณฑ์กำหนดเกี่ยวกับกระบวนการผลิตในโรงเรือนปนเปื้อนเชื้อเห็ด ดังนั้นควรเลือกก้อนเชื้อเห็ดจากแหล่งที่เชื่อถือได้ ตรงกับชนิดพันธุ์ที่ต้องการผลิต ไม่มีร่องรอยของศัตรูเห็ดโดยเฉพาะไรและเชื้อราอื่น ซึ่งก้อนเชื้อเห็ดสูตรประสิทธิภาพสูงมีการปนเปื้อนในระดับที่ต่ำมาก สอดคล้องกับแนวทางของมาตรฐานสินค้าเกษตรที่กำหนดให้การผลิตก้อนเชื้อเห็ดต้องควบคุมไม่ให้มีศัตรูเห็ด การทดสอบการปนเปื้อนของไลเททหนัก ทั้ง 3 ทริตเมนต์ ไม่พบไลเททหนักทั้งตะกั่วและแคดเมียม จากผลการทดสอบความแปรปรวน (ANOVA) พบว่า ปริมาณการปนเปื้อนเชื้อราไตรโคเรเตอร์มาและยีสต์ของทั้ง 3 ทริตเมนต์ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 ($p\text{-value} = 0.00025 < 0.05$)



Figure 5 Three treatments of mushroom blocks

2) ประสิทธิภาพการสร้างเส้นใย และการเปิดดอกของก้อนเห็ด ผลการเดินของเส้นใยเห็ดจากหัวเชื้อเห็ดนางฟ้าภูฐาน ในสถานที่ที่มีการควบคุมปัจจัยการผลิตคือ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และแสงที่เหมาะสมต่อการเดินเส้นใย เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบการสร้างเส้นใย การเปิดดอกและผลผลิต โดยมีการบันทึกผลการเดินของเส้นใย 10 และ 15 วัน ดังตารางที่ 6 (Table 6) และภาพที่ 6 (Figure 6) พบว่าระยะเวลา 10 และ 15 วัน ของทรีตเมนต์ที่ 2 เส้นใยของเชื้อเดินเร็วที่สุด อยู่ที่ร้อยละ 50 และ 72 ของก้อน ตามลำดับ รองลงมาคือ ทรีตเมนต์ที่ 1 เส้นใยเดินร้อยละ 45 และ 68 ของก้อน ตามลำดับ และทรีตเมนต์ที่ 3 เส้นใยเดินร้อยละ 40 และ 68 ของก้อน ตามลำดับ ที่ระยะเวลา 10 วัน และ 15 วัน ทรีตเมนต์ที่ 2 มีร้อยละการ

เดินเส้นใยเร็วที่สุดจาก 3 ทรีตเมนต์ จากการทดสอบความแปรปรวน (ANOVA) พบว่า การเดินเส้นใยของก้อนเห็ดทั้ง 3 ทรีตเมนต์ มีอย่างน้อย 1 คู่ ที่มีความแตกต่างกันที่เวลา 10 และ 15 วัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 ($p\text{-value} = 0.0008043 < 0.05$) ดังตารางที่ 7 (Table 7)

การศึกษาระยะเวลาการเจริญของเส้นใยเห็ดนางฟ้าภูฐาน ในการเจริญเต็มก้อนเห็ดพบว่า การเจริญของเส้นใยเห็ดทั้ง 3 ทรีตเมนต์ ใช้ระยะเวลา 23-27 วัน หลังการหยอดเชื้อ โดยทรีตเมนต์ที่ 2 ใช้ระยะเวลาการเดินของเชื้อเต็มก้อนเห็ดเร็วที่สุด 23 วัน รองลงมาคือ ทรีตเมนต์ที่ 1 ใช้เวลา 24 วัน และทรีตเมนต์ที่ 3 ใช้เวลา 27 วัน ตามลำดับ ทั้งนี้ระยะเวลาที่เริ่มเก็บผลผลิตของทรีตเมนต์ที่ 1 และทรีตเมนต์ที่ 2 คือ 29 วันเท่ากัน ในขณะที่

Table 5 Contamination of yeast and molds and Heavy metal contamination of mushroom blocks, 3 Treatments

Treatment	Fungal contamination: Yeast and molds, average (cfu/g)	Fungal contamination: Yeast and molds, S.D. (cfu/g)	Heavy metal contamination (lead and cadmium)
1	32.0×10^3	3.15×10^3	Not found
2	8.6×10^3	0.21×10^3	Not found
3	19.3×10^3	0.42×10^3	Not found

Note: Treatment 1; Original formula (control), Treatment 2; High-efficient formula (high efficiency), Treatment 3; Non-participating formula (benchmark)

Table 6 Growth of Bhutanese oyster mushroom mycelium in 3 mushroom treatments

Treatment	Percentage of mycelial growth in the mushroom block		The mycelium has fully colonized the substrate (days)
	10 days	15 days	
1	44.7 ± 1.5	68.0 ± 1.0	24
2	50.0 ± 1.0	72.0 ± 1.0	23
3	40.3 ± 1.5	68.0 ± 2.0	27

Note: Treatment 1; Original formula (control), Treatment 2; High-efficient formula (high efficiency), Treatment 3; Non-participating formula (benchmark)

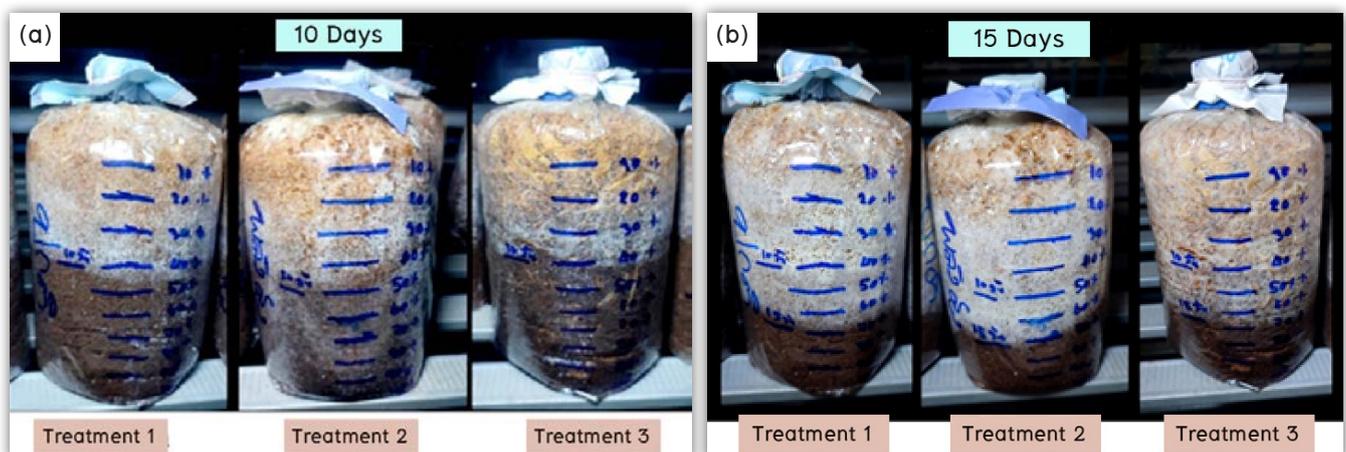


Figure 6 Mycelial growth on 3 treatments of mushroom in spawn blocks after; (a) 10 days and (b) 15 days

