

การพัฒนาฟิล์มบรรจุภัณฑ์จากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ผสมกรดแทนนิก เพื่อยับยั้งแบคทีเรียในเนื้อปลาหิล

ปัทมา แหวกัญญา* และ ณัฐพร โสวสด

สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมกระบวนการเคมี, คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี,
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตระยอง

* ผู้ประสานงานเผยแพร่ (Corresponding Author), E-mail: pattama.n@eat.kmutnb.ac.th

วันที่รับบทความ: 16 มีนาคม 2566; วันที่ทบทวนบทความ: 29 มิถุนายน 2566; วันที่ตอบรับบทความ: 24 กรกฎาคม 2566
วันที่เผยแพร่ออนไลน์: 7 พฤศจิกายน 2566

บทคัดย่อ: งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาฟิล์มบรรจุภัณฑ์โดยใช้แทนนิน (TA) และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) เพื่อยับยั้งแบคทีเรียบนเนื้อปลาหิล โดยแบ่งออกเป็น 3 อัตราส่วนโดยน้ำหนัก ดังนี้ PVA5/TA0 PVA5/TA5 และ PVA5/TA10 ในกรณีของกรดแทนนิกเป็นส่วนผสมจะใช้ร้อยละ 10 ของกลูตาแรลดีไฮด์ (โดยน้ำหนักของ PVA และ TA) เป็นสารเชื่อมขวางจากผลการทดลองพบว่า สีของฟิล์มเข้มขึ้นตามปริมาณกรดแทนนิกที่เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากกรดแทนนิกมีสีเหลืองอมน้ำตาล ความหนา ปริมาณความชื้นและอัตราการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณกรดแทนนิกเพิ่มสูงขึ้น สมบัติทางกลของฟิล์มเมื่อเพิ่มปริมาณกรดแทนนิกในฟิล์ม ค่าการต้านทานแรงดึงและค่าโมดูลัสของฟิล์มเพิ่มขึ้นในขณะที่การยืดตัวของฟิล์มลดลง ผลการวิเคราะห์ FT-IR พบว่าปริมาณกรดแทนนิกเพิ่มขึ้นมีผลต่อโครงสร้างของฟิล์ม โดยทำให้พบหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) มากขึ้น ประสิทธิภาพของฟิล์มต่อการยับยั้งแบคทีเรียในเนื้อปลาหิลพบว่า สีของเนื้อปลาหิลจะเข้มขึ้นเล็กน้อยตามปริมาณกรดแทนนิกที่เพิ่มขึ้นหลังจากที่ถูกเก็บในตู้เย็นอุณหภูมิ 4 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน แต่การเพิ่มปริมาณกรดแทนนิกมากขึ้นจะทำให้สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียได้ดีขึ้น โดยพบว่าฟิล์มที่อัตราส่วนโดยน้ำหนัก PVA5/TA5 และ PVA5/TA10 สามารถเก็บรักษาเนื้อปลาหิลในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 ± 2 องศาเซลเซียส ได้เกิน 7 วัน โดยที่แบคทีเรียไม่เกินมาตรฐานของสำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ ($< 5\times 10^5$ โคโลนีต่อกรัม)

คำสำคัญ: กรดแทนนิก; พอลิไวนิลแอลกอฮอล์; ปลาหิล; ยับยั้งแบคทีเรีย; ฟิล์มบรรจุภัณฑ์

Development of Packaging Films Based on Polyvinyl Alcohol and a Tannic Acid Blend for Inactivation of Bacteria in Tilapia (*Oreochromis niloticus*) Fillets

Pattama Naewkanya* and Nataporn Sowasod

Division of Chemical Process Engineering Technology, Faculty of Engineering and Technology, King Mongkut's University of Technology North Bangkok (Rayong Campus)

* Corresponding author, E-mail: pattama.n@eat.kmutnb.ac.th

Received: 16 March 2023; Revised: 29 June 2023; Accepted: 24 July 2023

Online Published: 7 November 2023

Abstract: This research aims to develop packaging films based on a tannic acid (TA) and polyvinyl alcohol (PVA) blend for the inactivation of bacteria on tilapia fillets. The weight ratios of PVA and TA blend were divided into three parts: PVA5/TA0, PVA5/TA5, and PVA5/TA10. In the case of tannic acid, 10% of glutaraldehyde (based on the weight of PVA and TA) was used as a crosslinker. The experimental results showed that the color of films increased with increasing tannic acid content because tannic acid was brownish yellow. The thickness, moisture content, and water vapor permeability of the film tended to increase with increasing tannic acid content. The mechanical properties of the film change with the increase in the content of tannic acid in the film; the tensile strength and Young's modulus increase while elongation at break decreases. The analysis of FT-IR found that the increased content of tannic acid affected the film structure by increasing the presence of hydroxyl (-OH) groups. The efficacy of film on the inactivation of bacteria in tilapia fillets showed that the color of the fillets slightly increased with increasing tannic acid content after being stored in the refrigerator at 4 ± 2 °C for 7 days. However, increasing the amount of tannic acid inhibited bacterial growth better. It was found that films with the weight ratios of PVA5/TA5 and PVA5/TA10 could be used to store tilapia fillets in the refrigerator at 4 ± 2 °C for more than 7 days without the total viable bacteria count exceeding the standard of the Thai Agricultural Commodity and Food Standard ($< 5\times 10^5$ CFU/g).

Keywords: Tannic acid; polyvinyl alcohol; tilapia; inactivation of bacteria; packaging film



1. บทนำ

บรรจุภัณฑ์ (Packaging) เป็นสิ่งสำคัญที่ช่วยให้การขนส่งและการจำหน่ายสินค้าทุกประเภทง่าย สะดวก สะอาด ปลอดภัยจากสภาวะสิ่งแวดล้อมภายนอก และรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไว้ให้นานขึ้น นอกจากนี้บรรจุภัณฑ์ยังมีส่วนในการเพิ่มคุณค่าของผลิตภัณฑ์และทำให้เกิดความต้องการผลิตภัณฑ์อีกด้วย แต่บรรจุภัณฑ์ในปัจจุบันมีข้อจำกัดการใช้งานหลายด้าน ดังนั้นจึงมีความต้องการบรรจุภัณฑ์ในรูปแบบใหม่มากยิ่งขึ้น เช่น บรรจุภัณฑ์แอคทีฟ (Active Packaging) [1] บรรจุภัณฑ์ต้านรังสียูวี (Anti-UV Packaging) บรรจุภัณฑ์ต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant Packaging) และบรรจุภัณฑ์ต้านจุลินทรีย์ (Antimicrobial Packaging) โดยบรรจุภัณฑ์แบบใหม่นี้จะนิยมนำไปใช้ในด้านอาหารและการแพทย์ ซึ่งผลิตออกมาในรูปแบบของฟิล์มบรรจุภัณฑ์ เพื่อให้ง่ายในระหว่างกระบวนการขนส่งและการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ [2, 3] โดยสารที่นิยมนำมาใช้ขึ้นรูปแผ่นฟิล์ม คือ โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) เพราะมีคุณสมบัติที่ดีหลายด้าน

โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) เป็นพอลิเมอร์ที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ และละลายน้ำได้ดี ไม่เป็นพิษ มีความยืดหยุ่น มีความทนทานต่อสารเคมีที่สูงและมีสมบัติเชิงกลที่ดี นอกจากนี้ยังมีความสามารถในการขึ้นรูปเป็นฟิล์ม [4-6] ด้วยคุณสมบัติเหล่านี้จึงได้รับความนิยมนำมาใช้เป็นฟิล์มบรรจุภัณฑ์ และยังสามารถนำไปใช้ทางด้านอื่นๆ ได้แก่ ด้านการแพทย์ ด้านสิ่งทอ และด้านการเกษตร แม้ว่า PVA จะสามารถใช้งานได้ดีในการเป็นฟิล์มบรรจุภัณฑ์แต่ยังไม่สามารถต้านอนุมูลอิสระและ/หรือต้านจุลินทรีย์ได้ ดังนั้นเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของฟิล์มบรรจุภัณฑ์จึงนำเอาสารอื่นมาผสม

โดยมักผสมกับสารต้านจุลินทรีย์ตามธรรมชาติหรือวัตถุดิบเสียชีวภาพ เช่น กรดแทนนิก [7] ไคโตซาน [8] น้ำมันหอมระเหย [9] และแทนนิน [10] โดยสารต้านจุลินทรีย์ตามธรรมชาติมักนิยมใช้มากกว่าสารต้านจุลินทรีย์สังเคราะห์ เพราะเป็นพิษต่ำกว่า โดยเฉพาะเมื่อนำไปใช้ในด้านชีวการแพทย์และด้านของบรรจุภัณฑ์อาหาร และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

กรดแทนนิก (Tannic Acid, TA) มีสูตรเคมีเป็น $C_{76}H_{52}O_{46}$ จัดอยู่ในกลุ่มแทนนินชนิดที่สามารถละลายน้ำได้ เรียกว่า ไฮโดรไลเซเบอแทนนิน (Hydrolysable Tannin) ซึ่งเป็นสารประกอบโพลีฟีนอลตามธรรมชาติที่ประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิลจำนวนมาก มีฤทธิ์เป็นกรดอ่อน [11] ราคาถูก ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ และไม่เป็นพิษ [12] พบได้ในกล้วย ข้าวฟ่าง ไวน์ กาแฟ ชา และเบียร์ [13] และแสดงคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระต้านจุลินทรีย์ ต้านภูมิแพ้ และต้านการอักเสบ [14] ดังนั้น TA ที่เป็นสารที่สกัดได้จากธรรมชาติจึงมีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการนำมาใช้ผสมกับ PVA และใช้กับอาหารสดได้ เช่น เนื้อปลา เนื้อหมู เป็นต้น จึงสนใจในการนำไปใช้เป็นฟิล์มบรรจุภัณฑ์ปลา

ปลา (Oreochromis niloticus) ถูกนำเข้ามาในประเทศไทยครั้งแรกเมื่อปี พ.ศ. 2508 และเริ่มมีการเพาะพันธุ์ปลาในปี พ.ศ. 2517 ปัจจุบันปลาคาร์พเป็นปลาที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจและเป็นปลาน้ำจืดที่มีผลผลิตเป็นอันดับหนึ่งของประเทศไทย โดยมีการผลิตปลาคาร์พได้ถึง 205,971 ตันปี คิดเป็นมูลค่า 10,051 ล้านบาท ในปี พ.ศ. 2563 ประเทศไทยมีการส่งออกผลิตภัณฑ์ปลาคาร์พเพียงร้อยละ 5 ของผลผลิตปลาคาร์พทั้งหมด [15] การส่งออกปลาคาร์พนั้นยากอันเนื่องมาจาก สัตว์น้ำจะเสื่อมเสียเร็วกว่าเนื้อสัตว์ชนิดอื่น เนื่องจากโปรตีนของสัตว์



น้ำย่อยสลายได้ง่าย และจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเน่าเสียมากที่สุด คือ แบคทีเรีย โดยพบว่าในปลาแช่เย็น (4-10 องศาเซลเซียส) จะเกิดแบคทีเรียกลุ่ม *Pseudomonas* รองลงมา คือ *Acinetobacter*, *Moraxella* และ *Flavobacterium* ถ้าอุณหภูมิแช่เย็นสูงขึ้นเล็กน้อยจะพบ *Micrococcus* และ *Bacillus* *Escherichia*, *Proteus*, *Serratia*, *Sarcina* และ *Clostridium* [16] แบคทีเรียกลุ่มนี้ส่วนใหญ่จะเจริญได้ที่อุณหภูมิห้องและอาจเจริญได้บ้างที่อุณหภูมิแช่เย็น ผลการเพิ่มขึ้นของแบคทีเรียจะส่งผลต่อเนื้อสัมผัส กลิ่น และสีของเนื้อปลา เช่น อาจมีสีเหลืองออกเขียวที่เกิดจากการเจริญของ *Pseudomonas fluorescens* เป็นต้น [16] ดังนั้นถ้ามีฟิล์มบรรจุภัณฑ์ที่ต้านแบคทีเรียก็จะสามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้ดีขึ้นและส่งออกปลานิลสดได้นานขึ้นอีกด้วย

อย่างไรก็ตาม แม้จะมีงานวิจัยที่ผลิตฟิล์มบรรจุภัณฑ์ที่ต้านจุลินทรีย์ออกมามากมายแต่ยังไม่ค่อยมีงานวิจัยที่นำไปไปทดสอบกับเนื้อปลาและตรวจสอบการยืดอายุการเก็บรักษาเนื้อปลานิลมากนัก ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาการพัฒนาฟิล์มบรรจุภัณฑ์จากส่วนผสมของกรดแทนนิกและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ โดยจะทดสอบคุณสมบัติของแผ่นฟิล์มที่ได้ และศึกษาการยับยั้งแบคทีเรียบนเนื้อปลานิล เนื่องจากแบคทีเรียทำให้ปลาเน่าเสียมากที่สุด

2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการวิจัย

2.1 วัสดุ

โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ ปริมาณการเกิดไฮโดรไลซิสร้อยละ 86-90 จากบริษัท กรุงเทพเคมี จำกัด กรดแทนนิก มวลโมเลกุล 1701.20 กรัมต่อโมล จากบริษัท Himedia จำกัด ประเทศอินเดีย กลูตาราลดีไฮด์

(Glutaraldehyde) ร้อยละ 25 จากบริษัท Loba Chemie จำกัด ประเทศอินเดีย แผ่นวัตเชื่อมแอรอบิค แบคทีเรียและแผ่นวัตเชื่อมอีโคไลน์และโคลิฟอร์ม จากบริษัท 3M Petrifilm จำกัด

