

Research Article

Effects of Palm Kernel Cake on Growth, Yield, and Bioactivity of Split-Gill Mushroom (*Schizophyllum commune* Fr.)

Chatchai Sangpud*, Thirarat Kaewchamnong, Sujaree Kaewkong

*Faculty of Science and Technology, Nakhon Si Thammarat Rajabhat University,
Nakhon Si Thammarat 80280, Thailand*

(*Corresponding author's e-mail: chatchai_san@nstru.ac.th)

Received: 18 March, 2026; Revised: 21 April, 2026; Accepted: 26 April, 2026

Abstract

The cultivation of split-gill mushroom (*Schizophyllum commune* Fr.) is important for both food production and its bioactive compounds. However, the use of rice bran as a supplement increases production costs and poses sustainability concerns. Therefore, palm kernel cake (PKC), also known as palm kernel meal (PKM), a by-product of the palm oil industry abundantly available in southern Thailand, represents a promising alternative substrate. This study aimed to evaluate the effects of different proportions of PKC on mycelial growth, yield, and functional quality of *S. commune* Fr. A completely randomized design (CRD) with five treatments was employed: RB/S 50:100 (control), PKC/S 60:90, PKC/S 70:80, PKC/S 80:70, and PKC/S 90:60, using rubberwood sawdust as the basal substrate. Parameters assessed included mycelial growth rate, fruiting body yield, biological efficiency (BE%), whiteness, protein content, total phenolic content, and antioxidant activity. The results demonstrated that increasing PKC proportions significantly enhanced mycelial growth and yield. The PKC/S 90:60 treatment produced the highest yield (144.5 g/bag) and the highest BE (24.08%). Whiteness and protein content were not significantly different from the control ($p > 0.05$). In addition, the highest total phenolic content (672 mg GAE/100 g) and improved antioxidant activity were observed in treatments with higher PKC levels. In conclusion, PKC can effectively replace rice bran as a supplement, improving both yield and functional properties of *S. commune* Fr. The PKC/S 80:70 and 90:60 formulations were identified as the most suitable. Moreover, the utilization of PKC offers a sustainable and cost-effective approach, with potential applications at both farm and industrial levels to enhance the value of agricultural by-products and reduce production costs.

Keywords: *Schizophyllum commune* Fr.; Palm kernel cake; Yield; Phenolic compounds; Antioxidant activity

บทคัดย่อ

การเพาะเลี้ยงเห็ดแครง (*Schizophyllum commune* Fr.) มีความสำคัญทั้งด้านอาหารและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ อย่างไรก็ตาม การใช้รำข้าวเป็นวัสดุเสริมมีต้นทุนสูงและมีข้อจำกัดด้านความยั่งยืน ดังนั้น กากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน (palm kernel cake; PKC หรือ palm kernel meal; PKM) ซึ่งเป็นวัสดุเหลือหรือผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมหีบปาล์มน้ำมันที่มีปริมาณมากในภาคใต้ของประเทศไทย จึงเป็นทางเลือกที่มีศักยภาพ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินผลของการใช้ PKC ในสัดส่วนที่แตกต่างต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และคุณภาพเชิงหน้าที่ของเห็ดแครง โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) จำนวน 5 สูตร ได้แก่ RB/S 50:100 (ชุดควบคุม), PKC/S 60:90, PKC/S 70:80, PKC/S 80:70 และ PKC/S

90:60 ใช้เชื้อยีสต์อย่างพาราเป็นวัสดุหลัก และประเมินอัตราการเจริญของเส้นใย ผลผลิตดอกเห็ด ร้อยละประสิทธิภาพทางชีวภาพ (BE%) ความขาว ปริมาณโปรตีน ปริมาณสารฟีนอลิกรวม และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ผลการศึกษาพบว่า การเพิ่มสัดส่วน PKC ส่งผลให้อัตราการเจริญของเส้นใยเห็ดและผลผลิตเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยสูตร PKC/S 90:60 ให้ผลผลิตสูงสุด (144.5 กรัม/ถุง) และค่าร้อยละ BE สูงสุด (24.08%) ขณะที่ค่าความขาวและปริมาณโปรตีนไม่แตกต่างจากชุดควบคุม ($p>0.05$) นอกจากนี้ ปริมาณสารฟีนอลิกรวมเพิ่มขึ้นสูงสุดที่ 672 mg GAE/100 g และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมีแนวโน้มดีขึ้นในสูตรที่มี PKC สูง ดังนั้น PKC สามารถใช้ทดแทนรำข้าวได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยช่วยเพิ่มทั้งผลผลิตและคุณภาพเชิงหน้าที่ของเห็ดแครง ซึ่งสูตร PKC/S 80:70 และ 90:60 เป็นสูตรที่เหมาะสมที่สุด และการใช้ PKC ยังเป็นแนวทางที่ยั่งยืนและคุ้มค่าสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในระดับฟาร์มและอุตสาหกรรมเพื่อเพิ่มมูลค่าวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและลดต้นทุนการผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: เห็ดแครง; กากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน; ผลผลิต; สารฟีนอลิก; ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

