

การศึกษาประสิทธิภาพบรรจุภัณฑ์ผักสลัดที่ผลิตจากฟิล์มชีวภาพจากเห็ดนางฟ้า

Efficiency of Salad Vegetable Packaging Produced from Oyster Mushroom Bio-Film

นลินอร หุ้ยพลอด^{1*}

Nalin-on Nuiplot^{1*}

Received 17 April 2026, Revised 11 August 2026, Accepted 18 August 2026

ABSTRACT

This research evaluated and compared the properties of bio-film derived from oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) waste with commercial bio-plastics. The study focused on evaluating its mechanical strength, its application in preserving the freshness of salad vegetables, as well as its eco-friendliness. The methodology involved developing bio-films from oyster mushroom processing waste and conducting performance testing in real-world applications. The results indicated that the oyster mushroom-based bio-film exhibited a tensile strength of 28.45 ± 1.20 MPa and maintained the freshness of salad vegetables comparably to commercial bioplastics. It restricted the average weight loss to 3.2% while maintaining high crispness scores throughout a 7-day storage period, performing comparably to synthetic commercial bioplastics. Furthermore, the bio-film achieved complete biodegradation within an average of 45 days under natural landfill conditions and reduced greenhouse gas emission (carbon footprint) by 30–43%. These findings demonstrate the preliminary feasibility of utilizing local bio-resources to develop eco-friendly packaging that aligns with the Circular Economy and sustainable zero-waste management goals.

Keywords: Oyster Mushroom Bio-Film, Salad Vegetable Packaging, Freshness Preservation, Biodegradability

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติของฟิล์มชีวภาพจากเห็ดนางฟ้ากับพลาสติกชีวภาพทางการค้า โดยมุ่งเน้นการประเมินด้านความแข็งแรงเชิงกล ประสิทธิภาพในการประยุกต์ใช้เพื่อรักษาความสดของผักสลัด และความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม วิธีการดำเนินการวิจัยประกอบด้วยการขึ้นรูปฟิล์มจากวัสดุเหลือทิ้งในกระบวนการผลิตเห็ดนางฟ้า และการทดสอบคุณสมบัติการใช้งานจริง ผลการวิจัยพบว่า ฟิล์มชีวภาพจากเห็ดนางฟ้ามีค่าความต้านทานแรงดึง 28.45 ± 1.20 MPa และมีประสิทธิภาพในการรักษาความสดของผักสลัดได้ใกล้เคียงกับพลาสติกชีวภาพทางการค้า โดยสามารถควบคุมอัตราการสูญเสียน้ำหนักเฉลี่ยให้อยู่ที่ร้อยละ 3.2 และคงค่าคะแนนความกรอบได้ในระดับสูงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 7 วัน นอกจากนี้ ฟิล์มชีวภาพสามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพภายในระยะเวลาเฉลี่ย 45 วัน ในสภาวะฝังกลบธรรมชาติ และลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (คาร์บอนฟุตพริ้นท์) ลงร้อยละ 30–43 เมื่อเทียบกับพลาสติกชีวภาพทั่วไป ข้อมูลจากการศึกษานี้แสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้เบื้องต้นในการนำทรัพยากรชีวภาพใน

^{1*} งานวิจัยศึกษาทั่วไป มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ต.คลองหนึ่ง อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 13180

Office of General Education, Valaya Alongkorn Rajabhat University under the Royal Patronage, Khlong Nueng, Khlong Luang, Pathum Thani 13180, Thailand.

* Corresponding author: E-mail address: nalin-on@vru.ac.th

ท้องถิ่นมาพัฒนาเป็นบรรจุภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียนและการจัดการขยะเหลือศูนย์อย่างยั่งยืน

คำสำคัญ: फिल्मชีวภาพเห็ดนางฟ้า บรรจุภัณฑ์ผักสลัด การถนอมรักษาความสด การย่อยสลายทางชีวภาพ

บทนำ

ปัจจุบัน ปัญหาขยะพลาสติกส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศทั้งทางบกและทางทะเล โดยเฉพาะขยะจากบรรจุภัณฑ์อาหารแบบใช้ครั้งเดียวทิ้ง ที่มีอัตราการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามการขยายตัวของอุตสาหกรรมอาหารพร้อมบริโภค (Ncube *et al.*, 2021; Kanhai *et al.*, 2022) ข้อมูลจากรายงานด้านสิ่งแวดล้อมระบุว่า พลาสติกสังเคราะห์ต้องใช้เวลาหลายร้อยปีในการย่อยสลาย ส่งผลให้เกิดการสะสมของไมโครพลาสติกในห่วงโซ่อาหาร (Schmaltz *et al.*, 2020; สุวิษฐา และคณะ, 2568) ด้วยเหตุนี้ ทั่วโลกจึงมุ่งเน้นการวิจัยและพัฒนาวัสดุฐานชีวภาพที่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ เพื่อทดแทนพลาสติกจากปิโตรเลียม ซึ่งสอดคล้องกับนโยบายเศรษฐกิจ BCG (Bio-Circular-Green Economy) ของประเทศไทยที่มุ่งเน้นการนำทรัพยากรชีวภาพมาสร้างมูลค่าเพิ่มอย่างยั่งยืน (จิตติกร และคณะ, 2566; Maolanont & Pochanart, 2023)