2.2 วิธีการขึ้นรูปฟิล์ม

เตรียมสารละลาย PVA โดยใช้อัตราส่วนที่ผสมระหว่าง PVA และ TA แสดงดังตารางที่ 1 โดยการนำ PVA มาละลายในน้ำกลั่น เป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ด้วยเครื่องกวนสารให้ความร้อน (Hotplate Stirrer, รุ่น C-MAG-HS7, IKA, Germany) โดยใช้ความเร็วในการกวนสารที่ 250 รอบต่อนาที และใส่แท่งแม่เหล็กกวนสาร ในกรณีที่เติม TA จะแบ่งปริมาณน้ำกลั่นที่ใช้ออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกนำไปละลาย PVA และอีกส่วน นำไปละลายสาร TA เป็นเวลา 15 นาที ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ที่ความเร็วในการกวนสารที่ 250 รอบต่อนาที และใส่แท่งแม่เหล็กกวนสาร หลังจากนั้นจะเติม TA ลงในสารละลาย PVA กวนสารต่อเป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ที่ความเร็วในการกวนสารที่ 250 รอบต่อนาที จนกระทั่งสารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน เมื่อครบเวลานำมาตั้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นทำการเติมกลูตาราลดีไฮด์ร้อยละ 10 (โดยน้ำหนักของ PVA และ TA) เพื่อเป็นสารเชื่อมขวาง (Crosslink) [10] แล้วนำไปผสมให้เข้ากัน โดยใช้ความเร็วในการกวนสารที่ 250 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที หลังจากนั้นเทตัวอย่างใส่เพลท Petri Dish ขนาด 90x15 มิลลิเมตร จากนั้นทำให้แห้งโดยการนำไปอบในตู้อบลมร้อน (บริษัท Daeyang ETS. จำกัด, เกาหลี) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส จากนั้นลอกฟิล์มออกจากเพลท



ใส่ถุงซิปลงและเก็บในโถดูดความชื้น เพื่อรอการวิเคราะห์และทดสอบต่อไป

ตารางที่ 1 แสดงอัตราส่วนระหว่าง PVA/TA ที่ความเข้มข้นต่างๆ

Sample	TA (มล.)	น้ำกลั่น (มล.)	TA (กรัม)	PVA (กรัม)
PVA5/TA0	0	30	0	1.5
PVA5/TA5	1.5	28.5	0.075	1.425
PVA5/TA10	3	27	0.15	1.35

2.3 การทดสอบสมบัติของฟิล์ม

2.3.1 ความหนา

นำตัวอย่างฟิล์มมาวัดความหนาของฟิล์ม ด้วยเครื่องวัดไมโครมิเตอร์แบบวัดภายนอก (รุ่น MC MW200-01, Mitutoyo, Japan) โดยวัดความหนาของฟิล์มแต่ละสูตรจำนวนสูตรละ 3 ชิ้น ตัวอย่างแต่ละชิ้นวัดความหนาจำนวน 3 จุดนับเป็น 1 ซ้ำ เพื่อคำนวณหาค่าเฉลี่ยของแผ่นฟิล์ม

2.3.2 ค่าสี

สีของฟิล์มจะถูกวัดด้วยเครื่องวิเคราะห์สี (Hunter Lab Digital Color Difference Meter, รุ่น YS 3020, 3nh, จีน) โดยนำแผ่นฟิล์มวางบนแผ่นกระดาษสีขาวในสภาวะแวดล้อมแบบเดียวกัน และรายงานผลออกมาในสัญลักษณ์ L^* , a^* และ b^* โดยใช้ White Standard Plate ($L_0^* = 96.57$, $a_0^* = -0.23$, และ $b_0^* = 0.26$) คำนวณค่าความแตกต่างของสีโดยรวมตามสมการที่ (1) [17]

$$\Delta E^* = \sqrt{(L^* - L_0^*)^2 + (a^* - a_0^*)^2 + (b^* - b_0^*)^2} \quad (1)$$

2.3.3 ปริมาณความชื้น (Moisture Content, MC)

ปริมาณความชื้น ดัดแปลงวิธีของ AOAC [18] ตัดตัวอย่างฟิล์มขนาด 20 มิลลิเมตร x 20 มิลลิเมตร ซึ่งน้ำหนักตัวอย่างฟิล์มก่อนอบ นำตัวอย่างใส่ถ้วยอะลูมิเนียม อบที่ 105 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นจะนำตัวอย่างออกจากตู้อบลมร้อน (Hot Air Oven, รุ่น SOV70B, KWF, จีน) ทิ้งให้ เย็น ในโถดูดความชื้น โดยให้น้ำหนักตัวอย่างคงที่ แล้วชั่งน้ำหนักหลังอบ และคำนวณหาความชื้นของตัวอย่าง

2.3.4 อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (Water Vapor Permeability, WVTR)

ทดสอบอัตราการซึมผ่านของไอน้ำโดยดัดแปลงมาตรฐาน ASTM E96-95 [19] เติมน้ำกลั่นลงในถ้วย 30 มิลลิตร แล้วปิดด้วยฟิล์มที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 80 มิลลิเมตร พร้อมปิดด้วยเทปกาวให้แนบสนิท และชั่งน้ำหนัก จากนั้นนำไปวางในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 37 ± 1 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 55 ± 1.5 แล้วทำการบันทึกน้ำหนักทุก 1 ชั่วโมง เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ทำการทดสอบทั้งหมด 3 ซ้ำ แล้วนำผลที่ได้ไปสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่สูญเสียกับเวลา และคำนวณหาค่าอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ ดังสมการที่ 2

$$WVTR = \frac{\text{Mass lost}}{t \times \text{film area}} = \frac{\text{slope}}{\text{film area}} \times 100 \quad (2)$$

โดยที่ WVTR = อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (ร้อยละ)

Mass lost = น้ำหนักน้ำที่สูญเสียไป (กรัม)

t = เวลาในการอบ (วัน)

film area = พื้นที่ของฟิล์มที่ไอน้ำซึมผ่าน (ตารางเมตร)

slope = ความชันของกราฟความสัมพันธ์ของน้ำหนักที่สูญเสียไปกับเวลา (กรัมต่อวัน)



2.3.5 สมบัติเชิงกลของฟิล์ม

สมบัติทางกล (Mechanical Properties) ได้แก่ การยืดตัว ณ จุดขาด (Elongation at Break) และความต้านทานแรงดึง (Tensile Strength) โดยตัดแปลงมาตรฐาน ASTM D882-97 [20] โดยใช้เครื่อง Universal Testing Machine (Instron, Model 5562, Massachusetts, USA) โดยตัดชิ้นตัวอย่างของฟิล์มขนาด 12 มิลลิเมตร ยาว 80 มิลลิเมตร กำหนดระยะการจับชิ้นงานที่ 50 มิลลิเมตร อัตราเร็วในการดึงเท่ากับ 500 มิลลิเมตร/นาที โดยทำการทดสอบทั้งหมด 10 ตัวอย่าง เพื่อหาค่าเฉลี่ย โดยความต้านทานแรงดึงและร้อยละการยืดตัวที่จุดขาด สามารถคำนวณดังสมการที่ (3) และ (4) ต่อไปนี้

$$\text{Tensile strength (TS)} = F_{\max} / A \quad (3)$$

$$\text{Elongation at break (EAB)} = (L / L_0) \times 100 \quad (4)$$

โดยที่ F_{\max} = ค่าแรงสูงสุดที่ทำให้ฟิล์มขาด (นิวตัน)

A = พื้นที่หน้าตัดของฟิล์ม (ตารางมิลลิเมตร)

L_0 = ความยาวเริ่มต้นของฟิล์ม (มิลลิเมตร)

L = ระยะความยาวที่ฟิล์มยืดออก (มิลลิเมตร)