ทรีตเมนต์ที่ 3 ใช้ระยะเวลาในการเริ่มเก็บผลผลิตนานที่สุด คือ 33 วัน เมื่อเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของเส้นใยในวัสดุเพาะแต่ละทรีตเมนต์ พบว่า ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของเส้นใยเห็นนางฟ้าคือ วัสดุเพาะและธาตุอาหาร ซึ่งทรีตเมนต์ที่ 1 และ 2 มีส่วนประกอบหลักเป็นขี้เลื่อยไม้ยางพาราที่มีธาตุคาร์บอนและไนโตรเจนต่ำ ส่วนทรีตเมนต์ที่ 3 ประกอบด้วย ขี้เลื่อยไม้จำฉาที่เป็นไม้เนื้ออ่อน มีลิกนินและเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบหลัก และการอัดก้อนเห็ดที่แตกต่างกัน ส่งผลต่อการเจริญของเส้นใยเนื่องจากการอัดก้อนเห็ดที่หลวมกว่าทำให้มีช่องว่างอากาศภายในถุงก้อนเห็ด จึงทำให้เส้นใยเห็ดเจริญและแทงผ่านวัสดุเพาะได้ง่ายกว่า แต่การเจริญของเส้นใยเห็ดไม่มีผลต่อผลผลิตเห็ด เนื่องจากเส้นใยที่เดินเต็มก้อนเห็ดแล้วจะผลิตดอกเห็ดภายใต้ปัจจัยอาหารในก้อนเห็ดและปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ ความชื้น คาร์บอนไดออกไซด์ และแสง

การทดลองปรับการผสมสูตรอาหารและนึ่งฆ่าเชื้อตามกระบวนการที่กำหนดไว้ 6 ขั้นตอน ในฟาร์มของเกษตรกร 7 ฟาร์ม พบว่า เมื่อผสมอาหารในก้อนเห็ดตามสูตรที่กำหนด ผลผลิตเพิ่มขึ้นร้อยละ 27.5 ลดการปนเปื้อนเชื้อราไตรโคเดอรมาเหลือร้อยละ 0.1 ลดปริมาณการใช้หัวเชื้อเห็ดร้อยละ 25.0

กระบวนการผลิตก้อนเห็ดดังภาพที่ 7 (Figure 7) เกษตรกรต้องควบคุมปัจจัยการผลิตดอกเห็ดในโรงเรือนใน 4 ปัจจัย ดังนี้ 1) อุณหภูมิ ระหว่าง 28–32 องศาเซลเซียส 2) ความชื้นสัมพัทธ์ ร้อยละ 70–90 3) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไม่เกิน 2,000 พีพีเอ็ม และ 4) แสงที่ความเข้มไม่เกิน 100 ลักซ์ เพื่อให้ปัจจัยการผลิตเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเห็ด ซึ่งผลการปรับกระบวนการผลิตใน 2 ขั้นตอน คือ กระบวนการผสมสูตรอาหารในก้อนเห็ดดังตารางที่ 8 (Table 8) และกระบวนการฆ่าเชื้อในก้อนเห็ด ดังตารางที่ 9 (Table 9)

ขั้นตอนที่ 3 การปรับปรุงกระบวนการผลิตและลงมือปฏิบัติจริง

การลงมือปฏิบัติทำให้เกษตรกรเกิดความเคยชินกับกระบวนการผลิตใหม่ นอกจากนั้นยังมีการสอนเฉพาะบุคคล ดังภาพที่ 8 (Figure 8) เพื่อแก้ปัญหาการผลิตที่แตกต่างกันในแต่ละตำบล ดังนี้

1) ตำบลไผ่ล้อม ใช้วัสดุเพาะขี้เลื่อยไม้จำฉา จึงต้องปรับสูตรการใส่ธาตุอาหารหลักคือ เพิ่มสัดส่วนรำข้าวละเอียด จากร้อยละ 12 เป็นร้อยละ 18 และต้องอัดก้อนเห็ดให้แน่นขึ้นกว่าเดิมเนื่องจากไม่ใช้เครื่องอัดก้อนเห็ด

2) ตำบลป่าเช่า ใช้ก้อนเห็ดขนาดใหญ่กว่าปกติ จึงต้องจับเวลาการนึ่งเพื่อให้อุณหภูมิของใจกลางก้อนเห็ดถึง 100 องศาเซลเซียส จึงจะเริ่มนับเป็นนาฬิกาที่ 1 และนึ่งจนครบ 6 ชั่วโมง

3) ตำบลวังดิน หยอดเชื้อเห็ดมากเกินไป จึงต้องฝึกให้เกษตรกรหยอดเชื้อเห็ดให้ได้ 60 ก้อนต่อเชื้อเห็ด 1 ขวด

4) ตำบลบ้านหม้อ ใช้รำข้าวเหนียวเป็นส่วนผสม จึงต้องปรับสูตรจากการใช้รำข้าวร้อยละ 12 เหลือ ร้อยละ 10 และฝึกการหยอดเชื้อเห็ดให้ได้ 60 ก้อนต่อเชื้อเห็ด 1 ขวด

5) ตำบลปอทอง ใช้หัวอาหารเป็นส่วนผสม ซึ่งซื้อในราคา 20 บาทต่อกิโลกรัม ทำให้ต้นทุนสูง จึงปรับเป็นใช้รำข้าวร้อยละ 12 แทนการใช้หัวอาหาร และปรับกระบวนการหยอดเชื้อเป็นการเปิดก้อนเห็ด 1 ก้อนต่อการหยอด 1 ครั้ง เพื่อลดการปนเปื้อนของเชื้อราที่อยู่ในอากาศ

6) ตำบลคูใต้ ปรับการหยอดเชื้อเห็ด โดยทำฉากกันอากาศเพื่อลดอัตราการปนเปื้อนเชื้อราที่อยู่ในอากาศ และฝึกการหยอดเชื้อให้ได้ 60 ก้อนต่อเชื้อเห็ด 1 ขวด

7) ตำบลปอสงวอ ปรับปริมาณการหยอดเชื้อเห็ดให้ได้ 60 ก้อนต่อเชื้อเห็ด และต้องอัดก้อนเห็ดให้แน่นขึ้นเนื่องจากไม่ใช้เครื่องอัดก้อนเห็ด