นอกจากมิติการจัดการขยะแล้ว การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ (Carbon Footprint of Product: CFP) ยังเป็นตัวบ่งชี้สำคัญถึงปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของบรรจุภัณฑ์ เนื่องจากการใช้วัสดุเหลือทิ้งจากฐานชีวภาพ (Bio-based waste) มักมีค่าการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO₂e) ต่ำกว่าพลาสติกจากปิโตรเลียม งานวิจัยนี้จึงมุ่งประเมินปริมาณคาร์บอนที่ลดลงจากการเปลี่ยนมาใช้ฟิล์มเห็ดนางฟ้า เพื่อยืนยันศักยภาพในการลดผลกระทบต่อสถานะโลกร้อน

ผักสลัด เป็นผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรที่มีมูลค่าทางเศรษฐกิจสูงและได้รับความนิยมอย่างมากในกลุ่มผู้บริโภคที่รักสุขภาพ อย่างไรก็ตาม ผักสลัดมีลักษณะทางกายภาพที่บอบบาง มีอัตราการหายใจสูง และเกิดการคายน้ำได้ง่าย ส่งผลให้เหี่ยวเฉาและเน่าเสีย

ได้รวดเร็วหลังการเก็บเกี่ยว (Hemmati *et al.*, 2021; คมจันทร์ และคณะ, 2564) บรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมจึงเป็นปัจจัยสำคัญในการรักษาคุณภาพในการรักษาคุณภาพ โดยบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมต้องมีความสามารถในการป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำและก๊าซออกซิเจนที่เหมาะสม เพื่อควบคุมสภาวะภายในบรรจุภัณฑ์ให้คงความสดและความกรอบได้นานที่สุด (Ordóñez *et al.*, 2023; ภาวิณี และ กวินนา, 2563)

เห็ดนางฟ้า (*Pleurotus ostreatus*) เป็นพืชเศรษฐกิจที่เพาะปลูกได้แพร่หลายในประเทศไทย ซึ่งนอกจากจะมีคุณค่าทางโภชนาการสูงแล้ว องค์ประกอบทางเคมีของเห็ดนางฟ้ายังมีลักษณะพิเศษ คือ ประกอบด้วยโครงสร้างของพอลิแซ็กคาไรด์ที่แข็งแรง โดยเฉพาะไคติน-กลูแคน (Chitin-glucan complex) ซึ่งมีคุณสมบัติในการขึ้นรูปเป็นฟิล์มได้ดี (Wang *et al.*, 2018) งานวิจัยในระดับสากลพบว่า สารสกัดจากเห็ดมีฤทธิ์ในการต้านจุลินทรีย์และสามารถพัฒนาเป็นฟิล์มที่มีความยืดหยุ่นและความแข็งแรงเชิงกลสูง (Sratong-on *et al.*, 2025) การนำส่วนที่เหลือทิ้งจากการตัดแต่งเห็ดหรือเห็ดที่ตกเกรดมาแปรรูปเป็นฟิล์มชีวภาพ จึงเป็นแนวทางที่มีประสิทธิภาพในการลดขยะทางการเกษตรและสร้างนวัตกรรมวัสดุใหม่ นอกจากนี้ ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา พลาสติกชีวภาพจากเชื้อราและวัสดุฐานไมซีเลียม ได้รับความสนใจอย่างแพร่หลายในฐานะวัสดุทางเลือกที่ยั่งยืนสำหรับบรรจุภัณฑ์อาหาร ทั้งนี้ เนื่องมาจากสมบัติเด่นในด้านการย่อยสลายได้ทางชีวภาพ และการมีคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในกระบวนการผลิตที่ต่ำมาก (Appels *et al.*, 2019; Jones *et al.*, 2020)

อย่างไรก็ตาม แม้จะมีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับฟิล์มชีวภาพจากขยะทางการเกษตรจากแป้งข้าวโพดหรือชานอ้อย (กาญจนา และคณะ, 2568) แต่การนำวัสดุจากเห็ดนางฟ้ามาประยุกต์ใช้ในสภาวะอากาศร้อนชื้น

ของประเทศไทยยังคงมีช่องว่างทางการวิจัยที่สำคัญ ปัญหาหลักที่พบคือความแปรผันของคุณสมบัติฟิล์ม เมื่อสัมผัสกับความชื้นจากกล้วยน้ำว้า ส่งผลต่อความแข็งแรงของบรรจุภัณฑ์ (นลินอร, 2564) จากบทเรียนในอดีตที่พบปัญหาในกล้วยน้ำว้า จึงนำมาสู่การทดสอบในผักสลัดเพื่อดูผลที่ต่างกัน ส่งผลให้มีความจำเป็นที่ต้องศึกษาประสิทธิภาพของฟิล์มชีวภาพจากเห็ดนางฟ้า ในด้านการป้องกันการสูญเสียน้ำและการรักษาคุณค่าทางประสาทสัมผัสของผักสลัด

ดังนั้น งานวิจัยฉบับนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ประสิทธิภาพของบรรจุภัณฑ์ฟิล์มชีวภาพที่ผลิตจากเห็ดนางฟ้า โดยมุ่งเน้นการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ เชิงกล และประสิทธิภาพในการรักษาความสดของผักสลัดเมื่อเปรียบเทียบกับบรรจุภัณฑ์พลาสติกทั่วไป องค์ความรู้ที่ได้รับจากการศึกษานี้ไม่เพียงแต่จะเป็นการพัฒนาวัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม แต่ยังเป็นการยกระดับมาตรฐานบรรจุภัณฑ์เกษตรอัจฉริยะที่เข้าใจบริบทของพื้นที่และทรัพยากรท้องถิ่นอย่างลึกซึ้ง เพื่อนำไปสู่การพัฒนาที่ยั่งยืนในภาคอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ไทยต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

