

การพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตเห็ดนางรมเทาด้วยวัสดุเพาะฟางข้าวเสริมซีลีเนียม Development of Grey Oyster Mushroom Production Technology with Selenium Supplemented Rice Straw Cultivation Substrates

ธนภักษ์ อินยอด* รจนา ตั้งกุลบริบูรณ์ กนกอร อัมพรายน ธนภัทร เต็มอารมย์ ชาตรี กอนี
ปวริศ ตั้งบรรธรรมา สุริมา ญาติโสเม สุจิตรา บัวลอย และ ปิยะดา เอี่ยมประสงค์

Tanapak Inyod* Rodchana Tangkoonboribun Khanok-on Amprayn Thanapat Termarom Chatree Konee
Pawaris Tangborvonthamma Surima Yatsom Suchitra Bualoi and Piyada Eamprasong

ศูนย์เชี่ยวชาญนวัตกรรมเกษตรสร้างสรรค์ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย
Expert Center of Innovative Agriculture (InnoAg), Thailand institute of Scientific and Technological Research

*E-mail: Tanapak@tistr.or.th

Received: Sep 27, 2021

Revised: Oct 20, 2021

Accepted: Oct 24, 2021

บทคัดย่อ

การพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตเห็ดเพื่อเพิ่มการสะสมซีลีเนียมในเห็ดด้วยวิธีการเสริมปุ๋ยอินทรีย์ซีลีเนียมลงในฟางข้าวทั่วไปที่ปลูกด้วยวิธีปกติ และฟางข้าวที่มีปริมาณซีลีเนียมสูงที่ได้จากการผลิตข้าวเสริมซีลีเนียม นำฟางข้าวเสริมซีลีเนียมมาเพาะเห็ดนางรมเทา (*Pleurotus ostreatus*: grey type) สายพันธุ์ TISTR_Post grey-01 และหาความเข้มข้นของซีลีเนียมที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเส้นใย ปริมาณผลผลิต คุณภาพของเห็ด และปริมาณซีลีเนียมทั้งหมดในดอกเห็ดนางรมเทา จากผลการทดลอง พบว่าวัสดุเพาะฟางข้าวทั่วไปและฟางข้าวซีลีเนียมสูงให้ผลในแนวทางเดียวกัน สูตรวัสดุเพาะที่ไม่มีการเสริมซีลีเนียมมีการเจริญของเส้นใยต่ำกว่าสูตรที่เสริมซีลีเนียม การเสริมซีลีเนียมในวัสดุเพาะที่ความเข้มข้นเท่ากับ 3 และ 5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ppm) เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดต่อการเจริญของเส้นใย คุณภาพ และผลผลิตเห็ดนางรมเทา อย่างไรก็ตามการเสริมซีลีเนียมในวัสดุเพาะที่ความเข้มข้นสูงกว่า 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่งผลให้การเจริญของเส้นใยและคุณภาพดอกเห็ดลดลงตามความเข้มข้นของซีลีเนียมที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ปริมาณซีลีเนียมสะสมในดอกเห็ดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณซีลีเนียมที่เสริมลงในฟางข้าวทั่วไปและฟางข้าวซีลีเนียมสูง โดยมีค่าเฉลี่ยในช่วง 140-930 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง และ 220-340 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าเทคโนโลยีการผลิตเห็ดที่นำเสนอสามารถเพิ่มผลผลิต คุณภาพ และคุณค่าทางโภชนาการของเห็ดนางรมเทา

คำสำคัญ: เห็ดนางรมเทา ซีลีเนียม การผลิตเห็ด ฟางข้าว

Abstract

Development of mushroom production technology to increase selenium (Se) accumulation in mushroom biomass by adding Se organic fertilizer into conventional rice straw and Se-rich rice straw obtained from Se enriched rice production. The Se supplemented rice straws were then used as substrates for grey oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*: grey type) strain TISTR_Post grey-01 cultivation. Optimal concentrations of Se for mycelium growth, yield and quality of mushroom, and Se content in mushroom were determined. The results showed that conventional rice straw and Se-rich rice straw based substrates provided similar findings. The substrates without Se supplementation offered lower mycelium growth rate than the Se supplemented substrates. The supplementation of Se in substrates at concentrations of 3 and 5 mg/kg (ppm) were found to be optimal for mycelium growth, quality and yield of gray oyster mushroom. However, addition of Se fertilizer in substrates at concentrations higher than 10 ppm decreased mycelium growth and quality of fruiting body with increasing Se concentration. Additionally, Se accumulation in mushroom biomass tended to increase with the Se content added to conventional straw and Se-rich straw, averaging 140-930 µg/kg dry weight and 220-340 µg/kg dry weight, respectively. This study demonstrates that the proposed mushroom production technology can improve yield, quality and nutritional value of grey oyster mushroom.

Keywords: Grey oyster mushroom, Selenium, Mushroom production, Rice straw

1. บทนำ

เห็ดนางรมเทา [*Pleurotus ostreatus* (Jacq.) Kummer] หรือ grey oyster mushroom จัดอยู่ในสกุลเดียวกับเห็ดนางรมฮังการี หรือ white oyster mushroom-Hungary และเห็ดนางฟ้า (*P. pulmonarius* (Fr.) Quél.) มีถิ่นกำเนิดในแถบยุโรป สามารถเกิดได้เองตามธรรมชาติหรือขอนไม้ [1] เจริญเติบโตได้ดีในเขตอบอุ่น ต่อมาได้มีการนำมาทดลองเพาะเลี้ยงในไทยครั้งแรกเมื่อปี พ.ศ. 2500 พบว่าเห็ดชนิดนี้ เจริญได้ดีในวัสดุเพาะหลายชนิด และปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมของประเทศไทยได้ ด้วยลักษณะดอกที่หนา รสสัมผัสมีลักษณะคล้ายเห็ดขอนขาว ทำให้มีลักษณะเหนียวกว่าเมื่อเทียบกับเห็ดนางฟ้า จึงมีการศึกษาปรับปรุงสายพันธุ์ของเห็ดโดยการผสมพันธุ์แบบ โมโน-โมโนโครสซิง (Mono-mono crossing) คัดเลือกสายพันธุ์ที่มีคุณภาพ เกิดเป็นเห็ดนางรมเทา ซึ่งเป็นพันธุ์ลูกผสมระหว่างเห็ดนางฟ้าภูฐานและเห็ดนางรมฮังการี [2] ทำให้เห็ดนางรมเทามีคุณสมบัติที่ดีของเห็ดทั้งสองสายพันธุ์ร่วมกัน คือมีรสสัมผัสที่นุ่มอร่อยของเห็ดนางฟ้าภูฐาน ลักษณะหมวกดอกหนา มีขนาดใหญ่ และปลูกง่าย ทนต่อสภาพอากาศเมืองไทยของเห็ดนางรมฮังการี มาไว้รวมกัน

ปัจจุบันเห็ดนางรมเป็นเห็ดที่นิยมรับประทานกันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีรสชาติดี คุณค่าทางอาหารสูง โดยเฉพาะโปรตีน ช่วยซ่อมแซมส่วนที่สึกหรบในร่างกาย ควบคุมความดันโลหิต อีกทั้งอุดมไปด้วยแร่ธาตุ เช่น Potassium Iron Zinc Iodine Copper และยังมีสารบางอย่างที่มีสรรพคุณเป็นยารักษาโรค เช่น ลดการอักเสบ และป้องกันโรคหัวใจ จึงเป็นที่นิยมผลิตเพื่อบริโภคกันมาก และด้วยลักษณะช่อดอกใหญ่ หมวกดอกหนา ให้น้ำหนักดี ทำให้เกษตรกรนิยมผลิตรองลงมาจากเห็ดนางฟ้า