กิจกรรมการจัดการความรู้และกิจกรรมการถ่ายทอดเทคโนโลยี ทำให้เกษตรกรจำนวน 70 คน มีความรู้ในการผลิตก้อนเห็ดประสิทธิภาพสูงและปลอดภัยเพิ่มขึ้นจากคะแนนเฉลี่ย 3.92 (S.D. = 1.70) เป็นคะแนนเฉลี่ย 7.80 (S.D. = 0.969) เมื่อทดสอบค่าสถิติ t-test พบว่า คะแนนก่อนและหลังการเข้าร่วมโครงการแตกต่างกันอย่างมีนัยยะสำคัญที่ระดับ 0.05 ($p = 0.003 < 0.05$) เกษตรกรนำชุดความรู้ไปปรับกระบวนการผลิต โดยปรับใช้เทคโนโลยีการผลิตก้อนเห็ดประสิทธิภาพสูง นอกจากนี้เกษตรกรตำบลไผ่ล้อมและตำบลป่าเช่า มีการปรับแต่งเทคโนโลยีในกระบวนการผลิตให้ตรงกับบริบทของพื้นที่ตนเอง โดยตำบลไผ่ล้อมใช้วัสดุเพาะเป็นขี้เลื่อยไม้จำฉา ซึ่งแตกต่างจากสูตรที่ให้ผลผลิตเห็ดสูงที่สุดเมื่อใช้ขี้เลื่อยไม้ยางพารา จึงต้องปรับสูตรอาหารจากการ

Table 7 Results of ANOVA of Bhutanese oyster mushroom mycelium growth in 3 mushroom treatments

Source of variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Rows	2667.83	5	533.566	115.15827	1.664E-08	3.32583
Columns	146.333	2	73.1666	15.791367	0.0008043	4.10282
Error	46.3333	10	4.63333			
Total	2860.5	17				



Figure 7 Improved mushroom production process; (a) High-efficiency mushroom block production and (b) Disinfection



Figure 8 Individual training using Learning by doing; (a) Mixing mushroom block feed and (b) Steaming mushroom blocks

Table 8 Knowledge application in the production of high-efficiency mushroom blocks

High-efficiency mushroom production innovation			
Usable area (Subdistrict)	Technology implementation		The process of adapting/customizing a knowledge set or technology/innovation to fit the context of the area and target group
	Use according to the knowledge set	Adapted from the knowledge base	
1. Pai Lom		✓	1. Use the 4th feed formula developed by researchers for high-yield mushroom blocks. 2. Farmers are using sawdust from rain trees instead of rubber tree sawdust because it is easier to find. Researchers have advised that rain trees may yield about 5–9% less than rubber trees, which farmers have accepted. 3. Reduce mushroom spawn inoculation from 50 blocks per vial to 60 blocks.
2. Pa Sao		✓	1. Use the 4th feed formula developed by researchers for high-yield mushroom blocks. 2. Farmers use 12-inch mushroom blocks (typically 6 inches) because they have machinery to produce blocks of that size. 3. Reduce mushroom spawn inoculation from 20 blocks per vial to 30 blocks.
3. Wang Din	✓		1. Use the 4th feed formula developed by researchers for high-yield mushroom blocks. 2. Reduce mushroom spawn inoculation from 50 blocks per vial to 60 blocks.
4. Ban Mor	✓		1. Use the 4th feed formula developed by researchers for high-yield mushroom blocks. 2. Reduce mushroom spawn inoculation from 50 blocks per vial to 60 blocks.
5. Bo Thong	✓		1. Use the 4th feed formula developed by researchers for high-yield mushroom blocks. 2. Farmers have stopped using mushroom block supplements that cost 20 baht per kilogram. 3. Reduce mushroom spawn inoculation from 50 blocks per vial to 60 blocks
6. Doo Tai	✓		1. Use the 4th feed formula developed by researchers for high-yield mushroom blocks. 2. Reduce mushroom spawn inoculation from 50 blocks per vial to 60 blocks.
7. Bor Suag	✓		1. Use the 4th feed formula developed by researchers for high-yield mushroom blocks. 2. Reduce mushroom spawn inoculation from 40 blocks per vial to 60 blocks.

ใช้รำข้าวร้อยละ 12 เป็นร้อยละ 18 และตำบลดงป่าเช้า ผลิตก้อนเห็ดขนาด 12 นิ้ว จากขนาด 6 นิ้ว ทำให้ต้องปรับกระบวนการหยอดเชื้อเห็ดเป็น 2 จุด จากเดิมหยอด 1 จุด และต้องทำฉากกันเพื่อใช้ในการหยอดเชื้อเห็ดเพื่อป้องกันการปนเปื้อนของเชื้อราที่มีในอากาศ สำหรับการผลิตก้อนเห็ดปลอดการปนเปื้อนจากเชื้อรา เกษตรกรอีก 5 ตำบล ได้ปรับใช้ตามเทคโนโลยีโดยไม่ปรับแต่งใด ๆ ผลการดำเนินการผลิตก้อนเห็ดประสิทธิภาพสูงและปลอดเชื้อรา ในระยะแรกเมื่อเกษตรกรมีการปรับใช้เทคโนโลยีในการผลิตก้อนเห็ดแล้วสามารถวัดปริมาณการปนเปื้อนราได้หลังจากการหยอดเชื้อเห็ดและบ่มก้อนเชื้อ ดังตารางที่ 10 (Table 10)

การทดลองผลิตก้อนเห็ดปลอดเชื้อราพบว่า เกษตรกรทั้ง 7 ตำบล ทดลองผลิตก้อนเห็ดแบบใช้กระบวนการแบบเดิม และการผลิตโดยใช้กระบวนการผลิตก้อนเห็ดแบบปลอดเชื้อรา พบว่ามีอัตราการปนเปื้อนเชื้อราลดลง จากการผลิตก้อนเห็ดรวม 104,000 ก้อน โดยมีตำบลที่ผลิตก้อนเห็ดติดเชือราระหว่างร้อยละ 5.1–6.8 เฉลี่ยร้อยละ 5.8 เมื่อผลิตด้วยความรู้ที่ได้รับการถ่ายทอด ทำให้อัตราการปนเปื้อนเชื้อราลดลงเหลือร้อยละ 0–0.3 เฉลี่ยร้อยละ 0.1 คิดเป็นการเปลี่ยนแปลงของการปนเปื้อนเชื้อราลดลงร้อยละ

5.7 เมื่อดำเนินการจากปริมาณการผลิตต่อปีของเกษตรกร พบว่าเกษตรกรสามารถจำหน่ายก้อนเห็ดได้เพิ่ม เนื่องจากเป็นก้อนเห็ดที่สมบูรณ์ไม่มีเชื้อรา ทำให้มีรายได้เพิ่มปีละ 45,504–164,592 บาท นอกจากนี้เกษตรกรยังลดการใช้เชื้อเห็ด เนื่องจากในกระบวนการผลิตที่ได้จากกระบวนการจัดการความรู้ ทำให้ใช้เชื้อเห็ดลดลงจากเดิมเชื้อเห็ด 1 ขวด สามารถหยอดเชื้อเห็ดได้ 40–50 ก้อนเพิ่มเป็น 60 ก้อน ดังตารางที่ 11 (Table 11) โดยเกษตรกรทั้ง 7 ตำบล ลดค่าใช้จ่ายจากการใช้เชื้อเห็ดต่อตำบล 6,000–24,000 บาทต่อปี รวม 84,000 บาท คิดเป็นต้นทุนที่ลดลงจากเดิมเฉลี่ยร้อยละ 21.4