บทนำ

เห็ดแครงเป็นเห็ดรับประทานได้ในกลุ่มเบสิดิโอไมซีต (basidiomycete) มีความสำคัญทั้งด้านอาหารและเภสัชภัณฑ์ โดยได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในประเทศไทย โดยเฉพาะในภาคใต้ เนื่องจากมีรสชาติดี เนื้อสัมผัสเฉพาะตัว และมีคุณค่าทางโภชนาการสูง ทั้งดอกเห็ดและเส้นใยประกอบด้วยโปรตีน โยอาหาร วิตามิน และแร่ธาตุ รวมถึงสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ เช่น เบตา-กลูแคน (beta-glucan) สารประกอบฟีนอลิก (phenolic compounds) และพอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharides) ซึ่งมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ปกป้องตับ เสริมสร้างภูมิคุ้มกัน และมีรายงานว่าสามารถช่วยลดความเครียด ลดปฏิกิริยาออกซิเดชันและความเสี่ยงของโรคเมตาบอลิกเรื้อรังได้ (Boonthatui et al., 2021; Onsrirawat, et al., 2022; Albina et al., 2023; Kumar & Xu, 2025) แม้ว่าเห็ดแครงจะพบได้ตามธรรมชาติบนไม้ผุและเศษซากพืช แต่ความต้องการบริโภคที่เพิ่มขึ้นและข้อจำกัดด้านฤดูกาลได้ผลักดันให้มีการพัฒนาการเพาะเลี้ยงเชิงพาณิชย์มากขึ้น งานวิจัยปัจจุบันชี้ให้เห็นว่าวัสดุเพาะประเภทลิกโนเซลลูโลส (lignocellulose) เช่น ชี้อ้อย รำข้าว และวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร สามารถรองรับการเจริญของเส้นใยเห็ดและการสร้างสารสำคัญของเห็ดแครงได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเป็นแนวทางที่ยั่งยืนสำหรับการผลิตในระดับอุตสาหกรรม (Boonthatui et al., 2021; Dasgupta et al., 2025) นอกจากนี้ เห็ดแครงยังมีศักยภาพเป็นแหล่งวัตถุดิบของสารออกฤทธิ์เชิงหน้าที่สำหรับอุตสาหกรรมอาหารเสริม และยา (Kumar & Xu, 2025; Dasgupta et al., 2025)

กากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน เป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มที่มีปริมาณมากในภาคใต้ของประเทศไทย มีองค์ประกอบทางโภชนาการโดยประมาณ ได้แก่ โปรตีนหยาบ 14–21% ไขมันหยาบ 5–12% เยื่อใยหยาบ 12–25% และเถ้า 3–8% บนฐานวัตถุแห้ง และมีแร่ธาตุที่จำเป็น ได้แก่ แคลเซียม ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แมกนีเซียม แมงกานีส และสังกะสี โดยค่าดังกล่าวจะแตกต่างกันตามวิธีการสกัดน้ำมันและกระบวนการผลิต (Alimon, 2004; Heuzé et al., 2024) ลักษณะทางกายภาพที่สำคัญ คือ ขนาดอนุภาคปานกลางและมีความพรุนค่อนข้างสูง ทำให้วัสดุเพาะมีช่องว่างอากาศเพียงพอส่งผลให้อากาศสามารถถ่ายเทได้ดี นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติในการอุ้มน้ำได้ดี ช่วยรักษาความชื้นภายในก้อนเชื้อหรือวัสดุเพาะให้สม่ำเสมอตลอดระยะเวลาการบ่มเส้นใย และลดการแห้งตัวของวัสดุเพาะได้ อีกทั้งมีลักษณะเนื้อสัมผัสร่วนซุย ไม่จับตัวแน่นจนเกินไป จึงมีศักยภาพในการใช้เป็นวัสดุเสริมสำหรับการเพาะเห็ด (Mohd-Firdaus et al., 2022) อย่างไรก็ตาม แม้จะมีความพร้อมด้านวัตถุดิบ ลักษณะทางกายภาพและคุณค่าทางโภชนาการ แต่การประยุกต์ใช้กากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันในการเพาะเลี้ยงเห็ดแครงยังมีรายงานจำกัด โดยเฉพาะในด้านผลกระทบต่อผลผลิตและคุณภาพสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ยังมีช่องว่างองค์ความรู้ที่ยังขาดข้อมูลเชิงประจักษ์ งานวิจัยก่อนหน้านี้รายงานว่า การเสริมวัสดุเพาะลิกโนเซลลูโลส ด้วยวัสดุเหลือใช้จากอุตสาหกรรมเกษตรสามารถเพิ่มผลผลิตดอกเห็ดและส่งเสริมการสะสมสารสำคัญ เช่น สารฟีนอล เบตา-กลูแคน และสารต้านอนุมูลอิสระ (Boonthatui et al., 2021; Albina et al., 2023) อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีการศึกษาที่ชัดเจนเกี่ยวกับผลของสัดส่วนกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันต่อสมรรถนะการเจริญเติบโต ผลผลิต และคุณสมบัติเชิงอาหารเพื่อสุขภาพของเห็ดแครง ดังนั้น การศึกษาจึงมีวัตถุประสงค์ เพื่อประเมินผลของการใช้กากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันในสัดส่วนที่แตกต่างกันต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และคุณภาพสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของเห็ดแครง เพื่อสนับสนุนการใช้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรอย่างมีประสิทธิภาพ และสอดคล้องกับแนวคิดเศรษฐกิจชีวภาพหมุนเวียน พร้อมทั้งเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจของผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม

