ฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมตรวจสอบคุณภาพอาหาร

ญานิสา ดีใจงาม, ภูริพัตร์ มะโดด, ธนัญชนก อรุณมาศ, และ รัชนี โสดถานา*

โรงเรียนพิจิตรพิทยาคม ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดพิจิตร

**Corresponding author: ruch.chee.ppk@gmail.com*

บทคัดย่อ

ปัจจุบันปัญหาขยะพลาสติกจากบรรจุภัณฑ์อาหารส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างต่อเนื่อง จึงต้องพัฒนาบรรจุภัณฑ์ทางเลือกที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพและสามารถตรวจสอบคุณภาพอาหารได้ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อสกัดเพคตินสำหรับทำฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมตรวจสอบคุณภาพอาหาร และค้นหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการสกัด 2) เพื่อสร้างฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมตรวจสอบคุณภาพอาหารด้วยเพคตินที่สกัดออกมา และค้นหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการขึ้นรูปฟิล์ม 3) เพื่อทดสอบคุณสมบัติของฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมตรวจสอบคุณภาพอาหาร และเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับฟิล์มพลาสติก สำหรับใช้พัฒนาฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ให้สามารถทำหน้าที่เป็นบรรจุภัณฑ์อัจฉริยะสำหรับตรวจสอบความสดของอาหารแบบเรียลไทม์

ผลการศึกษาพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพคตินคือการใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.1 mol/dm³ 100 cm³ และสารละลายเอทานอล 150 cm³ สำหรับสกัดเพคติน ฟิล์มชีวภาพที่เตรียมโดยใช้น้ำผึ้งเป็นตัวประสานในปริมาณ 3 g มีสมบัติเชิงกลดีและสามารถขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มได้อย่างมีเสถียรภาพ การเติมสารสกัดจากดอกอัญชัน ดอกต้อยติ่ง ดอกแพงพวย กะหล่ำปลีม่วง และสารจากธรรมชาติผสม ทำให้ฟิล์มเกิดการเปลี่ยนสีตามการเสื่อมคุณภาพของอาหาร ส่งผลให้สามารถตรวจสอบความสดของอาหารได้โดยไม่ต้องเปิดภาชนะบรรจุ ฟิล์มชีวภาพที่พัฒนาขึ้นมีความแข็งแรงใกล้เคียงกับฟิล์มพลาสติกทั่วไป แต่มีข้อได้เปรียบด้านการย่อยสลายได้ ลดการใช้พลาสติกสังเคราะห์ และเพิ่มมูลค่าให้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ดังนั้น ฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมจึงมีศักยภาพในการประยุกต์ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์อาหารอัจฉริยะที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

คำสำคัญ: ฟิล์มชีวภาพ / เปลือกแตงโม / เพคติน / สารจากธรรมชาติ / ตรวจสอบคุณภาพอาหารแบบเรียลไทม์

Biofilm from watermelon rind for monitoring food quality

Yanisa Deejaingam, Phuriphat Madod, Thananchanok Aroonmas, and Ratchanee Sodtana*

Phichitphitthayakhom School, Mueang District, Phichit Province, 66000, Thailand

**Corresponding author: ruch.chee.ppk@gmail.com*

Abstract

This article presents that plastic waste from food packaging has continuously impacted the environment, creating an urgent need to develop alternative biodegradable packaging capable of monitoring food quality. This research aimed to: (1) extract pectin from watermelon rind for producing a biofilm used in food quality monitoring and determine the optimal extraction conditions; (2) fabricate biofilms from watermelon rind using the extracted pectin and identify suitable film-forming conditions; and (3) evaluate the properties of the developed biofilm and compare its performance with conventional plastic films. The study focuses on utilizing watermelon rind, an agricultural waste material, to develop an intelligent packaging film capable of real-time food freshness monitoring.

The results indicated that the optimal pectin extraction condition involved using 100 cm^3 of 0.1 mol/dm^3 hydrochloric acid solution and 150 cm^3 of ethanol solution. Biofilms prepared with 3 g of honey as a binding agent exhibited good mechanical properties and stable film formation. The incorporation of natural extracts from *Clitoria ternatea*, *Ruellia tuberosa*, *Catharanthus roseus*, *Brassica oleracea* var. *capitata* f. *rubra*, and natural substance mixes of pigments enabled the biofilm to change color according to food spoilage conditions, allowing food freshness to be monitored without opening the packaging. The developed biofilm demonstrated mechanical strength comparable to conventional plastic films while offering advantages in biodegradability, reduction of synthetic plastic usage, and value addition to agricultural waste materials. Therefore, watermelon rind biofilm shows strong potential for application as an environmentally friendly intelligent food packaging system.

Keywords: Biofilm / Watermelon Rind / Pectin / Natural Substances / Real-Time Food Quality Monitoring

1. บทนำ

ปัจจุบันปัญหาขยะพลาสติกจากบรรจุภัณฑ์อาหารส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้อุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ มุ่งพัฒนาวัสดุทางเลือกที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม บรรจุภัณฑ์อัจฉริยะ (intelligent packaging) ได้รับความสนใจเพิ่มขึ้น เนื่องจากสามารถตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงคุณภาพอาหาร เช่น ค่า pH หรือสารระเหยที่เกิดขึ้นระหว่างการเสื่อมสภาพของอาหาร ช่วยเพิ่มความปลอดภัยของผู้บริโภคและลดการสูญเสียอาหาร [1], [2]

งานวิจัยที่ผ่านมาได้รายงานการพัฒนาฟิล์มชีวภาพจากวัสดุธรรมชาติและของเหลือทิ้งทางการเกษตรหลายชนิด เช่น แป้ง เซลลูโลส เพคติน และไคโตซาน ซึ่งสามารถนำมาผลิตเป็นฟิล์มย่อยสลายได้สำหรับบรรจุภัณฑ์อาหาร นอกจากนี้ การเติมสารสีธรรมชาติกลุ่มแอนโทไซยานินจากพืช เช่น กะหล่ำปลีม่วง ดอกอัญชัน และผลไม้ต่าง ๆ สามารถทำให้ฟิล์มแสดงการเปลี่ยนสีตามค่าความเป็นกรด–ด่างของอาหาร จึงถูกนำมาใช้เป็นตัวบ่งชี้ความสดของอาหาร งานศึกษาหลายผลงานแสดงให้เห็นว่าฟิล์มชีวภาพที่เติมแอนโทไซยานิน สามารถตรวจสอบคุณภาพอาหารทะเลและเนื้อสัตว์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ [3]-[5]

อย่างไรก็ตาม การนำเปลือกแตงโมซึ่งเป็นของเหลือทิ้งทางการเกษตรปริมาณมากมาใช้เป็นวัสดุตั้งต้นในการผลิตฟิล์มชีวภาพเพื่อการตรวจสอบคุณภาพอาหารยังมีการศึกษาจำกัด โดยเฉพาะการใช้ร่วมกับสารสกัดจากพืชหลายชนิด ได้แก่ ดอกอัญชัน ดอกต้อยติ่ง ดอกแพงพวย และกะหล่ำปลีม่วง เป็นต้น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการตอบสนองต่อการเสื่อมคุณภาพของอาหาร ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งพัฒนา “ฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมตรวจสอบคุณภาพอาหาร” เพื่อสร้างบรรจุภัณฑ์อัจฉริยะที่สามารถตรวจสอบความสดของอาหารแบบเรียลไทม์ ลดของเสียทางการเกษตร และสนับสนุนการพัฒนาบรรจุภัณฑ์อาหารอย่างยั่งยืน

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อสกัดเพคตินสำหรับทำฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมตรวจสอบคุณภาพอาหาร และค้นหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการสกัด
2. เพื่อสร้างฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมตรวจสอบคุณภาพอาหารด้วยเพคตินที่สกัดออกมา และค้นหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการขึ้นรูปฟิล์ม
3. เพื่อทดสอบคุณสมบัติของฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมตรวจสอบคุณภาพอาหาร และเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับฟิล์มพลาสติก

