

นวัตกรรมฟิล์มบรรจุภัณฑ์: ทางเลือกใหม่ในการยืดอายุการเก็บรักษาเนื้อสัตว์

สุวีณา จันทพิทักษ์

ฝ่ายกระบวนการผลิตและแปรรูป สถาบันคั้นคว่ำและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Email: suveena.j@ku.th

รับเมื่อ 24 มีนาคม 2568 แก้ไขเมื่อ 27 พฤษภาคม 2568 ตอรับเมื่อ 14 มิถุนายน 2568

จุดเด่น

- เทคโนโลยีบรรจุภัณฑ์อัจฉริยะช่วยตรวจสอบความสดของเนื้อสัตว์
- ฟิล์มต้านจุลินทรีย์ช่วยยืดอายุการเก็บรักษา
- ฟิล์มบรรจุภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมช่วยลดขยะพลาสติก

บทคัดย่อ

เนื้อสัตว์เป็นแหล่งโปรตีนที่สำคัญแต่มีแนวโน้มเน่าเสียได้ง่าย การพัฒนาเทคโนโลยีบรรจุภัณฑ์ที่ช่วยยืดอายุการเก็บรักษาจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง บทความนี้กล่าวถึงฟิล์มบรรจุภัณฑ์สมัยใหม่ที่มีบทบาทสำคัญต่ออุตสาหกรรมอาหาร ได้แก่ ฟิล์มบรรจุภัณฑ์อัจฉริยะ (smart packaging films) ที่สามารถตรวจจับและแสดงข้อมูลความสดของเนื้อสัตว์ผ่านการเปลี่ยนสี ฟิล์มต้านจุลินทรีย์ (antimicrobial films) ที่ช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อก่อโรค และฟิล์มบรรจุภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (biodegradable & edible films) ซึ่งสามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพเพื่อลดปัญหาขยะพลาสติก เทคโนโลยีเหล่านี้ไม่เพียงช่วยถนอมคุณภาพของเนื้อสัตว์ให้สดได้นานขึ้น แต่ยังสอดคล้องกับแนวทางเศรษฐกิจหมุนเวียนและความยั่งยืนของสิ่งแวดล้อม บทความนี้นำเสนอแนวโน้มของอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์อาหารในอนาคต พร้อมทั้งแนวทางการพัฒนาที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้จริงในระดับอุตสาหกรรม

คำสำคัญ: ฟิล์มบรรจุภัณฑ์อัจฉริยะ ฟิล์มต้านจุลินทรีย์ ฟิล์มที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม อายุการเก็บรักษาเนื้อสัตว์ นวัตกรรมบรรจุภัณฑ์อาหาร

Innovative Packaging Films: A Novel Approach to Extending Meat Shelf Life

Suveena Jantapirak

Department of Food Processing and Preservation, Institute of Food Research and Product Development,
Kasetsart University

Email: suveena.j@ku.th

Received 24 March 2025; **Revised** 27 May 2025; **Accepted** 14 June 2025

Highlights

- Smart packaging technology enables real-time freshness monitoring
- Antimicrobial films help extend meat shelf life
- Eco-friendly packaging films reduce plastic waste

Abstract

Meat is a crucial protein source but is highly perishable. The development of advanced packaging technologies to extend its shelf life is therefore essential. This article discusses innovative packaging films that play a vital role in the food industry, including smart packaging films, which can detect and indicate meat freshness through color changes; antimicrobial films, which inhibit the growth of spoilage microorganisms; and biodegradable and edible films, which decompose naturally to reduce plastic waste. These technologies not only help preserve meat quality for longer periods but also align with the principles of a circular economy and environmental sustainability. This article explores emerging trends in food packaging and practical applications for the meat industry to enhance product safety, reduce food waste, and support eco-friendly initiatives.

Keywords: Smart Packaging Films, Antimicrobial Films, Biodegradable Films, Meat Shelf Life Extension, Food Packaging Innovation

บทนำ

เนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์เป็นแหล่งโปรตีนที่สำคัญต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ มีการบริโภคเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์แปรรูปมาอย่างยาวนาน นอกจากนี้เนื้อสัตว์ยังเป็นวัตถุดิบหลักในอุตสาหกรรมอาหารทั่วโลก แต่เนื้อสัตว์มีลักษณะเน่าเสียได้ง่ายเนื่องจากมีปริมาณน้ำสูง และเป็นแหล่งสะสมของจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดการเสื่อมคุณภาพและอาจเป็นอันตรายต่อผู้บริโภค ด้วยเหตุนี้ การพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาเนื้อสัตว์จึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง โดยเฉพาะในยุคปัจจุบันที่ความต้องการผลิตภัณฑ์อาหารที่ปลอดภัยและมีคุณภาพสูงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง

บรรจุภัณฑ์ถือเป็นปัจจัยสำคัญที่มีบทบาทในการรักษาคุณภาพของเนื้อสัตว์ นอกจากจะช่วยป้องกันการปนเปื้อนจากสิ่งแวดล้อมแล้ว ยังสามารถชะลอการเสื่อมสภาพของผลิตภัณฑ์ได้อีกด้วย ในอดีตบรรจุภัณฑ์พลาสติกแบบดั้งเดิมถูกใช้กันอย่างแพร่หลายเนื่องจากมีราคาถูกและใช้งานง่าย แต่กลับส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากขยะพลาสติกที่เพิ่มขึ้น ประกอบกับความกังวลเกี่ยวกับความปลอดภัยของอาหารจากการใช้พลาสติกบางประเภท ทำให้เกิดการพัฒนาเทคโนโลยีฟิล์มบรรจุภัณฑ์ที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น ซึ่งสามารถช่วยยืดอายุการเก็บรักษาเนื้อสัตว์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