วิธีดำเนินการวิจัย

การเตรียมเชื้อเห็ดขยาย

เชื้อเห็ดแครง ได้รับจากศูนย์วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช ประเทศไทย โดยนำมาเพาะเลี้ยงบนอาหาร Potato Dextrose Agar (PDA) เป็นเวลา 5 วัน ตัดชิ้นเชื้อเห็ดแครงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร จากนั้นนำเมล็ดข้าวฟ่างมาล้างและแช่ด้วยน้ำสะอาดเป็นเวลา 12 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดนำมากรองให้สะเด็ดน้ำและต้มด้วยน้ำสะอาดเป็นเวลา 30 นาที นำเมล็ดขึ้นมาผึ่งให้เย็นจนถึงอุณหภูมิห้องแล้วจึงบรรจุลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร ประมาณสองในสามของปริมาตรขวด นำไปฆ่าเชื้อด้วยหม้อนึ่งอัดไอที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้นถ่ายขึ้นเชื้อเห็ดแครงจำนวน 2 ชิ้นต่อขวด บ่มเชื้อที่อุณหภูมิห้อง (25–28 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 5 วัน จนเส้นใยเห็ดเจริญปกคลุมเมล็ดข้าวฟ่างทั้งหมด จะได้เชื้อเห็ดขยาย (mushroom spawn) พร้อมสำหรับนำไปใช้ถ่ายเชื้อลงวัสดุเพาะต่อไป

การเตรียมวัสดุเพาะเห็ด

การทดลองนี้วางแผนแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) เพื่อศึกษาผลของสัดส่วนกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันต่อการเพาะเลี้ยงเห็ดแครง โดยกำหนดสูตรวัสดุเพาะทั้งหมด 5 สูตร ได้แก่ RB/S 50:100 (ชุดควบคุม), PKC/S 60:90, PKC/S 70:80, PKC/S 80:70 และ PKC/S 90:60 มี 5 ชุดการทดลอง ๆ ละ 3 ซ้ำ ๆ ละ 50 ถัง รวมทั้งสิ้น 750 ถัง ในการเตรียมวัสดุเพาะได้ชั่งกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน รำข้าว และขี้เลื่อยไม้ยางพาราตามอัตราส่วนที่กำหนด แล้วนำมาผสมให้เข้ากันอย่างทั่วถึงด้วยเครื่องผสมขนาด 500 ลิตร จากนั้นเติมแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3 , 1.0 กิโลกรัม) เพื่อปรับค่าความเป็นกรด-เบสของวัสดุเพาะ เติมยิปซัม ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 0.2 กิโลกรัม) เพื่อปรับปรุงโครงสร้างและเพิ่มความโปร่งของวัสดุ และเติมดีเกลือ ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 0.2 กิโลกรัม ที่ละลายในน้ำแล้ว) เพื่อเสริมธาตุแมกนีเซียมที่จำเป็นต่อการเจริญของเส้นใยเห็ด เมื่อผสมและปรับค่าความชื้นเป็น 60-65% โดยน้ำหนัก เรียบร้อยแล้ว นำวัสดุเพาะหนัก 600 กรัม บรรจุลงในถุงร้อนเพาะเห็ดชนิดพับกัน ขนาด 6.5×10 นิ้ว จากนั้นใส่คอขวด ปิดด้วยกระดาษ และอุดด้วยสำลี นำไปฆ่าเชื้อในหม้อนึ่งไอน้ำขนาด 200 ลิตร ที่อุณหภูมิ 95–100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5–6 ชั่วโมง นับจากน้ำเดือด

การถ่ายเชื้อเห็ดขยายลงวัสดุเพาะ

การถ่ายเชื้อเห็ดขยายดำเนินการภายใต้สภาวะปลอดเชื้อ จากนั้นนำถุงวัสดุเพาะและเปิดกระดาษที่ปิดปากถุงออกขณะเดียวกันนำขวดเชื้อเห็ดขยายมาเขย่าเพื่อให้เมล็ดกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ แล้วจึงเปิดจุกสำลีและฉีกปากขวดด้วยเปลวไฟเพื่อฆ่าเชื้อก่อนถ่ายเชื้อประมาณ 25–30 เมล็ดต่อถุง หลังจากนั้นปิดจุกสำลีกลับทันทีโดยไม่ต้องปิดกระดาษเพิ่มเติม เมื่อถ่ายเชื้อเรียบร้อยแล้ว นำไปบ่มในห้องบ่มเชื้อภายใต้สภาวะการควบคุมแสงและความสะอาด ที่อุณหภูมิห้อง จนเส้นใยเห็ดเจริญเต็มถุงก่อนเชื้อปกคลุมวัสดุเพาะทั้งหมด ซึ่งเป็นสภาวะที่พร้อมสำหรับการเปิดดอกในขั้นตอนถัดไป

การเปิดดอกเห็ด

ทำการถอดจุกสำลีและคอขวดโพลีโพรพิลีนออก จากนั้นกรีดถุงวัสดุเพาะเป็นแนวตั้งจำนวน 8 รอย ยาว 12 เซนติเมตร บริเวณด้านข้างของถุง เพื่อเปิดดอกและเป็นการกระตุ้นการเกิดดอกเห็ด แล้วนำถุงไปวางในห้องเปิดดอกโดยจัดวางในลักษณะแนวตั้ง ภายใต้สภาวะการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 80 ด้วยการพ่นละอองน้ำวันละ 2 ครั้ง ๆ ละ 3-5 นาที ในเวลา 08:00 และ 17:00 นาฬิกา โดยใช้หัวพ่นแบบละอองฝอย