3. ขอบเขตของการศึกษา

งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาภายใต้ขอบเขตดังต่อไปนี้

1.ชนิดกรดที่ใช้ศึกษาในครั้งนี้ ได้แก่ กรดไฮโดรคลอริก และกรดแอซิติก

2.ชนิดตัวประสาน ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ได้แก่ กลีเซอรอล น้ำผึ้ง และซอร์บิทอล

3.ชนิดสารจากธรรมชาติ ที่ใช้ศึกษาในครั้งนี้ ได้แก่ ดอกอัญชัน ดอกต้อยติ่ง ดอกแพงพวย และกะหล่ำปลีม่วง

4. วิธีการศึกษา

4.1 รวบรวมข้อมูล

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) โดยแบ่งการดำเนินการทดลองออกเป็น 8 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 เพื่อศึกษาชนิดกรดที่เหมาะสมในการสกัดเพคตินสำหรับทำฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมตรวจสอบคุณภาพอาหาร

1) ชั่งเปลือกแตงโมสีขาวที่ปั่นละเอียดแล้ว 200 g ต้มกับสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.05 mol/dm^3 50 cm^3 และ น้ำกลั่น 200 cm^3 เป็นเวลา 10 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นแล้วกรองเอาเฉพาะของเหลวใส่ขวดแก้ว แล้วเติมสารละลายเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 95 โดยปริมาตร 100 cm^3 ตั้งทิ้งไว้ 48 ชั่วโมง กรองเพคตินด้วยผ้าขาวบาง แล้วชั่งน้ำหนักเพคตินที่ได้ พร้อมตรวจสอบคุณภาพเพคตินด้วยการตรวจสอบค่าดูดกลืนแสงด้วยอุปกรณ์สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ สังเกตและบันทึกผล
2) ทำซ้ำข้อ 1 แต่เปลี่ยนชนิดกรดเป็นกรดแอซิติก

ตอนที่ 2 เพื่อศึกษาความเข้มข้นสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ที่เหมาะสมในการสกัดเพคตินสำหรับทำฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมตรวจสอบคุณภาพอาหาร

1) ชั่งเปลือกแตงโมสีขาวที่ปั่นละเอียดแล้ว 200 g ต้มกับสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.05 mol/dm^3 50 cm^3 และ น้ำกลั่น 200 cm^3 เป็นเวลา 10 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นแล้วกรองเอาเฉพาะของเหลวใส่ขวดแก้ว แล้วเติมสารละลายเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 95 โดยปริมาตร 100 cm^3 ตั้งทิ้งไว้ 48 ชั่วโมง กรองเพคตินด้วยผ้าขาวบาง แล้วชั่งน้ำหนักเพคตินที่ได้ พร้อมตรวจสอบคุณภาพเพคตินด้วยการตรวจสอบค่าดูดกลืนแสงด้วยอุปกรณ์สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ สังเกตและบันทึกผล
2) ทำซ้ำข้อ 1 แต่เปลี่ยนความเข้มข้นสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเป็น 0.1 และ 0.2 mol/dm^3 ตามลำดับ

ตอนที่ 3 เพื่อศึกษาปริมาณสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่เหมาะสมในการสกัดเพคตินสำหรับทำฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมตรวจสอบคุณภาพอาหาร

1) ชั่งเปลือกแตงโมสีขาวที่ปั่นละเอียดแล้ว 200 g ต้มกับสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1 mol/dm^3 50 cm^3 และน้ำกลั่น 200 cm^3 เป็นเวลา 10 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นแล้วกรองเอาเฉพาะของเหลวใส่ขวดแก้ว แล้วเติมสารละลายเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 95 โดยปริมาตร 100 cm^3 ตั้งทิ้งไว้ 48 ชั่วโมง กรองเพคตินด้วยผ้าขาวบาง แล้วชั่งน้ำหนักเพคตินที่ได้ พร้อมตรวจสอบคุณภาพเพคตินด้วยการตรวจสอบค่าดูดกลืนแสงด้วยอุปกรณ์สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ สังเกตและบันทึกผล
2) ทำซ้ำข้อ 1 แต่เปลี่ยนปริมาณสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเป็น 75, 100, และ 125 cm^3 ตามลำดับ

ตอนที่ 4 เพื่อศึกษาปริมาณสารละลายเอทานอลที่เหมาะสมในการสกัดเพคตินสำหรับทำฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมตรวจสอบคุณภาพอาหาร

1) ชั่งเปลือกแตงโมสีขาวที่ปั่นละเอียดแล้ว 200 g ต้มกับสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1 mol/dm^3 100 cm^3 และน้ำกลั่น 200 cm^3 เป็นเวลา 10 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นแล้วกรองเอาเฉพาะของเหลวใส่ขวดแก้ว แล้วเติมสารละลายเอทานอลเข้มข้น ร้อยละ 95 โดยปริมาตร 100 cm^3 ตั้งทิ้งไว้ 48 ชั่วโมง กรองเพคตินด้วยผ้าขาวบาง

แล้วชั่งน้ำหนักเพคตินที่ได้ พร้อมตรวจสอบคุณภาพเพคตินด้วยการตรวจสอบค่าดูดกลืนแสงด้วยอุปกรณ์สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ สังเกตและบันทึกผล

2) ทำซ้ำข้อ 1 แต่เปลี่ยนปริมาณสารละลายเอทานอลเป็น 125, 150, และ 175 cm^3 ตามลำดับ

ตอนที่ 5 เพื่อศึกษาชนิดตัวประสานที่เหมาะสมในการทำฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมตรวจสอบคุณภาพอาหาร

1) ชั่งเปลือกแตงโมสีขาวที่ปั่นละเอียดแล้ว 200 g ต้มกับสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1 mol/dm^3 100 cm^3 และน้ำกลั่น 200 cm^3 เป็นเวลา 10 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นแล้วกรองเอาเฉพาะของเหลวใส่ขวดแก้ว แล้วเติมสารละลายเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 95 โดยปริมาตร 150 cm^3 ตั้งทิ้งไว้ 48 ชั่วโมง กรองเพคตินด้วยผ้าขาวบาง แล้วชั่งน้ำหนักเพคตินที่ได้
2) ชั่งเพคติน 3 g แล้วเติมน้ำกลั่น 20 cm^3 นำไปต้มเป็นเวลา 5 นาที แล้วเติมกลีเซอรอล 3 g คนให้เข้ากัน แล้วเทใส่ภาชนะที่เตรียมไว้ ตรวจสอบคุณภาพฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมตรวจสอบคุณภาพอาหาร
3) ทำซ้ำข้อ 1-2 แต่เปลี่ยนชนิดตัวประสานจากกลีเซอรอลเป็น น้ำผึ้ง และซอร์บิทอล ตามลำดับ

ตอนที่ 6 เพื่อศึกษาปริมาณน้ำผึ้งที่เหมาะสมในการทำฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมตรวจสอบคุณภาพอาหาร

1) ชั่งเปลือกแตงโมสีขาวที่ปั่นละเอียดแล้ว 200 g ต้มกับสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1 mol/dm^3 100 cm^3 และ น้ำกลั่น 200 cm^3 เป็นเวลา 10 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นแล้วกรองเอาเฉพาะของเหลวใส่ขวดแก้ว แล้วเติมสารละลายเอทานอลเข้มข้น ร้อยละ 95 โดยปริมาตร 150 cm^3 ตั้งทิ้งไว้ 48 ชั่วโมง กรองเพคตินด้วยผ้าขาวบาง แล้วชั่งน้ำหนักเพคตินที่ได้
2) ชั่งเพคติน 3 g แล้วเติมน้ำกลั่น 20 cm^3 นำไปต้มเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นเติมน้ำผึ้ง 2 g คนให้เข้ากัน แล้วเทใส่ภาชนะ
3) ทำซ้ำข้อ 1-2 แต่เปลี่ยนปริมาณน้ำผึ้งเป็น 3 และ 4 g ตามลำดับ

