

การศึกษาคุณลักษณะของฟิล์มบรรจุภัณฑ์ย่อยสลายได้จากข้าวไรซ์เบอร์รี่

Characterization of Biodegradable Packaging Film Based Riceberry Rice

อัจจิมา อุ่นแก้ว (Artjima Ounkaew)* เจนจิรา รอดสุโข (Jenjira Rodsukoh)**

ดร.พรณา เกษมศิริ (Dr.Pornnapa Kasemsiri)*** วลัยพร เหมโส (Walaiporn Hemso)¹****

(Received: September 6, 2019; Revised: January 23, 2020; Accepted: January 29, 2020)

บทคัดย่อ

ในการศึกษานี้ได้ทำการศึกษสมบัติของฟิล์มบรรจุภัณฑ์ย่อยสลายได้จากข้าวไรซ์เบอร์รี่ โดยเตรียมฟิล์มจากแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ร้อยละ 6 โดยน้ำหนัก กลีเซอรอลร้อยละ 25 โดยน้ำหนัก กรดมาลิก (MA) ร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) ร้อยละ 0-9 โดยน้ำหนัก จากผลการทดลอง ค่าสีของฟิล์มที่ทดสอบด้วยเครื่อง HunterLab ColorQuest XE มีค่าไม่แตกต่างกันเมื่อปริมาณ PVA ในฟิล์มเพิ่มขึ้น ความหนา ปริมาณความชื้นและอัตราการซึมผ่านของไอน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณ PVA เพิ่มขึ้น การปลดปล่อยสารต้านอนุมูลอิสระของฟิล์มในอาหารจำลอง 3 ชนิด ได้แก่ น้ำกลั่น เอทานอลเข้มข้นร้อยละ 10 และ เอทานอลเข้มข้นร้อยละ 95 มีแนวโน้มการปลดปล่อยที่ใกล้เคียงกันในทุกอาหารจำลอง ค่าต้านทานแรงดึงสูงสุดในฟิล์มที่มี PVA ร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก ฟิล์มที่ได้ในงานวิจัยนี้ได้นำมาทดสอบการบรรจุมะเขือเทศ พบว่าฟิล์มจากข้าวไรซ์เบอร์รี่สามารถลดการสูญเสียน้ำหนักและชะลอระยะเวลาที่หยาบของผิวของมะเขือเทศได้ จากผลการวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าฟิล์มข้าวไรซ์เบอร์รี่และ PVA มีศักยภาพมากพอที่จะพัฒนาต่อเป็นบรรจุภัณฑ์ย่อยสลายทางชีวภาพสำหรับอาหารได้

ABSTRACT

The objective of this research was to study the properties biodegradable packaging film based Riceberry rice. The film prepared from 6 ร้อยละ โดยน้ำหนัก Rice berry rice starch, 25 ร้อยละ โดยน้ำหนัก glycerol, 3 ร้อยละ โดยน้ำหนัก malic acid (MA) and 0-9 ร้อยละ โดยน้ำหนัก of polyvinyl alcohol (PVA). Based on the results, the color of films tested by HunterLab ColorQuest XE showed the same range of colors when PVA content in film increased. The thickness, total soluble matter and water vapor transmission tended to increase with increasing PVA content. The release of antioxidants of films was also observed in three food simulants such as distilled water, ethanol 10%, and ethanol 95%. The antioxidant agents of riceberry rice starch showed a similar trend of releasing in all food simulants. The maximum tensile strength of film was observed in film containing 3 ร้อยละ โดยน้ำหนัก of PVA. The obtained films were conducted to test as tomato packaging. The film can reduce weight loss and wrinkle of tomato. These results revealed that the packaging film based Riceberry rice starch and PVA have high potential to developed to be biodegradable packaging for foods

คำสำคัญ: ฟิล์มย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ฟิล์มบริโภคนได้ ข้าวไรซ์เบอร์รี่

