เทคโนโลยีวัสดุผสมชีวภาพเส้นใยเห็ด

วรวุฒิ อ้ายดวง[๑] และ สายสมร ลำยอง[๑,๒]

[๑] ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ๕๐๒๐๐

[๒] ภาคีสมาชิก สาขาวิชาทรัพยากรธรรมชาติ ประเภทวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตรและสัตวแพทย์ศาสตร์ สำนักวิทยาศาสตร์ ราชบัณฑิตยสภา, saisamorn.l@cmu.ac.th

เทคโนโลยีไมซีเลียม (mycelium technology) หรือการนำเส้นใยเห็ดมาสร้างเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความยั่งยืนและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เป็นหนึ่งในแนวทางการใช้ประโยชน์ทรัพยากรชีวภาพอย่างคุ้มค่าและสร้างสรรค์ตามโมเดลเศรษฐกิจแบบใหม่ (bio-circular-green economy: BCG) (Alemu et al., 2022; Chemello, 2023) หนึ่งในเทคโนโลยีไมซีเลียมที่ก้าวหน้าและกำลังได้รับความสนใจในปัจจุบันคือ การนำเส้นใยเห็ดมาใช้เป็นปัจจัยการผลิตวัสดุผสมชีวภาพ หรือที่เรียกว่า วัสดุผสมชีวภาพเส้นใยเห็ด (mycelium-based biocomposites) ซึ่งเป็นการพัฒนาวัสดุผสมชีวภาพรูปแบบใหม่ที่มีเอกลักษณ์เฉพาะตัวและมีสมบัติที่หลากหลายในการใช้งาน (Alemu et al., 2022) ข้อดีของวัสดุประเภทนี้คือผลิตมาจากกระบวนการทางชีวภาพแบบร้อยละ ๑๐๐ โดยใช้วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเป็นวัสดุตั้งต้นหลักในกระบวนการผลิต และใช้เส้นใยเห็ดทำหน้าที่เป็นพอลิเมอร์ชีวภาพประสานอนุภาคของวัสดุเข้าด้วยกัน จึงทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีต้นทุนการผลิตต่ำและเป็นมิตรอย่างมากต่อสิ่งแวดล้อม (Aiduang et al., 2022a) ในปัจจุบันวัสดุผสมชีวภาพเส้นใยเห็ดได้รับการพัฒนาและประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมด้านต่าง ๆ เช่น การผลิตวัสดุบรรจุภัณฑ์สมัยใหม่ วัสดุเชิงโครงสร้างมวลเบา เฟอร์นิเจอร์ วัสดุทางการเกษตร ตลอดจนการใช้ทำเป็นวัสดุตกแต่งบ้านและองค์ประกอบภายในอื่น ๆ ที่ทันสมัย (ภาพที่ ๑) (Attias et al., 2019; Jones et al., 2020; Manan et al., 2021) นอกจากนี้ ยังมีการศึกษาวิจัยจำนวนมากรายงานว่า เส้นใยบริสุทธิ์ของเห็ด (pure mycelium) อีกหลายชนิดมีศักยภาพที่จะนำไปใช้เป็นแผ่นหนัง ผ้า กระดาษ และเป็นวัสดุชีวภาพทางการแพทย์ได้อีกด้วย (Manan et al., 2021; Elsacker et al., 2023)

ภาพที่ ๑ ต้นแบบผลิตภัณฑ์วัสดุผสมชีวภาพเส้นใยเห็ดที่ผลิตได้ในปัจจุบัน และต้นแบบผลิตภัณฑ์ที่จะพัฒนาขึ้นในอนาคต