ตอนที่ 7 เพื่อศึกษาชนิดสารจากธรรมชาติที่เหมาะสมในการทำฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมตรวจสอบคุณภาพอาหาร

1) ชั่งเปลือกแตงโมสีขาวที่ปั่นละเอียดแล้ว 200 g ต้มกับสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1 mol/dm^3 100 cm^3 และ น้ำกลั่น 200 cm^3 เป็นเวลา 10 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นแล้วกรองเอาเฉพาะของเหลวใส่ขวดแก้ว แล้วเติมสารละลายเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 95 โดยปริมาตร 150 cm^3 ตั้งทิ้งไว้ 48 ชั่วโมง กรองเพคตินด้วยผ้าขาวบาง
2) ชั่งดอกอัญชัน 20 g แล้วบดให้ละเอียด จากนั้นเติมน้ำ 20 cm^3 คนเป็นเวลา 10 นาที แล้วกรองเอาเฉพาะของเหลว
3) ชั่งเพคติน 3 g แล้วเติมน้ำกลั่น 20 cm^3 นำไปต้มเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นเติมน้ำผึ้ง 3 g ลงในของเหลวจากข้อ 2 คนให้เข้ากัน แล้วเทใส่ภาชนะที่เตรียมไว้ นำฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมตรวจสอบคุณภาพอาหารดอกอัญชัน ไปทดสอบประสิทธิภาพ
4) ทำซ้ำข้อ 1-3 แต่เปลี่ยนเป็น ดอกต้อยติ่ง ดอกแพงพวย กะหล่ำปลีม่วง และสารจากธรรมชาติผสมระหว่างดอกอัญชัน ดอกต้อยติ่ง ดอกแพงพวย กะหล่ำปลีม่วง ตามลำดับ

ขั้นตอนการสกัดเพคตินจากเปลือกแตงโมและการทำฟิล์มชีวภาพเพื่อใช้ตรวจสอบคุณภาพอาหาร ดำเนินการตามลำดับขั้นตอนดังแสดงใน รูปที่ 1 โดยรูปที่ 1 (ก) แสดงขั้นตอนการสกัดเพคตินจากเปลือกแตงโม และรูปที่ 1 (ข) แสดงขั้นตอนการทำฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมตรวจสอบคุณภาพอาหาร

(ก) ขั้นตอนการสกัดเพคตินจากเปลือกแตงโม

(ข) ขั้นตอนการทำฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมตรวจสอบคุณภาพอาหาร

รูปที่ 1 แสดง (ก) ขั้นตอนการสกัดเพคตินจากเปลือกแตงโม และ (ข) ขั้นตอนการทำฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมตรวจสอบคุณภาพอาหาร

ตอนที่ 8 เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพฟิล์มบรรจุภัณฑ์อาหาร ระหว่างการใช้ฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมตรวจสอบคุณภาพอาหาร กับฟิล์มพลาสติก

- นำฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมตรวจสอบคุณภาพอาหาร และฟิล์มพลาสติกไปตรวจสอบประสิทธิภาพโดยห่อหุ้มเนื้อสัตว์ เป็นเวลา 5 วัน สังเกตและบันทึกผล

4.2 สถิติที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่

ค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation; S.D.)

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

จากการศึกษา เรื่องฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมตรวจสอบคุณภาพอาหาร โดยมีรายละเอียดผลการศึกษาดังนี้

5.1 ผลการศึกษารูปแบบผลงานวิชาการ

การศึกษานี้ได้ทำการสกัดเพคตินจากเปลือกแตงโม โดยใช้กรดชนิดต่างกัน เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการสกัดและคุณสมบัติที่เหมาะสมสำหรับการนำไปผลิตฟิล์มชีวภาพ โดยผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปริมาณเพคตินที่สกัดได้และค่าดูดกลืนแสง เมื่อใช้ชนิดกรดต่างกันในการสกัดเพคตินสำหรับทำฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมตรวจสอบคุณภาพอาหาร

ชนิดกรด	ปริมาณเพคตินที่สกัดได้ (g)					ค่าการดูดกลืนแสง (A)				
	1	2	3	$\bar{x}$	S.D.	1	2	3	$\bar{x}$	S.D.
สารละลายกรดไฮโดรคลอริก	2.56	2.53	2.42	2.50	0.074	0.033	0.029	0.028	0.030	0.003
สารละลายกรดแอซิติก	0.81	0.88	1.02	0.90	0.107	0.019	0.025	0.027	0.024	0.004

จากตารางที่ 1 พบว่า การใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริกให้ปริมาณเพคตินที่สกัดได้เฉลี่ยเท่ากับ 2.50 g ซึ่งสูงกว่าการใช้สารละลายกรด แอซิติกที่ให้ค่าเฉลี่ย 0.90 g อย่างชัดเจน แสดงให้เห็นว่ากรดไฮโดรคลอริกมีประสิทธิภาพในการสกัดเพคตินจากเปลือกแตงโมได้ดีกว่า นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาค่าการดูดกลืนแสง พบว่าสารละลายกรดไฮโดรคลอริกมีค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ย

0.030 สูงกว่าสารละลายกรดแอซิติกซึ่งมีค่าเฉลี่ย 0.024 ซึ่งอาจสะท้อนถึงความเข้มข้นของเพคตินที่สกัดได้และความบริสุทธิ์ของสารสกัดที่แตกต่างกัน ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ของทั้งสองวิธีมีค่าต่ำ แสดงให้เห็นว่าผลการทดลองมีความสม่ำเสมอและเชื่อถือได้ ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าการใช้กรดไฮโดรคลอริกเหมาะสมต่อการนำไปใช้ในการเตรียมเพคตินสำหรับผลิตฟิล์มชีวภาพตรวจสอบคุณภาพอาหาร

ผลการศึกษาปริมาณเพคตินที่สกัดได้และค่าการดูดกลืนแสง เมื่อใช้ความเข้มข้นของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกแตกต่างกัน แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ปริมาณเพคตินที่สกัดได้และค่าดูดกลืนแสง เมื่อใช้ความเข้มข้นสารละลายกรดไฮโดรคลอริกต่างกันในการสกัดเพคตินสำหรับทำฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมตรวจสอบคุณภาพอาหาร

ความเข้มข้นสารละลายกรด HCl (mol/dm³)	ปริมาณเพคตินที่สกัดได้ (g)					ค่าการดูดกลืนแสง (A)				
	1	2	3	$\bar{x}$	S.D.	1	2	3	$\bar{x}$	S.D.
0.05	2.56	2.53	2.42	2.50	0.074	0.033	0.029	0.028	0.030	0.003
0.10	2.93	2.88	2.89	2.90	0.026	0.261	0.256	0.258	0.258	0.003
0.20	3.12	3.07	3.11	3.10	0.026	0.268	0.262	0.264	0.265	0.003

จากตารางที่ 2 พบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายกรด HCl จาก 0.05 เป็น 0.20 mol/dm³ ปริมาณเพคตินที่สกัดได้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยความเข้มข้น 0.05 mol/dm³ ให้ปริมาณเพคตินเฉลี่ย 2.50 g ขณะที่ความเข้มข้น 0.10 และ 0.20 mol/dm³ ให้ค่าเฉลี่ย 2.90 และ 3.10 g ตามลำดับ ในส่วนของค่าการดูดกลืนแสงพบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของกรด โดยมีค่าเฉลี่ย 0.030, 0.258 และ 0.265 ตามลำดับ ซึ่งสะท้อนถึงปริมาณเพคตินที่สกัดได้เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม แม้ความเข้มข้น 0.20 mol/dm³ จะให้ปริมาณเพคตินสูงกว่าเล็กน้อย แต่ความเข้มข้นที่ สูงเกินไปอาจส่งผลต่อการเสื่อมสภาพของโครงสร้างเพคตินและคุณสมบัติของฟิล์มชีวภาพได้ เมื่อพิจารณาร่วมกับค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ที่ต่ำและความเหมาะสมในการใช้งานจริง จึงสรุปได้ว่าความเข้มข้นสารละลายกรด HCl ที่ 0.10 mol/dm³ เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการสกัดเพคตินเพื่อผลิตฟิล์มชีวภาพตรวจสอบคุณภาพอาหาร