Keywords: Biodegradable, Edible film, Riceberry rice

¹corresponding author: walaiporn@tistr.or.th

*นักศึกษา หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

**นักศึกษา หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

***รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

****นักทดลองวิทยาศาสตร์วิจัย (สนอ.) สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

บทนำ

ฟิล์มย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (Biodegradable films) สำหรับการบรรจุภัณฑ์อาหาร มักมีการใช้แป้งผสมกับพอลิเมอร์ในการผลิต แบ่งเป็นผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรที่ใช้กันแพร่หลายในการผลิตฟิล์มพอลิเมอร์ที่ย่อยสลายทางชีวภาพและบริโภคได้ เนื่องจากมีจำนวนมากและราคาถูก โดยฟิล์มที่พัฒนาจากแป้งพบว่าไม่มีสี และรสชาติที่รบกวนอาหารเมื่อใช้เป็นบรรจุภัณฑ์รวมถึงไม่มีความเป็นพิษ เพื่อให้ได้สมบัติที่เหมาะสม ทั้งทางกายภาพและทางกลสำหรับการประยุกต์ใช้งานฟิล์มแป้ง การเติมพลาสติกชีวเซอร์ เช่น กลีเซอรอล พอลิเอทิลีน ไกคอล และซอบิทอล จะช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นของฟิล์ม จากงานวิจัยของ Milda และ Huber [1] พบว่า การเติมกลีเซอรอลที่ร้อยละ 20 ถึง 40 โดยน้ำหนักส่งผลต่อการเพิ่มความยืดหยุ่นในฟิล์มจากข้าวมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับพอลิเอทิลีน ไกคอลและซอบิทอล เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Thessrimuang และคณะ [2] ที่ศึกษาคุณสมบัติของฟิล์มย่อยสลายได้ทางชีวภาพของฟิล์มแป้งถั่วเขียวที่เติมกรดมาลิกหรือกรดซัคซินิก (succinic: SC) พบว่า เมื่อเติมกรดมาลิก และ SC ในปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก ช่วยปรับปรุงคุณสมบัติทางกล การบวมของฟิล์ม และอัตราการซึมผ่านของน้ำให้ดีขึ้น

นอกจากการปรับปรุงสมบัติทางกลของฟิล์ม การเพิ่มผสมสารเติมแต่งเพื่อให้ฟิล์มสามารถประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย เช่น การเติมสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพจากธรรมชาติในฟิล์มบรรจุภัณฑ์อาหาร [3] สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพจะช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียก่อโรคและเพิ่มความต้านทานการเกิดออกซิเดชันของอาหาร [4-6] ส่งผลให้ฟิล์มที่ได้สามารถรักษาคุณภาพและอายุของอาหาร โดยทั่วไปในการเตรียมฟิล์มที่เติมสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพจากธรรมชาติจะประกอบด้วยขั้นตอนที่ซับซ้อน เนื่องจากต้องสกัดสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพจากพืชและสมุนไพร จากนั้นนำสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพเก็บรักษาในสถานะที่เหมาะสมเพื่อป้องกันการสลายตัว การเติมสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในฟิล์มจะต้องเติมในสัดส่วนที่เหมาะสม Wu J, Chen S, Ge S, Miao J, Li J และ Zhang Q. [6] พบว่าการเติมสารฟีนอลจากชาในฟิล์มบริโภคได้ส่งผลให้ความสามารถการรับแรงดึงของฟิล์มเพิ่มสูงขึ้น เมื่อเติมสารฟีนอลจากชาที่ปริมาณร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก เนื่องจากการเกิดแรงกระทำของพันธะไฮโดรเจนระหว่างสารฟีนอลจากชาและเมตริกซ์ การเติมสารสกัดฟีนอลจากชาที่ร้อยละ 15 ถึง 20 ส่งผลให้สมบัติทางกลมีค่าลดลง เนื่องจากการรวมกลุ่มของอนุภาคสารสกัดฟีนอลจากชา ดังนั้นการเตรียมฟิล์มรับประทานได้ที่มีประสิทธิภาพสูงและเตรียมได้ง่ายในขั้นตอนเดียวเป็นแนวทางหนึ่งที่จะลดต่อการประยุกต์ใช้งาน การเลือกใช้วัตถุดิบตั้งต้นในการเตรียมฟิล์มรับประทานได้จากแป้งที่มีองค์ประกอบของสารต้านอนุมูลอิสระ จึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่ได้ จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า ข้าวไรซ์เบอร์รี่ (Rice berry) เป็นข้าวพันธุ์ผสมระหว่างข้าวเจ้าหอมนิลและข้าวขาวดอกมะลิมีสีม่วงเข้ม เมล็ดข้าวเรียวยาว ผิวมันวาว มีรสชาติหอมหวานน่ารับประทานและยังเป็นแหล่งของสารต้านอนุมูลอิสระทั้งชนิดที่ละลายในน้ำและละลายในไขมัน [7] จากการศึกษาพบว่า เมื่อสกัดสารต้านอนุมูลอิสระในข้าวไรซ์เบอร์รี่ด้วยเมธานอลจะได้ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระสูงถึงร้อยละ 97.83 ซึ่งเหมาะสำหรับการทำฟิล์มบริโภคได้ [8]