2.3.6 ลักษณะโครงสร้างพื้นฐานวิทยาของฟิล์ม

ตรวจสอบหาโครงสร้างและองค์ประกอบของฟิล์ม ด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรด สเปกโทรสโกปี (Fourier Transform Infrared Spectroscopy, FTIR, Spectrum Gx, PerkinElmer Scientific, USA) โดยวัดค่า Transmittance ของรังสีที่อยู่ในช่วงอินฟราเรด ช่วงเลขคลื่น (Wavenumber) 4000-400 cm^{-1}

2.4 การยืดอายุปลาแห้ง

2.4.1 การเตรียมชิ้นปลาและทดสอบการยืดอายุ

ปลานิล (*Oreochromis niloticus*) น้ำหนักเฉลี่ย 0.8-1 กิโลกรัม ซึ่งมาจากตลาดนิคมพัฒนา จังหวัดระยอง ชำและแช่ตู้เย็นไว้ 16 ชั่วโมง ก่อนนำมาล้างปลาด้วยน้ำประปา ลอกหนังออกและหั่นเป็นชิ้นหนา 8-10 มิลลิเมตร และน้ำหนักเฉลี่ย 5 กรัม นำไปทำการทดสอบโดยแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ เนื้อปลาไม่ห่อฟิล์ม เนื้อปลาห่อด้วยฟิล์ม PVA และเนื้อปลาห่อฟิล์มที่ผสมระหว่าง PVA/TA วิธีในการห่อด้วยฟิล์มจะตัดแผ่นฟิล์มให้มีขนาดกว้าง 60 มิลลิเมตร ยาว 60 มิลลิเมตร ห่อให้ครอบคลุมทุกด้านของชิ้นปลา จากนั้นนำทั้ง 3 กลุ่มการทดลอง เก็บไว้ในตู้เย็นเป็นเวลา 7 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ± 2 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นนำมาวัดสีของชิ้นปลาและนำไปวัดเชื้อแอโรบิกแบคทีเรียทุกวันที 0 3 5 และ 7 ปลาที่จะใช้ทดลองจะต้องวัดเชื้อแอโรบิกแบคทีเรีย ถ้าเกิน 10^7 โคโลนีต่อกรัม ในวันที่ 0 จะไม่ใช้ผลการทดลองในรอบนั้น

2.4.2 การวิเคราะห์และการวัดในชิ้นปลา

นำตัวอย่างเนื้อปลาจำนวน 5 กรัม เติมน้ำตาลละลายเปปโตน (Peptone) ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 ปริมาตร 45 มิลลิลิตร บั่นตัวอย่างด้วยเครื่องบั่นที่ผ่านการอบฆ่าเชื้อเป็นเวลา 1 นาที จากนั้นนำไปทำการเจือจางอย่างเป็นลำดับ (Serial Dilution) หลังจากนั้นดูตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร หยดลงบนแผ่นวัดเชื้อแอโรบิกแบคทีเรีย 3M (3M Aerobic Count Plate) นำเข้าตู้บ่มที่อุณหภูมิ 35 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ตามวิธีของ AOAC [17] หลังจากครบระยะเวลา นำแผ่นออกมานับแบคทีเรียที่มีชีวิตอยู่ โดยใช้การคำนวณออกมาในรูปแบบลอการิทึมของจำนวนแบคทีเรียที่มีอยู่



ต่อจำนวนแบคทีเรียที่ถูกแสดงผลในหน่วยของลอการิทึมของโคโลนีต่อกรัม (\log_{10} CFU/g)

3. ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

ผลการวิจัยแบ่งออกเป็น 4 หัวข้อหลัก คือ สมบัติทางกายภาพของฟิล์มบรรจุภัณฑ์ สมบัติเชิงกลของฟิล์ม การวิเคราะห์หาค่าประกอบทางโครงสร้างของฟิล์ม และการทดสอบประสิทธิภาพของฟิล์มต่อเนื้อปลาเนื้ ดังนี้

3.1 สมบัติทางกายภาพของฟิล์มบรรจุภัณฑ์

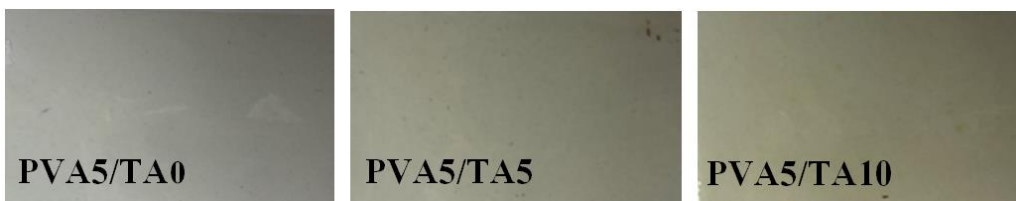
ความโปร่งใสของฟิล์มเป็นสมบัติสำคัญอีกอย่างหนึ่งซึ่งมีผลต่อการนำไปใช้ประโยชน์ เนื่องจากความโปร่งใสของฟิล์มทำให้เห็นลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ถูกบรรจุภายในฟิล์มบรรจุภัณฑ์ได้ แต่ความทึบแสงของฟิล์มนั้นก็สำคัญ เพราะช่วยป้องกันผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในบรรจุภัณฑ์ที่มีความไวต่อแสงได้ เนื่องจากแสงเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารเกิดกลิ่นหืน ที่ไม่พึงประสงค์ได้ [21] ลักษณะฟิล์มที่ผสมระหว่าง PVA/TA หลังจากการขึ้นรูปในอัตราส่วนต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 1 พบว่าที่อัตราส่วนที่ไม่ผสม TA (PVA5/TA0) มีลักษณะสีใสมีความโปร่งแสง และเป็นเนื้อเดียวกัน เมื่อผสม TA มากขึ้น พบว่าฟิล์มยังเป็นเนื้อเดียวกันแต่มีสีเข้มขึ้น

ตามปริมาณ TA ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจาก TA มีสีเหลืองอมน้ำตาล [22]

3.1.1 ค่าสี (Color) และความหนา

จากการขึ้นรูปฟิล์มบรรจุภัณฑ์เกรดแทนนิกผสมกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ค่าสี ความแตกต่างของสีโดยรวม และความหนาของฟิล์ม PVA และ TA แสดงในตารางที่ 2 โดยฟิล์มที่ได้มีค่าสี L^* (ความสว่าง) a^* (สีแดง) และ b^* (สีเหลือง) ที่แตกต่างกัน เมื่อเปรียบเทียบค่าความแตกต่างของสีโดยรวมพบว่า การเติมปริมาณ TA ที่มากขึ้น จะส่งผลต่อค่าความแตกต่างของสีโดยรวม (ΔE^*) ให้เพิ่มขึ้น เพราะผง TA มีสีเหลืองอมน้ำตาล เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Jingjing Liao และคณะ [10] ที่ขึ้นรูปฟิล์มบรรจุภัณฑ์แทนนิน (TN) ที่สกัดได้จากผลเบอรี่เบอร์รี่จีนผสมกับ PVA ซึ่ง TN ก็มีสีน้ำตาลคล้ายกับ TA พบว่า มีสีน้ำตาลเพิ่มขึ้นตามปริมาณความเข้มข้นของ TN ที่เพิ่มขึ้นเช่นกัน