การเพาะเห็ดเชิงพาณิชย์ในแต่ละประเทศ มักมีการพัฒนาเทคนิคและวิธีการเพาะ ตลอดจนเทคโนโลยีที่นำมาใช้แตกต่างกันไป ในประเทศจีนมีประวัติการเพาะเห็ดมายาวนานกว่า 700 ปี และปรับเปลี่ยนกลยุทธ์ในการเพาะเห็ดอย่างต่อเนื่อง มีการนำเทคโนโลยีการเพาะเห็ดระบบปิดมาใช้ เช่น การเพาะเห็ดในห้องควบคุมอุณหภูมิ พร้อมห้องตัดแต่งดอกเห็ดที่ดี รวมถึงระบบการขนส่งที่สามารถส่งผลผลิตดอกเห็ดไปขายได้ทั่วโลก ในประเทศไทยนิยมผลิตเห็ดเศรษฐกิจในถุงพลาสติก โดยใช้เชื้อเลี้ยงไมยารพาราเป็นวัสดุหลัก และมีการพัฒนาเทคโนโลยีต่าง ๆ เช่น โรงเพาะเห็ดอัจฉริยะ เทคโนโลยีสารทฟาร์ม [3] รวมถึงมีแนวคิดการศึกษาลดต้นทุนการผลิตเห็ดโดยนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเพื่อทดแทนปริมาณการใช้เชื้อเลี้ยงไมยารพารา [4] การศึกษาผลของการใช้วัสดุเพาะที่เป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและวัชพืชเป็นวัสดุเพาะเห็ดนางรมพบว่าฟางข้าวให้ผลดีที่สุด รองลงมาคือ ผักตบชวา ต้นกล้วยสับ หญ้าคา และไมยราพยักษ์ โดยให้ผลผลิตเห็ดสดอยู่ที่ 365.10, 304.43, 284.15, 131.40 และ 74.22 กรัม ตามลำดับ ซึ่งเป็นแนวทางการนำฟางข้าวที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาใช้ทดแทนเชื้อเลี้ยงไมยารพารา โดยฟางข้าวเป็นวัสดุที่มีทั่วทุกภาคใน

ประเทศไทยปริมาณฟางข้าวที่เหลือจากการเก็บเกี่ยว 25.45 ล้านตัน และมีปริมาณตอซังข้าวตักค้างอยู่ในนาข้าว 16.9 ล้านตันต่อปี [5] เกษตรกรผู้ทำนาจะกำจัดโดยการเผาทิ้ง ซึ่งทำให้พื้นที่เพาะปลูกเสื่อมโทรม ทำลายอินทรีย์วัตถุและธาตุอาหารในดิน เกิดฝุ่นละออง ส่งผลเสียต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม แม้จะมีการเห็นการนำฟางข้าวมาใช้ประโยชน์ เช่น นำฟางข้าวมาทำเป็นปุ๋ย หลังคา อาหารสัตว์ และเส้นใยในอุตสาหกรรมกระดาษ ยังมีฟางข้าวเหลือใช้อีกจำนวนมาก โดยฟางข้าวประกอบด้วยเคมีอินทรีย์หลัก ได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน เท่ากับ 35, 18 และ 15 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ [6] ซึ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์ประเภทคาร์โบไฮเดรต เป็นแหล่งอาหารที่ใช้ในการเจริญเติบโตของพืชและเห็ดได้ อีกทั้งมีปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และซิลิเนียม [7], [8]

ซิลิเนียมในธรรมชาติมีทั้งที่เป็นสารประกอบอินทรีย์และสารประกอบอนินทรีย์ โดยพืชสามารถเปลี่ยนซิลิเนียมจากสารประกอบอนินทรีย์เป็นสารประกอบอินทรีย์ได้ [9] สามารถพบได้ในเนื้อสัตว์ พืชผักและธัญพืชต่าง ๆ เช่น ปลา ถั่ว เมล็ดธัญพืช จมูกข้าวสาลี รำข้าว หอม กระเทียม เห็ด มะเขือเทศ บร็อคโคลี่ ข้าวกล้อง เป็นต้น มีรายงานว่าเห็ดตระกูลนางรมบางชนิด สามารถดูดซับและสะสมซิลิเนียมจากสิ่งแวดล้อมได้ [10] จึงช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของผลผลิตเห็ดได้ โดยซิลิเนียมที่รับเข้าไปในร่างกายจะช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของร่างกาย และทำให้ร่างกายมีการเติบโตอย่างสมวัย ส่วนใหญ่จะพบในร่างกายน้อยมาก การรับประทานอาหารที่มีปริมาณซิลิเนียมสูงซึ่งมีส่วนช่วยลดความเสี่ยงในการเกิดโรคมะเร็งบางชนิด เช่น มะเร็งต่อมลูกหมาก ป้องกันความบกพร่องของระบบภูมิคุ้มกัน ชะลอความเสื่อมของเซลล์ ป้องกันการแท้งและภาวะคลอดก่อนกำหนด จากความสำคัญของซิลิเนียมที่มีต่อสุขภาพของมนุษย์ หลายองค์การจึงแนะนำปริมาณซิลิเนียมที่ควรได้รับต่อวันสำหรับผู้ใหญ่ โดย The World Health Organization (WHO) ปริมาณสารอาหารอ้างอิงที่ควรได้รับประจำวันอย่างน้อย 70 ไมโครกรัมต่อวัน และในประเทศแถบยุโรปกำหนดไว้ระหว่าง 30-50 ไมโครกรัมต่อวัน [11] ส่วนประเทศไทยกรมอนามัยกำหนดไว้ว่าปริมาณสารอาหารอ้างอิงที่ควรได้รับประจำวันสำหรับคนไทย ควรได้รับอย่างน้อย 70 ไมโครกรัมต่อวัน [12] ดังนั้น คณะวิจัยจึงศึกษาการเสริมปุ๋ยอินทรีย์ซิลิเนียมลงในวัสดุเพาะด้วยความเข้มข้นที่ต่างกัน และศึกษาระดับความเข้มข้นของซิลิเนียมที่เหมาะสมต่อผลผลิตคุณภาพและปริมาณซิลิเนียมในดอกเห็ด เพื่อการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตเห็ดนางรมเทาซิลิเนียมสูง สำหรับเป็นแนวทางในการเพิ่มมูลค่าของเห็ดในอนาคต

2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

2.1. แม่พันธุ์เห็ดนางรมเทา

แม่พันธุ์เห็ดนางรมเทา (*P. ostreatus*: grey type) สายพันธุ์ TISTR_Post grey-01 จากสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.)

2.2. วัสดุเพาะฟางข้าว

ฟางข้าวทั่วไป (ได้จากการปลูกแบบทั่วไป) และฟางข้าวซีลีเนียมสูง (มีซีลีเนียมปริมาณ 0.384 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เป็นองค์ประกอบ) จากแปลงต้นแบบข้าวเสริมปุ๋ยซีลีเนียม จังหวัดสุพรรณบุรี

2.3. การผลิตหัวเชื้อบริสุทธิ์ในเมล็ดข้าวฟ่าง

2.3.1. การคัดเลือกแม่พันธุ์เห็ด

การคัดเลือกแม่พันธุ์เห็ดนางรมเทา สายพันธุ์ TISTR_Post grey-01 สำหรับนำไปเก็บรักษาสายพันธุ์หรือการผลิตหัวเชื้อบริสุทธิ์ จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องเลือกดอกที่มีลักษณะที่ดี เนื่องจากแม่พันธุ์เห็ดที่นำไปแยกเชื้อนั้นจะถูกนำไปผลิตเป็นหัวเชื้อข้าวฟ่าง และถูกผลิตเป็นก้อนเห็ดสำหรับเก็บผลผลิต ซึ่งหากแม่พันธุ์ที่ได้แข็งแรงและมีลักษณะดีจะเป็นที่ต้องการของตลาด ส่งผลต่อราคาเห็ดและรายได้ของเกษตรกรผู้เพาะเห็ดเช่นกัน โดยลักษณะที่ดีของเห็ดที่ควรเลือกไปเป็นแม่พันธุ์ได้แก่ ดอกเห็ดสมบูรณ์ หมวกดอกกลม ขอบเรียบดอกไม่แก่และไม่อ่อนเกินไป ก้านดอกแข็งแรง ไม่มีเชื้ออื่นปนเปื้อน เลือกดอกที่มีสีตรงตามที่ต้องการ (ขึ้นกับสายพันธุ์เห็ด) และคัดจากก้อนที่ให้ผลผลิตสูง

2.3.2. การแยกเชื้อบริสุทธิ์

เตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดแข็ง Potato dextrose agar (PDA) นึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที เมื่อผิวหน้าอาหารแห้ง ทำการแยกเชื้อจากแม่พันธุ์เห็ดสุขภาพดีที่คัดเลือกแล้ว โดยใช้มีดตัดเนื้อเยื่อภายในบริเวณรอยเชื่อมระหว่างก้านดอกกับหมวกดอก วางบนอาหาร ด้วยเทคนิคปลอดเชื้อ บ่มที่อุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส จากนั้นย้ายเส้นใยที่เจริญแล้วลงอาหารใหม่ จะได้หัวเชื้อบริสุทธิ์บนอาหารแข็ง PDA