การเก็บรวบรวมข้อมูล

อัตราการเจริญของเส้นใยเห็ด: ทำการวัดความยาวของเส้นใยเห็ดในถุงวัสดุเพาะแต่ละถุงเมื่ออายุ 7, 14 และ 21 วัน หลังการถ่ายเชื้อโดยใช้สายวัด จากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณอัตราการเจริญของเส้นใย ตามสมการต่อไปนี้:

$$\text{อัตราการเจริญของเส้นใยเห็ด (ร้อยละ)} = (\text{ความยาวของเส้นใยเห็ด/ความสูงของวัสดุเพาะในถุง}) \times 100$$

การประเมินลักษณะและผลผลิตดอกเห็ด: การวัดขนาดดอกเห็ดแครงดำเนินการโดยใช้เวอร์เนียร์คาลิเปอร์แบบดิจิทัล (digital vernier caliper) วัดระยะจากฐานดอกไปยังปลายดอกในแนวตั้งฉากกับฐานดอก (เซนติเมตร) เพื่อให้ได้ค่าความยาวสูงสุดของดอกเห็ด โดยทำการวัดในดอกเห็ดที่เจริญเต็มที่ และรายงานผลเป็นค่าเฉลี่ยของตัวอย่างแต่ละซ้ำของการทดลอง พร้อมทั้งเก็บเกี่ยวผลผลิตจากการออกดอกครั้งที่ 1 และ 2 เพื่อนำมาชั่งน้ำหนักและคำนวณเป็นค่าผลผลิตเฉลี่ยทั้งหมดต่อถุง และคำนวณค่าร้อยละประสิทธิภาพทางชีวภาพ (Biological Efficiency%; BE%) ซึ่งแสดงถึงความสามารถในการเปลี่ยนวัตถุดิบหรือวัสดุเพาะให้เป็นมวลชีวภาพของเห็ดสด โดยคิดจากสมการต่อไปนี้ (Sornprasert & Aroonsrimorakot, 2014):

Biological Efficiency (%) = (น้ำหนักดอกเห็ดสด/น้ำหนักแห้งของวัสดุเพาะ) X 100

การวัดค่าความขาว (%Whiteness): การวัดค่าความขาวของดอกเห็ดดำเนินการในระบบสี CIE โดยใช้เครื่องวัดสี (colorimeter) รุ่น Ultrascan (HunterLab, Reston, VA, USA) และคำนวณค่าความขาวจากพารามิเตอร์สี L^* , a^* และ b^* ตามสมการมาตรฐานของดัชนีความขาว (Whiteness Index; WI) ของบริษัทผู้ผลิต ดังนี้:

$$WI = 100 - \sqrt{(100 - L^*)^2 + (a^*)^2 + (b^*)^2}$$

ปริมาณโปรตีน: วิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนตามวิธีการของ Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 2023) โดยใช้เครื่อง Kjeltac 8400 Analyzer (Gerhardt, Germany)

การวิเคราะห์สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ: ได้แก่ สารฟีนอลรวม (Total Phenolic Content; TPC) โดยทดสอบด้วยวิธี Folin–Ciocalteu และรายงานผลในรูปมิลลิกรัมกรดแกลลิกเทียบเท่ากับสารสกัดแห้ง (mg GAE/g) อ้างอิงจากกราฟมาตรฐานของกรดแกลลิก โดยปฏิบัติตามขั้นตอนวิธีของ Azieana et al. (2017) ขณะที่ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดเห็ดตรวจประเมินด้วยวิธี DPPH radical scavenging assay โดยแสดงผลเป็นค่า IC_{50} ซึ่งเป็นความเข้มข้นที่สามารถยับยั้งอนุมูลอิสระได้ร้อยละ 50 และสามารถแสดงถึงศักยภาพในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดได้อย่างชัดเจน โดยปฏิบัติตามขั้นตอนของ Michalska et al. (2025)

การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มด้วย Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป IBM SPSS Statistics for Windows เวอร์ชัน 20.0