ส่วนความหนาของฟิล์มพบว่าเมื่อมีส่วนผสมระหว่างกรดแทนนิกเพิ่มขึ้นจะทำให้ฟิล์มมีความหนาเพิ่มขึ้นน้อยมาก เนื่องจากการทดลองควบคุมปริมาณสารละลายให้อยู่ที่ 30 มิลลิลิตรทุกแผ่นแต่ TA มีมวลโมเลกุลสูง จึงส่งผลให้ฟิล์มที่ผสม TA หนาเพิ่มขึ้นเล็กน้อย สอดคล้องกับงานวิจัยของ



รูปที่ 1 ลักษณะฟิล์มที่ผสมระหว่าง PVA และ TA หลังจากการขึ้นรูปในอัตราส่วนต่าง ๆ



ตารางที่ 2 ค่าสี ความแตกต่างของสีโดยรวม และความหนาของฟิล์ม PVA และ TA ที่อัตราส่วนต่าง ๆ

อัตราส่วน PVA/TA	ค่าสี				ความหนา (มิลลิเมตร)
	L*	a*	b*	ΔE^*	
PVA5/TA0	87.73±0.48	1.26±0.34	5.89±0.88	10.64±0.23	0.087±0.03
PVA5/TA5	86.22±0.72	0.34±0.79	1.99±3.15	11.02±0.28	0.090±0.04
PVA5/TA10	85.52±0.93	0.49±0.27	3.09±2.63	11.77±0.45	0.091±0.05

หมายเหตุ ในแนวตั้ง มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

da Cruz และคณะ [23] ที่ศึกษาฟิล์มบรรจุภัณฑ์ด้านเชื้อแบคทีเรียโดยใช้โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ผสมกับแทนนินประจุบวก (Cationic Tannin) ที่อัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อเทียบอัตราส่วนความหนาของแผ่นที่ไม่มีแทนนินประจุบวก กับมีแทนนินประจุบวกร้อยละ 10 ที่ PVA ร้อยละ 5 เท่ากัน พบว่ามีความหนาของแผ่นฟิล์มเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณแทนนินประจุบวกมากขึ้น ซึ่งมีแนวโน้มที่สอดคล้องกับในงานวิจัยนี้

3.1.2 ปริมาณความชื้นและอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ

ผลการทดสอบค่าปริมาณความชื้นของฟิล์มที่ผสมระหว่าง PVA และ TA ในอัตราส่วนต่าง ๆ พบว่าฟิล์มมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 4.73-11.58 (ตารางที่ 3) และพบว่าปริมาณความชื้นของฟิล์ม PVA และ TA เพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากการเติม TA ที่เพิ่มมากขึ้น ทำให้ปริมาณ TA มากเกินพอที่จะเกิดพันธะร่วมกับกลูตาไรลดีไฮด์ ที่ทำหน้าที่เป็นสารเชื่อมขวางในพอลิเมอร์เมทริก อีกทั้ง TA ยังประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) จำนวนมาก ทำให้เกิดพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลของน้ำได้ จึงเป็นสารที่อุ้มน้ำไว้ในเมทริกซ์ของฟิล์มได้ ทำให้ฟิล์มไวต่อความชื้นได้ง่ายเมื่อสัมผัสอากาศ [23] ซึ่งจะสอดคล้องกับผลของอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ

ตารางที่ 3 ค่าร้อยละปริมาณความชื้น และค่าอัตราการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์ม PVA และ TA ที่อัตราส่วนต่าง ๆ

อัตราส่วน PVA/TA	ปริมาณ ความชื้น (ร้อยละ)	WVTR (กรัม/ตารางเมตร วัน)
PVA5/TA5	9.14±0.56	564.40±1.35
PVA5/TA10	11.58±0.22	653.51±3.55

หมายเหตุ ในแนวตั้ง มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

สมบัติการแพร่ผ่านของไอน้ำเป็นหนึ่งในสมบัติที่สำคัญของฟิล์มบรรจุภัณฑ์ที่ถูกนำมาใช้ในงานด้านอาหาร โดยค่าความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำของฟิล์มที่ต่ำช่วยป้องกันการแพร่ของความชื้นผ่านอาหารได้ [24] ซึ่งจะมีผลดีต่อการเก็บเนื้อปลาสด ตารางที่ 3 แสดงผลการทดสอบค่าอัตราการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มที่ผสมระหว่าง PVA/TA ในอัตราส่วนต่างๆ พบว่า ฟิล์มที่มีส่วนผสมของ PVA5/TA10 มีอัตราการซึมผ่านของไอน้ำสูงสุด อัตราการซึมผ่านของไอน้ำจะเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนของ TA ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจาก TA จัดเป็นพอลิเมอร์ที่จัดอยู่ในกลุ่มที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) ซึ่งมีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ที่เข้ากันได้ดีกับน้ำ เปรียบเหมือนเป็นตัวกลางในการดูดซึม [10]



3.2 สมบัติเชิงกลของฟิล์ม

โดยทั่วไปค่าความต้านทานแรงดึงของแผ่นฟิล์มมีผลต่อความทนทานของฟิล์มต่อความเค้นตึงฉาก (Normal Stress) ของฟิล์มในระหว่างการนำไปใช้งาน การขนส่ง และการจัดการอาหาร ค่าการยืดตัว ณ จุดขาดของฟิล์มเกี่ยวข้องกับความยืดหยุ่นของฟิล์มสำหรับบรรจุภัณฑ์อาหาร ส่วนค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่นบ่งบอกถึงความแข็งของฟิล์ม (Stiffness) [9] จากผลการวัดการต้านทานแรงดึง การยืดตัว และค่าโมดูลัสของฟิล์ม แสดงในตารางที่ 4 ฟิล์มที่ผสม TA มีค่าความต้านทานแรงดึงสูงกว่าฟิล์มที่ไม่มี TA และส่งผลให้ค่าโมดูลัสของฟิล์มเพิ่มขึ้น ความแข็งแรงของฟิล์มจึงเพิ่มขึ้น ในขณะที่การยืดตัวของฟิล์มลดลง ความยืดหยุ่นของฟิล์มจึงลดลง สอดคล้องกับผลของการทดสอบปริมาณความชื้นและอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ ซึ่งผลการทดลองที่ได้อาจจะเกิดจาก เมื่อเพิ่มปริมาณ TA เพิ่มขึ้น TA ไม่สามารถเกิดการเชื่อมขวางกับ PVA ได้ทั้งหมด และอีกเหตุผลหนึ่งอาจมาจากระหว่างพันธะจากสารเชื่อมขวางที่เดิมลงไปเชื่อมพันธะระหว่าง PVA-TA และ PVA-PVA มีขีดจำกัด ดังนั้นเมื่อเติม TA กับ PVA ที่เหมาะสมจะทำให้เกิดแรงระหว่างโมเลกุลเพิ่มขึ้น ทำให้ความต้านทานแรงดึงและความยืดหยุ่นของฟิล์มดีขึ้นด้วย [10]