มากขึ้น โดยในปัจจุบันฟิล์มบรรจุภัณฑ์สมัยใหม่ได้รับการพัฒนาให้มีคุณสมบัติพิเศษหลายประการ เช่น ฟิล์มบรรจุภัณฑ์อัจฉริยะ (smart packaging) ที่สามารถเปลี่ยนสีเพื่อแจ้งเตือนผู้บริโภคเมื่ออาหารเริ่มเสื่อมสภาพ ฟิล์มต้านจุลินทรีย์ (antimicrobial film) ที่มีสารออกฤทธิ์ช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อโรค และ ฟิล์มบรรจุภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (biodegradable & edible films) ซึ่งสามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ และช่วยลดปัญหาขยะพลาสติก เทคโนโลยีเหล่านี้ไม่เพียงแต่ช่วยรักษาคุณภาพของเนื้อสัตว์ให้สดได้นานขึ้น แต่ยังช่วยลดการสูญเสียอาหาร (food loss) และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น

บทความนี้จะกล่าวถึงเทคโนโลยีฟิล์มบรรจุภัณฑ์ที่ทันสมัยและมีบทบาทสำคัญต่ออุตสาหกรรมอาหาร โดยมุ่งเน้นไปที่ฟิล์มบรรจุภัณฑ์อัจฉริยะ ฟิล์มต้านจุลินทรีย์ และฟิล์มที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งล้วนเป็นแนวทางที่มีศักยภาพในการยืดอายุการเก็บรักษาเนื้อสัตว์ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น เพื่อให้เห็นถึงแนวโน้มของอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์อาหารในอนาคตและแนวทางการพัฒนาที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้จริง รวมถึงการประยุกต์ใช้ในเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับเนื้อสัตว์

ฟิล์มบรรจุภัณฑ์อัจฉริยะ (smart packaging films)

ฟิล์มบรรจุภัณฑ์อัจฉริยะ เป็นหนึ่งในทางเลือกที่มีแนวโน้มที่ดี ในการผลิตบรรจุภัณฑ์ที่ปลอดภัยต่อผู้บริโภคและยั่งยืนด้านสิ่งแวดล้อม โดยประยุกต์ใช้เทคโนโลยีที่ทันสมัยเพื่อช่วยยืดอายุการเก็บรักษาและรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหาร ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น บรรจุภัณฑ์แอคทีฟ (active packaging) ที่ช่วยรักษาความสดของอาหาร และบรรจุภัณฑ์อัจฉริยะ (smart packaging) ที่สามารถตรวจสอบและแสดงข้อมูลสภาพของผลิตภัณฑ์แบบเรียลไทม์ได้ หนึ่งในนวัตกรรมสำคัญของบรรจุภัณฑ์อัจฉริยะ คือการใช้ส่วนผสมของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (bioactive compounds) ที่ได้จากแหล่งธรรมชาติ เช่น พืช ผัก และผลไม้ ได้แก่ สารฟีนอลิก (phenolic compounds) แคโรทีนอยด์ (carotenoids) และเปปไทด์ (peptides) เป็นต้น ซึ่งมีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ ต้านจุลชีพ และต้านการอักเสบ จึงเหมาะสมอย่างยิ่งในการเพิ่มประสิทธิภาพของบรรจุภัณฑ์⁽¹⁾ วัตถุดิบจากธรรมชาติที่นิยมนำมาใช้ในการงานวิจัยเกี่ยวกับบรรจุภัณฑ์อัจฉริยะ เช่น กลุ่มสารให้สีธรรมชาติ ได้แก่ แอนโทไซยานิน (anthocyanin) พบในดอกอัญชัน บลูเบอร์รี่ กะหล่ำปลีม่วง เป็นต้น เบตาเลน (betalains) พบในบีทรูท เป็นต้น เคอร์คูมิน (curcumin) พบใน ขมิ้นชัน เป็นต้น^(2, 3)

และแคโรทีนอยด์ พบในแครอท ฟักทอง มะละกอ เป็นต้น⁽⁴⁾ โดยสารดังกล่าวจะนิยมใช้ในการทำหน้าที่เป็น ไบโอเซนเซอร์ (Biosensor) ซึ่งคือเครื่องมือตรวจวัดที่ใช้สารชีวภาพทำปฏิกิริยากับสารที่ต้องการวิเคราะห์ และมีการแปลงสัญญาณเปลี่ยนผลจากปฏิกิริยานั้นเป็นสัญญาณที่สามารถวัดและแสดงผลได้ โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อการตรวจวัดสารต่าง ๆ อย่างเฉพาะเจาะจง รวดเร็ว และแม่นยำ โดยในการใช้ไบโอเซนเซอร์สำหรับตรวจจับความเน่าเสียของเนื้อสัตว์อาศัยคุณสมบัติหรือการเปลี่ยนสีตามค่าความเป็นกรดต่างที่เปลี่ยนแปลง (halochromic) การเปลี่ยนสีของสาร halochromic เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมี เช่น การได้รับหรือสูญเสียโปรตอน (H^+) ในสถานะที่มีค่าความเป็นกรดต่างต่างกัน โดยทั่วไปสีของสารจะแสดงผลในช่วงความเป็นกรดต่างที่เฉพาะเจาะจง จึงถูกนำมาใช้และพัฒนาในบรรจุภัณฑ์อัจฉริยะเพื่อช่วยตรวจสอบความสดของอาหาร แต่อาจมีข้อจำกัดในแง่ของความไวต่อปัจจัยภายนอก เช่น แสง ความร้อน และออกซิเจน ซึ่งในแต่ละชนิดอาจมีข้อจำกัดที่แตกต่างกัน⁽⁴⁾ ตัวอย่างงานวิจัยที่นำมาประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ โดยเมื่อเนื้อสัตว์เริ่มเน่าเสียจะปล่อยก๊าซแอมโมเนียและไฮโดรเจนซัลไฟด์ทำให้ค่าความเป็นกรดต่างเพิ่มขึ้น ฟิล์มที่ไวต่อค่าความเป็นกรดต่างจะเปลี่ยนสีไปตามระดับ TVB-N