ผลการศึกษาปริมาณเพคตินที่สกัดได้และค่าการดูดกลืนแสง เมื่อใช้ปริมาณสารละลายกรดไฮโดรคลอริกแตกต่างกันในการสกัดเพคตินจากเปลือกแตงโม แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ปริมาณเพคตินที่สกัดได้และค่าดูดกลืนแสง เมื่อใช้ปริมาณสารละลายกรดไฮโดรคลอริกต่างกัน ในการสกัดเพคตินสำหรับทำฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมตรวจสอบคุณภาพอาหาร

ปริมาณสารละลายกรด HCl (cm³)	ปริมาณเพคตินที่สกัดได้ (g)					ค่าการดูดกลืนแสง (A)				
	1	2	3	$\bar{x}$	S.D.	1	2	3	$\bar{x}$	S.D.
50	2.93	2.88	2.89	2.90	0.026	0.261	0.256	0.258	0.258	0.003
75	2.97	3.01	3.02	3.00	0.026	0.261	0.262	0.261	0.261	0.001
100	4.92	4.88	4.91	4.90	0.021	0.270	0.268	0.269	0.269	0.001
125	5.03	4.95	5.02	5.00	0.044	0.281	0.274	0.279	0.278	0.004

จากตารางที่ 3 พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณสารละลายกรด HCl จาก 50 เป็น 125 cm^3 ปริมาณเพคตินที่สกัดได้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยปริมาณสารละลายกรด 50 และ 75 cm^3 ให้ปริมาณเพคตินเฉลี่ย 2.90 และ 3.00 g ตามลำดับ ขณะที่ปริมาณ 100 และ 125 cm^3 ให้ค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเป็น 4.90 และ 5.00 g ตามลำดับ นอกจากนี้ค่าการดูดกลืนแสงเพิ่มขึ้นจาก 0.258 เป็น 0.278 แสดงถึงความเข้มข้นของเพคตินในสารสกัดที่สูงขึ้น ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) อยู่ในระดับต่ำ แสดงถึงความสม่ำเสมอของผลการทดลอง อย่างไรก็ตาม แม้ปริมาณกรดที่ 125 cm^3 จะให้ปริมาณเพคตินสูงกว่าเล็กน้อย แต่การใช้ปริมาณกรดมากเกินไปอาจทำให้สิ้นเปลืองสารเคมีโดยไม่เพิ่มประสิทธิภาพของระบบสกัด เมื่อพิจารณาความเหมาะสมด้านประสิทธิภาพและการใช้ทรัพยากร จึงสรุปได้ว่าปริมาณสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ 100 cm^3 เป็นสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการสกัดเพคตินเพื่อนำไปผลิตฟิล์มชีวภาพตรวจสอบคุณภาพอาหาร

ผลการศึกษาปริมาณเพคตินที่สกัดได้และค่าการดูดกลืนแสง เมื่อใช้ปริมาณสารละลายเอทานอลแตกต่างกันในการสกัดเพคตินจากเปลือกแตงโม แสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ปริมาณเพคตินที่สกัดได้และค่าดูดกลืนแสง เมื่อใช้ปริมาณสารละลายเอทานอลต่างกันในการสกัดเพคตินสำหรับทำฟิล์มชีวภาพ จากเปลือกแตงโมตรวจสอบคุณภาพอาหาร

ปริมาณสารละลายเอทานอล (cm^3)	ปริมาณเพคตินที่สกัดได้ (g)					ค่าการดูดกลืนแสง (A)				
	1	2	3	$\bar{x}$	S.D.	1	2	3	$\bar{x}$	S.D.
100	4.92	4.88	4.91	4.90	0.021	0.270	0.268	0.269	0.269	0.001
125	5.46	5.53	5.51	5.50	0.036	0.260	0.264	0.261	0.262	0.002
150	6.58	6.61	6.61	6.60	0.017	0.272	0.276	0.276	0.275	0.002
175	6.86	6.91	6.93	6.90	0.036	0.276	0.277	0.280	0.278	0.002

จากตารางที่ 4 พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณสารละลายเอทานอลจาก 100 เป็น 175 cm^3 ปริมาณเพคตินที่สกัดได้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยปริมาณเอทานอล 100 และ 125 cm^3 ให้ปริมาณเพคตินเฉลี่ย 4.90 และ 5.50 g ตามลำดับ ขณะที่ปริมาณ 150 และ 175 cm^3 ให้ค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเป็น 6.60 และ 6.90 g ตามลำดับ ในส่วนของค่าการดูดกลืนแสงมีค่าใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 0.269-0.278 แสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นของเพคตินในสารสกัดไม่แตกต่างกันมาก เมื่อใช้เอทานอลในปริมาณสูงขึ้น ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) อยู่ในระดับต่ำ แสดงถึงความสม่ำเสมอของผลการทดลอง แม้ว่าปริมาณเอทานอลที่ 175 cm^3 จะให้ปริมาณเพคตินสูงกว่าเล็กน้อย แต่การเพิ่มปริมาณเอทานอลมากเกินไปไม่ได้เพิ่มประสิทธิภาพการสกัดที่คุ้มค่าและอาจทำให้สิ้นเปลืองตัวทำละลายโดยไม่จำเป็น เมื่อพิจารณาด้านประสิทธิภาพและความคุ้มค่าในการใช้งานจริง จึงสรุปได้ว่าปริมาณสารละลายเอทานอลที่ 150 cm^3 เป็นสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการสกัดเพคตินจากเปลือกแตงโมเพื่อนำไปผลิตฟิล์มชีวภาพตรวจสอบคุณภาพอาหาร

ผลการศึกษาความสามารถในการป้องกันการซึมผ่านของน้ำของฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโม เมื่อใช้ตัวประสานชนิดต่างกันที่อุณหภูมิน้ำแตกต่างกัน แสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 เวลาที่ฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมตรวจสอบคุณภาพอาหารสามารถป้องกันการซึมผ่านของน้ำที่อุณหภูมิต่าง ๆ เมื่อใช้ชนิดตัวประสานต่างกัน

ชนิดตัวประสาน	เวลาที่ฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมตรวจสอบคุณภาพอาหารสามารถป้องกันการซึมผ่านของน้ำที่อุณหภูมิต่าง ๆ (นาที)														
	น้ำเย็น					น้ำอุณหภูมิห้อง					น้ำร้อน				
	1	2	3	$\bar{x}$	S.D.	1	2	3	$\bar{x}$	S.D.	1	2	3	$\bar{x}$	S.D.
กลีเซอรอล	09.31	09.35	09.39	09.35	0.040	05.14	05.00	05.02	05.05	0.076	04.02	04.51	04.22	04.25	0.246
น้ำผึ้ง	10.18	10.12	10.15	10.15	0.030	08.28	08.26	08.16	08.23	0.064	06.05	06.00	06.14	06.06	0.071
ซอร์บิทอล	ไม่สามารถทำเป็นฟิล์มได้														