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

การเจริญของเส้นใยเห็ดบนวัสดุเพาะ

อัตราการเจริญของเส้นใยเห็ดบนวัสดุเพาะที่มีสัดส่วนกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันแตกต่างกันแสดงใน Figure 1 และ Table 1 โดยพบว่าอัตราการเจริญเพิ่มขึ้นตามระดับของกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันอย่างต่อเนื่อง โดยหลังการบ่มเมื่ออายุ 21 วัน มีค่าอยู่ในช่วง $91.20 \pm 7.42\%$ (PKC/S 60:90) ถึง $95.90 \pm 5.52\%$ (PKC/S 90:60) ซึ่งสูตร PKC/S 90:60 สูงกว่าชุดควบคุม (RB/S 50:100; $91.80 \pm 7.12\%$) อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ในระยะเริ่มต้น (อายุ 7–14 วัน) ทุกสูตรมีแนวโน้มการเจริญเพิ่มขึ้น โดยสูตร PKC/S 90:60 ให้การเจริญเร็วที่สุด ซึ่งชี้ให้เห็นว่าการเพิ่มกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันช่วยเร่งการเข้ายึดครองวัสดุเพาะของเส้นใยเห็ด ผลดังกล่าวสามารถอธิบายได้จากองค์ประกอบทางโภชนาการของกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน ซึ่งมีโปรตีน (ประมาณ 20.31%) ไกล่เคียงรำข้าว (Mohd-Firdaus et al., 2022; Ramin et al., 2010) จึงสามารถทำหน้าที่เป็นแหล่งคาร์บอนและไนโตรเจนที่เหมาะสม ส่งเสริมการทำงานของเอนไซม์และการใช้ประโยชน์วัสดุเพาะ นอกจากนี้โครงสร้างของกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน ยังช่วยเพิ่มความโปร่งและการอุ้มน้ำของวัสดุเพาะ ส่งผลให้สภาพแวดล้อมเหมาะสมต่อการเจริญของเส้นใยเห็ด ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับรายงานของ Aubrey et al. (2022) ที่พบว่าการใช้วัสดุเหลือทิ้งจากปาล์มน้ำมันช่วยเพิ่มการเจริญของเส้นใยในเห็ดนางรม รวมถึงสอดคล้องกับ Dasanayaka & Wijeyaratne (2017) และ Kerketta et al. (2024) ที่ชี้ว่าองค์ประกอบทางกายภาพและลิกโนเซลลูโลสของวัสดุเพาะมีผลต่อการพัฒนาเส้นใยอย่างมีนัยสำคัญ อีกทั้ง Chutimanukul et al. (2025) ยังสนับสนุนว่าปัจจัยดังกล่าวมีความสัมพันธ์กับการสร้างสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในเห็ด ผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่ากากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน สามารถใช้ทดแทนรำข้าวได้อย่างมีประสิทธิภาพในระยะการเจริญของเส้นใยเห็ด

Table 1 Mycelial growth rates of *S. commune* Fr. in bags with varying proportions of palm kernel cake as a nutrient source

Substrate formulation	Mycelial Growth Rate (%)		
	7 days	14 days	21 days
RB/S 50:100	18.30±5.69 ^c	45.55±6.92 ^c	91.80±7.12 ^{bc}
PKC/S 60:90	17.60±5.96 ^c	47.40±5.79 ^c	91.20±7.42 ^c
PKC/S 70:80	18.91±6.02 ^{bc}	49.00±6.19 ^b	92.90±10.37 ^{bc}
PKC/S 80:70	20.20±5.21 ^{ab}	49.80±4.97 ^b	93.70±6.30 ^b
PKC/S 90:60	21.40±4.82 ^a	53.15±2.52 ^a	95.90±5.52 ^a

Note: Different superscript letters (a, b, c) indicate significant differences among treatments at $p < 0.05$ (Mean±SD).

**Figure 1** Mycelial growth of *Schizophyllum commune* Fr. in substrate bags with varying proportions of palm kernel cake as a nutrient source

ผลผลิตดอกเห็ด

ผลของกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันต่อการพัฒนาดอกเห็ดแสดงใน Figure 2 และ Table 2 โดยทุกสูตรสามารถสร้างดอกเห็ดได้ตามปกติ แสดงว่ากากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันไม่ยับยั้งการเกิดดอก อย่างไรก็ตาม พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในขนาดดอก ผลผลิต และค่าร้อยละ BE ($p < 0.05$) โดยสูตร PKC/S 90:60 ให้เส้นผ่านศูนย์กลางดอกสูงสุดทั้งสองรอบของการเก็บเกี่ยว (4.88 ± 0.53 และ 4.26 ± 0.46 เซนติเมตร) และให้ผลผลิตรวมสูงสุด (144.5 ± 8.3 กรัม/ถุง) รวมถึงค่าร้อยละ BE สูงสุด ($24.08 \pm 1.38\%$) ซึ่งสูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ แนวโน้มดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มสัดส่วนของกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเปลี่ยนวัสดุเพาะเป็นผลผลิตทั้งในด้านการพัฒนาดอกและการสะสมมวลชีวภาพ โดยอาจเกิดจากความสมดุลของธาตุอาหารและโครงสร้างวัสดุเพาะที่เหมาะสม (Dasanayaka & Wijeyaratne, 2017) นอกจากนี้คาดว่ากระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพของกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันยังช่วยปรับโครงสร้างลิกโนเซลลูโลสให้ย่อยง่ายขึ้น และเพิ่มความพร้อมใช้ของสารอาหาร (Sukaryana et al., 2010) ซึ่งเหมาะสมกับเห็ดกลุ่ม white-rot เช่นเห็ดแครง ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับ Aubrey et al. (2022) ที่รายงานถึงผลการเพิ่มผลผลิตในเห็ดนางรมเมื่อใช้วัสดุจากปาล์มน้ำมัน อย่างไรก็ตาม สูตรที่มีส่วนผสมของกากเมล็ดในปาล์มน้ำมันต่ำ (60:90 และ 70:80) ให้ผลผลิตต่ำกว่าเล็กน้อย

อาจเนื่องจากระดับธาตุอาหารยังไม่เพียงพอในช่วงการสร้างดอก แต่อย่างไรก็ตาม ยังคงให้ค่าร้อยละ BE มากกว่าร้อยละ 20 ซึ่งแสดงศักยภาพให้เห็นว่าเห็ดแครงสามารถปรับตัวต่อวัสดุเพาะที่หลากหลายได้



Figure 2 Fruiting bodies of *S. commune* Fr. grown in substrate bags containing varying proportions of palm kernel cake as a nutrient source

Table 2 Effects of palm kernel cake on the fruiting body yield and biological efficiency of *S. commune* Fr.