การศึกษาวิจัยเริ่มต้นจากการคัดเลือกและจัดเตรียมวัตถุดิบหลัก โดยนำส่วนเหลือทิ้งจากการตัดแต่งเห็ดนางฟ้าจากชุมชนมาทำความสะอาดเพื่อขจัดสิ่งปนเปื้อนและเศษวัสดุเพาะเห็ด ก่อนนำไปอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิควบคุม 60 องศาเซลเซียส จนกระทั่งมีค่าน้ำหนักคงที่และมีความชื้นเหลืออยู่น้อยกว่าร้อยละ 10 จากนั้นนำวัตถุดิบที่แห้งแล้วมาบดด้วยเครื่องบดไฟฟ้า (รุ่น SM-3 ยี่ห้อ HSIANGTAI, ประเทศไต้หวัน) และร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานขนาด 100 เมช เพื่อให้ได้ผงเห็ดที่มีขนาดอนุภาคสม่ำเสมอสำหรับการสกัดพอลิแซ็กคาไรด์ โดยเฉพาะโครงสร้างโคติน-กลูแคน ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักในการสร้างโครงข่ายฟิล์ม

กระบวนการเตรียมสารละลายฟิล์ม ดำเนินการโดยนำสารสกัดเห็ดนางฟ้าในปริมาณ 5% (w/v) ร่วมกับ

การกวนด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 80-90 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ด้วยเครื่องกวนสารละลายแบบแม่เหล็ก (รุ่น C-MAG HS 7, บริษัท IKA, ประเทศเยอรมนี) พร้อมทั้งมีการเติมสารเสริมสภาพพลาสติกในกลุ่มพอลิเอทิลีน คือ กลีเซอรอล (AR grade, บริษัท Sigma-Aldrich, ประเทศสหรัฐอเมริกา) ในอัตราส่วน 30% (โดยน้ำหนักของสารสกัด) ในน้ำกลั่น เพื่อเพิ่มความยืดหยุ่นและลดความเปราะของแผ่นฟิล์ม หลังจากนั้นสารละลายจะถูกนำไปเข้าสู่กระบวนการกำจัดฟองอากาศด้วยเครื่องอัลตราโซนิก นาน 30 นาที เพื่อป้องกันการเกิดตำหนิในเนื้อฟิล์ม ก่อนดำเนินการหล่อแบบสารละลายลงบนแม่พิมพ์ระดับมาตรฐาน และควบคุมการระเหยของตัวทำละลายในตู้อบที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จนได้แผ่นฟิล์มชีวภาพที่มีความหนาสม่ำเสมอ

ในการประเมินคุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกล ฟิล์มชีวภาพที่ผลิตได้จะถูกสุ่มวัดความหนาด้วยไมโครมิเตอร์แบบดิจิตอล ความละเอียด 0.001 มิลลิเมตร จากนั้นทดสอบค่าความต้านทานแรงดึง และค่าร้อยละการยืดตัวเมื่อขาด โดยใช้เครื่องทดสอบแรงดึงแรงกด (รุ่น 5965, บริษัท Instron, ประเทศสหรัฐอเมริกา) ตามมาตรฐาน ASTM D882 ด้วยอัตราเร็วในการดึง 50 มิลลิเมตรต่อนาที ภายใต้สภาวะควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ สำหรับสมบัติการป้องกันการเสื่อมสภาพ ดำเนินการทดสอบอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ ตามมาตรฐาน ASTM E96 โดยใช้วิธีถ้วยดูดความชื้น ในส่วนของการทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานจริง ได้นำผักสลัดสดมาบรรจุในฟิล์มชีวภาพจากเห็ดนางฟ้าเปรียบเทียบกับบรรจุภัณฑ์พลาสติกทางการค้าชนิดพอลิโพรพิลีน และพลาสติกชีวภาพมาตรฐาน ในการทดลองได้นำฟิล์มพลาสติกชีวภาพทางการค้าชนิด Polylactic Acid (PLA) (ยี่ห้อ Ingeo™ บริษัท NatureWorks LLC, ประเทศสหรัฐอเมริกา) ที่มีความหนามาตรฐาน 30 ไมโครเมตร มาใช้เป็นสารมาตรฐานเปรียบเทียบ เพื่อประเมินและเปรียบเทียบสมบัติทางกลและการต้านทานแรงดึงกับฟิล์มจากสารสกัดเห็ดนางฟ้าที่พัฒนาขึ้น โดย

เก็บรักษาไว้ในสภาวะจำลองภูมิอากาศร้อนชื้นเพื่อบันทึกการเปลี่ยนแปลงของเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสะสม ทุก 24 ชั่วโมง ควบคู่ไปกับการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสในด้านความสดและความกรอบ นอกจากนี้ยังมีการวิเคราะห์ความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพโดยการฝังดิน เพื่อติดตามการสลายตัวของน้ำหนักในระยะเวลา 30 วัน ข้อมูลเชิงทดลองทั้งหมดจะถูกนำไปวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (One-way ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เพื่อประเมินความเป็นไปได้ในการนำไปใช้งานในระดับอุตสาหกรรมต่อไป

การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์เบื้องต้นทำได้โดย คำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์โดยใช้ขอบเขตการพิจารณาแบบ Cradle-to-Gate (ตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบจนถึงขั้นตอนการขึ้นรูปฟิล์ม) คำนวณจากปริมาณการใช้ไฟฟ้า (kWh) ในกระบวนการอบแห้งและขึ้นรูปฟิล์ม และปริมาณสารเคมีเสริมสภาพพลาสติกที่ใช้ โดยใช้อ้างอิงค่า Emission Factor (EF) จากองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) ปีพ.ศ. 2567 ตามสมการ:

$$CFP = \sum \text{Activity Data} \times \text{Emission Factor}$$

ตัวอย่างการคำนวณ:

ในกระบวนการเตรียมฟิล์ม 1 แผ่น มีการใช้ไฟฟ้าจากเครื่องทอสารละลายแบบแม่เหล็กขนาด 0.5 กิโลวัตต์เป็นเวลา 0.5 ชั่วโมง (Activity Data = $0.5 \times 0.5 = 0.25$ kWh) เมื่อคูณกับค่า Emission Factor ของไฟฟ้ากริดประเทศไทย ($0.4999 \text{ kgCO}_2\text{e/kWh}$) จะได้ปริมาณการปลดปล่อยเท่ากับ $0.25 \times 0.4999 = 0.125 \text{ kgCO}_2\text{e}$ ซึ่งเมื่อรวมกับค่าของวัตถุดิบเห็ดนางฟ้าและกลีเซอรอลแล้ว ทำให้ฟิล์มเห็ดมีค่า CFP รวมต่ำกว่าพลาสติกทั่วไปตามที่แสดงในผลการทดลอง

ผล

จากการทดสอบเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างฟิล์มชีวภาพจากเห็ดนางฟ้า และพลาสติกชีวภาพทั่วไปในท้องตลาด พบผลการศึกษาดังนี้

ผงเห็ดนางฟ้าที่สกัดได้ ฟิล์มชีวภาพจากเห็ดนางฟ้า และตัวอย่างการนำไปห่อผักเพื่อประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสในด้านความสดและความกรอบ แสดงดัง Figure 1



Figure 1 Oyster mushroom powder, bio-film, and wrapped vegetable sample used for sensory evaluation of freshness and crispness

คุณสมบัติทางกายภาพและความแข็งแรง: ฟิล์มจากเห็ดนางฟ้ามีความต้านทานต่อแรงดึงและ

ความยืดหยุ่นที่เหมาะสมต่อการขึ้นรูปเป็นบรรจุภัณฑ์ โดยฟิล์มเห็ดนางฟ้ามีค่าสูงถึง 120% ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์

ชั้นต่ำของพลาสติกห่อหุ้มทั่วไป สะท้อนถึงประสิทธิภาพของโครงข่ายเส้นใยจากเห็ดที่ช่วยให้ฟิล์มมีความเหนียวและลดโอกาสการฉีกขาดระหว่างการขนส่ง โดยมีรายละเอียดดังแสดงใน Table 1

ประสิทธิภาพการรักษาความสด: จากการทดสอบบรรจุผักสวนครัวและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ $4\pm1^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 7 วัน พบว่าฟิล์มเห็ดนางฟ้าสามารถรักษาความสดได้ใกล้เคียงกับพลาสติกทั่วไป โดยมีอัตราการสูญเสียน้ำหนักดังนี้ ฟิล์มเห็ดนางฟ้า สูญเสียน้ำหนักเฉลี่ย 3.2% และ พลาสติกชีวภาพทั่วไป สูญเสียน้ำหนักเฉลี่ย 2.8%

การย่อยสลายและผลกระทบ: การทดสอบการย่อยสลายในสภาวะฝังกลบธรรมชาติ ที่อุณหภูมิเฉลี่ย $30-35^{\circ}\text{C}$ พบว่าอัตราการย่อยสลายฟิล์มเห็ดนางฟ้าสามารถย่อยสลายได้สมบูรณ์ภายในระยะเวลาเฉลี่ย 45 วัน ขณะที่พลาสติกชีวภาพทั่วไปใช้เวลาเฉลี่ย 180 วัน

นอกจากนี้ จากการคำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดที่ปลดปล่อยออกมาจากกิจกรรมการผลิตฟิล์มชีวภาพ หรือคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (Carbon Footprint) พบว่า กระบวนการผลิตจากวัสดุเหลือทิ้งช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้มากกว่า 40% เมื่อเทียบกับการใช้เม็ดพลาสติกใหม่ ผลการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์พบว่า ฟิล์มชีวภาพจากเห็ดนางฟ้ามีค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกเฉลี่ยอยู่ที่ $0.85 \text{ kgCO}_2\text{e}$ ต่อ กิโลกรัมผลิตภัณฑ์ ซึ่งต่ำกว่าพลาสติกชีวภาพประเภท PLA ทั่วไปในท้องตลาด (ซึ่งมีค่าเฉลี่ยประมาณ $1.2 - 1.5 \text{ kgCO}_2\text{e}$) คิดเป็นการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ประมาณร้อยละ 30-43 เนื่องจากการใช้วัตถุดิบเหลือทิ้งช่วยลดขั้นตอนการสังเคราะห์เม็ดพลาสติก