(total volatile basic nitrogen) ซึ่งเป็นตัวชี้วัดความสดของเนื้อสัตว์ ตัวอย่างเช่น ฟิล์มที่มีแอนโธไซยานิน เปลี่ยนจากสีม่วงเป็นไม่มีสี เมื่อค่า TVB-N ของปลาเทราต์เพิ่มขึ้นจาก 9.3 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม เป็น 55.4 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม หรือฟิล์มที่มีเคอร์คูมินเปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีแดง เมื่อค่า TVB-N ของเนื้อไก่เพิ่มจาก 7.01 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม เป็น 36.85 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม⁽²⁾ โดยสารแอนโธไซยานิน ได้รับความนิยมเป็นอย่างมากในการนำมาผลิตเป็นไบโอเซนเซอร์เพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณภาพความสดของเนื้อสัตว์ และการเปลี่ยนแปลงสีของแผ่นฟิล์มดังกล่าวทำให้ผู้บริโภคสามารถรับรู้ต่อการเน่าเสียของเนื้อสัตว์ได้⁽⁵⁾ ซึ่งการใช้สารให้สีธรรมชาติเป็นไบโอเซนเซอร์ถือเป็นนวัตกรรมที่ช่วยตรวจสอบความสดของเนื้อสัตว์แบบเรียลไทม์ ลดของเสียจากอาหาร และเพิ่มความปลอดภัยให้กับผู้บริโภค อนาคตของเทคโนโลยีนี้มีแนวโน้มพัฒนาไปสู่นาโนเทคโนโลยี และบรรจุภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เพื่อตอบสนองต่อความต้องการของอุตสาหกรรมอาหารและแนวทางด้านความยั่งยืน

นอกจากสารสกัดจากธรรมชาติแล้ว สาร metal-organic frameworks (MOF) ซึ่งเป็นวัสดุไฮบริดที่มีโครงสร้างแบบรูพรุนที่ถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายเป็นสารเติมแต่งในฟิล์มโพลิเมอร์ที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพเพื่อพัฒนาบรรจุภัณฑ์

อัจฉริยะ งานวิจัยหนึ่งได้ศึกษาการผสมทองแดง (Cu) เป็นศูนย์กลางโครงสร้างและใช้ L-phenylalanine (Phe) เป็นลิแกนด์อินทรีย์ที่เชื่อมต่อกัน โดยโครงสร้างนี้มีคุณสมบัติพิเศษในการตรวจจับแอมโมเนียผ่านการเปลี่ยนสีแบบคัลโลริเมตริก (colorimetric sensing) ทำให้สามารถนำไปใช้เป็นส่วนประกอบของบรรจุภัณฑ์อัจฉริยะเพื่อตรวจสอบความสดของอาหาร สามารถช่วยตรวจจับการเน่าเสียของกุ้งและเนื้อหมู ผ่านการเปลี่ยนสีแบบเรียลไทม์ จึงทำให้สามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้ความสดของอาหารได้อย่างมีประสิทธิภาพ⁽⁶⁾ นอกจากนี้การพัฒนาด้านบรรจุภัณฑ์อัจฉริยะยังมีการศึกษาความสามารถในการตรวจจับสารตกค้างของยาไซโปรฟลอกซาซิน (ciprofloxacin) ในเนื้อวัว โดยใช้หลักการอิมมูโนโครมาโตกราฟี (Immunochromatography) ซึ่งสามารถตรวจวัดได้อย่างรวดเร็วภายใน 1 นาที และมีความแม่นยำ ความไว ความจำเพาะ และความถูกต้องสูงมากกว่าร้อยละ 97 โดยบรรจุภัณฑ์มีความเสถียรและสามารถใช้งานได้ซ้ำซึ่งมีศักยภาพสูงในการช่วยตรวจสอบสารตกค้างของยาปฏิชีวนะในอุตสาหกรรมปศุสัตว์ เพื่อเพิ่มความปลอดภัยด้านอาหารและรองรับมาตรฐานการนำเข้าและส่งออกเนื้อสัตว์ในอนาคต⁽⁷⁾

การนำฟิล์มชีวภาพ (bioactive films) มาใช้ในบรรจุภัณฑ์อัจฉริยะยังช่วยยกระดับอุตสาหกรรม