Substrate formulation	Cap Diameter (cm)*		Fresh Weight per Bag (g)*			%BE
	1st Harvest (7 days)	2nd Harvest (14 days)	1st Harvest (7 days)	2nd Harvest (14 days)	Total Yield per Bag (g)	
RB/S 50:100	4.45±0.35 ^{bc}	3.77±0.33 ^b	89.3±6.4 ^a	45.6±6.9 ^c	134.9±6.7 ^b	22.48±1.13 ^b
PKC/S 60:90	4.45±0.38 ^{bc}	3.31±0.33 ^c	72.2±6.6 ^c	49.0±6.2 ^b	121.2±6.4 ^c	20.20±1.07 ^c
PKC/S 70:80	4.22±0.42 ^c	3.73±0.31 ^b	82.0±7.3 ^b	49.8±4.9 ^b	131.8±6.1 ^{bc}	21.97±1.10 ^{bc}
PKC/S 80:70	4.73±0.28 ^{ab}	3.80±0.22 ^b	90.1±6.2 ^a	48.4±5.7 ^b	137.5±5.9 ^b	22.92±0.98 ^b
PKC/S 90:60	4.88±0.53 ^a	4.26±0.46 ^a	91.3±7.1 ^a	53.2±9.5 ^a	144.5±8.3 ^a	24.08±1.38 ^a

Note: Different superscript letters (a, b, c) indicate significant differences among treatments at $p < 0.05$

*(Mean±SD)

คุณภาพของดอกเห็ด

ผลการวัดค่าสีของดอกเห็ดแครง (Table 3) แสดงให้เห็นว่าค่าความสว่าง (L^*) และดัชนีความขาว (Whiteness Index) ของดอกเห็ดในทุกสูตรการเพาะไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยค่า L^* อยู่ในช่วง 71.77–77.31 และค่าดัชนีความขาวอยู่ในช่วงร้อยละ 72.35–79.64 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการใช้กากเมล็ดในปาล์มน้ำมันในสัดส่วนที่แตกต่างกันไม่ส่งผลกระทบต่อความขาวโดยรวมของดอกเห็ด อย่างไรก็ตาม พบว่าค่าพิกัดสี a^* สีเขียว (–) ไปจนถึง สีแดง (+) และ b^* สีน้ำ

เงิน (-) ไปจนถึง สีเหลือง (+) พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยสูตร PKC/S 70:80 มีค่า a^* (5.32 ± 0.93) และ b^* (15.32 ± 1.05) สูงที่สุด แสดงถึงแนวโน้มของสีที่ออกไปทางโทนแดงและเหลืองมากขึ้นเมื่อเทียบกับสูตรอื่น ขณะที่สูตรอื่น ๆ มีค่า a^* และ b^* ต่ำกว่าและไม่แตกต่างกันทางสถิติ ซึ่งบ่งชี้ว่าการเพิ่มสัดส่วนกากเมล็ดในปาล์มน้ำมันบางระดับอาจมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของรงควัตถุหรือสารประกอบที่เกี่ยวข้องกับสีของดอกเห็ด ดังนั้นแม้ว่าการใช้กากเมล็ดในปาล์มน้ำมันจะส่งผลต่อค่าพิกัดสีบางตัว (a^* และ b^*) แต่ไม่ส่งผลกระทบต่อค่าความสว่างและดัชนีความขาวของดอกเห็ดแครง ซึ่งเป็นตัวชี้วัดสำคัญด้านคุณภาพเชิงพาณิชย์

ผลการประเมินคุณค่าทางโภชนาการของดอกเห็ด (Table 4) พบว่าค่าปริมาณโปรตีนไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยมีค่าโปรตีนร้อยละ 20.41–22.81 แสดงให้เห็นว่ากากเมล็ดในปาล์มน้ำมันสามารถทดแทนรำข้าวได้โดยไม่กระทบต่อคุณภาพพื้นฐานของดอกเห็ด ผลดังกล่าวสอดคล้องกับรายงานก่อนหน้านี้ที่ระบุว่าเห็ดแครงสามารถใช้วัสดุหลักโนเซลลูโลสหลากหลายชนิดโดยยังคงให้โปรตีนในระดับสูง (Dasanayaka & Wijeyaratne, 2017; Chutimanukul et al., 2025) นอกจากนี้ยังพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในปริมาณสารฟีนอลรวม (TPC) และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ โดยค่า TPC เพิ่มขึ้นตามสัดส่วนของกากเมล็ดในปาล์มน้ำมัน และสูงสุดในสูตร PKC/S 90:60 (672 ± 28 mg GAE/100 g) ขณะที่ค่า IC_{50} ลดลงเหลือ 115 ± 9 $\mu\text{g/mL}$ แสดงถึงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่เพิ่มขึ้น แนวโน้มนี้อาจเกิดจากองค์ประกอบของกากเมล็ดในปาล์มน้ำมันที่มีไขมันและสารเชิงซ้อน ซึ่งกระตุ้นการสร้างสารฟีนอลิก รวมถึงการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ที่ช่วยปลดปล่อยสารตั้งต้นของสารฟีนอลิก ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับ Azieana et al. (2017) และ Michalska et al. (2025) ที่รายงานว่าวัสดุเพาะมีผลต่อการสะสมสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในเห็ดสมุนไพรมาก โดยสูตรที่มีกากเมล็ดในปาล์มน้ำมันสัดส่วนสูง (โดยเฉพาะ 80:70 และ 90:60) สามารถเพิ่มคุณภาพเชิงหน้าที่ของเห็ดแครงได้โดยไม่กระทบต่อคุณภาพด้านสีและปริมาณโปรตีนของดอกเห็ด

Table 3 Effects of palm kernel cake on cap color and whiteness index of *S. commune* Fr.