ความรู้หรือความเชี่ยวชาญที่ใช้ Relevant Knowledge and Expertise

เทคโนโลยีการผลิตก้อนเห็ดปลอดการปนเปื้อนเชื้อรา และเทคโนโลยีการผลิตก้อนเห็ดประสิทธิภาพสูง การผลิตก้อนเห็ด เพื่อให้เชื้อเห็ดเดินเส้นใยได้ทั่วทั้งก้อน (Chan et al., 2021; Pardo-Giménez et al., 2020) มี 6 ขั้นตอน ดังนี้

Table 9 Knowledge application in the production of fungus-free mushroom blocks

Fungal-free mushroom production innovation			
Usable area (Subdistrict)	Technology implementation		The process of adapting/customizing a knowledge set or technology/innovation to fit the context of the area and target group
	Use according to the knowledge set	Adapted from the knowledge base	
1. Pai Lom	✓		1. Adjust the sterilization time from 5 to 6 hours, starting from when the core of the batch reaches 100 °C.
2. Pa Sao		✓	1. Adjust the sterilization time from 4 to 6 hours, starting from when the core of the batch reaches 100 °C. 2. Farmers use 12-inch mushroom blocks (typically 6 inches) because they have machinery to produce blocks of that size. The yield is the same, but the blocks must be sterilized for 6 hours, with the temperature measured from the center of the block reaching 100 °C.
3. Wang Din	✓		1. Adjust the sterilization time from 5 to 6 hours, starting from when the core of the batch reaches 100 °C.
4. Ban Mor	✓		1. Adjust the sterilization time from 5 to 6 hours, starting from when the core of the batch reaches 100 °C.
5. Bo Thong	✓		1. Adjust the sterilization time from 4 to 6 hours, starting from when the core of the batch reaches 100 °C.
6. Doo Tai	✓		1. Adjust the sterilization time from 5 to 6 hours, starting from when the core of the batch reaches 100 °C.
7. Bor Suag	✓		1. Adjust the sterilization time from 5 to 6 hours, starting from when the core of the batch reaches 100 °C.

1) สถานที่ผลิตก้อนเห็ด การเตรียมสถานที่ผลิต จะต้องทำความสะอาดสถานที่ จัดสถานที่ปลอดโปร่ง ลมพัดผ่านได้ และมีแสงแดดส่องถึง (Boonchouytan et al., 2023)

2) ส่วนผสมก้อนเห็ด ใช้สูตรอาหารที่มีส่วนผสมคือ รำละเอียด 12.0 กิโลกรัม น้ำตาลทราย 0.5 กิโลกรัม ยิปซัม 0.2 กิโลกรัม ดิเกส 0.2 กิโลกรัม ปูนขาว 1.0 กิโลกรัม และเติมซีลี้อย 86.1 กิโลกรัม เพื่อให้ส่วนผสมทั้งหมดครบ 100 กิโลกรัม เติมน้ำให้มีความชื้นสัมพัทธ์ในส่วนผสมร้อยละ 60-70 (Kamonkunanon & Khumfu, 2024; Phithakrotchanakoon et al., 2022; Roysse, 1985)

3) การนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ด อุณหภูมิในก้อนเห็ดขณะนี้ต้องมีอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการนึ่งอย่างน้อย 6 ชั่วโมง (Aydoğdu, 2024; Grimm et al., 2024) การนึ่งต้องดำเนินการเปิดเตาหนึ่ง รอให้อุณหภูมิในห้องนึ่งมีอุณหภูมิสูง 100 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นอุณหภูมิในห้องนึ่งจะถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ก้อนเห็ด และก้อนเห็ดจะมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งมีอุณหภูมิภายใน 100 องศาเซลเซียส จึงจะเริ่มนับเป็นเวลาที่ 1 สำหรับการนึ่งฆ่าเชื้อจนครบ 6 ชั่วโมง จากนั้นปล่อยให้เย็นตัวในเตาเป็นเวลา 12 ชั่วโมง (Mata et al., 1998) จากการทดลองพบว่า ระยะเวลาตั้งแต่เปิดเตาจนถึงเวลาที่ก้อนเห็ดมีอุณหภูมิสูงกว่า 100 องศาเซลเซียส ใช้เวลาประมาณ 3 ชั่วโมง เมื่อรวมกับระยะเวลา

6 ชั่วโมงในการนึ่งฆ่าเชื้อ จะต้องเปิดไฟในเตาหนึ่งเป็นเวลากว่า 9 ชั่วโมง ในทางปฏิบัติเกษตรกรต้องใช้เทอร์โมมิเตอร์ตรวจวัดอุณหภูมิให้อุณหภูมิในก้อนเห็ดเป็น 100 องศาเซลเซียส จึงนับเป็นเวลาที่ 1 และนึ่งต่อเป็นเวลา 6 ชั่วโมง ในกรณีที่เกษตรกรนึ่งฆ่าเชื้อไม่ถึงระยะเวลาที่กำหนด จะส่งผลให้เกิดเชื้อราในก้อนเห็ด (Zhou & Parawira, 2022) หลังจากนำก้อนเห็ดไปเปิดดอกในโรงเรือน ก้อนเห็ดจะเกิดราและอาจลุกลามไปยังเห็ดก้อนอื่น ๆ ได้ เนื่องจากกระบวนการทำก้อนเห็ดไม่สะอาด ไม่ปลอดเชื้อ ทำให้มีเชื้อโรคในก้อนเห็ด และเจริญเติบโตในก้อนเห็ด ส่งผลให้เส้นใยในก้อนเห็ดไม่สามารถรวมตัวกันเจริญเติบโตเป็นดอกเห็ดได้ (Youngkerd & Sangdee, 2015)

4) วัสดุอาหารเลี้ยงเชื้อ (Potato Dextrose Agar, PDA) ในการทำก้อนเห็ดต้องมีอายุ 14-21 วัน (Pardo-Giménez et al., 2020) และกรรมวิธีการผลิตต้องสะอาดปลอดเชื้อ วัสดุ PDA ผลิตจากน้ำตาลจากมันฝรั่งและผงวุ้นบริสุทธิ์ การฆ่าเชื้อต้องทำในหม้อนึ่งความดันเป็นเวลา 20 นาที ใช้ความดันที่ 15 psi (Obuekwe & Odemwingle, 2023) นำวุ้น PDA ไปขยายเชื้อด้วยข้าวฟ่างเพื่อนำไปหยอดในก้อนเห็ด

5) การบ่มเชื้อในก้อนเห็ด เพื่อให้เชื้อเห็ดเดินเต็มก้อน ในสถานที่ที่อากาศถ่ายเทได้สะดวก อุณหภูมิประมาณ 28-33 องศา