จากตารางที่ 5 พบว่า ชนิดของตัวประสานมีผลต่อความสามารถในการป้องกันการซึมผ่านของน้ำของฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโม โดยฟิล์มที่ใช้น้ำผึ้งเป็นตัวประสานสามารถป้องกันการซึมผ่านของน้ำได้ดีที่สุดในทุกอุณหภูมิ เมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มที่ใช้กลีเซอรอล ในน้ำเย็นฟิล์มน้ำผึ้งมีเวลาเฉลี่ย 10.15 นาที สูงกว่ากลีเซอรอลที่มีค่าเฉลี่ย 9.35 นาที และยังคงให้ค่าการป้องกันสูงกว่าในน้ำอุณหภูมิห้องและน้ำร้อน นอกจากนี้ เมื่ออุณหภูมิน้ำเพิ่มขึ้น ระยะเวลาในการป้องกันการซึมผ่านของน้ำของฟิล์มทุกสูตรมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากโครงสร้างฟิล์มเกิดการคลายตัวทำให้น้ำซึมผ่านได้ง่ายขึ้น สำหรับซอร์บิทอลไม่สามารถขึ้นรูปเป็นฟิล์มชีวภาพได้ แสดงว่าสมบัติของตัวประสานไม่เหมาะสมต่อการสร้างโครงสร้างฟิล์ม ดังนั้น น้ำผึ้ง จึงเป็นตัวประสาน ที่เหมาะสมสำหรับการพัฒนาฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมเพื่อตรวจสอบคุณภาพอาหาร

ผลการศึกษาแรงดึงที่ฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมสามารถรับได้ เมื่อใช้ตัวประสานชนิดต่างกัน แสดงดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 แรงดึงที่ฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมตรวจสอบคุณภาพอาหารสามารถรับได้เมื่อใช้ชนิดตัวประสานต่างกัน

ชนิดตัวประสาน	แรงดึงที่ฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมตรวจสอบคุณภาพอาหารสามารถรับได้ (N)				
	1	2	3	$\bar{x}$	S.D.
กลีเซอรอล	1.50	1.40	1.20	1.37	0.153
น้ำผึ้ง	1.80	1.60	1.60	1.67	0.115
ซอร์บิทอล	ไม่สามารถทำเป็นฟิล์มได้				

จากตารางที่ 6 พบว่า ชนิดของตัวประสานมีผลต่อความแข็งแรงเชิงกลของฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมอย่างชัดเจน โดยฟิล์มที่ใช้น้ำผึ้งเป็นตัวประสานสามารถรับแรงดึงได้สูงที่สุด มีค่าเฉลี่ย 1.67 นิวตัน (N) สูงกว่าฟิล์มที่ใช้กลีเซอรอลซึ่งมีค่าเฉลี่ย 1.37 นิวตัน (N) ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ของทั้งสองอยู่ในระดับต่ำ แสดงถึงความสม่ำเสมอของผลการทดลอง น้ำผึ้งอาจช่วยเสริมแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโครงสร้างพอลิเมอร์ของเพคติน ทำให้ฟิล์มมีความแข็งแรงและทนต่อแรงดึงได้ดีขึ้น ขณะที่การใช้ซอร์บิทอลไม่สามารถขึ้นรูปเป็นฟิล์มชีวภาพได้ จึงไม่สามารถทดสอบสมบัติแรงดึงได้ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าน้ำผึ้งเป็นตัวประสานที่เหมาะสมต่อการพัฒนาฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมเพื่อใช้ตรวจสอบคุณภาพอาหาร เนื่องจากช่วยเพิ่มความแข็งแรงและความทนทานของฟิล์มได้ดีกว่าตัวประสานชนิดอื่น

ผลการศึกษาความสามารถในการป้องกันการซึมผ่านของน้ำของฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโม เมื่อใช้ปริมาณน้ำผึ้งแตกต่างกัน แสดงดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 เวลาที่ฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมตรวจสอบคุณภาพอาหารสามารถป้องกันการซึมผ่านของน้ำที่อุณหภูมิต่าง ๆ เมื่อใช้ปริมาณน้ำผึ้งต่างกัน

ปริมาณน้ำผึ้ง (g)	เวลาที่ฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมตรวจสอบคุณภาพอาหารสามารถป้องกันการซึมผ่านของน้ำที่อุณหภูมิต่าง ๆ (นาที)														
	น้ำเย็น					น้ำอุณหภูมิห้อง					น้ำร้อน				
	1	2	3	$\bar{x}$	S.D.	1	2	3	$\bar{x}$	S.D.	1	2	3	$\bar{x}$	S.D.
2	09.36	09.39	09.27	09.34	0.062	07.22	07.49	07.56	07.42	0.180	04.58	04.59	04.42	04.53	0.095
3	10.18	10.12	10.15	10.15	0.030	08.28	08.26	08.16	08.23	0.064	06.05	06.00	06.14	06.06	0.071
4	09.17	09.56	09.32	09.35	0.197	05.32	05.24	04.59	05.05	0.400	04.04	04.45	04.27	04.25	0.206

จากตารางที่ 7 พบว่า ปริมาณน้ำผึ้งมีผลต่อความสามารถในการป้องกันการซึมผ่านของน้ำของฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมอย่างชัดเจน โดยฟิล์มที่ใช้น้ำผึ้งปริมาณ 3 g ให้ประสิทธิภาพในการต้านทานการซึมผ่านของน้ำดีที่สุดในทุกสภาวะอุณหภูมิ ในน้ำเย็นมีค่าเฉลี่ย 10.15 นาที สูงกว่าปริมาณ 2 และ 4 g ซึ่งมีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกันที่ประมาณ 9.34-9.35 นาที ขณะที่น้ำอุณหภูมิห้องและน้ำร้อน ฟิล์มสูตรน้ำผึ้ง 3 g ยังคงให้ค่าการป้องกันการซึมผ่านของน้ำสูงสุดที่ 8.23 และ 6.06 นาที ตามลำดับ เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำผึ้งเป็น 4 g พบว่าประสิทธิภาพลดลง อาจเนื่องจากปริมาณพลาสติไซเซอร์ (Plasticizer) ที่มากเกินไปทำให้โครงสร้างฟิล์มมีความยืดหยุ่นสูงและเกิดช่องว่างในโครงข่ายพอลิเมอร์ ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) อยู่ในระดับต่ำ แสดงถึงความสม่ำเสมอของผลการทดลอง ดังนั้น ปริมาณน้ำผึ้ง 3 g จึงเหมาะสมต่อการพัฒนาฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมเพื่อใช้ตรวจสอบคุณภาพอาหาร

ผลการศึกษาแรงดึงที่ฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมสามารถรับได้ เมื่อใช้ปริมาณน้ำผึ้งแตกต่างกัน แสดงดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 แรงดึงที่ฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมตรวจสอบคุณภาพอาหารสามารถรับได้เมื่อใช้ปริมาณน้ำผึ้งต่างกัน

ปริมาณน้ำผึ้ง (g)	แรงดึงที่ฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมตรวจสอบคุณภาพอาหารสามารถรับได้ (N)				
	1	2	3	$\bar{x}$	S.D.
2	0.70	0.60	0.40	0.57	0.153
3	1.80	1.60	1.60	1.67	0.115
4	1.10	1.20	1.00	1.10	0.100

จากตารางที่ 8 พบว่า ปริมาณน้ำผึ้งมีผลต่อความแข็งแรงเชิงกลของฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมอย่างชัดเจน โดยการใช้น้ำผึ้งปริมาณ 3 g ให้ค่าแรงดึงเฉลี่ยสูงที่สุดเท่ากับ 1.67 นิวตัน แสดงถึงความแข็งแรงของฟิล์มที่เหมาะสมที่สุด ขณะที่การใช้น้ำผึ้ง 2 g ให้ค่าแรงดึงต่ำสุด เนื่องจากปริมาณ พลาสติไซเซอร์ (Plasticizer) ไม่เพียงพอ ทำให้โครงสร้างฟิล์มเปราะและแตกง่าย ส่วนการเพิ่มน้ำผึ้งเป็น 4 g แม้ช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นของฟิล์ม แต่ทำให้ความแข็งแรงลดลงเนื่องจากโครงสร้างพอลิเมอร์หลวมมากขึ้น ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ของผลการทดลองมีค่าต่ำ แสดงถึงความสม่ำเสมอของข้อมูลทดลอง ดังนั้น ปริมาณน้ำผึ้ง 3 g จึงเป็นสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมที่มีความแข็งแรงเพียงพอสำหรับการตรวจสอบคุณภาพอาหาร