บรรจุภัณฑ์อาหาร โดยช่วยรักษาคุณภาพของอาหาร ทำหน้าที่เป็นไบโอเซนเซอร์และใช้เป็นตัวบ่งชี้การเปลี่ยนแปลงของอาหารผ่านการเปลี่ยนสี ซึ่งไม่เพียงช่วยลดการสูญเสียอาหาร แต่ยังสอดคล้องกับแนวคิด เศรษฐกิจหมุนเวียน (circular economy) และความยั่งยืนของสิ่งแวดล้อม โดยบรรจุภัณฑ์อัจฉริยะสามารถตรวจสอบสภาพอาหารแบบเรียลไทม์ เช่น อุณหภูมิ ความสด และการเกิดก๊าซเน่าเสีย ช่วยให้สามารถจัดการอาหารได้แม่นยำมากขึ้น ลดการทิ้งอาหารโดยไม่จำเป็น ซึ่งช่วยลดการสูญเสียอาหารในระดับครัวเรือน การขนส่ง และการจำหน่าย และของเสียจากอาหารที่เกิดขึ้นทั่วโลกมีสัดส่วนสูงถึงร้อยละ 8 ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมมนุษย์ทั้งหมด ดังนั้นการลดอาหารที่สูญเสียได้ผ่านเทคโนโลยีบรรจุภัณฑ์อัจฉริยะ จึงเป็นการลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมในระดับที่สำคัญด้วยเช่นกัน นอกจากนี้การพัฒนาบรรจุภัณฑ์อัจฉริยะจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรหรือของเสียอาหาร (เช่น เปลือกกล้วย เศษข้าวโพด เป็นต้น) เพื่อนำกลับมาใช้เป็นวัสดุบรรจุภัณฑ์ ช่วยให้ทรัพยากรหมุนเวียนกลับเข้าสู่ระบบ ลดขยะและเพิ่มมูลค่าให้กับของเสียได้อีกด้วย⁽⁸⁾ อย่างไรก็ตาม ความท้าทายในการทำให้เทคโนโลยีนี้มีต้นทุนที่คุ้มค่าและสามารถขยายการผลิตเชิงพาณิชย์ได้ยังคงเป็นประเด็นสำคัญที่ต้องได้รับการพัฒนาและวิจัยต่อไป

ฟิล์มต้านจุลินทรีย์ (antimicrobial films)

ฟิล์มต้านจุลินทรีย์เป็นฟิล์มบรรจุภัณฑ์ที่มีสารต้านจุลินทรีย์ (antimicrobial) ผสมอยู่ในโครงสร้างของฟิล์ม ซึ่งสามารถช่วยยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดการเน่าเสียได้ โดยฟิล์มประเภทนี้มักทำจากวัสดุชีวภาพ (biopolymer) เช่น แป้ง ไคโตซาน หรือโปรตีน โดยมีการเสริมสารต้านจุลินทรีย์ที่หลากหลาย เช่น แบคทีริโอซิน เอนไซม์ น้ำมันหอมระเหย หรืออนุภาคนาโนของโลหะ ซึ่งเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์เป็นผลิตภัณฑ์ที่เน่าเสียง่าย เนื่องจากมีปริมาณน้ำสูงและมีสารอาหารที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ฟิล์มต้านจุลินทรีย์จึงเหมาะสมที่จะนำมาประยุกต์ใช้งาน โดยช่วยชะลอการเจริญเติบโตของเชื้อก่อโรค และเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดการเน่าเสีย เช่น *Salmonella*, *Staphylococcus aureus*, *Listeria monocytogenes* และ *Escherichia coli* เป็นต้น ซึ่งเป็นสาเหตุหลักของการปนเปื้อนในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์⁽⁹⁾ โดยฟิล์มประเภทยังช่วยลดความเสี่ยงในการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ โดยการปลดปล่อยสารต้านจุลินทรีย์อย่างต่อเนื่องจากวัสดุบรรจุภัณฑ์ไปยังพื้นผิวของอาหาร ช่วยเพิ่มความเข้มข้นของสารต้านจุลินทรีย์คงที่ได้ยาวนาน เป็นการออกแบบให้สารต้านจุลินทรีย์ถูกปลดปล่อยออกมาอย่างช้า ๆ และสม่ำเสมอ เพื่อรักษาความเข้มข้นที่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งจุลินทรีย์ตลอดช่วงเวลาการเก็บรักษา

อาหาร ทำให้สามารถยับยั้งการเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ได้ในระยะยาว และ Sung (2013) รายงานว่า พอลิเมอร์ต้านจุลินทรีย์สามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้มากขึ้นตั้งแต่ช่วงร้อยละ 7 – 100 หรืออยู่ในช่วงเพิ่มขึ้น 1 – 5 วันของอายุการเก็บรักษา โดยขึ้นกับชนิดของสารต้านจุลินทรีย์ที่ใช้ รูปแบบฟิล์ม และประเภทอาหารที่นำมาทดสอบ⁽¹⁰⁾ นอกจากนี้ยังช่วยรักษาคุณภาพของเนื้อสัตว์ได้ โดยลดการสูญเสีย น้ำ ลดการเปลี่ยนแปลงของสี และลดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน ซึ่งเป็นปัญหาสำคัญที่ทำให้เนื้อสัตว์เสื่อมคุณภาพ⁽¹¹⁾ และอีกหนึ่งข้อดีของ พอลิเมอร์ต้านจุลินทรีย์ คือ ความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากฟิล์มที่ผลิตจากวัสดุชีวภาพ สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ ช่วยลดปริมาณขยะพลาสติกที่เป็นปัญหามลพิษ⁽¹²⁾ อีกทั้งการใช้ฟิล์มต้านจุลินทรีย์ยังสามารถลดการใช้สารกันบูดโดยตรงในอาหาร ซึ่งเป็นทางเลือกที่ดีสำหรับผู้บริโภคที่ต้องการหลีกเลี่ยงสารเคมีสังเคราะห์ นอกจากนี้ฟิล์มต้านจุลินทรีย์ยังสามารถควบคุมการปลดปล่อยสารออกฤทธิ์ได้ดี ทำให้สามารถออกฤทธิ์ได้อย่างต่อเนื่อง ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการยับยั้งจุลินทรีย์และช่วยให้ผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์มีอายุการเก็บรักษาที่ยาวนานขึ้น⁽¹³⁾