ผลการทดลองโดยละเอียดในด้านต่าง ๆ ได้ถูกสรุปไว้ใน Table 1 และแสดงภาพสรุปเปรียบเทียบใน Figure 2 สามารถจำแนกและอธิบายรายละเอียดในแต่ละส่วนได้ดังนี้

Table 1 Comparison of Physical, Mechanical, and Freshness Retention Properties

Parameters	Oyster mushroom film	Commercial bioplastic	Polypropylene (PP)
Thickness (mm)	0.050 ± 0.003 a	0.050 ± 0.002 b	0.045 ± 0.001 b
Tensile strength (MPa)	28.45 ± 1.20 a	24.12 ± 0.95 b	32.10 ± 1.50 c
Biodegradation period (days)	45 ± 3 a	180 ± 10 b	>365 c
Water vapor transmission rate: WVTR (g/sq.m . day)	12.45 ± 0.85 a	10.12 ± 0.60 b	0.85 ± 0.05 c
Weight loss (%) at Day 7	3.2 ± 0.4 a	2.8 ± 0.2 a	1.5 ± 0.1 a
Crispness score (1-5)	4.2 ± 0.5 a	4.5 ± 0.3 a	4.8 ± 0.2 a

Note: Different superscript letters (a, b, c) within the same row indicate statistically significant differences ($p < 0.05$). Crispness score was evaluated using a 5-point Hedonic Scale (1 = lowest, 5 = highest)

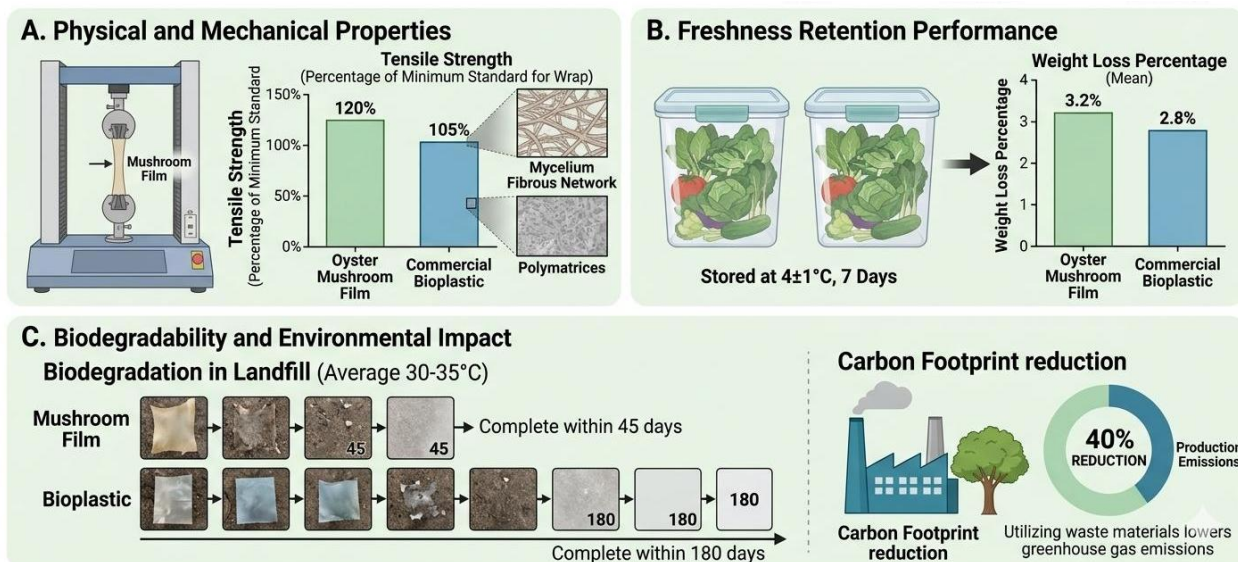


Figure 2 Comparative analysis of oyster mushroom-based bio-film and commercial bioplastic.

Note: Representative photographs of the developed bio-film are combined with schematic illustrations to facilitate visualization and comparison. The schematic components are intended for conceptual explanation only and do not represent additional experimental results (Created with Gemini, 2026.)

Figure 2A แสดงสมบัติทางกายภาพและเชิงกล เมื่อทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแรงดึงพบว่า พิล์มจากเห็ดนางฟ้ามีความต้านทานแรงดึงเท่ากับ 28.45 ± 1.20 MPa ซึ่งสูงกว่าพลาสติกชีวภาพทางการค้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ดังแสดงใน Table 1

ในส่วนของ Figure 2B แสดงประสิทธิภาพในการเก็บรักษาความสดของพืชผัก เมื่อทดลองบรรจุผักสดและเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิควบคุม 4°C เป็นระยะเวลา 7 วัน จากการติดตามเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักเฉลี่ย พบว่าบรรจุภัณฑ์ที่ทำจากฟิล์มเห็ดนางฟ้ามีอัตราการสูญเสียน้ำหนักของผักอยู่ที่ 3.2% ซึ่งใกล้เคียงกับพลาสติกชีวภาพทางการค้า ที่ 2.8% ซึ่งให้เห็นว่าโครงสร้างของฟิล์มเห็ดมีความสามารถในการควบคุมการแลกเปลี่ยนก๊าซและกันสลายไอน้ำที่เหมาะสม ช่วยลดการสะสมของไอน้ำส่วนเกินภายในบรรจุภัณฑ์อันเป็นสาเหตุของการเน่าเสีย และช่วยรักษาความสดใหม่ของพืชผักได้ดีในระดับที่เทียบเท่ากับพลาสติกในท้องตลาด