ผลการศึกษาความสามารถในการป้องกันการซึมผ่านของน้ำของฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโม เมื่อเติมสารธรรมชาติชนิดต่างกัน แสดงดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 เวลาที่ฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมตรวจสอบคุณภาพอาหารสามารถป้องกันการซึมผ่านของน้ำที่อุณหภูมิต่าง ๆ เมื่อใช้ชนิดสาร จากธรรมชาติต่างกัน

ชนิดสาร	เวลาที่ฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมตรวจสอบคุณภาพอาหารสามารถป้องกันการซึมผ่านของน้ำที่อุณหภูมิต่าง ๆ (นาที)														
	น้ำเย็น					น้ำอุณหภูมิห้อง					น้ำร้อน				
	1	2	3	$\bar{x}$	S.D.	1	2	3	$\bar{x}$	S.D.	1	2	3	$\bar{x}$	S.D.
ดอกอัญชัน	10.01	10.27	10.17	10.15	0.131	08.09	08.36	08.24	08.23	0.135	4.53	5.45	5.14	5.04	0.468
ดอกต้อยติ่ง	9.24	10.00	9.35	9.53	0.411	06.00	06.41	06.02	06.14	0.231	3.57	4.15	4.46	4.06	0.452
ดอกแพงพวย	8.40	8.59	8.42	8.47	0.104	07.08	07.45	07.29	07.27	0.186	5.26	5.56	5.36	5.39	0.153
กะหล่ำปลีม่วง	11.04	10.46	11.57	11.02	0.555	06.23	07.11	06.41	06.58	0.465	3.06	3.56	4.01	3.54	0.475
สารธรรมชาติผสม	12.14	12.55	12.39	12.36	0.207	07.00	07.32	07.10	07.14	0.164	6.09	5.24	5.39	5.57	0.454

จากตารางที่ 9 พบว่า การเติมสารธรรมชาติ ได้แก่ ดอกอัญชัน ดอกต้อยติ่ง ดอกแพงพวย กะหล่ำปลีม่วงและสารธรรมชาติผสม มีผลช่วยเพิ่มความสามารถในการป้องกันการซึมผ่านของน้ำของฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโม โดยฟิล์มที่เติมสารธรรมชาติแต่ละชนิดให้ค่าระยะเวลาในการป้องกันการซึมผ่านของน้ำแตกต่างกันเล็กน้อยในแต่ละสภาวะอุณหภูมิ แสดงให้เห็นว่าสารธรรมชาติสามารถเสริมสมบัติโครงสร้างของฟิล์มได้อย่าง มีประสิทธิภาพ ทั้งในน้ำเย็น น้ำอุณหภูมิห้อง และน้ำร้อน ทั้งนี้เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ระยะเวลาในการป้องกันการซึมผ่านของน้ำมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากความร้อนทำให้โครงสร้างพอลิเมอร์ของฟิล์มคลายตัว ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ แสดงถึงความสม่ำเสมอของผลการทดลอง ดังนั้น การเติมสารธรรมชาติจึงมีความเหมาะสมต่อการพัฒนาฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมสำหรับตรวจสอบคุณภาพอาหาร

ผลการศึกษาแรงดึงที่ฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมสามารถรับได้ เมื่อเติมสารธรรมชาติชนิดต่างกัน แสดงดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 แรงดึงที่ฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมตรวจสอบคุณภาพอาหารสามารถรับได้เมื่อใช้ชนิดสารจากธรรมชาติต่างกัน

ชนิดสารจากธรรมชาติ	แรงดึงที่ฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมตรวจสอบคุณภาพอาหารสามารถรับได้ (N)				
	1	2	3	$\bar{x}$	S.D.
ดอกอัญชัน	1.80	1.60	1.60	1.67	0.115
ดอกต้อยติ่ง	1.70	1.50	1.50	1.57	0.115
ดอกแพงพวย	1.70	1.60	1.40	1.57	0.153
กะหล่ำปลีม่วง	1.80	1.70	1.50	1.67	0.153
สารธรรมชาติผสม	1.80	1.60	1.50	1.63	0.153

จากตารางที่ 10 พบว่า การเติมสารธรรมชาติ ได้แก่ ดอกอัญชัน ดอกต้อยติ่ง ดอกแพงพวย กะหล่ำปลีม่วงและสารธรรมชาติผสม ส่งผลต่อความแข็งแรงเชิงกลของฟิล์ม โดยฟิล์มที่เติมสารธรรมชาติแต่ละชนิดสามารถรับแรงดึงได้ในช่วงใกล้เคียงกัน คือประมาณ 1.57–1.67 นิวตัน (N) แสดงให้เห็นว่าสารธรรมชาติทุกชนิดสามารถเสริมความแข็งแรงของโครงสร้างฟิล์มได้ แม้ว่าค่าแรงดึงเฉลี่ยจะแตกต่างกันเล็กน้อย แต่ยังอยู่ในระดับที่สามารถนำไปใช้งานได้จริง ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ของทุกสูตรมีค่าต่ำ แสดงถึงความสม่ำเสมอและความน่าเชื่อถือของผลการทดลอง ทั้งนี้สารประกอบรงควัตถุและสารฟีนอลิกในสารสกัดธรรมชาติอาจช่วยเพิ่มการยึดเหนี่ยวระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์ของเพคติน ส่งผลให้ฟิล์มมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น ดังนั้น การเติมสารธรรมชาติทุกชนิดจึงมีความเหมาะสมต่อการพัฒนาฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมสำหรับใช้ตรวจสอบคุณภาพอาหาร

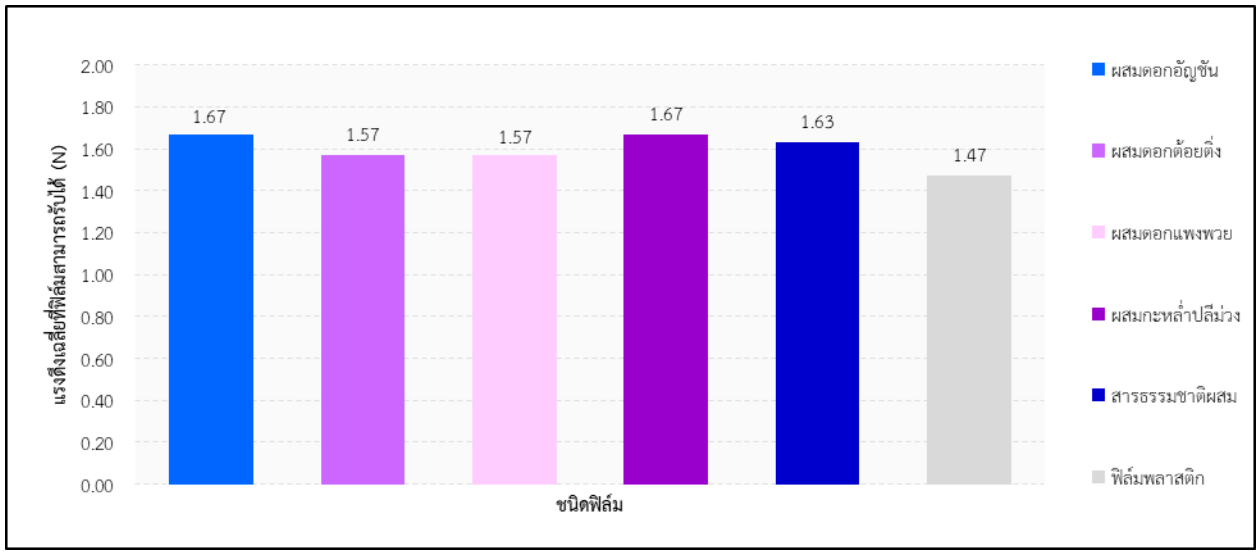
ผลการทดสอบประสิทธิภาพของฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมในการใช้เป็นบรรจุภัณฑ์อาหาร โดยเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงสีของฟิล์มในระยะเวลา 5 วัน แสดงดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ประสิทธิภาพฟิล์มในการบรรจุภัณฑ์อาหาร เมื่อใช้ชนิดฟิล์มต่างกัน