ฟิล์มย่อยสลายได้ส่วนใหญ่ใช้แป้งผสมกับพอลิเมอร์ในการผลิต เช่น ฟิล์มแป้งกับพอลิเมอร์สังเคราะห์ เช่น พอลิแลกติกแอซิด (PLA) พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) จากงานวิจัยของ Ounkaew และคณะ [9] ศึกษาฟิล์มแป้ง/พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ออกฤทธิ์ทางชีวภาพจากสารสกัดจากกากกาแฟและกรดซิตริก (PSt-E/CA) โดยใช้อัตราส่วนแป้งต่อ PVA (1:1) พบว่า ฟิล์ม PSt-E ที่เติมกรดซิตริกร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก แสดงผลของการเกิดงานร่วมในการต้านเชื้อแบคทีเรีย ลดความสามารถในการละลายน้ำและการดูดปริมาณความชื้น นอกจากนี้ยังปรับปรุงคุณสมบัติทางกลของฟิล์มให้มีความต้านทานแรงดึงอยู่ในช่วง 5.63–7.44 MPa และความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพร้อยละ 65.28–86.64 เช่นเดียวกับ

งานวิจัยของ Cano AI, Cháfer M, Chiralt A และ González-Martínez C. [10] ศึกษาฟิล์มพอลิไวนิลเข้ากับแป้งถั่วลิสงในอัตราส่วน 0.5:1 พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์ความยืดหยุ่น (Elastic modulus) เพิ่มขึ้นจาก 417 ± 41 MPa เป็น 506 ± 62 MPa ความต้านทานแรงดึง (Tensile strength) เพิ่มขึ้นจาก 14.2 ± 1.3 MPa เป็น 26.9 ± 1.4 MPa และเปอร์เซ็นต์การยืดตัว (%E) เพิ่มขึ้นจาก 10 ± 2 เป็น 40 ± 4 นอกจากนี้ปริมาณความชื้น (Moisture content) ลดลงจากร้อยละ 11.4 ± 0.4 เป็นร้อยละ 8.03 ± 0.54 การซึมผ่านของไอน้ำ (Water vapor permeability) ลดลงจาก 6.0 ± 0.3 gm/hm²kPa เป็น 5.09 ± 1.17 gm/hm²kPa และการซึมผ่านของออกซิเจน (Oxygen permeability) ลดลงจาก 1.39 ± 0.09 cm³mm/cm²cmkPa เป็น 0.53 ± 0.02 cm³mm/cm²cm kPa จะเห็นว่า การผสม PVA เข้ากับฟิล์มแป้งสามารถปรับปรุงสมบัติทางกลและทางกายภาพของฟิล์มได้ดียิ่งขึ้น

อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีงานวิจัยใดกล่าวถึงการผลิตฟิล์มย่อยสลายได้สำหรับบรรจุภัณฑ์อาหารจากข้าวไรซ์เบอร์รี่ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะศึกษาฟิล์มบิโกลได้จากข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่พัฒนาต่อเยื่อเป็นฟิล์มย่อยสลายได้สำหรับบรรจุภัณฑ์อาหารจากข้าวไรซ์เบอร์รี่/ PVA ที่เติมกรดมาลิก โดยนำฟิล์มที่ได้มาศึกษาสมบัติทางกล ความต้านทานแรงดึงของฟิล์มย่อยสลายได้สำหรับบรรจุภัณฑ์อาหารตามมาตรฐาน ASTM D882-18 ศึกษาสมบัติทางกายภาพของฟิล์มย่อยสลายได้

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. ศึกษาผลของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) ร่วมกับข้าวไรซ์เบอร์รี่ เพื่อเตรียมฟิล์มย่อยสลายได้สำหรับบรรจุภัณฑ์อาหาร
2. ศึกษาสมบัติของฟิล์มย่อยสลายได้สำหรับบรรจุภัณฑ์อาหาร