และ Figure 2C แสดงถึงความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยในส่วนของการทดสอบฝังกลบในดิน ที่อุณหภูมิเฉลี่ย 30°C พบว่าฟิล์มชีวภาพจากเห็ดนางฟ้าสามารถย่อยสลายได้อย่างสมบูรณ์ภายในระยะเวลาเพียง 45 วัน ในขณะที่พลาสติกชีวภาพทางการค้าทั่วไปต้องใช้เวลานานกว่าถึง 180 วัน

วิจารณ์

จากการประเมินคุณสมบัติทางเชิงกล พบว่าฟิล์มชีวภาพจากเห็ดนางฟ้ามีค่าความต้านทานแรงดึงสูงถึง 28.45 ± 1.20 MPa ซึ่งสูงกว่าพลาสติกชีวภาพทั่วไปอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) แม้ว่าการศึกษาเบื้องต้นครั้งนี้จะยังไม่ได้มีการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของฟิล์ม (Morphology) ด้วยเทคนิคขั้นสูง เช่น กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) เพื่อยืนยันโครงสร้างทางกายภาพโดยตรง ซึ่งค่าความต้านทานแรงดึงที่สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญนี้ คาดว่าอาจเป็นผลมาจากโครงสร้างสารจำพวกไคติน-กลูแคนในเห็ดนางฟ้า ตามข้อเสนอแนะในเชิงทฤษฎีของ Haneef *et al.* (2017) และ

Appels et al. (2019) อย่างไรก็ตาม เนื่องจากการศึกษานี้ยังไม่ได้ทำการวิเคราะห์พื้นฐานวิทยาในระดับจุลภาค ข้อสันนิษฐานดังกล่าวจึงยังคงเป็นเพียงสมมติฐานทางทฤษฎีที่ต้องได้รับการพิสูจน์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดในการวิจัยขั้นต่อไป

ในด้านการป้องกันการเสื่อมสภาพของสิ่งของภายในการห่อหุ้ม ข้อมูลจากผลการทดลอง (Table 1) แสดงให้เห็นว่า อัตราการซึมผ่านไอน้ำ (WVTR) ของฟิล์มเห็ดนางฟ้า มีค่า $12.45 \pm 0.85 \text{ g/sq.m. day}$ อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาผลสัมฤทธิ์จากการใช้งานจริง ฟิล์มเห็ดนางฟ้าสามารถควบคุมอัตราการสูญเสียน้ำหนักของผักสดให้อยู่ที่ร้อยละ 3.2 ซึ่งไม่มีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเทียบกับพลาสติกชีวภาพทางการค้า (ร้อยละ 2.8) และยังคงคะแนนความกรอบได้ในระดับสูง (4.2 คะแนน) ผลการทดลองดังกล่าวอาจเกิดจากการที่ฟิล์มเห็ดนางฟ้ามีการถ่ายเทอากาศที่เหมาะสมสำหรับการทำเป็นบรรจุภัณฑ์หรือสิ่งห่อหุ้มผักสด เมื่อเทียบกับพลาสติกชีวภาพทางการค้าและพลาสติก PP การทำเป็นบรรจุภัณฑ์หรือสิ่งห่อหุ้มผักสด โดยค่า WVTR ที่วัดได้ $12.45 \pm 0.85 \text{ g/sq.m. day}$ ช่วยลดการสะสมของไอน้ำภายในบรรจุภัณฑ์ ซึ่งอาจสอดคล้องกับแนวคิดของ Ncube et al. (2020) ที่ระบุว่า สมบัติการกันผ่านที่เหมาะสมของฟิล์มธรรมชาติมีส่วนช่วยลดการสะสมของไอน้ำเกินจำเป็นภายในบรรจุภัณฑ์ อันเป็นสาเหตุของการเน่าเสีย ทั้งนี้ กลไกการป้องกันความชื้นในระดับจุลโครงสร้าง ยังคงเป็นประเด็นที่ต้องรอการพิสูจน์ด้วยเครื่องมือวิเคราะห์เชิงลึกต่อไป

ผลการทดลองเกี่ยวกับระยะเวลาการย่อยสลายในสภาวะฝังกลบ โดยฟิล์มเห็ดนางฟ้าย่อยสลายสมบูรณ์ภายใน 45 วัน ส่วนพลาสติกชีวภาพทั่วไป ย่อยสลายสมบูรณ์ภายใน 180 วัน ซึ่งผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่า วัสดุที่มาจากฐานเห็ด (Fungal-based materials) มีความไวต่อเอนไซม์ของจุลินทรีย์ในดิน สูงกว่าพลาสติกชีวภาพที่ต้องอาศัยสภาวะอุตสาหกรรม (Industrial Composting) ในการย่อยสลาย สอดคล้องกับงานวิจัยของ Alaneme et al. (2023) ที่รายงานว่าวัสดุจาก Bio-

waste จะไม่สร้างมลพิษไมโครพลาสติกสะสม เนื่องจากโครงสร้างทางเคมีเป็นสารอินทรีย์ทั้งหมด นอกจากนี้จากการประเมินเบื้องต้นระดับห้องปฏิบัติการพบว่า การลดลงของคาร์บอนฟุตพริ้นท์กว่า 40% แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มที่ดี สะท้อนให้เห็นว่าการนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาใช้เป็นวัตถุดิบหลัก มีศักยภาพในการช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการผลิตพลาสติกใหม่ อย่างไรก็ตาม เนื่องจากการประเมินเบื้องต้นในระดับห้องปฏิบัติการ (Lab-scale) การสรุปผลกระทบสิ่งแวดล้อมในเชิงพาณิชย์ยังจำเป็นต้องอาศัยการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment : LCA) ที่ครบวงจรต่อไป