ชนิดฟิล์ม	ประสิทธิภาพฟิล์มในการบรรจุภัณฑ์อาหารเป็นเวลา 5 วัน				
	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 4	วันที่ 5
ฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมผสมดอกอัญชัน	สีน้ำเงินอ่อน	สีน้ำเงินแกมเขียว	สีน้ำเงินแกมเขียว	สีน้ำเงินแกมเขียวเข้ม	สีน้ำเงินแกมเขียวเข้ม
ฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมผสมดอกต้อยติ่ง	สีน้ำตาลแดง	สีน้ำตาลอมเหลือง	สีน้ำตาลอมเหลือง	สีน้ำตาลอมเหลือง	สีน้ำตาลอมเหลือง
ฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมผสมดอกแพงพวย	สีเหลือง	สีเหลืองอมน้ำตาล	สีเหลืองอมน้ำตาล	สีเหลืองอมน้ำตาลเข้ม	สีเหลืองอมน้ำตาลเข้ม
ฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมผสมกะหล่ำปลีม่วง	สีม่วงแดง	สีเหลือง	สีเหลือง	สีเหลืองเข้ม	สีเหลืองเข้ม
ฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมผสม	สีน้ำเงินเข้ม	สีน้ำเงินแกมเขียวเข้ม	สีน้ำเงินแกมเขียวเข้ม	สีน้ำเงินแกมเขียวเข้ม	สีน้ำเงินแกมเขียวเข้ม
ฟิล์มพลาสติก	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง

จากตารางที่ 11 พบว่า ฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมที่เติมสารธรรมชาติทุกชนิดมีการเปลี่ยนแปลงสีแตกต่างกันตามระยะเวลาการเก็บรักษาอาหารภายใน 5 วัน แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการทำหน้าที่เป็นตัวบ่งชี้คุณภาพอาหารได้อย่างชัดเจน การเปลี่ยนแปลงสีของฟิล์มเกิดจากการตอบสนองของสารรงควัตถุธรรมชาติต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด –เบสภายในบรรจุภัณฑ์ ซึ่งสัมพันธ์กับกระบวนการเสื่อมสภาพของอาหาร ฟิล์มที่เติมสารจากดอกอัญชัน ดอกต้อยติ่ง ดอกแพงพวย กะหล่ำปลีม่วง และสารธรรมชาติผสม ต่างแสดงการเปลี่ยนสีในลักษณะเฉพาะของแต่ละชนิด สะท้อนถึงศักยภาพในการใช้เป็นบรรจุภัณฑ์อัจฉริยะได้ทั้งหมด ในขณะที่ฟิล์มพลาสติกทั่วไปไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงสีตลอดระยะเวลาการทดลอง แสดงให้เห็นว่าไม่สามารถบ่งชี้คุณภาพอาหารได้ ดังนั้น ฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมที่เติมสารธรรมชาติทุกชนิดจึงมีความเหมาะสมต่อการพัฒนาเป็นบรรจุภัณฑ์ตรวจสอบคุณภาพอาหาร

ผลการเปรียบเทียบค่าแรงดึงเฉลี่ยของฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมที่ผสมสารธรรมชาติต่างชนิด เปรียบเทียบกับฟิล์มพลาสติก แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แสดงแรงดึงเฉลี่ยที่ฟิล์มชนิดต่าง ๆ สามารถรับได้

อภิปรายผล

จากการศึกษาการสกัดเพคตินเพื่อพัฒนาฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโม พบว่าชนิดและเงื่อนไขของกรดมีผลต่อประสิทธิภาพการสกัด โดยกรด HCl ให้ปริมาณเพคตินและค่าการดูดกลืนแสงสูงกว่ากรด CH_3COOH แสดงถึงประสิทธิภาพที่ดีกว่าความเข้มข้นกรดที่เหมาะสมคือ 0.1 M เนื่องจากให้ผลการสกัดสูงสุดโดยไม่เกิดการสลายตัวมากเกินไป ปริมาณกรดที่เหมาะสมคือ 100 cm^3 เพราะให้ปริมาณเพคตินสูงและเริ่มเข้าสู่จุดอิ่มตัวเมื่อเพิ่มมากกว่านี้ สำหรับเอทานอล ปริมาณ 150 cm^3 เหมาะสมที่สุด เนื่องจากให้ผลใกล้เคียงกับ 175 cm^3 แต่ประหยัดกว่า ในการขึ้นรูปฟิล์ม น้ำผึ้งเป็นตัวประสานที่ดีที่สุด โดยปริมาณ 3 กรัม ให้ความแข็งแรงและทนต่อน้ำสูงสุด การเติมสารธรรมชาติช่วยเพิ่มคุณสมบัติการใช้งานของฟิล์ม และเมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มพลาสติก พบว่าฟิล์มชีวภาพมีความแข็งแรงใกล้เคียงกัน แต่มีข้อดีเพิ่มเติมคือสามารถเปลี่ยนสีเพื่อตรวจสอบคุณภาพอาหารได้แบบเรียลไทม์ จึงมีศักยภาพในการพัฒนาเป็นบรรจุภัณฑ์อัจฉริยะในอนาคต นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มมูลค่าให้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรอย่างเปลือกแตงโม และเป็นแนวทางที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่าพลาสติกทั่วไป อีกทั้งสามารถต่อยอดพัฒนาเชิงพาณิชย์ได้ ในอนาคตหากมีการปรับปรุงความคงทนและกระบวนการผลิตให้เหมาะสมยิ่งขึ้น งานวิจัยนี้จึงแสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้วัสดุชีวภาพเพื่อทดแทนบรรจุภัณฑ์แบบดั้งเดิม และสนับสนุนแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียนอย่างยั่งยืน

5.2 ผลการศึกษาข้อมูลผลงานวิชาการในฐานข้อมูล Scopus

ผลการศึกษาผลงานวิชาการที่ตีพิมพ์และจัดทำดัชนีในฐานข้อมูล Scopus เกี่ยวกับฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมเพื่อการตรวจสอบคุณภาพอาหาร สามารถสรุปสาระสำคัญได้ดังต่อไปนี้

1) งานวิจัยของนักวิจัยไทยเกี่ยวกับฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโม

การพัฒนาฟิล์มชีวภาพจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรได้รับความสนใจอย่างต่อเนื่องในประเทศไทย โดยเฉพาะการนำเปลือกแตงโมซึ่งเป็นของเหลือจากกระบวนการแปรรูปอาหารมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตฟิล์มบรรจุภัณฑ์ชีวภาพ นักวิจัยไทยได้ศึกษาการพัฒนาฟิล์มเทอร์โมพลาสติกจากแป้งร่วมกับสารสกัดเปลือกแตงโม เพื่อเพิ่มสมบัติต้านออกซิเดชันและต้านจุลินทรีย์สำหรับการประยุกต์ใช้ด้านบรรจุภัณฑ์อาหาร ผลการศึกษาพบว่า การเติมสารสกัดเปลือกแตงโมช่วยเพิ่มความแข็งแรงเชิงกลของฟิล์ม เพิ่มความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ และสามารถลดการเจริญของจุลินทรีย์ในผักสดระหว่างการเก็บรักษาได้อย่างมีประสิทธิภาพ สะท้อนถึงศักยภาพของการเพิ่มมูลค่าวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร และสอดคล้องกับแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน [6]

2) ฟิล์มแอคทีฟจากสารสกัดเปลือกแตงโม (Active Bio-Packaging)