เครื่องมือและวิธีการ

1. การเตรียมชิ้นงานและวิธีดำเนินการ

1.1 การขึ้นรูปชิ้นงานฟิล์มข้าวไรซ์เบอร์รี่ผสม PVA

1. เตรียมสารละลาย PVA ร้อยละ 3, 6 และ 9 โดยน้ำหนัก เติมน้ำ 50 มิลลิลิตรจากนั้นต้มละลายบนเครื่องให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส และกวนผสมเป็นเวลา 10, 20 และ 30 นาที ตามลำดับของความเข้มข้น
2. เตรียมข้าวไรซ์เบอร์รี่ร้อยละ 6 โดยน้ำหนัก เติมน้ำ 50 มิลลิลิตร จากนั้นต้มละลายบนเครื่องให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส และกวนผสมเป็นเวลา 10 นาที
3. จากนั้นนำสารละลาย PVA และแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่เตรียมไว้มาผสมกัน กวนผสมจนเข้ากันเป็นเวลา 10, 15 และ 20 นาที ตามลำดับ
4. จากนั้นเติมกลีเซอรอลร้อยละ 25 โดยน้ำหนักของข้าวไรซ์เบอร์รี่ กวนผสมจนเดือด
5. จากนั้นเติมกรดมาลิก ร้อยละ 3 โดยน้ำหนักของข้าวไรซ์เบอร์รี่ กวนผสมจนเดือด
6. จากนั้นนำสารละลายที่ผสมมาลดอุณหภูมิจนเหลือ 40-45 องศาเซลเซียส
7. นำไปขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปฟิล์มโดยกำหนดความหนา 1.75 มิลลิเมตร
8. หลังจากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 35 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 16 ชั่วโมง
9. เก็บชิ้นงานในถุงป้องกันอากาศ

2. การตรวจวิเคราะห์คุณสมบัติ

2.1 การทดสอบสมบัติทางกายภาพ

2.1.1 ค่าสี (Color) วัดด้วยเครื่อง Hunter Lab digital color difference meter โดยวางแผ่นฟิล์มและปิดทับด้วยแผ่นขาว

2.1.2 ปริมาณความชื้น (Moisture Content: MC)

นำชิ้นงานฟิล์มมาตัดให้ได้ขนาดกว้าง 2 เซนติเมตร ยาว 2 เซนติเมตร และชั่งน้ำหนักเริ่มต้น (M_0) แล้วบันทึก นำใส่ถาดแก้วแล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำการทดสอบทั้งหมด 3 ซ้ำ จากนั้นนำมาชั่งน้ำหนักอีกครั้ง (M_1) แล้วบันทึกผล โดยสามารถคำนวณหาปริมาณความชื้นได้ดังนี้

$$MC = \frac{M_0 - M_1}{M_0} \quad (1)$$

เมื่อ

MC = ปริมาณความชื้นในฟิล์ม (ร้อยละ)

M_0 = น้ำหนักเริ่มต้นก่อนอบ (กรัม)

M_1 = น้ำหนักหลังอบ (กรัม)

2.1.3 อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (Water Vapor Transmission Rate: WVTR)

ทดสอบอัตราการซึมผ่านของไอน้ำโดยดัดแปลงมาตรฐาน ASTM E 96-95 [11] เติมน้ำกลั่นลงบนถาด 30 มิลลิลิตร แล้วปิดปากถาดด้วยฟิล์มข้าวไรซ์เบอร์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 cm พร้อมปิดเทปกาวทับให้แนบสนิท และชั่งน้ำหนัก จากนั้นนำไปวางในตู้อบควบคุมความชื้น ที่อุณหภูมิ 37 ± 0.5 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 55 ± 1.5 RH แล้วทำการบันทึกน้ำหนักทุกๆ 1 ชั่วโมง เป็นเวลา 5-6 ชั่วโมง การทดสอบทั้งหมด 3 ซ้ำ แล้วนำผลที่ได้ไปสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่สูญเสียกับเวลา และคำนวณหาค่าอัตราการซึมผ่านของไอน้ำได้ดังสมการที่ (3)

$$WVTR = \frac{\text{mass H}_2\text{O lost}}{\text{time} \times \text{film area}} = \frac{\text{slope}}{\text{film area}} \quad (3)$$

เมื่อ

WVTR = อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ

Mass H_2O lost = น้ำหนักที่สูญเสียไป (กรัม)

Time = เวลาในการอบ (นาท)

Film area = พื้นที่ของฟิล์มที่ไอน้ำซึมผ่าน (ตารางเซนติเมตร)

Slope = ความชันของกราฟความสัมพันธ์ของน้ำหนักที่สูญเสียไปกับเวลา (กรัมต่อนาที)

2.1.4 ทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH radical scavenging activity

ทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH [12] เตรียมสารตัวอย่างโดยตัดชิ้นงานขนาด 20×150 มิลลิเมตร แช่ในสารละลาย 3 ชนิดปริมาตร 100 มิลลิตร คือ น้ำกลั่น เอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 10 และเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95 เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จากนั้นกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 (ความละเอียด 11 ไมโครเมตร) และนำสารตัวอย่าง 1.5 มิลลิตร ผสมกับสาร DPPH (1,1-Diphenyl-2-picrylhydrazyl) ที่ละลายในเอทานอล 3 มิลลิตร จากนั้นบ่มในที่