การผลิตวัสดุผสมชีวภาพเส้นใยเห็ด

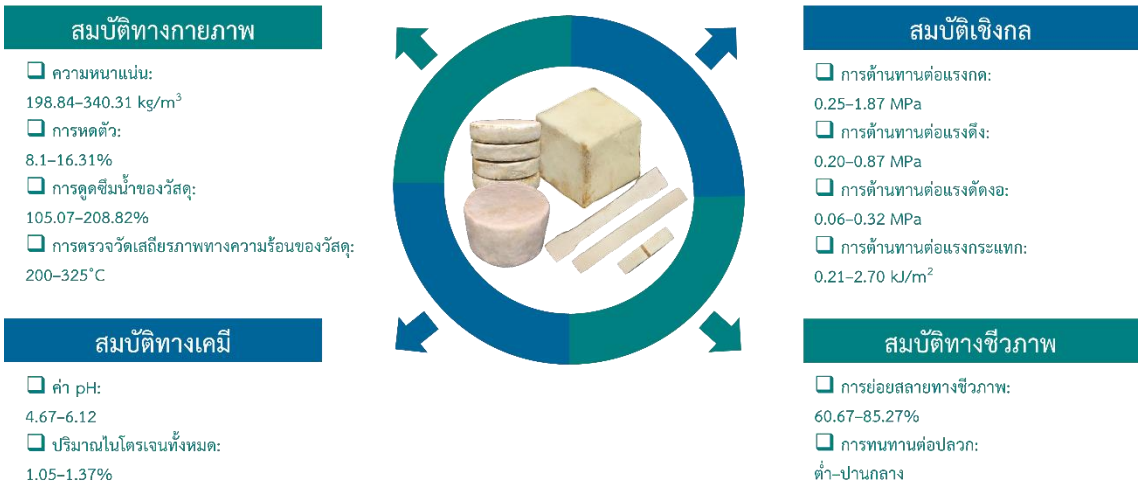
การผลิตวัสดุผสมชีวภาพเส้นใยเห็ดอาศัยหลักการเจริญเติบโตของเส้นใยเห็ดบนวัสดุธรรมชาติทำหน้าที่เป็นตัวประสานอนุภาคของวัสดุเข้าด้วยกัน จนเกิดเป็นวัสดุชีวภาพรูปแบบใหม่ที่มีเอกลักษณ์และสมบัติเฉพาะตัวแตกต่างกันไปตามปัจจัยการผลิต (ภาพที่ ๒) (Mohseni et al., 2023) โดยทั่วไปวัสดุผสมชีวภาพเส้นใยเห็ดจะผลิตมาจากการใช้วัสดุลิกโนเซลลูโลสเหลือใช้หลายประเภทที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร เช่น ขี้เลื่อย ต้นข้าวโพด แกลบ ฟางข้าว ชานอ้อย ตลอดจนเปลือกพืชชนิดต่าง ๆ เป็นวัสดุตั้งต้นหลักในกระบวนการผลิต และใช้เส้นใยเห็ดชนิดต่างๆ หลากหลายสกุล เช่น *Pleurotus*, *Ganoderma*, *Trametes*, *Pycnoporus*, *Polyporus*, *Agaricus, Lentinula* ทำหน้าที่เป็นวัสดุยึดเกาะประสานทดแทนการใช้พอลิเมอร์แบบสังเคราะห์ที่ใช้กันทั่วไปในการผลิตวัสดุแบบดั้งเดิม (de Lima et al., 2020; Aiduang et al., 2022a; 2022b) ปัจจุบันวัสดุผสมชีวภาพเส้นใยเห็ดได้รับการพัฒนาและสร้างเป็นผลิตภัณฑ์วัสดุชีวภาพเชิงพาณิชย์หลายรูปแบบ โดยมุ่งเน้นการใช้ทดแทนวัสดุแบบสังเคราะห์ที่ใช้งานกันทั่วไปในภาคอุตสาหกรรม เช่น วัสดุกันกระแทก อิฐมวลเบา แผ่นบอร์ด เฟอร์นิเจอร์ ของตกแต่งบ้าน ตลอดจนเป็นผลิตภัณฑ์ทางแฟชั่นและการออกแบบที่เกี่ยวข้องกับแผ่นหนัง เสื้อผ้า และเครื่องแต่งกายต่าง ๆ (Aiduang et al., 2022a; Alemu et al., 2022; Elsacker et al., 2023)

ภาพที่ ๒ กระบวนการผลิตและปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติของวัสดุผสมชีวภาพเส้นใยเห็ด (Aiduang et al., 2022a)