3.3 การวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางโครงสร้างของฟิล์ม

การตรวจวิเคราะห์หาองค์ประกอบด้วยเทคนิคเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (FTIR) เป็นเทคนิคที่ใช้ในการจำแนกประเภทสารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ และพันธะเคมีในโมเลกุลรวมได้ [21] จากรูปที่ 2 แสดงเส้นสเปกตรัมของ TA และเส้นสเปกตรัมของฟิล์มผสมระหว่าง PVA/TA ที่อัตราส่วนต่างๆ จากรูปพบว่า เส้นสเปกตรัมของ TA จะพบหมู่ฟังก์ชัน C=C Stretching ที่ความยาวคลื่น $1,611\text{ cm}^{-1}$ พบฟังก์ชัน C-H Bending ที่ความยาวคลื่น $1,439\text{ cm}^{-1}$ ยังพบพีคความยาวคลื่น $1,315\text{ cm}^{-1}$ ของ -OH Stretching ของฟีนอลิกไฮดรอกซิล (Phenolic Hydroxyl) พบพีคความยาวคลื่น $1,717\text{ cm}^{-1}$ ของ C=O Stretching ที่บ่งชี้ว่าเป็นแทนนินกลุ่มละลายน้ำได้ [10, 23] และยังพบหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ที่ความยาวคลื่น $3,294\text{ cm}^{-1}$ โดยพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณ TA ที่มากขึ้นจะพบหมู่ -OH มากขึ้น ซึ่งหมู่ -OH ทำให้เกิดพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลของน้ำได้ ทำให้ฟิล์มไวต่อความชื้นได้ง่ายเมื่อสัมผัสอากาศ [23] ซึ่งจะสอดคล้องกับผลของอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ

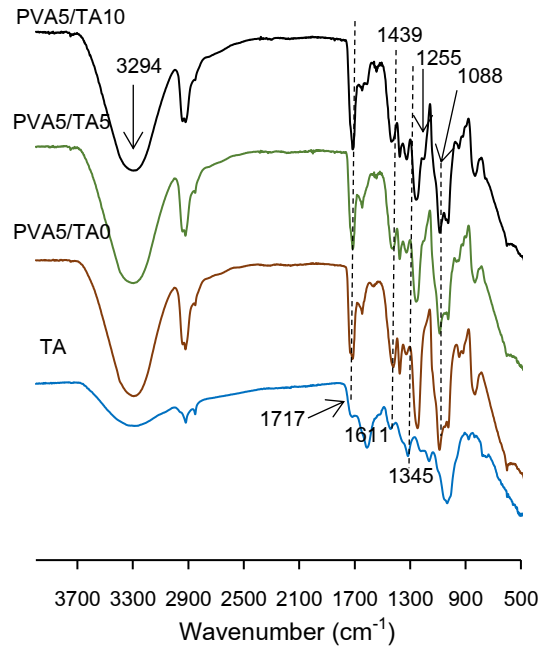
ตารางที่ 4 สมบัติทางกลของฟิล์ม PVA และ TA ที่อัตราส่วนต่าง ๆ

อัตราส่วน PVA/TA	Tensile strength (เมกะปาสคาล)	Elongation @break (ร้อยละ)	Young's modulus (เมกะปาสคาล)
PVA5/TA0	36.69 ± 11.58	145.42 ± 24.07	275.26 ± 49.64
PVA5/TA5	35.80 ± 14.51	122.79 ± 24.16	795.52 ± 157.86
PVA5/TA10	44.32 ± 5.89	101.37 ± 25.88	1075.58 ± 465.26

หมายเหตุ ในแนวดิ่ง มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95



ในกรณี PVA5/TA0 (ไม่ผสมกรดแทนนิกและไม่เติมสารเชื่อมขวาง) จะพบ C-O Stretching ที่ความยาวคลื่น 1,088 cm^{-1} ซึ่งอยู่ในสายโซ่หลักของ PVA หลังเติมกลูตาราลดีไฮด์เป็นสารเชื่อมขวาง จะทำให้ PVA เชื่อมต่อกับสายโซ่ TA มากขึ้น เกิดคู่โพลีเมอร์ระหว่าง PVA-PVA PVA-TA และ TA-TA [23] พบพีคความยาวคลื่น 1,315 cm^{-1} ของ -OH Stretching ของฟีนอลิกไฮดรอกซิลเพิ่มขึ้น เมื่อมีการเติม TA มากขึ้น ในกรณีที่เติมและกลูตาราลดีไฮด์ จะพบการเชื่อมขวาง (Crosslink) ระหว่างคู่ PVA TA และกลูตาราลดีไฮด์ ทำให้พบพันธะอะซีทัล (C-O-C) ที่ความยาวคลื่นช่วง 1,026-1,255 cm^{-1} ของ PVA5/TA10 และ PVA5/TA5 เข้มขึ้น เมื่อเทียบกับ PVA5/TA0 (ไม่ผสมกรดแทนนิกและไม่เติมสารเชื่อมขวาง) สอดคล้องกับงานวิจัยของ da Cruz และคณะ [23] ที่ศึกษาฟิล์มบรรจุภัณฑ์ด้านเชื้อแบคทีเรียโดยใช้โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ผสมกับแทนนินประจุบวกที่อัตราส่วนต่างๆ พบความเข้มข้นของพันธะอะซีทัล (C-O-C) เช่นกัน



รูปที่ 2 เส้นสเปกตรัมของ TA และเส้นสเปกตรัมของฟิล์มผสมระหว่าง PVA/TA ที่อัตราส่วนต่างๆ

ตารางที่ 5 ค่าสีและความแตกต่างของสีโดยรวมของเนือปลานิลที่ถูกเก็บในตู้เย็นอุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 7 วัน

อัตราส่วน PVA/TA	L*	a*	b*	ΔE^*
ปลาไม่ห่อ	45.82±0.27	12.35±0.23	2.91±0.15	52.35±0.20
PVA5/TA0	46.37±0.38	10.78±0.39	4.67±0.22	51.58±0.27
PVA5/TA5	37.28±0.21	17.34±0.25	6.43±0.35	62.15±0.09
PVA5/TA10	32.11±0.18	16.28±0.13	5.27±0.21	66.73±0.13