มีด 30 นาที แล้วนำไปวัดด้วยเครื่อง UV-spectrometer วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร นำค่าที่ได้ไปสร้างกราฟมาตรฐาน จากนั้นนำผลที่ได้จากการทดสอบสารตัวอย่างไปเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐาน เพื่อคำนวณหาประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระดังสมการที่ (4)

$$\text{DPPH scavenging effect (\%)} = \frac{\text{Abs}_{\text{DPPH}} - \text{Abs}_{\text{sample}}}{\text{Abs}_{\text{DPPH}}} \times 100 \quad (4)$$

เมื่อ

Abs_{DPPH} = ค่าการดูดกลืนแสงของสารอ้างอิง

$\text{Abs}_{\text{sample}}$ = ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง

2.1.5 การทดสอบประสิทธิภาพของฟิล์ม

เตรียมฟิล์มออกฤทธิ์ทางชีวภาพเพื่อนำไปชั่งน้ำหนักอยู่ในรูปของถุงขนาด 15×21 เซนติเมตร เพื่อนำไปบรรจุมะเขือเทศ บ่มที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน จากนั้นนำมะเขือเทศหลังการบ่มไปทดสอบการสูญเสีย น้ำหนัก สามารถคำนวณเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักได้ดังสมการที่ (5)

$$\%weight = \frac{w_0 - w_i}{w_0} \times 100 \quad (5)$$

เมื่อ

w_0 = น้ำหนักมะเขือเทศเริ่มต้น

w_i = น้ำหนักมะเขือเทศที่ชั่งได้ในวันที่ i

2.2 การทดสอบสมบัติทางกล

ทดสอบความต้านทานแรงดึงและการยืดตัวของฟิล์มด้วยเครื่อง Universal testing machine (Instron, Model 5567) โดยตัดแปลงมาตรฐาน ASTM D882-18 [13] ตัดฟิล์มตัวอย่างขนาดกว้าง 1.5 เซนติเมตร ยาว 10 เซนติเมตร กำหนดระยะจับชิ้นงานไว้ที่ 50 มิลลิเมตร ที่ความเร็ว 50 มิลลิเมตรต่อนาที ทำการทดสอบทั้งหมด 3 ซ้ำ โดยความต้านทานแรงดึงและเปอร์เซ็นต์การยืดตัวที่จุดขาดสามารถคำนวณดังสมการที่ (6) และ (7)

$$TS = \frac{\text{max. Tensile force}}{\text{Film thickness}} \quad (6)$$

และ

$$E = \frac{\text{Distance}}{D} \times 100 \quad (7)$$

เมื่อ

TS = ความต้านทานแรงดึงสูงสุด E = เปอร์เซ็นต์การยืดตัวที่จุดขาด

D = ระยะห่างระหว่างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานก่อนการแตกของชิ้นงาน

ผลและอภิปรายผลการวิจัย

1. สมบัติทางกายภาพของฟิล์มบรรจุภัณฑ์ย่อยสลายได้จากข้าวไรซ์เบอร์รี่

1.1 ค่าสี (Color) และความหนา

จากการขึ้นรูปฟิล์มบรรจุภัณฑ์ย่อยสลายได้จากข้าวไรซ์เบอร์รี่ พบว่าฟิล์มข้าวไรซ์เบอร์รี่มีลักษณะเป็นสีน้ำตาลไม่โปร่งแสง ผิวฟิล์มทั้งสองด้านมีลักษณะแตกต่างกันด้านหนึ่งมีผิวขรุขระอีกด้านเรียบและมันวาว ดังแสดงในภาพที่ 1 เมื่อทำการทดสอบวัดสีของฟิล์ม พบว่าค่าการวัดสีของฟิล์มทั้งสองด้านที่มีค่า L^* , a^* , b^* ใกล้เคียงกัน ดังแสดงในตารางที่ 1 และเมื่อนำค่า a^* และ b^* เปรียบเทียบกับกราฟ a^* , b^* chromaticity จะเห็นว่าสีของฟิล์มไม่มีความแตกต่างกัน ดังแสดงในภาพที่ 2