สมบัติและลักษณะของวัสดุผสมชีวภาพเส้นใยเห็ด

วัสดุผสมชีวภาพเส้นใยเห็ดส่วนใหญ่มีสมบัติในด้านต่าง ๆ (ภาพที่ ๓) ใกล้เคียงกับวัสดุประเภทโฟมสังเคราะห์หลายชนิด เช่น พอลิสไตรีนโฟม พอลิแอไมด์โฟม พอลิยูรีเทนโฟม และฟีนอลฟอร์แมลดีไฮด์เรซินโฟม (Aiduang et al., 2022a) นอกจากนี้ ยังมีงานวิจัยอีกมากที่ระบุว่าสมบัติของวัสดุประเภทดังกล่าวใกล้เคียงกับวัสดุผสมบางชนิดที่มีไม้เป็นส่วนประกอบอีกด้วย (Yang and Qin, 2023) โดยทั่วไปสมบัติและลักษณะเฉพาะตัวที่แตกต่างกันเป็นผลโดยตรงมาจากปัจจัยและเทคนิคที่เลือกใช้ในกระบวนการผลิตที่

เกี่ยวข้องกับประเภทโครงสร้างของเส้นใยเห็ด (categories of hyphal systems) ลักษณะของอนุภาควัสดุที่ใช้ สภาวะการเจริญของเส้นใยเห็ด และวิธีการขึ้นรูปวัสดุ (Appels et al., 2019; Yang et al., 2021) การใช้เส้นใยเห็ดชนิดที่มีระบบโครงสร้างของเส้นใยแบบไทรมิติก (trimitic) (เส้นใยที่มีผนังหนา ความหนาแน่นสูง และเหนียว) ในการผลิตวัสดุผสมชีวภาพเส้นใยเห็ด ทำให้ตัวอย่างวัสดุที่ได้มีสมบัติทางกายภาพและเชิงกลที่ดีกว่าการใช้เส้นใยเห็ดที่มีโครงสร้างแบบไดมิติกและโมโนมิติก (dimitic และ monomitic) (Jones et al., 2020; Yang et al., 2021) นอกจากนี้ การเลือกใช้วัสดุตั้งต้นที่มีลักษณะอนุภาคเล็ก มีความละเอียด และใช้เทคนิคการขึ้นรูปด้วยวิธีการกดด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิก จะช่วยทำให้ได้ตัวอย่างวัสดุผสมชีวภาพเส้นใยเห็ดที่ได้มีความหนาแน่นสูงและมีค่าการต้านทานต่อแรงกดได้ดียิ่งขึ้น (Elsacker et al., 2019)



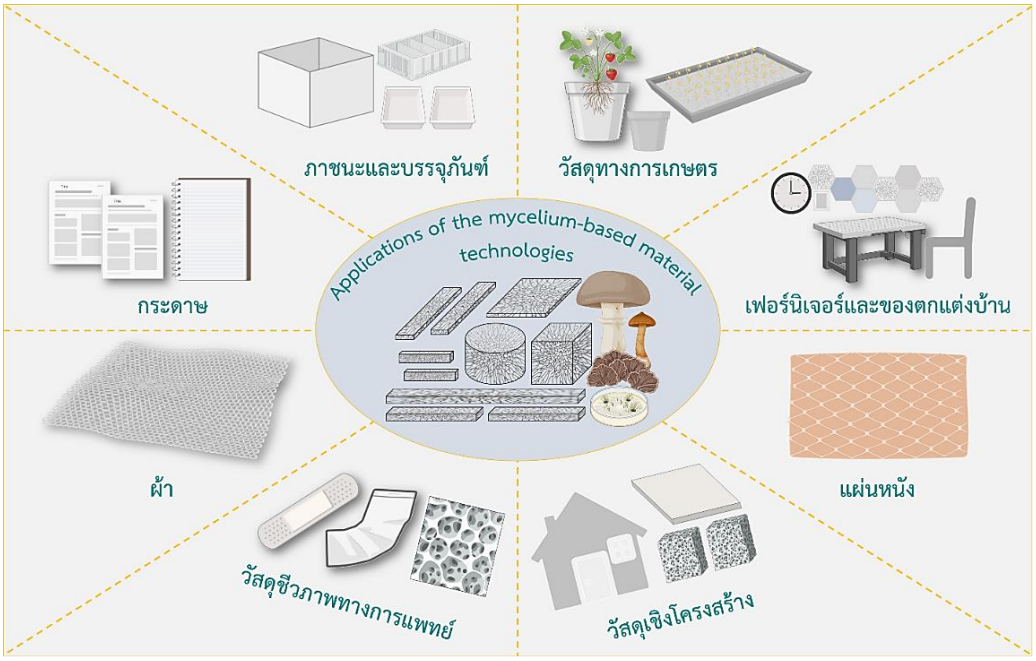
ภาพที่ ๓ สมบัติทั่วไปของวัสดุผสมชีวภาพเส้นใยเห็ด (Aiduang et al., 2022a)