มีตัวอย่างการศึกษาที่น่าสนใจที่นำฟิล์มต้านจุลินทรีย์มาใช้กับผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์เพื่อลดการ

ปนเปื้อนของจุลินทรีย์และยืดอายุการเก็บรักษา โดยหนึ่งในฟิล์มที่นิยมใช้คือฟิล์มชีวภาพที่เสริมสารต้านจุลินทรีย์จากธรรมชาติ ได้แก่ฟิล์มไคโตซานเสริมสารสกัดจากพืช เช่น ฟิล์มไคโตซานที่ผสมกับน้ำมันหอมระเหยจาก *Clove* และ *Nisin* ซึ่งพบว่ามีฤทธิ์ยับยั้ง *S. aureus*, *S. typhimurium*, *E. coli* และ *L. monocytogenes* ในเนื้อหมูบด พร้อมทั้งช่วยลดการเกิดออกซิเดชันของไขมัน ส่งผลให้เนื้อคงสภาพได้นานขึ้น⁽¹¹⁾ เช่นเดียวกับฟิล์มไคโตซานที่เสริมสารสกัดจากชา *Kombucha* ซึ่งมีประสิทธิภาพในการลดการเจริญของ *E. coli* และ *S. aureus* ในเนื้อวัวบด ช่วยลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและยืดอายุการเก็บรักษา⁽¹⁴⁾ นอกจากนี้ยังมีการพัฒนาฟิล์มชีวภาพเสริมอนุภาคนาโนโลหะ (Nanoparticles) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการต้านจุลินทรีย์ และเสริมความแข็งแรงของฟิล์ม ตัวอย่างเช่น ฟิล์มที่ใช้ซิลเวอร์นาโน (AgNPs) ผสมกับ Poly(3-hydroxybutyrate) (PHB) พบว่ามีฤทธิ์ต้านเชื้อ *Salmonella enterica* และ *L. monocytogenes* โดยไม่ส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติทางกายภาพของฟิล์ม⁽¹⁵⁾ อีกทั้งยังมีการใช้สังกะสีออกไซด์นาโน (ZnO) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของฟิล์มให้สามารถต้าน *E. coli* และ *S. aureus* ได้ดีขึ้น อีกทั้งยังช่วยลดการดูดซึมน้ำและเพิ่มความทนทานของฟิล์ม⁽¹⁶⁾

นอกเหนือจากฟิล์มที่เสริมอนุภาคนาโนแล้ว ยังมีการใช้ฟิล์มชีวภาพจากโปรตีนและพอลิเมอร์ธรรมชาติ เช่น ฟิล์มจากเจลาตินปลา (fish gelatin) ที่ผสมกับสารสกัดจากเมล็ดทับทิม พบว่ามีประสิทธิภาพในการต้านเชื้อ *S. aureus* และ *S. enterica* อีกทั้งยังช่วยเพิ่มความแข็งแรงของฟิล์มและลดการเกิดออกซิเดชันของไขมันในเนื้อสัตว์⁽¹⁷⁾ ด้วยความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีเหล่านี้ ทำให้ฟิล์มต้านจุลินทรีย์เป็นทางเลือกที่มีศักยภาพสูงสำหรับบรรจุภัณฑ์เนื้อสัตว์ ช่วยให้ผลิตภัณฑ์ปลอดภัยจากการปนเปื้อนและสามารถเก็บรักษาคุณภาพของเนื้อสัตว์ได้นานยิ่งขึ้น

แม้ว่าฟิล์มต้านจุลินทรีย์จะมีข้อดีหลายประการ แต่ก็ยังมีข้อจำกัดที่ต้องได้รับการพิจารณาหนึ่งในข้อจำกัดหลักคือ ต้นทุนการผลิตที่สูงเนื่องจากการใช้สารต้านจุลินทรีย์จากธรรมชาติและเทคโนโลยีนาโนบางประเภทมีราคาสูงกว่าฟิล์มพลาสติกทั่วไป⁽¹⁸⁾ นอกจากนี้คุณสมบัติเชิงกลของฟิล์มชีวภาพมักต่ำกว่าพลาสติกแบบดั้งเดิม โดยมีแนวโน้มที่จะแตกหักง่ายหรือมีความยืดหยุ่นน้อยกว่า ทำให้ต้องปรับปรุงโครงสร้างของฟิล์มเพื่อเพิ่มความแข็งแรง อีกปัญหาหนึ่งคือการแพร่กระจายของสารต้านจุลินทรีย์อาจไม่สม่ำเสมอ หรืออาจลดลงตามระยะเวลา ทำให้ประสิทธิภาพในการยับยั้งจุลินทรีย์ลดลงเมื่อเวลาผ่านไป⁽¹⁹⁾ นอกจากนี้