Table 10 Results of fungal growth in mushroom blocks

Usable area (Subdistrict)	Number of mushroom blocks infected with fungus (After) (blocks)	Fungal infection rate (%)	Increase, the percentage of fungal infections decreased (%)	Increased production value (9 Baht/block) (Baht/month)	Increased production value (9 Baht/block) (Baht/month)
1. Pai Lom	33	0.3	94.9	5,550	66,600
2. Pa Sao	26	0.2	97.6	9,504	114,048
3. Wang Din	0	0.0	100.0	4,710	56,520
4. Ban Mor	0	0.0	100.0	13,716	164,592
5. Bo Thong	0	0.0	100.0	10,116	121,392
6. Doo Tai	17	0.2	97.3	5,460	65,520
7. Bor Suag	0	0.0	100.0	3,792	45,504
Avg./ (Sum.)	(76)	0.1	98.5	(52,848)	(634,176)

Table 11 Results of decreases in mushroom starter cost

Usable area (Subdistrict)	Number of mushroom blocks produced per year (blocks)	Before			After			Decrease	
		Number of mushroom starters per bottle (blocks)	Number of mushroom starters used (bottles)	Cost for mushroom starters (15 Baht per bottle) (Baht)	Number of mushroom starters per bottle (blocks)	Number of mushroom starters used (bottles)	Cost for mushroom starters (15 Baht per bottle) (Baht)	Reduced mushroom starters cost (Baht)	Percentage decrease (%)
1. Pai Lom	120,000	50	2,400	36,000	60	2,000	30,000	6,000	16.7
2. Pa Sao	192,000	40	4,800	72,000	60	3,200	48,000	24,000	33.3
3. Wang Din	120,000	50	2,400	36,000	60	2,000	30,000	6,000	16.7
4. Ban Mor	360,000	50	7,200	108,000	60	6,000	90,000	18,000	16.7
5. Bo Thong	240,000	50	4,800	72,000	60	4,000	60,000	12,000	16.7
6. Doo Tai	120,000	50	2,400	36,000	60	2,000	30,000	6,000	16.7
7. Bor Suag	96,000	40	2,400	36,000	60	1,600	24,000	12,000	33.3
Avg./ (Sum.)	(1,248,000)	47	(26,400)	(396,000)	60	(20,800)	(312,000)	(84,000)	21.4

เซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ประมาณร้อยละ 40-60 เป็นระยะเวลา 25-30 วัน จึงจะสามารถนำไปเปิดดอกได้ ซึ่งการเดินเชื้อจะเร็วหรือช้าขึ้นอยู่กับอุณหภูมิเป็นปัจจัยหลัก (Singjaroen & Sakaew, 2016)

6) อายุของก้อนเห็ด ขึ้นอยู่กับปัจจัยการผลิตในโรงเรือนเปิดดอก เนื่องจากปัจจัยที่สำคัญในการเปิดดอก คือ 1) อุณหภูมิในโรงเรือนเปิดดอกจะต้องมีอุณหภูมิ 28-32 องศาเซลเซียส (Kamonkunanon & Thammawongsa, 2019) 2) ความชื้นสัมพัทธ์ในโรงเรือนเปิดดอก ต้องอยู่ระหว่างร้อยละ 70-90 (Chieochan et al., 2017; Cikarge & Arifn, 2018) 3) ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในโรงเรือนเปิดดอกต้องมีอากาศถ่ายเทสะดวก และมีปริมาณก๊าซ

คาร์บอนไดออกไซด์ไม่เกิน 1,000-1,500 ppm (Kamonkunanon et al., 2024) และ 4) แสงในโรงเรือนเปิดดอกต้องมีแสงรำไรเนื่องจากเห็ดต้องการแสงไม่เกิน 100 lux (Prikupets, 2018) เห็ดจะออกดอกจนหมดเชื้อเห็ดในก้อนเห็ด โดยทั่วไปสามารถเปิดดอกให้หมดเร็วสุดประมาณ 128 วัน และช้าสุดประมาณ 180 วัน (Kamonkunanon & Thanompongchart, 2020)

การลดอัตราการเกิดราอยู่ในกระบวนการนึ่งฆ่าเชื้อในก้อนเห็ด ต้องมีอุณหภูมิในก้อนเห็ดขณะนึ่งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และระยะเวลาในการนึ่งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสอย่างน้อย 6 ชั่วโมง จากนั้นปล่อยให้เย็นตัวในเตาเป็นเวลา 12

ชั่วโมง การจับเวลาการหนึ่งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส จะต้องใช้เทอร์โมมิเตอร์ในการวัดอุณหภูมิที่ก้นเห็ดซึ่งเกษตรกรหลายรายใช้การวัดอุณหภูมิที่ห้องหนึ่ง หรือบางรายใช้การจับเวลาการหนึ่งที่ 6 ชั่วโมง โดยนับเวลาเริ่มต้นตั้งแต่การเปิดห้องหนึ่ง แต่การหนึ่งที่ถูกต้องนั้น ต้องดำเนินการเปิดเตาหนึ่ง รออุณหภูมิในห้องหนึ่งให้มีอุณหภูมิสูง 100 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นอุณหภูมิในห้องหนึ่งจะถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ก้นเห็ด และก้นเห็ดจะมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งก้นเห็ดมีอุณหภูมิภายใน 100 องศาเซลเซียส จึงจะเริ่มนับเป็นนาฬิกาที่ 1 สำหรับการนึ่งฆ่าเชื้อจนครบ 6 ชั่วโมง