2.3.3. การเตรียมหัวเชื้อในเมล็ดข้าวฟ่าง

นำข้าวฟ่างมาทำความสะอาดเศษเจือปนออก แช่น้ำทิ้งไว้เป็นเวลา 1 คืน จากนั้นต้มจนข้าวฟ่างสุก 1 ใน 4 ส่วนของข้าวฟ่าง ผึ่งให้แห้งพอหมาด บรรจุลงขวดแก้วปิดฝาขวด นึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที พักให้เย็นที่อุณหภูมิห้องก่อนผลิตหัวเชื้อข้าวฟ่างด้วยเทคนิคปลอดเชื้อโดยใช้หัวเชื้อเห็ดบริสุทธิ์บนอาหารแข็ง PDA อายุ 5 วัน ตัดชิ้นวุ้นที่มีเส้นใยเป็นชิ้นสี่เหลี่ยมขนาด 1x1 เซนติเมตร วางด้านที่มีเส้นใยสัมผัสกับเมล็ดข้าวฟ่าง ปิดฝาขวด บ่มที่อุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส นำไปหยอดเชื้อเมื่ออายุ 10 วันหรือจนกว่าเส้นใยเจริญคลุมเมล็ดข้าวฟ่างทั้งหมด

2.4. การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของซีลีเนียมต่อการเจริญของเส้นใย ผลผลิต และปริมาณซีลีเนียมในดอกเห็ดนางรมเทา

การผลิตก้อนจากวัสดุเพาะฟางข้าว: วางแผนการทดลองแบบ CRD จำนวน 2 ชุด ตามชนิดของวัสดุเพาะ ได้แก่ ชุดที่ 1 ฟางข้าวทั่วไปเสริมซีลีเนียม และชุดที่ 2 ฟางข้าวซีลีเนียมสูงที่เสริมซีลีเนียม แต่ละชุดการทดลองประกอบด้วย 6 สูตร ตามความเข้มข้นของซีลีเนียมที่แตกต่างกันได้แก่ 0, 1.5, 3, 5, 10 และ 15 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ppm) เตรียมฟางข้าวแต่ละชุด โดยนำฟางข้าวแห้งย่อยขนาดด้วยเครื่องสับย่อยหรือใช้มีดสับย่อยเป็นท่อนสั้นพอประมาณ เตรียมน้ำแช่ฟางโดยผสมผลิตภัณฑ์ธรรมชาติ EM อัตราส่วน 0.1 ลิตร กากน้ำตาล 5 ลิตร ต่อน้ำ 100 ลิตร นำฟางที่สับย่อยแล้วค่อย ๆ โปรยลงในน้ำแช่ฟางทีละชั้น ใช้วัสดุที่มีน้ำหนักมาทับฟางไว้เพื่อให้ฟางแช่น้ำได้สมบูรณ์ แช่ทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาที่กำหนดนำฟางขึ้นจากน้ำแช่ พักไว้ให้พอหมาด นำมากองเป็นกองเตี้ย คลุมด้วยผ้าขาวเป็นเวลา 3 วัน โดยกลับกองทุก ๆ 1 วัน เพื่อหมักฟางให้อ่อนนุ่ม เมื่อครบกำหนด นำฟางที่ได้คลุกผสมกับส่วนผสมทั้งหมด (Table 1) ผสมให้เข้ากัน นำวัสดุเพาะที่เตรียมบรรจุใส่ถุงพลาสติกสำหรับเพาะเห็ดขนาด 9x18 นิ้ว โดยบรรจุวัสดุเพาะน้ำหนัก 1,900 กรัมต่อถุง จำนวนสูตรละ 5 ถุง จากนั้นอัดก้อนให้แน่นพอประมาณ ใส่คอขวดพลาสติก 2 ด้าน (หัว-ท้าย) ดึงถุงให้ตึง ปิดจุกประหยัด นำก้อนวัสดุเพาะไปนึ่งฆ่าเชื้อโดยหม้อนึ่งแบบไม่อัดความดันที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ทิ้งไว้จนหม้อนึ่งเย็น นำก้อนออกมาพักสำหรับขยายเชื้อเห็ดลงก้อนต่อไป

การถ่ายหัวเชื้อเมล็ดข้าวฟ่างลงก้อนเชื้อเห็ดโดยเทคนิคปลอดเชื้อ พื้นที่ปฏิบัติงานควรเป็นบริเวณที่ลมสงบ ฆ่าเชื้อที่แห้งเหือกก่อนและหลังการเชื้อทุกครั้ง โดยการเผาไฟบริเวณปลายจนขึ้นมาจนตลอดความยาวของหลัก ทิ้งไว้ให้เย็น ดึงจุกสำหรับออกจากขวดข้าวฟ่าง ส่นไฟฆ่าเชื้อบริเวณรอบปากขวดข้าวฟ่าง ใช้แห้งเหือกหัวเชื้อให้เมล็ดข้าวฟ่างแตกกระจายตัวออกจากกัน ส่นไฟฆ่าเชื้อบริเวณรอบปากขวดข้าวฟ่างอีกครั้ง ใช้มืออีกข้างเปิดจุก จากนั้นหยอดเชื้อก้อนละประมาณ 20 เมล็ด แล้วปิดจุกทันที โดยหยอดเชื้อทั้ง 2 ด้าน (หัว - ท้าย) บ่มก้อนในพื้นที่สะอาด มีอากาศถ่ายเท อุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ประมาณ 25-30 องศาเซลเซียส เมื่อเชื้อเจริญเต็มก้อน นำไปเปิดดอกในโรงเรือน

2.5. การเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตของเส้นใยและผลผลิตดอกเห็ดนางรม

เก็บข้อมูลอัตราการเจริญของเส้นใย โดยการวัดระยะที่เส้นใยเจริญบนก้อนทุก ๆ 1 วัน จำนวน 5 ก้อน ก้อนละ 4 ด้านของถุงเพาะ จนเส้นใยเจริญเต็มก้อน คำนวณอัตราการเจริญของเส้นใยเห็ดต่อวันและจำนวนวันที่เชื้อเจริญเต็มก้อน เมื่อเปิดดอกเห็ดทำการเก็บผลผลิตและคุณภาพของดอกเห็ด ได้แก่ น้ำหนักสด ลักษณะของหมวกดอกและก้านดอก ขนาดหมวกดอก ความยาวก้านดอก สีดอก และจำนวนดอกเฉลี่ยต่อ 1 ช่อ

จากนั้นนำข้อมูลวิเคราะห์ค่าทางสถิติด้วยโปรแกรม SAS version 9.1 วางแผนการทดลองแบบสุ่มแบบสมบูรณ์ (Completely randomized design, CRD) ประกอบด้วย 6 สูตร 5 ซ้ำต่อชุดการทดลอง โดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธีทางสถิติ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ในระดับความเชื่อมั่นที่ 95 เปอร์เซนต์

2.6. การวิเคราะห์ปริมาณซีลีเนียมทั้งหมดในดอกเห็ดนางรม

เก็บตัวอย่างดอกเห็ดนางรมเห็ดที่ได้จากการเพาะด้วยวัสดุเพาะทั้ง 2 ชุดการทดลอง คือ ชุดที่ 1 ฟางข้าวทั่วไปเสริมซีลีเนียม และชุดที่ 2 ฟางข้าวซีลีเนียมสูงที่เสริมซีลีเนียมทั้งหมด 6 สูตรของแต่ละชุดการทดลอง ตรวจวิเคราะห์ปริมาณซีลีเนียมที่สะสมในดอกเห็ด โดยทำให้แห้งด้วยตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง บดให้เป็นผง แล้วย่อยตัวอย่างด้วย Microwave digester ตามวิธีที่ปรับปรุงจาก AOAC (Official Method of Analysis Association of

Analytical Chemists, 2012) และตรวจวิเคราะห์ปริมาณซีลีเนียมด้วย ICP-MS ข้อมูลที่ได้นำไปวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยวิธี ANOVA ตามแผนการทดลองแบบ CRD และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มทดลองด้วยวิธี DMRT โดยใช้โปรแกรมทางสถิติ SAS version 9.1

3. ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

3.1. การผลิตหัวเชื้อบริสุทธิ์ในอาหารเลี้ยงเชื้อและในเมล็ดข้าวฟ่าง

แม่พันธุ์เห็ดนางรมเห็ดสายพันธุ์ TISTR_Post grey-01 ลักษณะของดอกมีสีน้ำตาลอ่อนถึงสีเทา หมวกดอกคล้ายหอยนางรม มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 5–12 เซนติเมตร ขอบหมวกดอกจะห้อยลงด้านล่างเล็กน้อย ผิวด้านบนโค้งเรียบและอ่อนนุ่ม ก้านสั้นสีเทาขาวประมาณ 1–5 เซนติเมตร มีจำนวน

Table 1 Cultivation substrates and supplements for oyster mushroom production

Treatments	Cultivation substrates and supplements					
	Experiment 1			Experiment 2		
	Rice straw (kg)	Rice bran (kg)	Selenium (mg)	Se-rich rice straw (kg)	Rice bran (kg)	Selenium (mg)
1	10	0.3	0	10	0.3	0
2	10	0.3	15	10	0.3	15
3	10	0.3	30	10	0.3	30
4	10	0.3	50	10	0.3	50
5	10	0.3	100	10	0.3	100
6	10	0.3	150	10	0.3	150