ข้อกังวลด้านความปลอดภัยเกี่ยวกับการใช้อนุภาคนาโนก็เป็นประเด็นสำคัญ โดยเฉพาะอนุภาคโลหะ เช่น ซิลเวอร์นาโน (AgNPs) และสังกะสีออกไซด์ (ZnO) ซึ่งอาจมีผลกระทบต่อสุขภาพหากเกิดการสะสมในร่างกาย ดังนั้นการพัฒนาฟิล์มที่ใช้สารต้านจุลินทรีย์จากธรรมชาติ เช่น เอนไซม์ และน้ำมันหอมระเหย จึงเป็นอีกทางเลือกที่มีความปลอดภัยมากขึ้น⁽²⁰⁾ นอกจากนี้สภาวะแวดล้อม เช่น ความชื้น อุณหภูมิ และค่าความเป็นกรดต่างของอาหาร อาจมีผลต่อประสิทธิภาพของฟิล์ม โดยเฉพาะฟิล์มชีวภาพที่มีโครงสร้างที่ไวต่อน้ำ อาจสูญเสียความสามารถในการป้องกันจุลินทรีย์เมื่อต้องสัมผัสกับอาหารที่มีความชื้นสูง รวมถึงกลิ่นและรสชาติของสารต้านจุลินทรีย์อาจส่งผลต่อผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ ตัวอย่างเช่น น้ำมันหอมระเหยจากพืชบางชนิดอาจมีผลต่อรสชาติของเนื้อ ทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่ได้รับความนิยมจากผู้บริโภค ด้วยข้อจำกัดเหล่านี้ นักวิจัยจึงต้องพัฒนาเทคโนโลยีใหม่ ๆ เช่น nanoencapsulation เพื่อควบคุมการปลดปล่อยสารต้านจุลินทรีย์และเพิ่มความเสถียรของฟิล์มให้ดียิ่งขึ้น⁽²¹⁾

ฟิล์มบรรจุภัณฑ์ที่ย่อยสลายได้และรับประทานได้ (biodegradable & edible films)

ในปัจจุบันบรรจุภัณฑ์พลาสติกกลายเป็นปัญหาสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

เนื่องจากใช้เวลานานในการย่อยสลายและก่อให้เกิดปัญหาขยะพลาสติกสะสมเป็นจำนวนมาก ทำให้เกิดแนวโน้มใหม่ในการพัฒนาบรรจุภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยบรรจุภัณฑ์ที่สามารถย่อยสลายได้ (biodegradable films) และฟิล์มรับประทานได้ (edible films) จึงได้รับความสนใจเพิ่มขึ้น เนื่องจากช่วยลดปัญหาขยะพลาสติกและยังสามารถเพิ่มคุณสมบัติสำคัญในการถนอมอาหาร โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมเนื้อสัตว์ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่เสื่อมคุณภาพได้ง่าย⁽²²⁾ โดยการเลือกใช้วัสดุจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติที่ต้องการ เช่น ความสามารถในการย่อยสลาย ความแข็งแรง และการป้องกันความชื้น

โดยฟิล์มรับประทานได้สามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภทหลัก⁽²³⁾ ได้แก่

1. ฟิล์มจากโพลีแซคคาไรด์ เช่น ไคโตซาน คาร์ราจีแนน และแป้ง ซึ่งช่วยเป็นเกราะป้องกันการแลกเปลี่ยนก๊าซได้ดี

2. ฟิล์มจากโปรตีน เช่น เวย์โปรตีน เจลาติน และซีวีน ซึ่งมีความแข็งแรงและความยืดหยุ่นสูง

3. ฟิล์มจากลิพิด เช่น ขี้ผึ้งและเรซิน ที่ช่วยลดการสูญเสียน้ำแต่มีความเปราะบาง

ฟิล์มรับประทานได้ในอุตสาหกรรมเนื้อสัตว์มีคุณสมบัติสำคัญ เช่น การป้องกันความชื้นและการสูญเสียน้ำ โดยฟิล์มจากไคโตซานช่วยรักษาความชื้นของเนื้อสัตว์และลดการสูญเสียน้ำ⁽²⁴⁾

นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติด้านจุลินทรีย์ โดยสามารถเติมสารสกัดจากชาเขียวและน้ำมันหอมระเหย เช่น อบเชย หรือไทม์ เพื่อช่วยยับยั้งแบคทีเรียที่ทำให้เกิดการเน่าเสีย⁽²⁵⁾ รวมถึงสามารถลดการเกิดออกซิเดชันของไขมัน โดยฟิล์มที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ เช่น โพลีฟีนอล ช่วยป้องกันการเกิดกลิ่นเหม็นหืนในเนื้อสัตว์ได้ด้วย⁽²⁶⁾ ตัวอย่างการใช้ฟิล์มรับประทานได้ในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ ได้แก่ ฟิล์มไคโตซานที่ช่วยยืดอายุการเก็บรักษาและลดการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดต่าง ในเนื้อวัว⁽²⁷⁾ หรืองานวิจัยที่ศึกษาฟิล์มไคโตซานที่เติมน้ำมันกานพลูสามารถช่วยยืดอายุการเก็บรักษาไส้กรอกหมูได้ถึง 20 วัน เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่เก็บรักษาได้ 14 วัน⁽²⁸⁾ นอกจากนี้ฟิล์มเวย์โปรตีนที่เติมน้ำมันออริกาโนสามารถยับยั้งแบคทีเรียและยืดอายุการเก็บรักษาเนื้อไก่ได้⁽²⁹⁾ และฟิล์มไคโตซานผสมอบเชยช่วยลดอัตราการเกิดออกซิเดชันของไขมันในปลาแซลมอน⁽³⁰⁾ แม้ว่าฟิล์มรับประทานได้จะมีข้อดีมากมาย แต่ยังคงเผชิญกับความท้าทายในด้านต้นทุนและการใช้งานในระดับอุตสาหกรรม การวิจัยมุ่งพัฒนาเทคโนโลยีใหม่ เช่น การใช้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและนาโนเทคโนโลยีเพื่อเสริมคุณสมบัติของฟิล์ม ฟิล์มที่ย่อยสลายได้และรับประทานได้เป็นทางเลือกที่มีศักยภาพในการลดขยะพลาสติก ยืดอายุผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ และช่วย