เทคโนโลยีเพื่อควบคุมปัจจัยการผลิตในโรงเรือน

การผลิตเห็ดจำเป็นต้องจัดสภาพปัจจัยให้เหมาะสมต่อการผลิต โดยทั้ง 4 ปัจจัยประกอบด้วย อุณหภูมิ ความชื้น ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และแสง โดยอุณหภูมิและความชื้นเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการผลิตเห็ด และการควบคุมทั้ง 2 ปัจจัยให้เหมาะสมต่อการผลิตเป็นเรื่องยาก ดังนั้นการผลิตเห็ดในโรงเรือนของเกษตรกรส่วนใหญ่จึงใช้การรดน้ำที่ด้านหลังของก้นเห็ดเพื่อไม่ให้น้ำเข้าไปในก้นเห็ด ซึ่งทำให้ก้นเห็ดติดเชื้อรา เกษตรกรอาจติดตั้งสปริงเกอร์ด้านบนของโรงเรือน และเปิดสปริงเกอร์เป็นเวลา 5-10 นาที เพื่อเพิ่มความชื้นในโรงเรือน ซึ่งการรดน้ำหรือพ่นน้ำในลักษณะนี้จะสร้างความชื้นให้สูงขึ้นได้ประมาณร้อยละ 10-20 โดยความชื้นสัมพัทธ์ที่ทำได้สูงสุดจะอยู่ที่ร้อยละ 60-70 ซึ่งยังเป็นความชื้นที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเห็ดกลุ่มเห็ญที่ต้องการที่ร้อยละ 80-90 (Youngkerd & Sangdee, 2015) การใช้งานเทคโนโลยี IoTs และเทคโนโลยีการเกษตรที่เหมาะสมจึงจำเป็นต่อการผลิตเห็ดให้มีคุณภาพ เช่น การใช้เครื่องเพิ่มความชื้นในอากาศสำหรับโรงเรือนปิดที่สามารถสร้างความชื้นที่ร้อยละ 70-90 (Kamonkunanon & Thanompongchart, 2020) แต่การใช้เครื่องสร้างความชื้นในอากาศ ไม่สามารถทำงานได้เพียงลำพัง เนื่องจากต้องเชื่อมโยงกับปัจจัยอื่น โดยเฉพาะอุณหภูมิ การสร้างนวัตกรรมกระบวนการผลิตที่สามารถควบคุมทั้ง 4 ปัจจัยให้เหมาะสมต่อการผลิต โดยสามารถควบคุมและติดตามด้วยเทคโนโลยี IoTs เพื่อให้เกษตรกรสามารถผลิตเห็ดที่ตรงความต้องการและควบคุมปัจจัยการผลิตเห็ดให้ได้ผลผลิตปริมาณที่สูงขึ้นและมีคุณภาพที่ดี สร้างรายได้ที่ดีให้กับเกษตรกรและปลอดภัยต่อผู้บริโภค

ปัจจัยการผลิตที่สำคัญประกอบด้วย 1) อุณหภูมิ อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการผลิตเห็ดนางฟ้าในระยะการเปิดดอกเห็ด ควรรักษาอุณหภูมิระหว่าง 28-32 องศาเซลเซียส (Youngkerd & Sangdee, 2015; Singjaroen & Sakaew, 2016) จะทำให้ได้ผลผลิตเห็ดที่ดี กรณีที่อุณหภูมิมากกว่า 35 องศาเซลเซียส เห็ดจะไม่ออกดอก และในกรณีที่อุณหภูมิต่ำกว่า 15 องศาเซลเซียส เห็ดจะห่อขอบใบแตกดอกไม่สมบูรณ์ (Cikarge & Arifin, 2018;

Jeznabadi et al., 2016; Kamonkunanon et al., 2022) 2) ความชื้นสัมพัทธ์ ควรมีค่าระหว่างร้อยละ 70-90 (Subedi et al., 2019) การสร้างความชื้นสัมพัทธ์ในโรงเรือนทำได้หลายวิธี เช่น การใช้สายยางรดน้ำ การสเปรย์น้ำ (Youngkerd & Sangdee, 2015) หรืออาจใช้เครื่องเพิ่มความชื้นในการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ในโรงเรือน ซึ่งเป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากเครื่องเพิ่มความชื้นสามารถทำความชื้นสัมพัทธ์ได้สูงร้อยละ 70-100 (Kamonkunanon et al., 2024) การให้ความชื้นไม่ควรให้ดอกเห็ดสัมผัสน้ำโดยตรงเพราะจะทำให้เห็ดฉ่ำน้ำและเน่าเสียได้ง่าย 3) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในโรงเรือนผลิตเห็ดต้องมีความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่พอเหมาะซึ่งจะช่วยกระตุ้นเส้นใยให้เห็ดเจริญเติบโตได้ดี (Pongpan, 2004) แต่ถ้ามากเกินไปเห็ดจะมีลำต้นยืดยาว ดอกเอนเข้าหาแสง ดอกเห็ดบิดเบี้ยวไม่สวยงาม (Hunheng, 2016) โดยความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่พอเหมาะไม่เกิน 2,000 ppm (Jeznabadi et al., 2016) ในกรณีที่มีความเข้มข้นเกินกว่า 2,000 ppm สามารถกำจัดโดยใช้พัดลมดูดอากาศหรือการเป่าอากาศ และ 4) แสง สำหรับโรงเรือนปิดปริมาณแสงที่เหมาะสมต่อการผลิตเห็ดคือแสงรำไรที่มีความเข้มแสงไม่เกิน 100 lux (Kamonkunanon et al., 2024; Prikupets, 2018) ซึ่งจะช่วยกระตุ้นให้เห็ดออกดอก ถ้าปริมาณแสงน้อยเกินไป เห็ดจะมีขนาดดอกเล็ก ก้านดอกยาว ดอกเอนเข้าหาแสง กรณีที่ใช้แสงจากหลอดไฟ LED พบว่าแสงสีแดง-น้ำเงิน เป็นแสงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเห็ด (Kamonkunanon et al., 2022)

เกษตรกรดำเนินการปรับโรงเรือนให้สามารถควบคุมปัจจัยการผลิตทั้ง 4 ปัจจัย โดยใช้เครื่องเพิ่มความชื้นและลดอุณหภูมิเพื่อควบคุม 2 ปัจจัยที่สำคัญที่สุด การปรับปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เกษตรกรทั้ง 7 ชุมชน ใช้โรงเรือนกึ่งปิดทำให้อากาศระบายได้ดี ไม่เกิดการสะสม ทำให้ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สะสมไม่เกิน 1,000 ppm แสงในโรงเรือนต้องมีความเข้มแสงไม่เกิน 100 lux โดยเกษตรกรต้องติดตั้งพลาสติกทางการเกษตรกรองแสงร้อยละ 80 จำนวน 2 ชั้น เพื่อควบคุมความเข้มแสงในโรงเรือน

สถานการณ์ใหม่ที่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม New Situation After Change

การผลิตก้นเห็ดประสิทธิภาพสูงและปลอดภัยเชื้อราไตรโครเดอร์มามีการปนเปื้อนของยีสต์และราในอัตรา 8.6×10^3 cfu/g และไม่พบสารตะกั่วและแคดเมียม มีอัตราการปนเปื้อนเชื้อราไตรโครเดอร์มาลดลงจากร้อยละ 5.8 เป็น 0.1 คิดเป็นร้อยละ 98.5 เกษตรกร 7 ตำบล ผลิตก้นเห็ดรวมกัน 1,248,000 ก้นต่อปี ลด

การใช้เชื้อเห็ดจากการหยอดหัวเชื้อเห็ด 40-50 ก้อน เป็น 60 ก้อน คิดเป็นต้นทุนลดลงจากเดิมร้อยละ 21.4 ผลการเปลี่ยนแปลงของปริมาณดอกเห็ดที่ผลิตได้จากก้อนเห็ดประสิทธิภาพสูงและนำไปเปิดดอกในโรงเรือน พบว่า ผลผลิตเห็ดเฉลี่ยต่อก้อน 327.1-342.3 กรัม จากเดิมที่ผลิตได้ 224.8 กรัม เพิ่มขึ้นร้อยละ 45.5-50.4 คิดเป็นผลผลิตที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 47.5