โดยสรุปจากผลและงานวิจัยดังกล่าวข้างต้น ฟิล์มชีวภาพจากเห็ดนางฟ้ามีศักยภาพเบื้องต้นสำหรับการพัฒนาต่อยอดในการใช้งานระดับอุตสาหกรรม โดยเฉพาะบรรจุภัณฑ์อาหารสด อย่างไรก็ตาม ยังมีข้อที่ต้องปรับปรุงในเรื่องความสม่ำเสมอของพื้นผิว (Surface Uniformity) ซึ่งในงานวิจัยนี้ยังไม่มีกระบวนการสม่ำเสมอของพื้นผิว ดังนั้นในงานวิจัยครั้งต่อไป ควรควบคุมความสม่ำเสมอด้วย เช่น การใช้เครื่องอัลตราโซนิคกำจัดฟองอากาศ และอาจต้องปรับปรุงเรื่องความไวต่อความชื้นสัมพัทธ์สูง ที่อาจส่งผลต่อความแข็งแรงของฟิล์มหากเก็บในสภาพแวดล้อมที่แปรปรวนจัด

ข้อเสนอแนะเพื่องานวิจัยในอนาคต

งานวิจัยนี้พิสูจน์ถึงความเป็นไปได้เบื้องต้นในการใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าในการผลิตฟิล์มชีวภาพ โดยมีคุณสมบัติเชิงกลและการย่อยสลายที่ดี อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้มีข้อจำกัดที่ยังไม่ได้วิเคราะห์โครงสร้างระดับจุลภาค (Morphology) และพื้นฐานวิทยาของฟิล์ม ดังนั้น ในการศึกษาระยะต่อไปจึงควรมีการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค SEM และทดสอบสมบัติในสภาวะการเก็บรักษาที่หลากหลายเพื่อการประยุกต์ใช้เชิงพาณิชย์ ดังนี้

1. ควรมีการศึกษากระบวนการ Coating ด้วยสารสกัดธรรมชาติ เช่น Wax จากใบไม้ เพื่อลดค่า WVTR ให้ดียิ่งขึ้นโดยไม่กระทบต่อการย่อยสลาย

2. พัฒนาการรวมวิธีการผลิตแบบต่อเนื่อง (Continuous Production) เพื่อเพิ่มกำลังการผลิตในระดับอุตสาหกรรม

3. ควรมีการศึกษาโครงสร้างและสัณฐานวิทยา (Morphology) ของแผ่นฟิล์มเพิ่มเติมด้วยเทคนิควิเคราะห์ขั้นสูง เช่น กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) หรือ Optical microscopy เพื่อยืนยันลักษณะการจัดเรียงตัวของโครงข่ายเส้นใยเห็ด ซึ่งจะช่วยให้เชื่อมโยงและอธิบายกลไกเชิงลึกที่ส่งผลต่อสมบัติเชิงกลได้อย่างสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

4. ควรมีการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment: LCA) แบบครบวงจรครอบคลุมถึงระยะสิ้นสุดอายุขัย (End-of-life) เพื่อยืนยันข้อมูลคาร์บอนฟุตพริ้นท์สำหรับการประยุกต์ใช้ในสเกลอุตสาหกรรม

แนวทางนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

ผลงานวิจัยนี้สามารถนำไปพัฒนาเป็นถุงห่อผักในซูเปอร์มาร์เก็ตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม หรือฟิล์มยืดถนอมอาหาร เพื่อลดขยะพลาสติกเหลือทิ้งในครัวเรือน สอดคล้องกับนโยบาย BCG Economy ที่มุ่งเน้นการใช้ทรัพยากรชีวภาพอย่างคุ้มค่าที่สุด

เอกสารอ้างอิง

กาญจนา เถาว์ชาลี, ศรัณย์ ศิลาเนร, พงษ์พันธ์ พึ่งตน, และ วิไลวรรณ งามฉลาด. (2568). การพัฒนาสังคมผ่านการยกระดับผลิตภัณฑ์ชุมชนบ้านโคกสวายด้วยนวัตกรรมและเทคโนโลยีตามแนวเศรษฐกิจ BCG. *วารสารราชภัฏสุรินทร์วิชาการ*, 3(3), 167-182.

คมจันทร์ สรจันทร, ภาณุมาศ โคตรพงษ์, ศิริกานต์ ศรีธัญรัตน์, ปรารค์ทอง กวานห้อง, งามพิศ สุดเสน่ห์, ทิวาพร ผดุง, และ เสาวลักษณ์ กิตติชนวัตร. (2564). *การลดความสูญเสียคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของผักและผลไม้สด*. กรมวิชาการเกษตร.