รักษาสีแวดล้อม แม้ยังมีข้อจำกัดบางประการ แต่ด้วยนวัตกรรมที่ก้าวหน้า ฟิล์มเหล่านี้มีแนวโน้มจะเข้ามาทดแทนพลาสติกในอนาคต และมีบทบาทสำคัญในอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์อาหาร

บทสรุป

การสูญเสียของผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ในห่วงโซ่อาหารถือเป็นปัญหาสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อทั้งในเชิงเศรษฐกิจ ความปลอดภัยทางอาหาร และสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ที่มีอายุการเก็บรักษาสั้นและมีแนวโน้มเน่าเสียได้ง่าย งานวิจัยที่ผ่านมาได้แสดงให้เห็นว่าการนำเทคโนโลยีบรรจุภัณฑ์รูปแบบใหม่ ๆ มาใช้ โดยเฉพาะฟิล์มที่มีการเสริมสารต้านจุลินทรีย์ มีศักยภาพอย่างมากในการยืดอายุการเก็บรักษา ลดการเจริญของจุลินทรีย์ก่อโรค และลดการสูญเสียของผลิตภัณฑ์ในระดับที่มีนัยสำคัญ ข้อมูลจากการศึกษาเชิงทดลองพบว่า บรรจุภัณฑ์ที่มีสารต้านจุลินทรีย์สามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้เพิ่มขึ้นตั้งแต่ร้อยละ 7 ไปจนถึง 100 เมื่อเทียบกับบรรจุภัณฑ์ทั่วไป และสามารถลดจำนวนจุลินทรีย์ก่อโรคได้ในระดับ 1–4 log CFU/กรัม ซึ่งส่งผล

โดยตรงต่อการชะลอการเน่าเสียของผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้แนวโน้มในระดับโลกยังสะท้อนให้เห็นว่าการใช้บรรจุภัณฑ์อัจฉริยะ โดยเฉพาะที่รวมฟังก์ชันการตรวจจับคุณภาพอาหารและการปลดปล่อยสารออกฤทธิ์ มีส่วนช่วยลดปริมาณของการสูญเสียอาหารได้ ถึงแม้ว่ายังไม่สามารถระบุมูลค่าความเสียหายทางเศรษฐกิจที่สามารถลดลงได้จากการใช้บรรจุภัณฑ์ทันสมัย แต่ผลที่ตามมาคือการลดต้นทุนจากการทิ้งสินค้าเน่าเสียก่อนจำหน่าย ความเสถียรในระบบห่วงโซ่อุปทาน และความเชื่อมั่นของผู้บริโภคที่เพิ่มขึ้น

ดังนั้น นวัตกรรมฟิล์มบรรจุภัณฑ์ได้กลายเป็นปัจจัยสำคัญในการยืดอายุการเก็บรักษาและรักษาคุณภาพของเนื้อสัตว์ ช่วยให้สามารถตรวจสอบความสดของผลิตภัณฑ์แบบเรียลไทม์ ช่วยลดการเจริญเติบโตของเชื้อก่อโรค และฟิล์มที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมช่วยลดปัญหาขยะพลาสติก อย่างไรก็ตามการนำไปใช้ในระดับอุตสาหกรรมยังต้องการการพัฒนาเพิ่มเติม โดยเฉพาะการลดต้นทุนและเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งาน เพื่อให้สามารถประยุกต์ใช้ได้อย่างแพร่หลายและเกิดประโยชน์สูงสุดในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

1. Sheibani S, Jafarzadeh S, Qazanfarzadeh Z, Osadee Wijekoon MMJ, Mohd Rozalli NH, Mohammadi Nafchi A. Sustainable strategies for using natural extracts in smart food packaging. *Int J Biol Macromol.* 2024;267(Pt 1):131537.