หมายเหตุ ΔE^* ในแนวตั้ง มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95



3.4 การทดสอบประสิทธิภาพของฟิล์มต่อเชื้อปนลาหิล

3.4.1 ลักษณะและค่าสีของเชื้อปนลาหิลหลังครบระยะเวลาในการเก็บรักษา

ผลการเก็บรักษาเชื้อปนลาหิลในตู้เย็นอุณหภูมิ 4 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน พบว่าสีของเชื้อปนลาหิลที่ห่อด้วยฟิล์มที่ผสม TA มีความเข้มข้นตามปริมาณ TA ที่เพิ่มขึ้น และฟิล์มที่ใช้ในการห่อสามารถห่อและลอกออกจากเนื้อปลาได้ เมื่อนำไปวัดค่าสีและความแตกต่างของสีโดยรวมของเชื้อปนลาหิล ในวันที่แรกก่อนนำไปเก็บรักษาพบว่า ค่าสีของเชื้อปนลาหิลมีค่า L^* a^* b^* และ ΔE^* อยู่ที่ 48.92 ± 0.65 , 13.58 ± 0.53 , 4.23 ± 0.45 และ 49.78 ± 0.44 ซึ่งเป็นสีขาวอมชมพู หลังเก็บรักษาไว้ในตู้เย็นอุณหภูมิ 4 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน ค่าสีและความแตกต่างของสีโดยรวมแสดงดังตารางที่ 5 พบว่าปลาที่ไม่ได้ห่อฟิล์มมีค่าความแตกต่างของสีโดยรวมเพิ่มขึ้น เพราะปลาที่เก็บไว้นานจะเริ่มสูญเสียน้ำทำให้สีปลาเข้มขึ้น (ค่า L^* ลดลง) ปลาที่ห่อด้วยฟิล์ม PVA5/TA0 สามารถคงค่าสีโดยรวมไว้ได้ใกล้เคียงกับวันแรกมากที่สุด เพราะการห่อฟิล์มจะป้องกันการสูญเสียของเนื้อปลา สีของเชื้อปนลาหิลที่ห่อด้วยฟิล์มที่ผสม TA มีความเข้มข้นตามปริมาณ TA ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อเพิ่มปริมาณ TA ทำให้ TA ที่จัดเป็นพอลิเมอร์กลุ่มที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) ละลาย ส่งผลให้สีของฟิล์มติดที่เนื้อปลาเล็กน้อย สอดคล้องกับผลของ FTIR ที่พบว่าการเติม TA ที่มากขึ้นจะพบหมู่ไฮดรอกซิลมากขึ้น จึงละลายน้ำได้ดียิ่งขึ้น

3.4.2 ประสิทธิภาพของฟิล์มต่อการต้านเชื้อแบคทีเรียในเชื้อปนลาหิล

การวิเคราะห์ปริมาณของแบคทีเรียที่มีชีวิตทั้งหมด (Total Aerobic bacteria) ด้วยวิธีการใช้แผ่นวัดแบคทีเรียสำเร็จรูป 3M Petrifilm พบว่าในวันที่ 0 เชื้อปนลาหิลมีจำนวนแบคทีเรียทั้งหมดเฉลี่ย 1.96×10^4 โคโลนีต่อกรัม ซึ่งมีจำนวนไม่เกินมาตรฐานของสำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ มกอช. 7001-2547 [25] เมื่อนำเนื้อปลาแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ เนื้อปลาไม่ห่อฟิล์ม (Non-film) เนื้อปลาห่อด้วยฟิล์ม PVA ไม่ผสม TA (PVA5/TA0) และเนื้อปลาห่อฟิล์มที่ผสมระหว่าง PVA/TA (PVA5/TA5 และ PVA5/TA10) เก็บที่อุณหภูมิ 4 ± 2 องศาเซลเซียส นาน 7 วัน ผลการศึกษาแสดงดังรูปที่ 3 พบว่า จำนวนแบคทีเรียทั้งหมดเพิ่มขึ้นตามจำนวนวันที่เก็บรักษามากขึ้น หลังเก็บเนื้อปลาได้เพียง 3 วัน ปลาที่ไม่ได้ห่อฟิล์มและปลาที่ห่อด้วยฟิล์ม PVA5/TA0 มีเชื้ออยู่ที่ 3.84×10^5 และ 3.42×10^5 โคโลนีต่อกรัม ตามลำดับ ซึ่งจะเกินมาตรฐาน มกอช. 7001-2547 ที่กำหนดให้ต้องมีจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกิน 1×10^5 โคโลนีต่อกรัม จึงไม่ทำการวัดเชื้อในวันที่ 5 ต่อไป

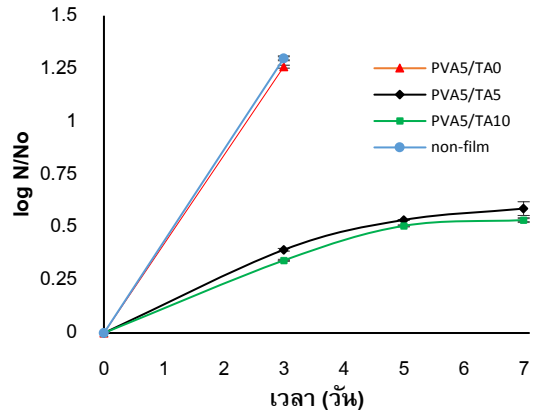
ส่วนในเนื้อปลาห่อฟิล์มที่ผสมระหว่าง PVA/TA สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียทั้งหมดได้ไม่เกินมาตรฐานจนครบระยะเวลา 7 วัน โดยที่อัตราส่วน PVA5/TA10 และ PVA5/TA5 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ดังนั้นอัตราส่วน PVA5/TA10 และ PVA5/TA5 สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียทั้งหมดได้ใกล้เคียงกัน ผลการยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียทั้งหมด เกิดจาก TA จัดอยู่



ในกลุ่มสารประกอบโพลีฟีนอลิก ซึ่งทำหน้าที่ยับยั้งการดูดซึมน้ำตาลและกรดอะมิโนของแบคทีเรีย [26] ที่สามารถยับยั้งแบคทีเรียที่ต้องการออกซิเจน (Aerobes) และไม่ต้องการออกซิเจน (Anaerobes) ทั้งแบคทีเรียแกรมบวกและแกรมลบได้ [27] เช่น *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Streptococcus pyogenes*, *Enterococcus faecalis* และ *Pseudomonas aeruginosa* [28] จึงทำให้น้ำเนื้อปลาเน่าเสียช้าลงและยืดอายุการเก็บรักษาเนื้อปลานิลได้นานยิ่งขึ้น

4. สรุปผลการวิจัย

การพัฒนาบรรจุภัณฑ์จากส่วนผสมของกรดแทนนิกและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ พบว่า มีค่าสีเพิ่มขึ้นตามปริมาณกรดแทนนิกที่เพิ่มมากขึ้น ความหนาปริมาณความชื้นและอัตราการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณกรดแทนนิกที่เพิ่มสูงขึ้น สมบัติทางกลของฟิล์มเมื่อเพิ่มปริมาณกรดแทนนิกในฟิล์ม ค่าการต้านทานแรงดึงและค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นในขณะที่การยืดตัวของฟิล์มลดลง ผลการวิเคราะห์หาค่าองค์ประกอบทางโครงสร้างของฟิล์มพบว่า การเพิ่มปริมาณกรดแทนนิกจะทำให้พบหมู่ ไฮดรอกซิล (-OH) มากขึ้น การทดสอบประสิทธิภาพของฟิล์มต่อเนื้อปลานิลพบว่า ค่าสีของปลานิลจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตามปริมาณกรดแทนนิกที่เพิ่มขึ้น การเพิ่มปริมาณกรดแทนนิกมากขึ้นจะทำให้สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียได้ดีขึ้น โดยพบว่าปลาที่ไม่ได้ห่อฟิล์ม และปลาที่ห่อด้วยฟิล์ม PVA5/TA0 หลังเก็บเนื้อปลาได้เพียง 3 วัน จะพบว่าปริมาณแบคทีเรียเกินมาตรฐานสำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ มกอช. 7001-2574 (เกิน 1×10^5 โคโลนีต่อกรัม) แต่ฟิล์มที่อัตราส่วน



รูปที่ 3 จำนวนแบคทีเรียทั้งหมดในเนื้อปลานิลถูกเก็บในตู้เย็นอุณหภูมิ 4 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน

PVA5/TA5 และ PVA5/TA10 สามารถเก็บรักษาปลานิลในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 ± 2 องศาเซลเซียส ได้เกิน 7 วัน โดยที่แบคทีเรียไม่เกินมาตรฐานของ มกอช. 7001-2547 ดังนั้นการผสมกรดแทนนิกในฟิล์มช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียในเนื้อปลานิลได้

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] J. Bonilla, E. Fortunati, L. Atares, A. Chiralt and J.M. Kenny, Physical, structural and antimicrobial properties of poly vinyl alcohol-chitosan biodegradable films, Food Hydrocolloids, 2013, 35, 463 – 470.
- [2] P. Cazón, M. Vazquez and G. Velazquez, Cellulose – glycerol – polyvinyl alcohol composite films for food packaging: evaluation of water adsorption, mechanical properties, light-barrier properties and transparency, Carbohydrate Polymers, 2018, 195(21), 432 – 443.