นอกจากนี้ความเข้มข้นของ PVA ยังส่งผลต่อความหนาและสีของฟิล์มอีกด้วย เนื่องจาก PVA มีมวลโมเลกุลที่สูง ($MW = 15000$) หากเติมในปริมาณมากจะส่งผลความหนืดของสารละลาย ซึ่งส่งผลให้ฟิล์มที่ได้มีลักษณะหนายังขึ้น เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Srirachya N, Boonkerd K และ Kobayashi T. [14] ที่ศึกษาคุณสมบัติและประสิทธิภาพของไฮโดรเจลคอมโพสิตจากยางธรรมชาติ/เซลลูโลส พบว่า ความเข้มข้นของเซลลูโลสที่ต่างกัน ส่งผลต่อความหนาของฟิล์มไฮโดรเจล ยิ่งความเข้มข้นของเซลลูโลสสูงขึ้นฟิล์มไฮโดรเจลก็จะยิ่งหนาขึ้นเนื่องจากสารละลายมีความหนืดมากขึ้น อีกทั้งความเข้มข้นของเซลลูโลสยังส่งผลต่อความโปร่งใสและสีของฟิล์มอีกด้วย

1.2 ปริมาณความชื้น (Moisture Content: MC)

จากการทดสอบหาปริมาณความชื้นของฟิล์มที่ปริมาณ PVA ร้อยละ 0 3 6 และ 9 โดยน้ำหนัก พบว่าฟิล์มมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 9.77- 15.16 จะเห็นว่า ฟิล์มที่เติม PVA ร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก ส่งผลให้ปริมาณความชื้นของฟิล์มลดลง เนื่องจากการเติมกรดมาลิกเพื่อเป็นสารเชื่อมขวางภายในโครงสร้างของฟิล์ม ทำให้เกิดปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชันระหว่างกรดมาลิกกับข้าวไรซ์เบอร์รี่และ PVA ยังสามารถลดพันธะไฮโดรเจนและลดจำนวนของหมู่ไฮดรอกซิลส่งผลให้ปริมาณความชื้นของฟิล์มลดลงอย่างเห็นได้ชัด [15] หากเติม PVA ในปริมาณที่มากขึ้นจะเห็นได้ว่าส่งผลให้ปริมาณความชื้นเพิ่มสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากมีปริมาณ PVA มากเกินพอที่จะเกิดพันธะร่วมกับกรดมาลิก ซึ่งทำหน้าที่เป็นสารเชื่อมขวางในพอลิเมอร์เมทริกอีกทั้ง PVA ยังประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) จำนวนมากซึ่งกล่าวไว้ว่าเป็นพอลิเมอร์ประเภทที่ชอบน้ำ ซึ่งจะสอดคล้องกับผลของอัตราการซึมผ่านของไอน้ำดังแสดงในภาพที่ 3 เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Ounkaew และคณะ [9] ที่ศึกษาฟิล์มออกฤทธิ์ทางชีวภาพแป้ง/PVA พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณกรดซิตริกส่งผลให้ปริมาณความชื้นลดลง อยู่ในช่วงร้อยละ 18.24-22.44

1.3 อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (Water Vapor Transmission Rate: WVTR)

จากค่าอัตราการซึมผ่านของไอน้ำในภาพที่ 3 ฟิล์มบรรจุภัณฑ์ย่อยสลายได้ที่มีส่วนผสมของ PVA ปริมาณร้อยละ 3 โดยน้ำหนักมีอัตราการซึมผ่านของไอน้ำต่ำสุด และจากภาพที่ 3 จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มปริมาณ PVA เป็นร้อยละ 6 และ 9 โดยน้ำหนัก อัตราการซึมผ่านของไอน้ำมีค่าสูงขึ้น ซึ่งอาจเป็นผลมาจากเมื่อผสม PVA ในปริมาณร้อยละ 3 กับข้าวไรซ์เบอร์รี่ร้อยละ 6 โดยน้ำหนักและกลีเซอรอลร้อยละ 25 และกรดมาลิกร้อยละ 3 โดยน้ำหนักแป้ง ฟิล์มที่ได้จะเกิด Crosslink ที่สมบูรณ์แล้ว หากเติม PVA ในปริมาณมากขึ้นอาจส่งผลให้หมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ในองค์ประกอบของ PVA จับกับน้ำได้ดี เนื่องจาก PVA จัดเป็นพอลิเมอร์ประเภทที่ชอบน้ำ ดังนั้นเมื่อเพิ่มปริมาณ PVA มากกว่าร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก จะทำให้หมู่ฟังก์ชันที่เหลือจากการ Crosslink จับกับน้ำ ทำให้อัตราการซึมผ่านของไอน้ำสูงขึ้น เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Guimarães และคณะ [16] ที่ศึกษาการทดสอบความเข้ากันได้ของฟิล์มแป้งมันสำปะหลัง / โพลีไวนิลผสมแอลกอฮอล์ที่ พบว่า เมื่ออัตราส่วน