กรณีศึกษาการพัฒนาฟิล์มพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA)/แป้ง ผสมสารสกัดเปลือกแตงโม (Watermelon Rind Extract: WMRE) รายงานในวารสาร *Polymers* (ค.ศ. 2022) พบว่า การเติม WMRE ร้อยละ 10 (v/v) ส่งผลให้ค่าความต้านแรงดึงเพิ่มขึ้นจาก 19.44 เป็น 33.67 MPa และค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH scavenging activity) เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 29.21 เป็นร้อยละ 63.37 นอกจากนี้ ฟิล์มดังกล่าวยังแสดงฤทธิ์ยับยั้งเชื้อ *Bacillus cereus* ได้ดีที่สุดที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 เมื่อประยุกต์ใช้ในการห่อกะหล่ำปลีหั่นสด พบว่าสามารถลดปริมาณจุลินทรีย์หลังการเก็บรักษา 3 วัน ได้ดีกว่าฟิล์มควบคุมและบรรจุภัณฑ์ PET เชิงพาณิชย์ สะท้อนให้เห็นถึงศักยภาพของฟิล์มแอคทีฟจากเปลือกแตงโมในการยืดอายุการเก็บรักษา อีกทั้งเพิ่มความปลอดภัยของอาหาร และสามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ [7]

3) ฟิล์มเพคตินจากเปลือกแตงโมเสริมแรงด้วยนาโนเซลลูโลสเพื่อยืดอายุอาหารสด

งานวิจัยที่ตีพิมพ์ในวารสาร *International Journal of Biological Macromolecules* (ค.ศ. 2025) ได้พัฒนาฟิล์มจากเพคตินที่สกัดจากเปลือกแตงโมร่วมกับนาโนเซลลูโลส โดยพบว่า ฟิล์มที่เติมนาโนเซลลูโลสร้อยละ 5 มีค่าความต้านแรงดึงสูงสุดประมาณ 22.88 MPa ขณะที่สูตรที่เติมร้อยละ 10 สามารถลดการสูญเสียน้ำของดอกกะหล่ำหั่นสดจากร้อยละ 64.82 เหลือร้อยละ 46.07 ภายในระยะเวลา 7 วัน นอกจากนี้ ฟิล์มดังกล่าวสามารถย่อยสลายในดินได้หมดภายใน 24 วัน แสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการเป็นบรรจุภัณฑ์ชีวภาพที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และสามารถใช้ทดแทนพลาสติกแบบดั้งเดิมได้ [8]

4) แนวโน้มภาพรวมจากงานวิจัยในฐานข้อมูล Scopus

จากการทบทวนวรรณกรรมในฐานข้อมูล Scopus พบว่า งานวิจัยส่วนใหญ่มุ่งเน้นการใช้เพคตินและสารโพลีฟีนอลจากเปลือกแตงโมเป็นวัตถุดิบหลัก โดยสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มสำคัญ ได้แก่ ฟิล์มแอคทีฟ (Active films) ที่มีสมบัติต้านออกซิเดชันและต้านจุลินทรีย์ และฟิล์มอัจฉริยะ (Intelligent films) ที่สามารถเปลี่ยนสีตามการเปลี่ยนแปลงค่า pH หรือก๊าซที่เกิดจากการเน่าเสียของอาหาร การประยุกต์ใช้ส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่มอาหารสด นอกจากนี้ แนวโน้มงานวิจัยยังเชื่อมโยงกับแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy) และการใช้ของเหลือทางการเกษตรเพื่อเพิ่มมูลค่าและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

6. สรุปผลการศึกษา

การศึกษานี้พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพคตินจากเปลือกแตงโมเพื่อใช้ทำฟิล์มชีวภาพตรวจสอบคุณภาพอาหาร คือ การใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.1 mol/dm³ ปริมาตร 100 cm³ ร่วมกับน้ำกลั่น 200 cm³ และสารละลายเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95 ปริมาตร 150 cm³ โดยใช้เปลือกแตงโมส่วนสีขาว 200 g ซึ่งสามารถให้ปริมาณเพคตินที่เหมาะสมต่อการขึ้นรูปฟิล์มชีวภาพ สำหรับการเตรียมฟิล์มพบว่าน้ำผึ้งเป็นตัวประสานที่เหมาะสมที่สุด โดยใช้ในปริมาณ 3 g และมีอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างเพคติน : น้ำผึ้ง : สารสกัดจากธรรมชาติ เท่ากับ 3 : 3 : 20 นอกจากนี้ การเติมสารสกัดจากพืช

ธรรมชาติ ได้แก่ ดอกอัญชัน ดอกต้อยติ่ง ดอกแพงพวย กะหล่ำปลีม่วงและสารธรรมชาติผสม สามารถทำให้ฟิล์มชีวภาพมีสมบัติเปลี่ยนสีเพื่อตรวจสอบคุณภาพอาหารได้อย่างมีประสิทธิภาพ ฟิล์มชีวภาพที่พัฒนาขึ้นมีความแข็งแรงใกล้เคียงกับฟิล์มพลาสติกทั่วไป แต่มีข้อได้เปรียบคือสามารถทำหน้าที่เป็นตัวบ่งชี้ความสดของอาหารแบบเรียลไทม์โดยไม่ต้องเปิดภาชนะบรรจุ

สำหรับการศึกษาต่อไป ควรมีการทดสอบประสิทธิภาพของฟิล์มชีวภาพกับอาหารหลากหลายประเภทภายใต้สภาวะการเก็บรักษาที่แตกต่างกัน รวมถึงการศึกษาความคงตัวของสีและอายุการใช้งานของฟิล์มในระยะยาว นอกจากนี้ การพัฒนากระบวนการผลิตในระดับกึ่งอุตสาหกรรม และการปรับปรุงสมบัติการกันความชื้น จะช่วยผลักดันให้ฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมสามารถนำไปใช้จริงในอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์อาหารอย่างยั่งยืนในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

[1] Ahmed, I., Lin, H., Zou, L., Li, Z., Brody, A. L., & Qazi, I. M. (2018). A comprehensive review on intelligent packaging for food applications. *Trends in Food Science & Technology*, 72, 91–103. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.12.016

[2] Kuswandi, B. (2020). Intelligent food packaging: Sensors for monitoring of food quality and safety. *Sensing and Bio-Sensing Research*, 28, 100342. https://doi.org/10.1016/j.sbsr.2020.100342

[3] Ma, P., Wang, Y., & Fan, K. (2026). Intelligent packaging films based on anthocyanins: Structural properties and food freshness monitoring. *Food Chemistry X*, 34, 103634

[4] Yang, M., et al. (2025). Recent advances in anthocyanin-based intelligent active food packaging: A review. *Food Chemistry*, 492, 145309

[5] Zheng, D., Cao, S., Li, D., Wu, Y., Duan, P., Liu, S., Li, X., & Chen, Y. (2024). Chitosan/anthocyanin intelligent packaging film for shrimp freshness monitoring. *International Journal of Biological Macromolecules*, 264, 130692

[6] โตธนะเกษม, ท., ใจประเสริฐ, ช., สร้อยสุวรรณ, ธ., สุขเสริมสกุล, ศ., สุวพานิช, ร., กิจสวัสดิ์ มาลีนนท์, ก., คุ้มพงศ์, ป., และ ยัง, บี. เอ็ม. (2565). Active thermoplastic starch films incorporated with watermelon rind extract for biodegradable food packaging applications [ฟิล์มเทอร์โมพลาสติกจากแป้งผสมสารสกัดเปลือกแตงโมเพื่อการประยุกต์ใช้ด้านบรรจุภัณฑ์อาหารย่อยสลายได้]. *Polymers, 14*(16), 3310. https://doi.org/10.3390/polym14163310

[7] Zhang, Y., Liu, X., Wang, S., Li, J., & Chen, H. (2022). Development of poly(vinyl alcohol)/starch film incorporated with watermelon rind extract for active food packaging applications. *Polymers, 14*(16), 3310. https://doi.org/10.3390/polym14163310

[8] Chen, L., Zhang, H., Wu, J., Sun, Y., & Li, X. (2025). Preparation and characterization of watermelon rind pectin-based films reinforced with nanocellulose for fresh-cut vegetable preservation. *International Journal of Biological Macromolecules, 260*, 129801. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.129801