Note: Cultivation substrates and supplements were working ratio

ดอกอยู่ระหว่าง 4–10 ดอก เมื่อเลี้ยงบนอาหารสำเร็จรูป PDA พบว่าเส้นใยเห็ดนางรมเห็ดเจริญแผ่รังสีออกเป็นวง มีความหนาแน่น สีขาวทึบ และเจริญเต็มจานเพาะใช้เวลาประมาณ 7–10 วัน ในขณะที่เส้นใยบนอาหารเมล็ดข้าวฟ่าง ลักษณะเส้นใยมีสีขาวหรือขาวครีม เจริญปกคลุมเมล็ดข้าวฟ่างอย่างหนาแน่น และเจริญเต็มขวดอาหาร ใช้เวลา 3 วัน (Figure 1)

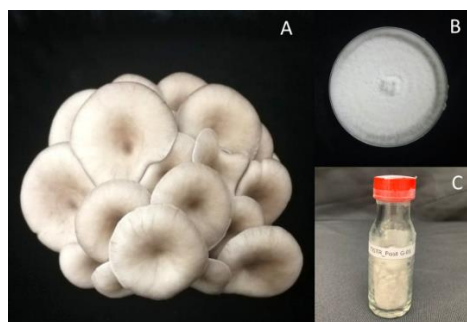


Figure 1 Morphology of fruiting bodies of grey oyster mushroom strain TISTR_Post grey-01 (A); mycelium on PDA for 10 days (B); and spawn on sorghum seeds for 3 days (C)

3.2. ผลของการเสริมซีลีเนียมในวัสดุเพาะฟางข้าวต่ออัตราการเจริญของเส้นใยเห็ดนางรมเห็ด

จากการทดลองเพาะเห็ดในวัสดุเพาะ จำนวน 2 ชุดการทดลอง คือ ชุดที่ 1 ฟางข้าวที่ได้จากการผลิตข้าวทั่วไปเสริมซีลีเนียม และชุดที่ 2 ฟางข้าวซีลีเนียมสูงที่เสริมซีลีเนียม แต่ละชุดการทดลองประกอบด้วย 6 สูตร ตามความเข้มข้นของระดับซีลีเนียมได้แก่ 0, 1.5, 3, 5, 10 และ 15 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม พบว่าอัตราการเจริญของเส้นใยของชุดการทดลองที่ 1 ในวัสดุเพาะฟางข้าวทั่วไปที่เพิ่มเสริมซีลีเนียม ความเข้มข้น 5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม มีอัตราการเจริญของเส้นใยมากที่สุดเฉลี่ย 0.946 ± 0.012 เซนติเมตรต่อวัน รองลงมาคือที่ความเข้มข้น 3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เฉลี่ยเท่ากับ 0.893 ± 0.005 เซนติเมตรต่อวัน ในขณะที่วัสดุเพาะฟางข้าวทั่วไปที่ไม่ได้เสริมซีลีเนียม (ชุดควบคุม) มีอัตราการเจริญของเส้นใยเฉลี่ยต่ำสุด 0.817 ± 0.016 เซนติเมตรต่อวัน ส่วนผลการเจริญของเส้นใยจากวัสดุเพาะฟางข้าวซีลีเนียมสูง ชุดการทดลองที่ 2 ที่ระดับของการเสริมซีลีเนียมที่ความเข้มข้น 3 และ 5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ให้อัตราการเจริญของเส้นใยมากที่สุดเฉลี่ยเท่ากับ 0.878 ± 0.020 และ 0.875 ± 0.036 เซนติเมตรต่อวัน ตามลำดับ รองลงมาที่ความ

เข้มข้น 1.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม อัตราการเจริญ 0.843±0.022 เซนติเมตรต่อวัน และอัตราการเจริญของเส้นใยต่ำสุดในวัสดุเพาะฟางข้าวเสริมซีลีเนียม (สูตรควบคุม) เฉลี่ยเท่ากับ 0.778±0.016 เซนติเมตรต่อวัน จะเห็นได้ว่าทั้ง 2 ชุดการทดลองคือ ฟางข้าวทั่วไปและฟางข้าวซีลีเนียมสูง ให้ผลไปในแนวทางเดียวกัน คือในสูตรที่ไม่มีการเพิ่มซีลีเนียมมีการเจริญของเส้นใยต่ำกว่าสูตรที่เสริมซีลีเนียม และการเติมซีลีเนียมในวัสดุเพาะที่ระดับความเข้มข้น 3 และ 5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดต่อการเจริญของเส้นใยเห็ดนางรมเทา ในทางกลับกันถ้าเติมเสริมซีลีเนียมที่ความเข้มข้นสูงกว่า 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ลงในวัสดุเพาะจะทำให้การเจริญของเส้นใยลดลงตามความเข้มข้นของซีลีเนียมที่เพิ่มขึ้น (Figure 2) ซึ่งต่างจากงานวิจัยที่ผ่านมา [13] ที่พบว่าเมื่อเลี้ยงเส้นใยบนอาหารที่ผสมซีลีเนียมที่ความเข้มข้นต่าง ๆ เส้นใยเจริญได้ดีที่ความเข้มข้น 5, 10 และ 20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในขณะที่ความเข้มข้น 50 และ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เส้นใยเจริญได้เพียงเล็กน้อย และเส้นใยไม่เจริญที่ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

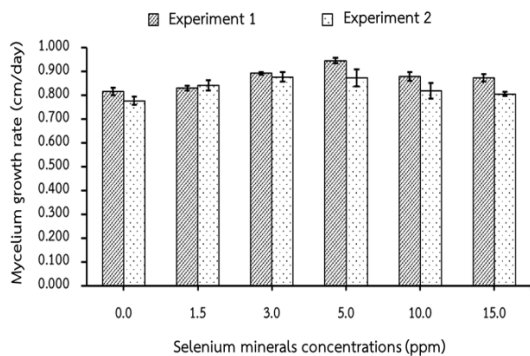


Figure 2 Mycelium growth rate (cm/day) of grey oyster mushrooms on rice straw with selenium (Treatment 1) and Se-rich rice straw with selenium (Treatment 2) at 1.5, 3, 5, 10 and 15 ppm

3.3. ผลของการเสริมซีลีเนียมในวัสดุเพาะฟางข้าวต่อระยะ เวลาการเจริญของเส้นใยเห็ดนางรมเทา

จากการเพาะเลี้ยงเส้นใยเห็ดนางรมเทาในวัสดุเพาะ 2 ชนิด คือ ฟางข้าวทั่วไป (ชุดการทดลองที่ 1) และฟางข้าวซีลีเนียมสูง (ชุดการทดลองที่ 2) ที่เสริมซีลีเนียมความเข้มข้นต่างกัน พบว่าวัสดุเพาะฟางข้าวทั่วไปเสริมซีลีเนียม เส้นใยใช้เวลาเจริญเต็มก่อน 39-44 วัน โดยความเข้มข้น 5 และ 3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เส้นใยเจริญเต็มก่อนเชื้อเร็วที่สุดใช้เวลา 39 และ 40 วัน ตามลำดับ และสูตรที่ไม่เติมซีลีเนียม (ชุดควบคุม) ใช้ระยะเวลาเจริญเต็มก่อนนานที่สุดถึง 44 วัน (Table 2) ในขณะที่ระยะเวลาการเจริญของเส้นใยเห็ดนางรมเทาในก้อนฟางข้าวซีลีเนียมสูงเสริมซีลีเนียมที่ระดับความ

เข้มข้น 3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เส้นใยเจริญเต็มก่อนเร็วที่สุดใช้เวลาเพียง 40 วัน รองลงมาคือที่ระดับซีลีเนียม 5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ใช้ระยะเวลาเจริญเต็มก่อน 41 วัน และชุดควบคุมเส้นใยใช้เวลาเจริญเต็มก่อนนานที่สุด 46 วัน (Table 3) แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นมากกว่า 5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เส้นใยเจริญได้ช้ากว่าจากรายงานที่ผ่านมา [14] พบว่าซีลีเนียมที่อยู่ในรูปของซีลีไนท์ และที่ความเข้มข้นสูง มีผลต่อการยับยั้งการเจริญของเส้นใยเห็ดจากกระบวนการ Selenium oxidation ทำให้เจริญได้ช้าลงแต่ไม่หยุดการเจริญ เนื่องจากนางรมเทาสายพันธุ์ดังกล่าวอาจสามารถทนต่อความเป็นพิษได้ (Selenium tolerance)