จิตติกร หมายมั่น, ชำนาญ ทองมาก, บัณฑิต รัตนไกร, และ ฐานิสร์ โรจนดิกล. (2566). โมเดลเศรษฐกิจ BCG เพื่อการพัฒนาที่สมดุลและยั่งยืน. *วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย ฉบับสังคมศาสตร์และมนุษยศาสตร์*, 13(2), 14-27.

นลินอร นัยปลอด. (2564). ประสิทธิภาพของสารเคลือบไบโอโตะจากเห็ดนางฟ้าต่อการเก็บรักษาผลกล้วยน้ำว้า. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.สุวรรณภูมิ*, 5(1), 1-10.

ภาวิณี เทียมดี และ กวินนา สุขสำราญ. การพัฒนาฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งมันแกวเพื่อประยุกต์ใช้เป็นถุงเพาะชำ. (2563). *วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร*, 14(1), 1-14.

สุวิษฐา พานูพันธ์, อาชีดิน ตะโละดิง, ณัฐเศรษฐ์ ชำนาญมาก, ธีรภัทร เอรวัล และ ธีรพงษ์ เลิศอัศวกร. (2568). การปนเปื้อนของไมโครพลาสติกในน้ำแข็งของร้านจำหน่ายอาหารภายในพื้นที่คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดลวิทยาเขตพญาไท. *การประชุมวิชาการระดับชาติ การพัฒนาอย่างยั่งยืน (ครั้งที่ 1)*. คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.

- Alaneme, K. K., Anaele, J. U., Oke, T. M., Kareem, S. A., Adediran, M., Ajibuwa, O. A., & Anabaranze, Y. O. (2023). Mycelium based composites: A review of their bio-fabrication procedures, material properties and potential for green building and construction applications, *Alexandria Engineering Journal*, 83, 234-250. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2023.10.012>
- Appels, F. V.W., Camere, S., Montalti, M., Karana, E., Jansen, K. M. B., Dijksterhuis, J., Krijgheld, P. & Wösten, H. A. B. (2019). Fabrication factors influencing mechanical, moisture- and water-related properties of mycelium-based composites. *Materials & Design*, 161, 64-71. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2018.11.027>
- Haneef, M., Ceseracciu, L., Canale, C., Bayer, I. S., Heredia-Guerrero, J. A., & Athanassiou, A. (2017). Advanced materials from fungal mycelium: Fabrication and tuning of physical properties. *Scientific Reports*, 7(1), 41292. <https://doi.org/10.1038/srep41292>
- Hemmati, F., Bahrami, A., Esfanjani, A. F., Hosseini, H., McClements, D. J., & Williams, L. (2021). Electrospun antimicrobial materials: Advanced packaging materials for food applications. *Trends in food science & Technology*, 111, 520-523. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.03.014>
- Jones, M., Mautner, A., Luenco, S., Bismarck, A., & John, S. (2020). Engineered mycelium composite construction materials from fungal biorefineries: A critical review. *Materials & Design*, 187, 108397. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2019.108397>
- Kanhai, L. D. K., Asmath, H., & Judith F. G. (2022). The status of marine debris/litter and plastic pollution in the Caribbean Large Marine Ecosystem (CLME): 1980–2020. *Environmental Pollution*, 300(1), 118919. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.118919>
- Maolanont, T., & Pochanart, P. (2023). The BCG economic model in practice: A case Study of Thai eastern eco-industrial land. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 18(2), 3811- 382 2 . <https://doi.org/10.18280/ijstdp.181213>
- Ncube, L. K., Ude, A. U., Ogunmuyiwa, E. N., Zulkifli, R., & Beas, I. N. (2020). Environmental impact of food packaging materials: A review of contemporary development from conventional plastics to polylactic acid based materials. *Materials*, 13(21), 4994. <https://doi.org/10.3390/ma13214994>
- Ncube, L. K., Ude, A. U., Ogunmuyiwa, E. N., Zulkifli, R., & Beas, I. N. (2021). An Overview of Plastic Waste Generation and Management in Food Packaging Industries. *Recycling*, 6(1), 12. <https://doi.org/10.3390/recycling6010012>

Schmaltz, E., Melvin, E. C., Diana, Z., Gunady, E. F., Rittschof, D., Somarelli, J. A., Virdin, J., & Dunphy-Daly, M. M. (2020). Plastic pollution solutions: emerging technologies to prevent and collect marine plastic pollution, *Environment International*, 144, 106067. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106067>

Ordonez, R., Atares, L. & Chiralt, A. (2023). Multilayer antimicrobial films based on starch and PLA with superficially incorporated ferulic or cinnamic acids for active food packaging purposes. *Food Chemistry Advances*, 2, 100250. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100250>

Sratong-on, P., Puttawongsakul, K., & Kantawee, N. (2025). Physical and mechanical properties of Indian oyster mushroom mycelium/sawdust composites for biodegradable packaging materials. *Current applied science and technology*, 25(2), e0262650. <https://doi.org/10.55003/cast.2024.262650>

Wang, W., Zhang, K., Li, C., Cheng, S., Zhou, J. & Wu, Z. (2018). A novel biodegradable film from edible mushroom (*F. velutipes*) by product: Microstructure, mechanical and barrier properties associated with the fiber morphology. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 47, 153-160. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.02.004>