Substrate formulation	L* ^{ns}	a*	b*	Whiteness Index (%) ^{ns}
RB/S 50:100	77.31±4.87	3.63±0.70 ^b	12.10±2.69 ^b	79.64±4.87
PKC/S 60:90	76.43±5.65	2.75±0.77 ^b	10.27±1.92 ^b	78.86±5.65
PKC/S 70:80	71.77±4.70	5.32±0.93 ^a	15.32±1.05 ^a	72.35±4.70
PKC/S 80:70	72.45±4.85	3.32±0.75 ^b	10.60±3.03 ^b	73.30±4.85
PKC/S 90:60	74.31±2.47	3.85±0.80 ^b	11.79±2.20 ^b	75.89±2.47

Note: Different superscript letters (a, b) indicate significant differences among treatments at $p < 0.05$

ns, indicate not significant differences among treatments at $p > 0.05$

Table 4 Effects of palm kernel cake on protein content, total phenolic content, and antioxidant activity of *S. commune* Fr.

Substrate formulation	Protein ^{ns} (%)	Total phenolic content (mg GAE/100 g)	DPPH assay (IC_{50} , $\mu\text{g/mL}$)
RB/S 50:100	22.81±2.91	625±34 ^b	153±10 ^a
PKC/S 60:90	20.41±1.20	620±44 ^b	155±15 ^a
PKC/S 70:80	21.22±0.66	633±45 ^{ab}	148±13 ^a
PKC/S 80:70	22.22±3.75	660±30 ^a	135±11 ^{ab}
PKC/S 90:60	21.47±0.30	672±28 ^a	115±9 ^b

Reference standard: α -Tocopherol; IC_{50} value = 22.86 $\mu\text{g/mL}$

Note: Different superscript letters (a, b) indicate significant differences among treatments at $p < 0.05$

ns, indicate not significant differences among treatments at $p > 0.05$

สรุปผลการวิจัย

กากเนื้อเมล็ดในปาล์มสามารถใช้ทดแทนรำข้าวเป็นวัสดุเสริมในการเพาะเลี้ยงเห็ดแครงได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยการเพิ่มสัดส่วนของกากเนื้อเมล็ดในปาล์มจะช่วยเพิ่มผลผลิตดอกเห็ดและประสิทธิภาพทางชีวภาพอย่างมีนัยสำคัญ ส่งผลให้น้ำหนักผลผลิตสดและค่าประสิทธิภาพทางชีวภาพสูงที่สุด ในขณะที่เดียวกัน ค่าความขาวของดอกและปริมาณโปรตีนยังคงอยู่ในระดับที่ไม่แตกต่างกัน แสดงให้เห็นว่าไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพด้านลักษณะปรากฏและคุณค่าทางโภชนาการพื้นฐาน นอกจากนี้ ยังพบว่าปริมาณสารฟีนอลรวมและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน ส่งผลให้คุณภาพเชิงหน้าที่ของเห็ดดีขึ้น โดยสูตรวัสดุเพาะ PKC/S 80:70 และ 90:60 ให้ผลดีที่สุดทั้งด้านผลผลิตและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ดังนั้น กากเนื้อเมล็ดในปาล์มจึงเป็นทางเลือกที่ยั่งยืนและคุ้มค่าสำหรับการผลิตดอกเห็ดแครงที่มีคุณภาพสูง

ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคต

1. ควรศึกษาปัจจัยแวดล้อมอื่นร่วมด้วย เช่น อุณหภูมิ ความชื้น และการจัดการน้ำ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการกระตุ้นการเกิดดอกและเพิ่มผลผลิตเมื่อใช้กากเมล็ดในปาล์มน้ำมันเป็นองค์ประกอบหลัก
2. ควรศึกษาสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพเพิ่มเติม เช่น สารพอลิแซ็กคาไรด์ เบต้า-กลูแคน หรือสารต้านจุลชีพ เพื่อยืนยันศักยภาพของเห็ดแครงในด้านอาหารเพื่อสุขภาพและผลิตภัณฑ์เชิงฟังก์ชัน
3. ควรศึกษาการนำวัสดุเพาะที่ใช้แล้วไปใช้ประโยชน์ต่อ เช่น การทำปุ๋ยอินทรีย์หรือวัสดุปรับปรุงดิน เพื่อเพิ่มความยั่งยืนของระบบการผลิต