การใช้ประโยชน์วัสดุผสมชีวภาพเส้นใยเห็ด

วัสดุผสมชีวภาพเส้นใยเห็ดเป็นวัสดุชีวภาพทางเลือกที่มีศักยภาพการใช้ประโยชน์ในงานอุตสาหกรรมหลากหลายด้านที่ต้องการลดปัญหาและผลกระทบด้านสภาวะแวดล้อม (ภาพที่ ๔) เนื่องจากวัสดุประเภทนี้เป็นมิตรอย่างมากต่อสิ่งแวดล้อม (Ly and Jitjak, 2022) ปัจจุบันผลิตภัณฑ์วัสดุผสมชีวภาพเส้นใยเห็ดได้รับความสนใจอย่างกว้างขวางจากผู้ใช้ทั่วโลกและมีผู้นำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น สมบัติด้านความหนาแน่นต่ำและมีน้ำหนักเบาของวัสดุดังกล่าวทำให้เหมาะที่จะผลิตเป็นวัสดุทดแทนโฟมสังเคราะห์ที่ใช้เป็นภาชนะและวัสดุบรรจุภัณฑ์ (Mapook et al., 2022) การมีความต้านทานต่อการรับแรงกดสูง การนำความร้อนต่ำ และการมีรูพรุนในระบบโครงสร้างภายในจำนวนมาก ทำให้เหมาะแก่การนำไปผลิตเป็นแผ่นฉนวนกันความร้อน วัสดุเชิงโครงสร้าง เฟอร์นิเจอร์ ตลอดจนของใช้ตกแต่งภายในอาคารบ้านเรือน ความสามารถสูงในการดูดซึมน้ำ ไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม และย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ ส่งผลทำให้มีประโยชน์ที่จะผลิตเป็นวัสดุเพื่อใช้ทางการเกษตร (Girometta et al., 2019; Yang et al., 2021) ทดแทนผลิตภัณฑ์พลาสติกที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน

เส้นใยเห็ดบริสุทธิ์ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงด้วยวิธีการต่าง ๆ สามารถนำไปผลิตเป็นวัสดุชีวภาพสมัยใหม่ที่มีความยั่งยืนได้ โดยทั่วไปสมบัติของวัสดุที่ได้จากเส้นใยเห็ดบริสุทธิ์จะใกล้เคียงกับกระดาษ แผ่นหนัง และพอลิเมอร์สังเคราะห์หลายชนิด ดังนั้น เส้นใยเห็ดบริสุทธิ์จึงมีผู้พัฒนาและนำไปใช้สร้างเป็นแผ่นหนัง (Raman et al., 2022) และสิ่งทอชีวภาพเพื่อทดแทนผลิตภัณฑ์จากหนังสัตว์และวัสดุสังเคราะห์หลาย