2. Latiff NF, Shaik MI, Mohamad NJ, Khairul WM, Daud AI, Nurhadi B, Sarbon NM. Recent advances in green halochromic smart film packaging: Investigating the natural colorant as biosensor in smart film packaging for real-time meat freshness monitoring. *Food Control*. 2025;172.
3. Yang Z, Chen Q, Wei L. Active and smart biomass film with curcumin pickering emulsion stabilized by chitosan-adsorbed laurate esterified starch for meat freshness monitoring. *Int J Biol Macromol*. 2024;275(Pt 2):133331.
4. Mussagy CU, Oliveira G, Ahmad M, Mustafa A, Herculano RD, Farias FO. Halochromic properties of carotenoid-based films for smart food packaging. *Food Packag. Shelf Life*. 2024;44.
5. Sharaby MR, Soliman EA, Khalil R. Halochromic smart packaging film based on montmorillonite/polyvinyl alcohol-high amylose starch nanocomposite for monitoring chicken meat freshness. *Int J Biol Macromol*. 2024;258(Pt 2):128910.
6. Su M, Qin H, Tang Q, Peng D, Li H, Zou Z. Colorimetric ammonia-sensing nanocomposite films based on starch/sodium alginate and Cu-Phe nanorods for smart packaging application. *Int J Biol Macromol*. 2024;282(Pt 6):137470.
7. Balalzadeh Tafti MH, Eshaghi MR, Rajaei P. A smart meat packaging to show ciprofloxacin residues based on immunochromatography. *Meat Sci*. 2021;181:108605.
8. Ganeson K, Mouriya GK, Bhupalan K, Razifah MR, Jasmine R, Sowmiya S, Amirul AA, Vigneswari S, Ramakrishna S. Smart packaging – A pragmatic solution to approach sustainable food waste management. *Food Packag. Shelf Life*. 2023;36.
9. Chawla R, Sivakumar S, Kaur H. Antimicrobial edible films in food packaging: Current scenario and recent nanotechnological advancements- a review. *Carbohydr Polym Tech*. 2021;2.
10. Sung S-Y, Sin LT, Tee T-T, Bee S-T, Rahmat AR, Rahman WAWA, Tan AC, Vikhrman M. Antimicrobial agents for food packaging applications. *Trends Food Sci Technol*. 2013;33(2):110-23.
11. Venkatachalam K, Lekjing S. A chitosan-based edible film with clove essential oil and nisin for improving the quality and shelf life of pork patties in cold storage. *RSC Adv*. 2020;10(30):17777-86.
12. Hassan B, Chatha SAS, Hussain AI, Zia KM, Akhtar N. Recent advances on polysaccharides, lipids and protein based edible films and coatings: A review. *Int J Biol Macromol*. 2018;109:1095-107.
13. Sofi S, Singh J, Rafiq S, Ashraf U, Dar B, Nayik GA. A comprehensive review on antimicrobial packaging and its use in food packaging. *Curr Nutr Food Sci*. 2018;14(4):305-12.
14. Ashrafi A, Jokar M, Mohammadi Nafchi A. Preparation and characterization of biocomposite film based on chitosan and kombucha tea as active food packaging. *Int J Biol Macromol*. 2018;108:444-54.
15. Castro-Mayorga JL, Freitas F, Reis MAM, Prieto MA, Lagaron JM. Biosynthesis of silver nanoparticles and polyhydroxybutyrate nanocomposites of interest in antimicrobial applications. *Int J Biol Macromol*. 2018;108:426-35.
16. Díez-Pascual AM, Díez-Vicente AL. Poly(3-hydroxybutyrate)/ZnO bionanocomposites with improved mechanical, barrier and antibacterial properties. *Int J Mol Sci*. 2014;15(6):10950-73.
17. Valdés A, García-Serna E, Martínez-Abad A, Vilaplana F, Jimenez A, Garrigós MC. Gelatin-based antimicrobial films incorporating pomegranate (*Punica granatum* L.) seed juice by-product. *Molecules*. 2020;25(1):166.
18. Pereda M, Marcovich NE, Ansorena MR. Nanotechnology in food packaging applications: barrier materials, antimicrobial agents, sensors, and safety assessment. 2017. In: Martínez LMT, Kharissova OV, Kharisov BI, editors. *Handbook of Ecomaterials*. Cham: Springer International Publishing; 2019. p. 2035-56.
19. García Ibarra V, Sendón R, Rodríguez-Bernaldo de Quirós A. Chapter 29 - Antimicrobial Food Packaging Based on Biodegradable Materials. In: Barros-Velázquez J, editor. *Antimicrobial Food Packaging*. San Diego: Academic Press; 2016. p. 363-84.
20. Hosseinkhani P, Zand A, Imani S, Rezayi M, Rezaei Zarchi S. Determining the antibacterial effect of ZnO nanoparticle against the pathogenic bacterium, *Shigella dysenteriae* (type 1). *Int J Nano Dimens*. 2011;1(4):279-85.



21. Nile SH, Baskar V, Selvaraj D, Nile A, Xiao J, Kai G. Nanotechnologies in food science: applications, recent trends, and future perspectives. *Nano-micro letters*. 2020;12:1-34.
22. Mohamed SAA, El-Sakhawy M, El-Sakhawy MA-M. Polysaccharides, protein and lipid -based natural edible films in food packaging: A review. *Carbohydr Polym*. 2020;238:116178.
23. Büyüksirit Bedir T, İstanbullu Paksoy Ö. Chapter ten - Current trends on edible films for food packaging and preservation. In: Bermudez-Aguirre D, editor. *Innovative Food Packaging and Processing Technologies*: Academic Press; 2025. p. 379-416.
24. Duran A, Kahve HI. The effect of chitosan coating and vacuum packaging on the microbiological and chemical properties of beef. *Meat Sci*. 2020;162:107961.
25. Mendes CG, Martins JT, Lüdtkke FL, Geraldo A, Pereira A, Vicente AA, Vieira JM. Chitosan coating functionalized with flaxseed oil and green tea extract as a bio-based solution for beef preservation. *Foods*. 2023;12(7):1447.
26. Ojağ SM, Rezaei M, Razavi SH, Hosseini SMH. Effect of chitosan coatings enriched with cinnamon oil on the quality of refrigerated rainbow trout. *Food Chem*. 2010;120(1):193-8.
27. Cheng Y, Hu J, Wu S. Chitosan based coatings extend the shelf-life of beef slices during refrigerated storage. *LWT*. 2021;138:110694.
28. Lekjing S. A chitosan-based coating with or without clove oil extends the shelf life of cooked pork sausages in refrigerated storage. *Meat Sci*. 2016;111:192-7.
29. Abdel-Naeem HHS, Zayed NER, Mansour HA. Effect of chitosan and lauric arginate edible coating on bacteriological quality, deterioration criteria, and sensory attributes of frozen stored chicken meat. *LWT*. 2021;150:111928.
30. Wang Z, Hu S, Gao Y, Ye C, Wang H. Effect of collagen-lysozyme coating on fresh-salmon fillets preservation. *LWT*. 2017;75:59-64.