- [3] H. Haghghi, S.K. Leugoue, F. Pfeifer, H.W. Siesler, F. Licciardello, P. Fava and A. Pulvirenti, Development of antimicrobial films based on chitosan-polyvinyl alcohol blend enriched with ethyl lauroyl arginate (LAE) for food packaging applications, *Food Hydrocolloids*, 2020, 100, 105419.
- [4] S.B. Bahrami, S.S. Kordestani, H. Mirazadeh and P. Mamsoori, Poly (vinyl alcohol) – chitosan blends: preparation, mechanical and physical properties, *Iranian Polymer Journal*, 2002, 12(2), 139 – 146.
- [5] S.Y. Park, S.T. Jun and K.S. Marsh, Physical properties of PVOH/chitosan blended films cast from different solvents, *Food Hydrocolloids*, 2001, 15, 499 – 502.
- [6] K. Lewandowska, Surface studies of microcrystalline chitosan/poly (vinyl alcohol) mixtures, *Applied Surface Science*, 2012, 263, 115 – 123.
- [7] Y. Chen, L. Peng, T. Liu, Y. Wang, S. Shi and H. Wang, Poly (vinyl alcohol)-tannic acid hydrogels with excellent mechanical properties and shape memory behaviors, *ACS applied materials and interfaces*, 2016, 8(40), 27199 – 27206.
- [8] M.P. Balasubramaniam, P. Murugan, D. Chenthamara, S.G. Ramakrishnan, A. Salim, F.-H. Lin, B. Robert and S. Subramaniam Synthesis of chitosan-ferulic acid conjugated poly (vinyl alcohol) polymer film for an improved wound healing, *Materials Today Communications*, 2020, 25, 101510.
- [9] F. Debiagi, R.K. Kobayashi, G. Nakazato, L.A. Panagio and S. Mali, Biodegradable active packaging based on cassava bagasse, polyvinyl alcohol and essential oils, *Industrial Crops and Products*, 2014, 52, 664 – 670.
- [10] J. Liao, J. Li, H. Wang, Y. Zhu, H. Essawy, G. Du and X. Zhou, Development of antioxidant packaging film based on Chinese bayberry tannin extract and polyvinyl alcohol, *Journal of Renewable Energy*, 2022, 10(1), 19 – 31.
- [11] P. Buzzini, P. Arapitsas, M. Goretti, E. Branda, B. Turchetti, P. Pinelli, F. Ieri and A. Romani, Antimicrobial and antiviral activity of hydrolysable tannins, *Mini-Review Journal of Medicinal Chemistry*, 2008, 8, 1179 – 1187.
- [12] N. Sahiner, S. Sagbas, M. Sahiner, C. Silan, N. Aktas and M. Turk, Biocompatible and biodegradable poly (tannic acid) hydrogel with antimicrobial and antioxidant properties, *International Journal of Biological Macromolecules*, 2016, 82, 150 – 159.



- [13] E. Tomaszewska, P. Dobrowolski, A. Winiarska-Mieczan, M. Kwiecien, A. Tomczyk and S. Muszynski, The effect of tannic acid on the bone tissue of adult male Wistar rats exposed to cadmium and lead, *Experimental and Toxicologic Pathology*, 2017, 69(3), 131 – 141.
- [14] S. Lau, J. Wahn, G. Schulz, C. Sommerfeld and U. Wahn, Placebo-controlled study of the mite allergen-reducing effect of tannic acid plus benzyl benzoate on carpets in homes of children with house dust mite sensitization and asthma, *Pediatric Allergy and Immunology*, 2002, 13, 31 – 36.
- [15] <https://api.dtn.go.th/files/v3/614af620ef4140fe44141855/download>. (Accessed on 10 December 2022)
- [16] <http://elearning.psu.ac.th/courses.pdf>. (Accessed on 10 December 2022)
- [17] H. Yong, X. Wang, R. Bai, Z. Miao, X. Zhang and J. Liu, Development of antioxidant and intelligent pH-sensing packaging films by incorporating purple-fleshed sweet potato extract into chitosan matrix, *Food Hydrocolloids*, 2019, 90, 216 – 224.
- [18] AOAC, Official Methods of Analysis, 16th ed., Association of Official Analytical Chemists, VA, USA, 2000.
- [19] Y. Hu, V. Topolkaev, A. Hiltner and E. Baer, Measurement of water vapor transmission rate in highly permeable films, *Journal of Applied Polymer Science*, 2001, 81(7), 1624 – 1633.
- [20] ASTM D882, Standard Test Method for Tensile Properties of Thin plastic Sheeting, 1997.
- [21] N. Samsalee, N. Romsomsa and S. Musika, Physicochemical mechanical and thermal properties of edible film from Man Lueat (*Dioscorea alata*) flour, *RMUTP Research Journal*, 2021, 15, 24 – 39. (in Thai)
- [22] A.K. Das, M.N. Islam, M.O. Faruk, M. Ashaduzzaman and R. Dungani, Review on tannins: Extraction processes, applications and possibilities, *South African journal of Botany*, 2020, 135, 58 – 70.
- [23] J.A. da Cruz, A.B. da Silva, B.B. Ramin, P.R. Souza, K.C. Papat, R.S. Zola, M.J. Kipper and A.F. Martins, Poly (vinyl alcohol)/cationic tannin blend films with antioxidant and antimicrobial activities, *Materials Science & Engineering C, Materials for biological applications*, 2020, 107, 110357.
- [24] N. Samsalee and R. Sothornvit, Characterization of food application and quality of porcine plasma protein-based films incorporated with chitosan or encapsulated turmeric oil, *Food and Bioprocess Technology*, 2020, 13, 488 – 500.



- [25] TACFS 7001 – 2004, Thai Agricultural Commodity and Food Standard (TACFS), Tilapia, National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards (ACFS), 2004. (in Thai)
- [26] A. Pandey and P.S. Negi, Phytochemical composition, in vitro antioxidant activity and antibacterial mechanisms of *Neolamarckia cadamba* fruits extracts, *Natural Product Research*, 2018, 32, 1189 – 1192.
- [27] K.-T. Chung, Z. Lu and M.W. Chou, Mechanism of inhibition of tannic acid and related compounds on the growth of intestinal bacteria, *Food and Chemical Toxicology*, 1998, 36, 1053 – 1060.
- [28] B. Kaczmarek, Tannic acid with antiviral and antibacterial activity as a promising component of biomaterials – A minireview, *Materials*, 2020, 13, 3224.