ชุมชนผู้ผลิตก้อนเห็ดใน 7 ตำบล ผลิตก้อนเห็ดที่มีอัตราการปนเปื้อนโตโครโคเรียมลดลง สร้างรายได้เพิ่มขึ้น 45,504-164,592 บาทต่อปี การปรับปรุงกระบวนการหยอดเชื้อเห็ดทำให้ลดต้นทุนค่าหัวเชื้อร้อยละ 16.7-33.3 คิดเป็นต้นทุนที่ลดลง 6,000-18,000 บาทต่อปี เมื่อนำก้อนเห็ดประสิทธิภาพสูงไปเปิดดอกเห็ด ให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นจากเดิมร้อยละ 45.3-52.3 คิดเป็นรายได้ที่เพิ่มขึ้น 106,995-123,375 บาทต่อปี รวมรายได้สุทธิที่เพิ่มขึ้นทั้งหมด 158,499-305,967 บาทต่อปี การถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตก้อนเห็ดประสิทธิภาพสูงแก่ผู้ผลิตก้อนเห็ด ก่อให้เกิดการจ้างงานและความมั่นคงทางอาชีพ จากการเพิ่มกำลังการผลิตก้อนเห็ดในชุมชนผู้ผลิตเห็ด ตำบลบ้านหม้อ มีการจ้างนักเรียนในช่วงปิดภาคเรียนจำนวน 4 คน เนื่องจากมีการผลิตก้อนเห็ดเพิ่มขึ้น

ผลกระทบและความยั่งยืนของการเปลี่ยนแปลง Effects and Long Term Sustainability of Change

ผลกระทบด้านเศรษฐกิจ

ระบบการบริหารก้อนเห็ด สามารถลดเงินทุนหมุนเวียนลง 4 เท่า ในกรณีที่ต้องการเปิดดอกทั้งหมด 10,000 ก้อน จากเดิมต้องใช้เงินลงทุน 80,000 บาท เกษตรกรสามารถแบ่งซื้อก้อนเห็ดออกเป็น 4 รอบ รอบละ 2,500 ก้อน เมื่อนำก้อนเห็ดรอบแรก 2,500 ก้อน ใช้เงินลงทุน 20,000 บาท เมื่อเห็ดออกดอกหน้าแรกจำหน่ายได้เงิน 20,325 บาท เกษตรกรสามารถนำเงินไปซื้อก้อนเชื้อเห็ดรอบที่ 2 จำนวน 20,000 บาท จนครบ 4 รอบ เงินทุนหมุนเวียนลดลงจาก 80,000 บาท เป็น 20,000 บาท เกษตรกรเก็บผลผลิตได้ตลอดเดือนจากผลผลิตเห็ดที่ให้ผลผลิตไม่พร้อมกัน สามารถส่งผลผลิตเข้าตลาดได้สม่ำเสมอ มีรายได้ตลอดฤดูกาลผลิต

ผลกระทบด้านสังคม

เกษตรกรในจังหวัดอุดรธานีจัดตั้งเครือข่ายผู้ผลิตเห็ดเพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูล และร่วมกันส่งวัสดุในการผลิตก้อนเห็ด ทำให้

ต้นทุนค่าวัสดุลดลง เป็นการสร้างความร่วมมือและความเข้มแข็งของเครือข่ายในการพัฒนากระบวนการผลิตก้อนเห็ดแบบใช้เทคโนโลยีเพื่อนำไปสู่ความยั่งยืนในชุมชน

ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม

การปรับปรุงวัสดุเพาะและสูตรอาหารก้อนเห็ดให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมและทรัพยากรในท้องถิ่นเป็นนวัตกรรมสำคัญที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต การใช้สารอาหารที่เหมาะสมส่งผลต่อการเจริญเติบโตของเส้นใยเห็ดและผลผลิตโดยตรง และยืนยันว่าองค์ประกอบทางเคมีของวัสดุเพาะมีผลต่ออัตราการเจริญเติบโตของเส้นใยและคุณภาพของดอกเห็ด การนำแนวคิดการใช้ทรัพยากรท้องถิ่นอย่างคุ้มค่า มาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาสูตรอาหารเพาะเห็ดที่ใช้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรในท้องถิ่น เช่น ฟางข้าว ชี้อย่อย แกลบ และเศษวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรอื่น ๆ ไม่เพียงลดต้นทุนการผลิตแต่ช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อมจากการเผาเศษวัสดุทางการเกษตร

กระบวนการผลิตก้อนเห็ดประสิทธิภาพสูงมีความยั่งยืนบนพื้นฐานของปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียง สร้างความเข้าใจ เข้าถึง และพัฒนากระบวนการผลิตก้อนเห็ด ลดต้นทุนจากการนำวัสดุเพาะในท้องถิ่นมาใช้ ลดความสูญเสียก้อนเห็ดที่ปนเปื้อนเชื้อราไตรโคเรเตอร์มา ลดปัญหาการนำก้อนเห็ดติดเชื้อไปเผาทำลาย ส่งเสริมการมีส่วนร่วมและสร้างรายได้สู่กลุ่มเปราะบาง ด้านสิ่งแวดล้อมเกิดการใช้ทรัพยากรในท้องถิ่น ลดของเสีย ลดการเผาทำลายก้อนเห็ดที่เสีย เกษตรกรแต่ละกลุ่มมีการพัฒนาบุคลากรที่สามารถปรับเปลี่ยนต่อยอด เทคโนโลยีการผลิตก้อนเห็ด เพื่อรองรับการเปลี่ยนแปลงและสร้างความต่อเนื่องของกิจการ นอกจากนี้หน่วยงานภาครัฐทางด้านเกษตรที่เกี่ยวข้อง สามารถใช้เป็นพื้นที่แหล่งเรียนรู้สำหรับเกษตรกรที่สนใจ หรือมีปัญหาด้านการผลิตเห็ด และสามารถใช้กำหนดเป็นนโยบายของจังหวัดในการผลิตเห็ดครบวงจรแบบใช้เทคโนโลยี ซึ่งกรมพัฒนาชุมชนที่ดำเนินงานร่วมกับปทุมธานี โมเดล ซึ่งเป็นพื้นที่การพัฒนาที่อยู่อาศัยและอาชีพของจังหวัดปทุมธานี ได้ศึกษาข้อมูลและเข้ารับการอบรมการผลิตเห็ดและออกแบบโรงเรือนที่เหมาะสม และปรับใช้ที่ปทุมธานีโมเดล

กิตติกรรมประกาศ Acknowledgments

ขอขอบคุณกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (ววน.) และหน่วยบริหารและจัดการทุนด้านการพัฒนา ระดับพื้นที่ (บพท.) ภายใต้แผนชุมชนนวัตกรรมประจำปี 2567 (เลขที่สัญญาทุน A11F670116)