ประเภท (Vandelook et al., 2021) เทคโนโลยีที่ใช้เส้นใยเห็ดในปัจจุบันมีใช้ในการผลิตเชิงพาณิชย์หลากหลายตัวอย่างเช่น บริษัท Ecovative ประสบความสำเร็จในการสร้างวัสดุบรรจุภัณฑ์สมัยใหม่และแผ่นบอร์ดที่พัฒนามาจากวัสดุผสมชีวภาพเส้นใยเห็ดที่สามารถจำหน่ายได้ในเชิงพาณิชย์ ในขณะเดียวกันมีผลิตภัณฑ์วัสดุผสมชีวภาพเส้นใยเห็ดที่มีสมบัติคล้ายคลึงกับโฟมสังเคราะห์จำหน่ายโดยใช้ชื่อแบรนด์ MycoFlex™ อีกด้วย (Aiduang et al., 2022b) นอกจากนี้ ยังมีผลิตภัณฑ์ต้นแบบอีกจำนวนมากที่ได้มาจากเส้นใยเห็ดบริสุทธิ์เพื่อทำเป็นแผ่นหนังและออกแบบให้เป็นกระเป๋าถือ รองเท้า เข็มขัด สายนาฬิกา และกระเป๋าสตางค์ โดยใช้ชื่อแบรนด์มากมาย เช่น Mylea™ ของ Mycotech PTE. LTD., Reishi™ ของ Mycoworks, Mylo™ ของ Bolt threads และ VTT mycelium leather ของกลุ่มวิจัย VTT (Cerimi et al., 2019; Sun et al., 2019; Mapook et al., 2022) ยังมีผลิตภัณฑ์วัสดุผสมชีวภาพเส้นใยเห็ดอีกมากมายที่กำลังพัฒนาในระดับห้องปฏิบัติการ เช่น อิฐมวลเบา แผ่นพาร์ทิเคิล ฉนวนกันไฟไหม้ วัสดุหุ้ม แผ่นรอง และภาชนะบรรจุภัณฑ์อีกหลายรูปแบบ ซึ่งจะผลิตเป็นวัสดุเชิงพาณิชย์ในอนาคตอันใกล้ (Soh et al., 2020; Dias et al., 2021; Balaeş et al., 2023) ดังนั้น วัสดุผสมชีวภาพเส้นใยเห็ดจึงเป็นนวัตกรรมวัสดุชีวภาพรูปแบบใหม่ที่มีศักยภาพในการสร้างความก้าวหน้าทางด้านเทคโนโลยีวัสดุ เพื่อเป็นทางเลือกสำหรับผู้บริโภค ภาคอุตสาหกรรม ตลอดจนนักออกแบบผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมในอนาคต



ภาพที่ ๔ การใช้ประโยชน์วัสดุผสมชีวภาพเส้นใยเห็ดและการประยุกต์เส้นใยเห็ดบริสุทธิ์ในอุตสาหกรรมด้านต่าง ๆ

บทสรุป

เทคโนโลยีวัสดุผสมชีวภาพเส้นใยเห็ดเป็นเทคโนโลยีสะอาดที่มีพื้นฐานการพัฒนามาจากการใช้เส้นใยเห็ดบริสุทธิ์ที่เพาะเลี้ยงด้วยเทคนิคและวิธีการต่าง ๆ สำหรับเป็นตัวประสานอนุภาคของวัสดุลิกโนเซลลูโลสเหลือใช้เข้าด้วยกัน ทำให้ได้วัสดุผสมชีวภาพที่มีมูลค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งกำลังได้รับความสนใจอย่างมากในฐานะผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมที่ใช้งานได้จริงตามโมเดลเศรษฐกิจ BCG ในขณะเดียวกัน วัสดุประเภทนี้

ยังมีศักยภาพในการพัฒนาต่อยอดและคิดค้นหาสมบัติเฉพาะที่แปลกใหม่ เพื่อให้สามารถใช้ในงานที่หลากหลายได้มากขึ้น อย่างไรก็ตาม การวิจัยและพัฒนาต้องอาศัยความร่วมมือกันระหว่างนักวิจัยที่มีความเชี่ยวชาญในด้านต่าง ๆ เพิ่มขึ้น ทั้งทางด้านความหลากหลายทางชีวภาพ (เห็ดรา) วัสดุศาสตร์ วิศวกรรม และสถาปัตยกรรม เป็นต้น ที่สำคัญคือภาคอุตสาหกรรมจะเป็นกลไกสำคัญในการใช้ผลิตภัณฑ์วัสดุผสมชีวภาพเส้นใยเห็ดเพื่อให้มีปริมาณการผลิตมากขึ้น และลดการใช้วัสดุสังเคราะห์ที่ทำให้เกิดภาวะมลพิษในสิ่งแวดล้อม เพื่อก่อให้เกิดการสร้างโมเดลเศรษฐกิจแบบใหม่สู่การพัฒนาที่ยั่งยืน

เอกสารอ้างอิง

Aiduang W, Chanthaluck A, Kumla J, Jatuwong K, Srinuanpan S, Waroonkun T, Oranratmanee R, Lumyong S, Suwannarach N. Amazing fungi for eco-friendly composite materials: A comprehensive review. J Fungi. 2022a;8(8):842.

Aiduang W, Kumla J, Srinuanpan S, Thamjaree W, Lumyong S, Suwannarach N. Mechanical, physical, and chemical properties of mycelium-based composites produced from various lignocellulosic residues and fungal species. J Fungi. 2022b;8(11):1125.