จากการทดลองจะเห็นได้ว่าระยะเวลาการเจริญของเส้นใยเห็ดนางรมเทาในวัสดุเพาะฟางข้าวทั่วไปเสริมซีลีเนียม และฟางข้าวซีลีเนียมสูงที่เสริมซีลีเนียม ให้ผลไปในแนวทางเดียวกันคือระดับความเข้มข้นที่ 3 และ 5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เป็นระดับที่เหมาะสมที่สุดที่มีผลทำให้การเจริญของเส้นใยเห็ดนางรมเทาในก้อนเชื้อใช้เวลาเจริญสั้นที่สุด หากเปรียบเทียบกับการใช้ถุงเพาะขนาดมาตรฐานคือ 6.5 นิ้ว x 12.5 นิ้ว เส้นใยเห็ดนางรมเทาเจริญเต็มก่อนใช้เวลา 20-30 วัน แต่เนื่องจากงานวิจัยนี้เป็นการปรับเทคโนโลยีให้เหมาะกับวัสดุ จึงใช้ถุงเพาะที่มีขนาดใหญ่ขึ้นคือ 8 x 19 นิ้ว (Figure 3) ดังนั้น อัตราการเจริญจึงช้ากว่าเมื่อเทียบกับถุงมาตรฐาน

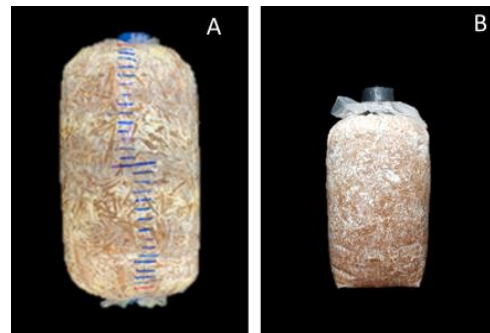


Figure 3 Mushroom mycelium growing in substrate bags with different sizes. (A) Plastic bag 9 x 18 inch and (B) Standard bag 6.5 x 12.5 inch

3.4. ผลของการเสริมซีลีเนียมในวัสดุเพาะฟางข้าวต่อปริมาณผลผลิตเห็ดนางรมเทา

จากการเปิดดอกเห็ดนางรมเทาในโรงเรือน เก็บผลผลิตดอกสดเป็นระยะเวลา 2 เดือน ในวัสดุเพาะฟางข้าวทั่วไปและฟางข้าวซีลีเนียมสูง ที่เสริมซีลีเนียม ความเข้มข้น 0, 1.5, 3, 5, 10 และ 15 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (Table 4) พบว่าชุดการทดลองที่ 1 ฟางข้าวทั่วไปที่เสริมซีลีเนียมความเข้มข้น 1.5 และ 5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ให้ผลผลิตดอกสดมากที่สุดเท่ากับ 634 และ 650 กรัมต่อก่อนตามลำดับ ในขณะที่ชุดควบคุมให้ปริมาณผลผลิตดอกสดอยู่ที่ 528 กรัมต่อก่อน เมื่อเปรียบเทียบกับผลผลิตดอกสด ชุดที่ 2 จากวัสดุเพาะฟางข้าวซีลีเนียม ที่เสริมซีลีเนียม พบว่าทั้ง 6 สูตร

ให้ผลผลิตดอกสดอยู่ระหว่าง 229–369 กรัมต่อก่อน โดยระดับความเข้มข้นของซีลีเนียม 5 และ 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ให้ผลผลิตดอกสดสูงสุดเท่ากับ 369 และ 365 กรัมต่อก่อนตามลำดับ ในขณะที่ชุดควบคุมให้ผลผลิตดอกสดเพียง 229 กรัมต่อก่อน สอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา [15] ซึ่งทดลองปลูกเห็ดนางรมหัว (*P. tuoliensis*) บนวัสดุเพาะที่เติมและไม่เติมปุ๋ยซีลีเนียมในรูปโซเดียมซีลีไนท์ (Sodium selenite) พบว่าวัสดุเพาะที่เติมปุ๋ยซีลีเนียมให้ผลผลิตดอกสดเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับชุดควบคุมถึง 300 กรัม อีกทั้งวัสดุเพาะฟางข้าวอุดม

ซีลีเนียมปริมาณ 40.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ให้ปริมาณผลผลิตเห็ดนางรมสายพันธุ์ *P. florida* เพิ่มขึ้นจาก 50.20 เป็น 64.50 กิโลกรัม [16] ดังนั้น ความเข้มข้นของซีลีเนียมที่ 1.5 และ 5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมที่เสริมในฟางข้าวทั่วไป และที่ความเข้มข้น 5 และ 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมที่เสริมในฟางข้าวซีลีเนียมสูง (ชุดที่ 2) เป็นระดับที่มีแนวโน้มที่จะนำไปพัฒนาเพื่อการผลิตเห็ดนางรมซีลีเนียมสูง อย่างไรก็ตาม การเลือกนำไปใช้ควรพิจารณาปัจจัยรวมทั้งหมดควบคู่กัน เช่น ผลผลิต คุณภาพดอกเห็ด และปริมาณสารสำคัญ เป็นต้น

Table 2 Mycelium growth rate of grey oyster mushroom mycelia on rice straw substrate with different concentrations of selenium

Time (days)	Mycelium growth rate (cm) for mycelium to fill up the bag					
	Experiment 1 Rice straw with different concentrations of selenium					
	0 ppm	1.5 ppm	3 ppm	5 ppm	10 ppm	15 ppm
4	4.16±0.20	4.25±0.18	4.35±0.15	4.44±0.16	4.36±0.19	4.21±0.20
12	9.70±0.19	10.15±0.22	10.60±0.20	11.40±0.12	11.08±0.19	10.52±0.18
20	16.44±0.18	16.82±0.19	17.68±0.18	18.81±0.19	18.11±0.24	17.35±0.18
28	22.95±0.15	23.54±0.14	24.72±0.19	26.34±0.13	24.96±0.14	23.99±0.17
36	28.80±0.47	29.36±0.39	31.40±0.39	33.69±0.35	31.56±0.24	30.71±0.37
39	31.29±0.62	32.28±0.55	34.80±0.45	36.98±0.23	34.93±0.55	33.37±0.28
40	32.01±0.39	33.58±0.57	36.59±0.13	-	35.75±0.50	34.46±0.34
41	33.19±0.72	34.44±0.31	-	-	36.15±0.50	35.39±0.37
42	34.28±0.49	36.04±0.14	-	-	-	36.46±0.50
44	36.53±0.21	-	-	-	-	-
Total	44	42	40	39	41	42

Table 3 Mycelium growth rate of grey oyster mushroom mycelia on Se-rich rice straw substrate with different concentrations of selenium

Time (days)	Mycelium growth rate (cm) for mycelium to fill up the bag					
	Experiment 2 Se-rich rice straw different concentrations of selenium					
	0 ppm	1.5 ppm	3 ppm	5 ppm	10 ppm	15 ppm
4	4.40±0.21	4.41±0.17	4.51±0.23	4.43±0.26	4.37±0.14	3.93±0.29
12	10.36±0.18	10.37±0.23	11.76±0.25	11.35±0.25	10.55±0.19	10.25±0.25
20	15.42±0.17	15.96±0.23	18.02±0.16	17.70±0.22	15.96±0.19	16.33±0.30
28	20.44±0.22	22.11±0.31	24.05±0.23	23.93±0.25	21.96±0.64	22.40±0.24
36	26.78±0.37	29.56±0.36	31.37±0.23	30.71±0.16	28.87±0.48	28.94±0.22
40	31.00±0.32	33.77±0.35	35.64±0.23	35.08±0.15	32.44±0.25	32.78±0.33
41	32.02±0.34	34.97±0.57	-	35.98±0.42	33.50±0.59	33.57±0.14
42	33.10±0.36	35.37±0.23	-	-	35.90±0.45	34.89±0.57
43	33.94±0.34	-	-	-	-	35.71±0.23
46	35.28±0.34	-	-	-	-	-
Total	46	42	40	41	42	43

Table 4 Fresh weight of grey oyster mushroom from different cultivation substrates with different concentrations of selenium

Treatments	selenium (ppm)	Fresh weight (g)	
		Experiment 1	Experiment 2
		Rice straw with selenium	Se-rich rice straw with selenium
1	0	528.50±51.90 ^{ab}	229.59±32.50 ^b
2	1.5	634.66±35.53 ^a	273.00±43.83 ^{ab}
3	3	587.16±56.56 ^{ab}	277.75±29.41 ^{ab}
4	5	650.00±45.25 ^a	369.42±67.47 ^a
5	10	579.83±60.66 ^{ab}	365.00±39.46 ^a
6	15	435.83±66.52 ^b	282.46±28.73 ^{ab}
<i>F-Test</i>		*	*
CV%		23.02	34.52

Note: Mean values with different superscript letters in a column are significantly different at 95% by DMRT Test