Author Contributions

ORCID ID

Siwat Kamonkunanon: Conceptualization, Methodology, Formal analysis, Validation, Resources, Writing – Original draft, Visualization, Supervision, Project administration, Funding acquisition, Writing – Review & Editing. **Patipat Thanompongchart:** Conceptualization, Methodology, Formal analysis, Writing – Original draft, Supervision, Data curation, Resources, Project administration. **Eakruthai Chutchaidej:** Visualization, Investigation, Resources. **Suttida Wittanalai:** Visualization, Investigation, Resources. **Keowalee Rangsisuttaporn:** Writing – Reviewing & Editing. **Kitti Mueangtoom:** Writing – Reviewing & Editing. **Sittinan Thongsiri:** Conceptualization, Methodology, Formal analysis, Validation, Resources, Writing – Original draft, Supervision, Project administration, Writing – Review & Editing

Siwat Kamonkunanon: 0000-0002-9558-9748
Patipat Thanompongchart: 0000-0002-2856-0857
Eakruthai Chutchaidej: 0009-0001-1172-339X
Suttida Wittanalai: 0009-0009-8966-4594
Keowalee Rangsisuttaporn: 0009-0001-0784-0083
Kitti Mueangtoom: 0009-0005-4216-6070
Sittinan Thongsiri: 0009-0005-0728-6667

Conflicts of Interest

The authors have no conflicts of interest.

References

- Aydoğdu, M. (2024). Efficacy of disinfectants and heat treatments against green mould in casing soil and button mushroom (*Agaricus bisporus*) yield. *Phytoparasitica*, 52, 1–11. <https://doi.org/10.1007/s12600-024-01168-0>.
- Boonchouytan, W., Chatthong, J., & Pongpiriyadecha, N. (2023). Development of mixing and pressing processes of split-gill mushroom spawn blocks. *Proceedings of Engineering and Technology Innovation*, 24, 63–72.
- Chan, X. Y., Saeidi, N., Javadian, A., Hebel, D. E., & Gupta, M. (2021). Mechanical properties of dense mycelium-bound composites under accelerated tropical weathering conditions. *Scientific Reports*, 11(1), 22112. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-01598-4>.
- Chieochan, O., Saokaew, A., & Boonchieng, E. (2017). *IoT for smart farm: A case study of the Lingzhi mushroom farm at Maejo University*. In: Proceedings of the 14th International Joint Conference on Computer Science and Software Engineering (JCSSE), 12–14 July 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. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1140/1/012002>.
- Grimm, D., Sonntag, E., & Rahmann, G. (2024). Evaluation of different pasteurization and sterilization methods for oyster mushroom substrates. *Journal of Microbiology Biotechnology and Food Sciences*, 13(5), e10428. <https://doi.org/10.55251/jmbfs.10428>.
- 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., Chutchaidej, E., Wittanalai, S., Rangsisuttaporn, K., Mueangtoom, K., & Thanompongchart, P. (2025). Innovation in production of oyster mushrooms with controlled production factors in a community mushroom house in Uttaradit Province. *Area Based Development Research Journal*, 17(1), 1–17. (in Thai).
- 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., & Khumfu, P. (2024). *Production of spawned spawn traceable for precision agriculture*. (Research report). Uttaradit: Uttaradit Rajabhat University. (in Thai).

- Kamonkunanon, S., & Thammawongsa, N. (2019). *Development of a closed system mushroom cultivation house using technology to increase 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*. In: Proceedings of 8th Loei Rajabhat University Conference 2022, 25 March 2022, Loei, Thailand. (in Thai).
- Mata, G., Savoie, J., Delpech, P., & Olivier, J. M. (1998). Reductions in the incidence of *Trichoderma* spp. using substrate supplementation with peat and an alternative spawn during cultivation of *Lentinula edodes* on pasteurised wheat straw. *Agronomie*, 18, 515–520. <https://doi.org/10.1051/agro:19980802>.
- Ministry of Agriculture and Cooperatives. (2012). *Good agricultural practices for bag-cultivated mushrooms*. Bangkok: National Bureau of Agricultural and Food Standards. (in Thai).
- Ministry of Agriculture and Cooperatives. (2020). *Good practices for mushroom spawn production*. Bangkok: National Bureau of Agricultural and Food Standards. (in Thai).
- National Science and Technology Development Agency. (2021). Collection of data on production and marketing of economic mushrooms and wild edible mushrooms in Thailand. Retrieved October 21, 2021, from: <https://waa.inter.nstda.or.th/stks/pub/2021/20210817-economic-mushroom-market.pdf>. (in Thai).
- Obuekwe, I. S., & Odemwingle, O. S. (2023). Cultivation of *Pleurotus ostreatus* (oyster mushroom) using sawdust supplemented with waste human hair. *Nigerian Journal of Microbiology*, 38(1), 6895–6905. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3605281/v1>.
- Office of Agricultural Research and Development Region 1. (2022). Low carbon mushroom production. Retrieved October 21, 2025, from: <https://www.doa.go.th/rpd/wp-content/uploads/2024/11/%E0%B8%AA%E0%B8%A7%E0%B8%9E.1-%E0%B9%80%E0%B8%AB%E0%B9%87%E0%B8%94-LOW-CARBON.pdf>. (in Thai).
- Pardo-Giménez, A., González, J. E. P., Dias, E. S., Rinker, D. L., Caitano, C. E. C., & Zied, D. C. (2020). Optimization of cultivation techniques improves the agronomic behavior of *Agaricus subrufescens*. *Scientific Reports*, 10(1), 8154. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-65081-2>.
- Phithakrotchanakoon, C., Mayteeworakoon, S., Siriarchawatana, P., Kitikhun, S., Harmpicharnchai, P., Wansom, S., Eurwilaichitr, L., & Ingsriswang, S. (2022). Beneficial bacterial–*Auricularia* cornea interactions fostering growth enhancement identified from microbiota present in spent mushroom substrate. *Frontiers in Microbiology*, 13, 1–17. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.1006446>.
- 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.
- Royse, D. J. (1985). Effect of spawn run time and substrate nutrition on yield and size of the shiitake mushroom. *Mycologia*, 77(5), 756–762.
- Saengpakornkit, T. (2009). *Oyster mushrooms*. Bangkok: Kaset Siam Bookstore. (in Thai).
- Sanchez, C. (2010). Cultivation of *Pleurotus ostreatus* and other edible mushrooms. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 85(5), 1321–1337.
- Singjaroen, B., & Sakaew, S. (2016). *Temperature and humidity control system in mushroom farm*. In: The 1st Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi National Conference, 22 June 2016, Phra Nakhon Si Ayutthaya, Thailand. (in Thai).
- Subedi, A., Luitel, A., Baskota, M., & Acharya, T. D. (2020). IoT based monitoring system for white button mushroom farming. *Proceedings*, 42(1), 46. <https://doi.org/10.3390/ecsa-6-06545>.
- Youngkerd, N., & Sangdee, P. (2015). *Mushroom production for sale*. Bangkok: MIS Publishing. (in Thai).
- Zhou, G., & Parawira, W. (2022). The effect of different substrates found in Zimbabwe on the growth and yield of oyster mushroom *Pleurotus ostreatus*. *Southern Africa Journal of Education, Science and Technology*, 5(2), 73–86.