Alemu D, Tafesse M, & Mondal AK. Mycelium-based composite: The future sustainable biomaterial. Int J Biomater. 2022;8401528

Appels FV, Camere S, Montalti M, et al. Fabrication factors influencing mechanical, moisture- and water-related properties of mycelium-based composites. Mat Des. 2019;161:64-71.

Attias N, Danai O, Tarazi E, Pereman I, Grobman YJ. Implementing bio-design tools to develop mycelium-based products. The Design Journal. 2019;22(sup1):1647-1657.

Balaeş, T, Radu BM, Tănase, C. Mycelium-composite materials—A promising alternative to plastics? J Fungi. 2023;9(2):21.

Cerimi K, Akkaya KC, Pohl C, Schmidt B, Neubauer P. Fungi as source for new bio-based materials: a patent review. Fungal Biol Biotechnol. 2019;6(1):1-10.

Chemello S. The Shroom Boom: the potential behind mycelium technology. 2023. Retrieved from https://insights.grcglobalgroup.com/the-shroom-boom/ (accessed on 20 August 2023).

de Lima GG, Schoenherr ZCP, Magalhães WLE, Tavares LBB, Helm CV. Enzymatic activities and analysis of a mycelium-based composite formation using peach palm (*Bactris gasipaes*) residues on *Lentinula edodes*. Bioresour Bioprocess. 2020;7:1-17.

Dias PP, Jayasinghe LB, Waldmann D. Investigation of mycelium-miscanthus composites as building insulation material. Results Mat. 2021;10:100189.

Elsacker E, Zhang M, Dade-Robertson M. Fungal engineered living materials: The viability of pure mycelium materials with self-healing functionalities. Adv Funct Mater. 2023;33(29):23018.

Girometta C, Picco AM, Baiguera RM, Dondi D, Babbini S, Cartabia M, Pellegrini M, Savino E. Physico-mechanical and thermodynamic properties of mycelium-based biocomposites: A review. Sustainability. 2019;11(1):281.

Jones M, Mautner A, Luenco S, Bismarck A, John S. Engineered mycelium composite construction materials from fungal biorefineries: A critical review. Mater Des. 2020;187:108397.

Ly L, Jitjak W. Biocomposites from agricultural wastes and mycelia of a local mushroom, Lentinus squarrosulus (Mont.) Singer. Open Agric. 2022;7(1):634-643.

Manan S, Ullah MW, Ul-Islam M, Atta OM, Yang G. Synthesis and applications of fungal mycelium-based advanced functional materials. J Bioresour Bioprod. 2021;6(1):1-10.

Mapook A, Hyde KD, Hassan K, Kemkuignou BM, Čmoková A, Surup F, Kuhnert E, Paomephan P, Cheng T, de Hoog S, et al. Ten decadal advances in mushroom biology leading towards human well-being. Fungal Divers. 2022;116(1):547-614.

Mohseni A, Vieira FR, Pecchia JA, Gürsoy B. Three-dimensional printing of living mycelium-based composites: Material compositions, workflows, and ways to mitigate contamination. Biomimetics. 2023;8(2):257.

Raman J, Kim DS, Kim HS, Oh DS, Shin HJ. Mycofabrication of mycelium-based leather from Brown-rot fungi. J Fungi. 2022;8(3):317.

Soh E, Chew ZY, Saeidi N, Javadian A, Hebel D, Le Ferrand H. Development of an extrudable paste to build mycelium-bound composites. Mater Des. 2020;195:109058.

Sun W, Tajvidi M, Hunt CG, McIntyre G, Gardner DJ. Fully bio-based hybrid composites made of wood, mushroom mycelium and cellulose nanofibrils. Sci rep. 2019;9(1): 3766.

Vandelook S, Elsacker E, Van Wylick A, De Laet L, Peeters E. Current state and future prospects of pure mycelium materials. Fungal Biol Biotechnol. 2021;8(1):1-10.

Yang L, Qin Z. Mycelium-based wood composites for light weight and high strength by experiment and machine learning. Cell Rep Phys Sci. 2023;4(6).

Yang L, Park D, Qin Z. Material function of mycelium-based bio-composite: A review. Front Mater. 2021;8:737377.