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณหลักสูตรเกษตรศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช ที่ให้การสนับสนุนอุปกรณ์และเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ และขอขอบพระคุณฟาร์มเพาะเห็ดคลัง หมู่ที่ 4 ตำบลเสาธง อำเภอร่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช ที่ให้การสนับสนุนสถานที่สำหรับการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- Albina, T., Kaur, J., & Bhadariya, V. (2023). *Schizophyllum commune*: A promising functional ingredient for food and medicine. *Journal of Food Chemistry & Nanotechnology*, 9(S1), S204–S210. <https://doi.org/10.17756/jfcn.2023-s1-026>
- Alimon, A. R. (2004). The nutritive value of palm kernel cake for animal feed. *Palm Oil Developments*, 40, 12–14. <https://palmoilis.mpob.gov.my/publications/POD/pod40-alimon.pdf>
- AOAC. (2023). *Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL* (22nd ed.; G. W. Latimer, Jr., Ed.). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/9780197610145.001.0001>
- Aubrey, M. L. L., Chin, C. F. S., Seelan, J. S. S., Chye, F. Y., Lee, H.H., & Rakib, M. R. M. (2022). Conversion of oil palm by-products into value-added products through oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) cultivation. *Horticulturae*, 8(11), 1040. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8111040>
- Azieana, J., Zainon, M. N., Noriham, A., & Rohana, M. N. (2017). Total phenolic and flavonoid content and antioxidant activities of ten Malaysian wild mushrooms. *Open Access Library Journal*, 4, e3987. <https://doi.org/10.4236/oalib.1103987>
- Boonthatui, Y., Chongsuwat, R., & Kittisakulnam, S. (2021). Production of antioxidant bioactive compounds during mycelium growth of *Schizophyllum commune* on different cereal media. *Chiang Mai University Journal of Natural Sciences*, 20(2), e2021032. <https://doi.org/10.12982/CMUJNS.2021.032>
- Chutimanukul, P., Sukdee, S., Boonmee, K., Thepsilvisut, O., Prajuabjinda, O., Saesiw, U., Sriumpai, P., & Ehara, H. (2025). Optimizing growth and bioactive compound production in split gill mushroom (*Schizophyllum commune*) using methyl jasmonate. *Resources*, 14(1), 3. <https://doi.org/10.3390/resources14010003>

- Dasanayaka, D. S., & Wijeyaratne, L. R. (2017). Cultivation of *Schizophyllum commune* mushroom on different wood substrates. *Journal of Tropical Forestry and Environment*, 7(1), 21-30. <https://doi.org/10.31357/jtfe.v7i1.3023>
- Dasgupta, D., Basu, P., Paul, A., & Acharya, K. (2025). *Schizophyllum commune*, an underrated edible and medicinal mushroom: Farm to industry. *Studies in Fungi*, 10: e004. <https://doi.org/10.48130/sif-0025-0003>
- Heuzé, V., Tran, G., Sauvant, D., Noblet, J., Renaudeau, D., Bastianelli, D., & Lebas, F. (2024). *Palm kernel meal*. Feedipedia. <https://www.feedipedia.org/node/43>
- Kerketta, V., Shukla, C.S., & Singh, H.K. (2024). Impact of different substrates on growth and yield of *Schizophyllum commune* Fr. *Asian Research Journal of Agriculture*, 17(2), 89–95. <https://journalarja.com/index.php/ARJA/article/view/425/847>
- Kumar, Y., & Xu, B. (2025). Bioactive compounds, health benefits, and practical applications of edible mushroom *Schizophyllum commune* Fr.: A decade-long critical review. *Food Chemistry*, 492(Pt 3), 145583. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2025.145583>
- Michalska, A., Sierocka, M., Drzewiecka, B., & Świeca, M. (2025). Antioxidant and anti-inflammatory properties of mushroom-based food additives and food fortified with them: Current status and future perspectives. *Antioxidants*, 14(5), 519. <https://doi.org/10.3390/antiox14050519>
- Mohd-Firdaus, O., Rohaya, M.H., Miskandar, M.S., & Astimar, A.A. (2022). Nutrient enhancement of palm kernel cake via solid state fermentation by locally isolated *Rhizopus oryzae* ME01. *Journal of Oil Palm Research*, 34(1), 92-103. <https://doi.org/10.21894/jopr.2021.0022>
- Onsrisawat, P., Rodthong, S., Yahuaifai, J., & Uairong, H. (2022). Hepatoprotective and antioxidant properties of *Schizophyllum commune* fruiting body. *Journal of Current Science and Technology*, 12 (3), 615-628. <https://doi.org/10.14456/jcst.2022.47>
- Ramin, M., Alimon, A. R., & Ivan, M. (2010). Effects of fungal treatment on the *in vitro* digestion of palm kernel cake. *Livestock Research for Rural Development*, 22(4). <http://www.lrrd.org/lrrd22/4/rami22082.htm>
- Sornprasert, R., & Aroonsrimrakot, S. (2014). Cultivation of Hed Krang (*Schizophyllum commune*) supplemented with Ya Faek Lum (*Vetiveria zizanioides*) leaves in para rubber sawdust substrate. *Journal of Science and Technology*, 22(6, Special Issue), 838–847. <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/tstj/article/view/22434/19210>
- Sukaryana, Y., Atmomarsono, U., Yunianto, V. D., & Supriyatna, E. (2010). Bioconversions of palm kernel cake and rice bran mixtures by *Trichoderma viride* toward nutritional contents. *International Journal of Science and Engineering*, 1(2), 27–32. <https://ejournal.undip.ac.id/index.php/ijse/article/view/1229/1023>