3.5. ผลของการเสริมซีลีเนียมในวัสดุเพาะฟางข้าว ต่อลักษณะของดอกเห็ดนางรมเทา

จากการเพาะเห็ดนางรมเทาด้วยวัสดุเพาะฟางข้าวทั่วไปและฟางข้าวซีลีเนียมสูง ที่เสริมซีลีเนียม ความเข้มข้น 1.5, 3, 5, 10 และ 15 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม พบว่า ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของดอกเห็ดนางรมเทามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยลักษณะของหมวกดอกและก้านดอก ขนาดหมวกดอก จำนวนดอกต่อ 1 ช่อ สี และความยาวก้านดอก พบว่าสามารถจำแนกลักษณะดอกได้ 3 กลุ่ม ตามระดับของซีลีเนียม โดยกลุ่มที่ 1 เป็นกลุ่มที่อยู่ระหว่างชุดควบคุม ถึงระดับซีลีเนียม 1.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ลักษณะดอกสีเทาอ่อนหรือสีขาวขุ่น หมวกดอกกลมคล้ายพัดหรือร่ม จำนวนดอกน้อย แต่หมวกดอกมีขนาดใหญ่ ผิวด้านบนเรียบและอ่อนนุ่ม ส่วนกลุ่มที่ 2 เป็นกลุ่มที่อยู่ระหว่างระดับซีลีเนียม 3–5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ลักษณะดอกสีเทาเข้มหรือสีเทาอมครีม หมวกดอกกลมคล้ายหอยนางรม ดอกเล็กแต่มีจำนวนดอกมาก ขอบหมวกดอกจะห้อยลงด้านล่าง ผิวด้านบนโค้งเรียบและอ่อนนุ่ม และกลุ่มที่ 3 เป็นกลุ่มที่อยู่ระหว่างระดับซีลีเนียม 10–15 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ลักษณะดอกสีเทาและสีขาวขุ่น หมวกดอกหึ่งงอ เป็นรูปกรวยชัดเจน ขนาดดอกใหญ่กว่าชุดควบคุม และมีจำนวนดอกน้อยกว่ากลุ่มที่ 2 ก้านดอกใหญ่หึ่งงอ (Figure 4) สอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา [17] ซึ่งพบว่าการเพาะเห็ดนางรมสีขาวยในวัสดุเพาะผสมซีลีเนียมความเข้มข้นมากกว่า 12.8 ไมโครกรัมต่อกรัม พบว่าดอกเห็ดที่ได้มีลักษณะดอกผิดรูปหึ่งงอ เนื่องจากผลของซีลีเนียมมีปริมาณที่เป็นพิษ ส่งผลให้เกิดการยับยั้งการเจริญของเส้นใย และทำให้การสร้างดอกไม่สมบูรณ์ ส่วนสีของดอกเห็ดขึ้นอยู่กับปัจจัยสภาพอากาศ หรือช่วงฤดูที่เพาะปลูก โดยการวิจัยครั้งนี้เพาะปลูกในช่วงเดือนมีนาคม-เมษายน เป็นช่วงฤดูร้อน มีอุณหภูมิสูง เห็ดนางรมเทาที่ได้จึงมีสีขาวครีมถึงเทาอ่อน (Light-brown) [18]

3.6. ผลของการเสริมซีลีเนียมในวัสดุเพาะฟางข้าว ต่อคุณภาพของดอกเห็ดนางรมเทา

เมื่อเพาะด้วยวัสดุเพาะฟางข้าวทั่วไปและฟางข้าวซีลีเนียมสูง ที่เสริมซีลีเนียมความแตกต่างกัน ส่งผลให้คุณภาพของดอกเห็ดมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ โดยวัสดุเพาะฟางข้าวทั่วไปที่ใส่ซีลีเนียมความเข้มข้น 5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมให้ขนาดดอกใหญ่ที่สุด 56.93±3.06 มิลลิเมตร ในขณะที่วัสดุเพาะฟางข้าวซีลีเนียมสูง ที่เสริมซีลีเนียมความเข้มข้น 3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมให้ขนาดดอกใหญ่ที่สุด 63.78±5.83 มิลลิเมตร แต่เมื่อความเข้มข้นซีลีเนียมสูงขึ้น ที่ 15 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในทั้ง 2 ชุดการทดลอง ดอกเห็ดมีขนาดเล็กกว่าชุดควบคุมเฉลี่ยเท่ากับ 34.84±3.70 และ 44.13±3.05 มิลลิเมตร ตามลำดับ เช่นเดียวกับงานวิจัยที่ผ่านมา [19] ที่พบว่าเมื่อเพาะเห็ดนางรมบนวัสดุที่มีซีลีเนียมมากกว่า 12.8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ทำให้ก้านใหญ่แต่ดอกเล็กกว่าวัสดุที่ไม่เสริมหรือมีซีลีเนียมน้อยกว่า สำหรับจำนวนดอกของเห็ดนางรมเทา ในวัสดุเพาะฟางข้าวทั้ง 2 ชุดการทดลอง เมื่อนำมาคำนวณผลทางสถิติให้ผลไปในทางเดียวกับขนาดดอก คือที่ระดับความเข้มข้นของซีลีเนียม 3 และ 5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เป็นระดับที่เหมาะสมให้ผลของจำนวนดอกมากที่สุด 28.26±3.46 และ 26.42±2.39 ดอกต่อช่อ ตามลำดับ ในขณะที่ชุดควบคุมให้ผลของจำนวนดอกน้อยที่สุด 19.07±1.65 และ 17.25±2.64 ดอกต่อช่อตามลำดับ และผลด้านความยาวก้านดอกของเห็ดนางรมเทาพบว่าที่ระดับความเข้มข้นของซีลีเนียม 5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ดอกเห็ดมีความยาวก้านเฉลี่ยมากที่สุด 38.66±2.27 และ 41.33±1.19 มิลลิเมตร ตามลำดับ (Table 5) ซึ่งลักษณะก้านดอกอวบ ยาว หมวกดอกขนาดใหญ่เป็นหนึ่งในลักษณะของเห็ดนางรมที่มีคุณภาพเป็นที่ต้องการของตลาด

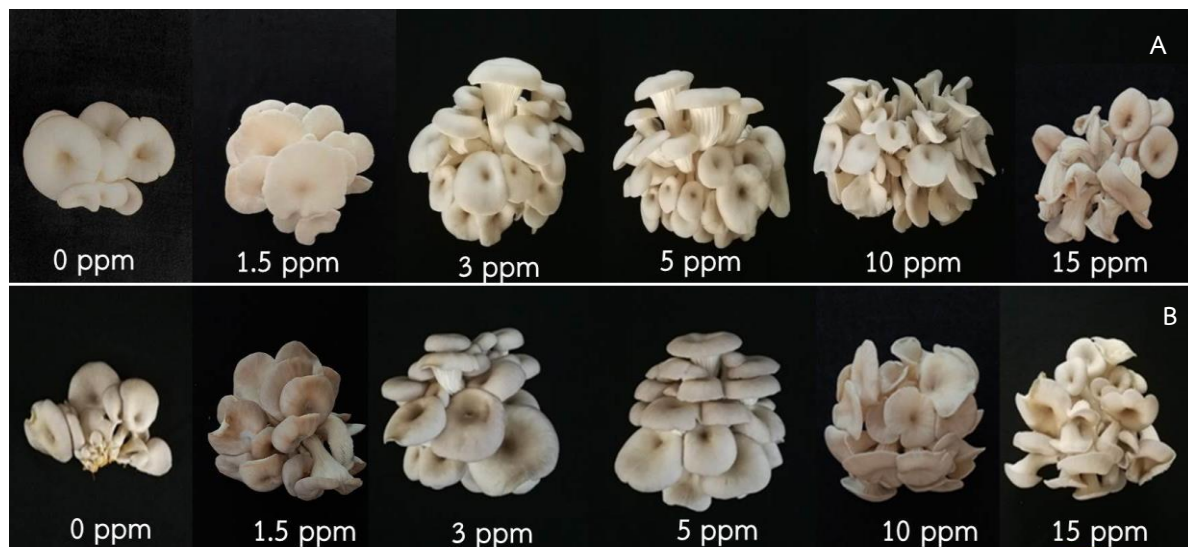


Figure 4 Fruiting bodies characteristics of grey oyster mushroom cultivated on rice straw with selenium (A) and on Se-rich rice straw with selenium (B) at concentrations of 0, 1.5, 3, 5, 10 and 15 ppm

Table 5 Quality of fruiting bodies of grey oyster mushroom from different cultivation substrates with different concentrations of selenium

Treatments	Selenium (ppm)	Experiment 1			Experiment 2		
		Cap diameter (mm)	Stalk length (mm)	Number of fruiting body	Cap diameter (mm)	Stalk length (mm)	Number of fruiting body
1	0	45.00±3.86 ^{ab}	33.68±1.75 ^c	19.07±1.65 ^b	52.86±6.15 ^{ab}	37.71±2.56 ^b	17.25±2.64 ^b
2	1.5	46.49±3.37 ^{ab}	36.83±0.73 ^{ab}	22.63±1.84 ^{ab}	51.35±4.16 ^{ab}	37.03±1.13 ^b	22.45±3.29 ^{ab}
3	3	44.08±3.88 ^b	38.00±1.25 ^a	22.45±1.88 ^{ab}	63.78±5.83 ^a	38.60±1.39 ^b	28.26±3.46 ^a
4	5	56.93±3.06 ^a	38.66±2.27 ^a	26.42±2.39 ^a	50.45±4.38 ^{ab}	41.33±1.19 ^a	25.63±3.3 ^{ab}
5	10	45.97±5.57 ^{ab}	33.93±2.52 ^{bc}	22.87±2.50 ^{ab}	52.64±2.18 ^{ab}	37.16±1.30 ^b	22.58±2.65 ^{ab}
6	15	34.84±3.70 ^b	33.05±4.51 ^c	22.98±2.47 ^{ab}	44.13±3.05 ^b	38.45±1.45 ^b	21.78±1.95 ^{ab}
<i>F-Test</i>		*	**	*	*	**	*
CV%		21.37	7.04	23.12	21.02	4.12	31.26

Note: Mean values with different superscript letters in a column are significantly different at 95% by DMRT Test

Table 6 Selenium accumulation in grey oyster mushroom from different cultivation substrates with different concentrations of selenium

Treatments	Selenium (ppm)	Selenium accumulation (µg/kgDW)	
		Experiment 1	Experiment 2
1	0	140±3.01 ^f	220±4.32 ^f
2	1.5	170±3.52 ^e	230±3.20 ^e
3	3	280±4.27 ^c	360±4.86 ^a
4	5	220±3.87 ^d	320±3.88 ^c
5	10	590±3.82 ^b	300±5.31 ^d
6	15	930±5.31 ^a	340±4.76 ^b
<i>F-Test</i>		*	*
CV%		1.15	1.68

Note: Mean values with different superscript letters in a column are significantly different at 95% by DMRT Test

3.7. ผลของการเสริมซีลีเนียมในวัสดุเพาะฟางข้าว ต่อปริมาณซีลีเนียมทั้งหมดของเห็ดนางรมเทา

ปริมาณของซีลีเนียมสะสมในดอกเห็ดนางรมเทาที่ได้จากการเสริมซีลีเนียมความเข้มข้น 0, 1.5, 3, 5, 10 และ 15 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ลงในวัสดุเพาะ 2 ชนิด คือ ฟางข้าวทั่วไปที่ได้จากการปลูกข้าวในวิธีปกติ (ชุดการทดลองที่ 1) และฟางข้าวซีลีเนียมสูงจากแปลงต้นแบบที่มีการเสริมปุ๋ยอินทรีย์ซีลีเนียมลงในดิน (ชุดการทดลองที่ 2) พบว่าเมื่อเพาะในฟางทั่วไปที่เสริมซีลีเนียมพบปริมาณซีลีเนียมสะสมในดอกเห็ดเท่ากับ $140 \pm 3.01 - 930 \pm 5.31$ ไมโครกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง ซึ่งปริมาณซีลีเนียมสะสมในดอกเห็ดเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของซีลีเนียมที่เสริมลงในวัสดุเพาะ ในขณะที่ฟางข้าวซีลีเนียมสูงพบปริมาณซีลีเนียมสะสมในดอกเห็ดเท่ากับ $220 \pm 4.32 - 340 \pm 4.76$ ไมโครกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง (Table 6) สอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา [20] ซึ่งวิเคราะห์ปริมาณซีลีเนียมสะสมในดอกเห็ดตระกูลนางรมที่ได้จากการเพาะด้วย วัสดุฟางข้าวทั่วไปและฟางข้าวอุดมซีลีเนียม พบว่าเห็ดมีปริมาณซีลีเนียมสูงขึ้นเท่ากับ 5.0 และ 145.4 ไมโครกรัมต่อกรัมแห้ง ตามลำดับ ซึ่งมากกว่าปริมาณที่สะสมในวัสดุเพาะฟางข้าว แสดงให้เห็นว่าซีลีเนียมในรูปแบบอินทรีย์ทั้งหมดถูกดูดซึมได้ดี [21] นอกจากนี้มีรายงานว่าเห็ดนางรมเทาเป็นชนิดที่สามารถดูดซับซีลีเนียมได้ดีกว่าเห็ดชนิดอื่น เช่น เห็ดหอม กระเทียม มีปริมาณเท่ากับ 858, 52.8 และ 356 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม [22] โดยซีลีเนียมสะสมในเห็ดส่วนใหญ่อยู่ในรูปของซีลีโนซิสเทอีน เซเลโนเมไธโอนีน และเมทิลเซเลโนซิสเทอีน [23] ใช้สำหรับกระบวนการสังเคราะห์ซีลีโนโปรตีนต่อไป

เมื่อเปรียบเทียบระหว่าง 2 ชุดการทดลอง เห็ดที่เพาะบนวัสดุฟางข้าวเสริมซีลีเนียมความเข้มข้น 0, 1.5, 3 และ 5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม มีปริมาณซีลีเนียมสะสมมากกว่าเห็ดที่เพาะบนฟางข้าวทั่วไป แต่จะเห็นได้ว่าความเข้มข้นที่มากกว่าหรือเท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณซีลีเนียมสะสมแปรผกผันกับปริมาณซีลีเนียมที่เสริมในวัสดุเพาะ ทั้งนี้เนื่องจากปัจจัยต่างๆ เช่น ค่าความเป็นกรด-ด่าง อินทรีย์วัตถุในวัสดุเพาะเปลี่ยนไประหว่างการเปิดดอก ซึ่งเป็นปัจจัยควบคุมรูปทางเคมีของซีลีเนียมที่ปลดปล่อยออกมา สอดคล้องกับทฤษฎีที่ว่าค่าความเป็นกรด-ด่าง เป็นปัจจัยสำคัญที่มีบทบาทต่อการเปลี่ยนรูปทางเคมี การเคลื่อนที่ สภาพการละลายของซีลีเนียมและความเป็นประโยชน์ของซีลีเนียมในดิน [24] หรือความผันแปรขององค์ประกอบทางเคมีในวัสดุเพาะ [25] กล่าวว่าการผันแปรขององค์ประกอบทางเคมีหรือแร่ในดินทำให้มีความแตกต่างของพื้นผิวทางเคมีของแร่ ซึ่งจะมีผลต่อการดูดซับการตกตะกอนและความเป็นประโยชน์ของซีลีเนียมในดิน นอกจากนี้การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างซีลีโนต์กับ

สารประกอบอินทรีย์ในดินผ่านกิจกรรมของจุลินทรีย์อาจลดความเป็นประโยชน์ของซีลีเนียมในวัสดุเพาะ หรือในดิน สอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา [26] ที่พบว่าซีลีเนียมส่วนใหญ่ในดินสามารถถูกดูดซับอยู่ในรูปสารประกอบอินทรีย์เชิงซ้อน เกิดกระบวนการอิมโมบิไลเซชันของซีลีโนต์โดยจุลินทรีย์ดิน และลดความเป็นประโยชน์ของซีลีเนียมได้ [27] อย่างไรก็ตามเห็ดที่ได้จากวัสดุเพาะทั้ง 2 ชนิด ทุกความเข้มข้น ให้ปริมาณซีลีเนียมมากกว่าเห็ดที่ได้จากการเพาะด้วยวิธีธรรมชาติ ซึ่งมีปริมาณเพียง 2.2–9.3 ไมโครกรัมต่อ 100 กรัม [28]

จากการศึกษาเทคโนโลยีการเพาะเห็ดด้วยฟางข้าวทั่วไปและฟางข้าวซีลีเนียมสูงที่ไม่มีการเสริมซีลีเนียม (ชุดควบคุม) จะเห็นได้ว่าเห็ดที่เพาะในฟางข้าวซีลีเนียมสูงมีปริมาณซีลีเนียมสะสมมากกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ปริมาณซีลีเนียมที่เหมาะสมเสริมลงในวัสดุเพาะควรอยู่ในช่วง 3–5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และควรต่ำกว่า 15 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม อย่างไรก็ตาม เห็ดประกอบด้วยส่วนที่เป็นน้ำหนักแห้ง 10 เปอร์เซ็นต์ และน้ำ 90 เปอร์เซ็นต์ [29] เมื่อผ่านการระเหยส่วนที่เป็นน้ำออก จะเหลือเพียงส่วนที่เป็นน้ำหนักแห้ง เมื่อพิจารณาถึงผลลัพธ์ที่ได้ ผงแห้งของเห็ด 1 กิโลกรัมมาจากเห็ดสดน้ำหนัก 10 กิโลกรัม ดังนั้นปริมาณซีลีเนียมสะสมที่ได้จากการทดลองจะมีปริมาณอยู่ในช่วง 14–93 และ 22–34 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ จากรายงานของกรมอนามัยถึงปริมาณสารอาหารอ้างอิงที่ควรได้รับประจำวันสำหรับคนไทย รายงานว่า ซีลีเนียมที่ควรได้รับประจำวัน (Recommended Dietary Allowance : RDA) เท่ากับวันละ 15–70 ไมโครกรัม

4. บทสรุป

การผลิตเห็ดนางรมเทาซีลีเนียมสูง (Se-rich grey oyster mushroom) โดยการเสริมซีลีเนียมเข้าไปในวัสดุเพาะหรือการใช้วัสดุเพาะที่มีปริมาณซีลีเนียมสูง ซีลีเนียมความเข้มข้นต่างกันมีผลต่ออัตราการเจริญของเส้นใย และจำนวนวันที่เจริญเต็มก่อนต่างกัน โดยซีลีเนียมความเข้มข้น 3 และ 5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เป็นความเข้มข้นที่เหมาะสม อีกทั้งให้ปริมาณผลผลิตสูงที่สุด ให้ลักษณะดอก และคุณภาพดอกเห็ดดีในทางกลับกัน เมื่อความเข้มข้นของซีลีเนียมเพิ่มสูงขึ้นมากกว่า 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่งผลให้การเจริญของเส้นใยน้อยลงและมีผลกระทบต่อปริมาณและคุณภาพของดอกเห็ด เมื่อวิเคราะห์ปริมาณซีลีเนียมสะสมในดอกเห็ดจากฟางข้าวทั่วไปเสริมซีลีเนียม มีปริมาณเท่ากับ $140 \pm 3.0 - 930 \pm 5.31$ ไมโครกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง ในขณะที่ฟางข้าวซีลีเนียมสูงพบปริมาณซีลีเนียมสะสมในดอกเห็ดเท่ากับ $220 \pm 4.32 - 340 \pm 4.76$ ไมโครกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนส่วนหนึ่งจากสำนักงานปลัดกระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม ภายใต้โครงการผลักดันความร่วมมือด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและนวัตกรรม (วทน) ระหว่างไทย-สาธารณรัฐประชาชนจีน ประจำปีงบประมาณ 2563

6. References

- [1] Mkhize, S.S. and et al. 2016. Performance of *Pleurotus ostreatus* mushroom grown on maize stalk residues supplemented with various levels of maize flour and wheat bran. **Food Science and Technology**. 36(4): 598-605.
- [2] Wongpaosakul, C. 2012. *Pleurotus* sp. Mushroom Selection with Mono-Mono Crossing. B.Sc. Thesis, Rajamangala University of Technology Thanyaburi. (in Thai)
- [3] Fongngern, W., Pechhan, S. and Yajoh, R. 2012. Application with the internet of things technology control in smart farms mushroom. **Journal of Information Technology Management and Innovation**. 5(1): 172-182. (in Thai)
- [4] Chinwang, S. and et al. 2013. Lower production cost of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) by using agricultural wastes and weed plants as culturing substrates. **Rajabhat Agriculture Journal**. 12(1): 12-19. (in Thai)
- [5] Keophila, M. and et al. 2013. Effect of rice straw on rice yields, pH, electrical conductivity and bulk density of paddy soil. **KKU Research Journal (Graduate Studies)**. 13(2): 1-9. (in Thai)
- [6] Gou, G. and et al. 2017. Environmentally friendly method for the separation of cellulose from steam-exploded rice straw and its high-value applications. In: Kazi, S.N. (ed.) **Pulp and Paper Processing**. London: IntechOpen.
- [7] Sarnklong, C. and et al. 2010. Utilization of rice straw and different treatments to improve its feed value for ruminants: A review. **Asian Australasian Journal of Animal Sciences**. 23(5): 680-692.
- [8] Shen, J. and et al. 2019. Selenium distribution and translocation in rice (*Oryza sativa* L.) under different naturally seleniferous soils. **Sustainability**. 520: 1-11.
- [9] Terry, E.N. and Diamond, A.M. 2012. Selenium. In: Erdman, J.W., Macdonald, L.A. and Zeisel, S.H. (eds.) **Present Knowledge in Nutrition**, 10th edition. Washington, D.C.: John Wiley & Sons.
- [10] Silva, M.C.S. and et al. 2012. Enrichment of *Pleurotus ostreatus* mushrooms with selenium in coffee husks. **Food Chemistry**. 131: 558-563.
- [11] Kieliszek, M. and Błazejak, S. 2016. Current knowledge on the importance of selenium in food for living organisms: A review. **Molecules**. 21(609): 1-16.
- [12] Bureau of Nutrition, Department of Health, Ministry of Public Health. 2020. **Dietary Reference Intake for Thais 2020**. <https://www.thaidietetics.org/wp-content/uploads/2020/04/dri2563.pdf>. Accessed 1 September 2021. (in Thai)
- [13] Milovanovic, L. and et al. 2014. Potential of *Pleurotus ostreatus* mycelium for selenium absorption. **The Scientific World Journal**. 681-834.
- [14] Silva, M.C.S. and et al. 2019. Growth and tolerance of *Pleurotus ostreatus* at different selenium forms. **Journal of Agricultural Science**. 11(2): 151-158.
- [15] Zou, Y. and et al. 2018. Selenium speciation and biological characteristics of selenium-rich Bailing mushroom, *Pleurotus tuoliensis*. **Emirates Journal of Food and Agriculture**. 30(8): 704-708.
- [16] Kaur, G., Kalia, A. and Sodhi, H. 2018. Selenium biofortification of *Pleurotus* species and its effect on yield, phytochemical profiles, and protein chemistry of fruiting bodies. **Journal of Food Biochemistry**. 42(2): e12467.
- [17] Oliveira, A.P.D. and Naozuka, J. 2019. Preliminary results on the feasibility of producing selenium-enriched pink (*Pleurotus djamor*) and white (*Pleurotus ostreatus*) oyster mushrooms: Bioaccumulation, bioaccessibility, and Se-proteins distribution. **Microchemical Journal**. 145: 1143-1150.
- [18] Kong, W.S. 2004. Description of commercially important *Pleurotus* species. In: Choi, K.W. (ed.) **Mushroom Growers' Handbook 1: Oyster Mushroom Cultivation**. Seoul: MushWorld.

- [19] Silva, M.C.S. and et al. 2012. Enrichment of *Pleurotus ostreatus* mushrooms with selenium in coffee husks. **Food Chemistry**. 131(2): 558-563.
- [20] Bhatia, P., Prakash, R. and Prakash, N.T. 2013. Selenium uptake by edible oyster mushrooms (*Pleurotus* sp.) from selenium-hyperaccumulated wheat straw. **Journal of Nutritional Science and Vitaminology**. 59(1): 69-72.
- [21] Nunes, R. G. and et al. 2012. Selenium bioaccumulation in shiitake mushrooms: A nutritional alternative source of this element. **Journal of Food Science**. 77(9): 983-986.
- [22] Ogra, Y. and et al. 2004. Speciation of selenium in selenium-enriched shiitake mushroom, *Lentinula edodes*. **Analytical and Bioanalytical Chemistry**. 379: 861-866.
- [23] Wu, Y. and et al. 2012. The analysis of selenoprotein and Se-polysaccharide in selenium-enriched *Lentinan edodes*. **Advanced Materials Research**. 524-527: 2325-2329.
- [24] Kabata-Pendias, A. 2011. **Trace Elements in Soils and Plants**, 4th edition. Boca Raton: CRC Press. 1-20.
- [25] Zhao, C. and et al. 2005. Study on the relationship between soil selenium and plant selenium uptake. **Plant Soil**. 277: 197-206.
- [26] Fordyce, F.M. 2013. Selenium deficiency and toxicity in the environment. In: Selinus, O. (ed.) **Essentials of Medical Geology**. Dordrecht: Springer.
- [27] Li, Z. and et al. 2017. Interaction between selenium and soil organic matter and its impact on soil selenium bioavailability: A review. **Geoderma**. 295: 69-79.
- [28] Ho, L.H., Zulkifli, N.A. and Tan, T.C. 2020. Edible mushroom: Nutritional properties, potential nutraceutical values, and its utilisation in food product development. In: Passari, A. and Sanchez, S. (eds.) **An Introduction to Mushroom**. London: IntechOpen.
- [29] Oei, P. 1991. **Manual on Mushroom Cultivation: Techniques, Species and Opportunities for Commercial Application in Developing Countries**. Amsterdam: TOOL Publications.