ของ PVA เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้อัตราการซึมผ่านของไอน้ำเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจาก PVA ทำหน้าที่เสมือนตัวกลางในการดูดซับน้ำ เป็นผลมาจากจากลักษณะ โครงสร้างทางเคมีของ PVA ที่ประกอบด้วยกลุ่มไฮดรอกซิลจำนวนมาก

1.4 ทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH Scavenging Activity

การทดสอบประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระด้วย DPPH (DPPH Scavenging Activity) ในฟิล์มบรรจุภัณฑ์ย่อยสลายได้จากข้าวไรซ์เบอร์รี่ จากภาพที่ 4 แสดงประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระของฟิล์มข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ไม่เติม PVA และฟิล์มข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่เติม PVA ความเข้มข้นร้อยละ 3, 6 และ 9 โดยน้ำหนักในอาหารจำลอง 3 ชนิด คือ น้ำกลั่น เอทานอล ความเข้มข้นร้อยละ 10 และเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95 ซึ่งเป็นตัวแทนของอาหารที่มีน้ำ อาหารที่มีแอลกอฮอล์และอาหารที่มีไขมัน (95% ethanol) ซึ่งใช้เป็นตัวแทนในการทดสอบการเกิดออกซิเดชันของไขมันในอาหาร [17] ตามลำดับพบว่า ประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระของฟิล์มในน้ำกลั่นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณ PVA มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 54.41-59.01 สารละลายเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 10 มีการเปลี่ยนแปลงของประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระของฟิล์มน้อยมากอยู่ในช่วงร้อยละ 54.98-57.14 แต่ในขณะที่ประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระฟิล์มในอาหารจำลองเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95 มีค่าน้อยที่สุด ซึ่งฟิล์มที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสามารถนำไปใช้ในการป้องกันการเกิดออกซิเดชันของไขมันและรักษาคุณภาพของอาหารได้ [18]

1.5 การทดสอบประสิทธิภาพของฟิล์ม (มะเขือเทศ)

การทดสอบบรรจุมะเขือเทศด้วยฟิล์มบรรจุภัณฑ์ย่อยสลายได้จากข้าวไรซ์เบอร์รี่พบว่าลักษณะผิวของมะเขือเทศที่บรรจุฟิล์มที่มี PVA ร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก มีร้อยละการสูญเสีย น้ำหนักน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับมะเขือเทศที่ไม่บรรจุฟิล์ม (No bag) และบรรจุในฟิล์มที่มี PVA ร้อยละ 0, 6 และ 9 โดยน้ำหนัก ซึ่งใช้เวลาในการบ่ม 7, 10, 15, 20 และ 30 วัน จากภาพที่ 5 จะเห็นว่ามะเขือเทศเริ่มเหี่ยวขุ่นในช่วง 7 วัน ซึ่งมะเขือเทศที่บรรจุในฟิล์มที่มี PVA ร้อยละ 0 มีการลดลงของน้ำหนักมากที่สุดอยู่ในช่วงร้อยละ 3.31-6.17 ทั้งนี้จะเกิดจากฟิล์มส่วนประกอบของแป้งเพียงอย่างเดียวจึงส่งผลให้มีเกิดความชื้นในปริมาณมาก รองลงมาคือมะเขือเทศที่ไม่บรรจุในถุงมีการลดลงของน้ำหนักอยู่ในช่วงร้อยละ 2.69-13.22 ส่วนฟิล์มที่มี PVA ร้อยละ 6 และ 9 มีร้อยละการลดลงของน้ำหนักใกล้เคียงกันอยู่ในช่วงร้อยละ 2.73-11.89 ในช่วง 0-30 วัน ซึ่งจะเห็นว่าฟิล์มที่ประกอบด้วย PVA ร้อยละ 3 แสดงการลดลงของน้ำหนักน้อยที่สุดอยู่ในช่วงร้อยละ 2.39-10.50 ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะทางกายภาพของมะเขือเทศ ดังแสดงในภาพที่ 6 อย่างไรก็ตามผิวมะเขือเทศที่บรรจุด้วยฟิล์มบรรจุภัณฑ์ย่อยสลายได้จากข้าวไรซ์เบอร์รี่ใช้เวลาบ่มกว่ามะเขือเทศที่ไม่ได้บรรจุด้วยฟิล์ม ดังนั้นฟิล์มที่มีส่วนผสมของ PVA จะช่วยลดการสูญเสียน้ำหนักในมะเขือเทศได้ซึ่งสอดคล้องกับผลของปริมาณความชื้นและอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ

2. สมบัติทางความกลของฟิล์มบรรจุภัณฑ์ย่อยสลายได้จากข้าวไรซ์เบอร์รี่

จากผลการวัดความต้านทานแรงดึงและความยืดตัวของฟิล์ม ดังแสดงในตารางที่ 3 ฟิล์มที่ผสม PVA มีความต้านทานแรงดึงสูงกว่าฟิล์มที่ไม่มี PVA ถึง 3 เท่า จากภาพที่ 7 จะเห็นว่าความต้านทานแรงดึงจะเพิ่มขึ้นเมื่อเติม PVA ความเข้มข้นร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก แต่จะมีค่าลดลงเมื่อเพิ่ม PVA ในปริมาณร้อยละ 6 และ 9 ตามลำดับ ซึ่งอาจเป็นผลมาจากฟิล์มที่ผสม PVA ในปริมาณร้อยละ 3 กับข้าวไรซ์เบอร์รี่ร้อยละ 6 โดยน้ำหนักกับกลีเซอรอล ร้อยละ 25 และกรดมาลิกร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก แบ่งเกิดการครอสลิงก์ที่สมบูรณ์ เช่นเดียวกับผลของการทดสอบปริมาณความชื้นและอัตราการซึมผ่านของไอน้ำรวมไปถึงผลของการทดสอบการสูญเสียน้ำหนักของมะเขือเทศ แต่เมื่อเพิ่มปริมาณ PVA ทำให้ความแข็งแรงของฟิล์มลดลง ในขณะที่เดียวกันเมื่อค่าความต้านทานแรงดึงของฟิล์มเพิ่มขึ้นค่าความยืดหยุ่นของฟิล์มจะลดลง ซึ่งอาจจะเกิดจาก

PVA สามารถเกิดครอสลิงค์ได้เพียงบางส่วนเท่านั้น เช่นเดียวกับผลของ Yun และคณะ [19] ที่ศึกษาสมบัติเชิงกลกับกรรมา
ลิกที่ใช้เป็นสารเติมแต่งสำหรับฟิล์มแป้ง / PVA อัตราส่วนร้อยละ 50:50 พบว่า เมื่อปริมาณกรรมา
ลิกเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าแรงดึงลดลง อยู่ในช่วงประมาณ 58-10 MPa เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Thessrimuang และคณะ [2] พบว่า เมื่อปริมาณกรรมา
ลิกเพิ่มขึ้นส่งผลให้คุณสมบัติทางกลลดลง เนื่องจากมีปริมาณกรรมา
ลิกมากเกินไปจึงส่งผลให้ความแข็งแรงของโซ่ลดลงและ
ความสามารถในการยืดหยุ่นที่สูงขึ้นนอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่ใช้กรรมา
ลิกชนิดอื่นเป็นสารเชื่อมขวางเช่น ในงานวิจัยของ Reddy
และคณะ [20] ที่ใช้กรรมา
ลิกที่มีคุณสมบัติเป็นสารเชื่อมขวาง พบว่า เมื่อมีการใช้กรรมา
ลิกในปริมาณที่มากเกินไป เกิดการ
เชื่อมขวางที่ไม่สมบูรณ์จะส่งผลให้ความต้านทานแรงดึงลดต่ำลง ซึ่งมีแนวโน้มที่คล้ายกันในงานวิจัยนี้

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาศสมบัติของฟิล์มบริโภคนได้และฟิล์มบรรจุภัณฑ์ย่อยสลายได้จากข้าวไรซ์เบอร์รี่ พบว่าฟิล์มมีลักษณะเป็น
แผ่นบาง ผิวด้านหนึ่งเรียบและมันวาว ค่าสีของฟิล์มไม่แตกต่างทางสถิติ ความหนาและปริมาณความชื้นของฟิล์มมีค่า
เพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ในฟิล์มเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งที่ปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก
อัตราการซึมผ่านของไอน้ำลดลง แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็นร้อยละ 6 และ 9 โดยน้ำหนักส่งผล
ให้อัตราการซึมผ่านของไอน้ำเพิ่มขึ้นถึง 2 เท่า นอกจากนี้ฟิล์มแต่ละความเข้มข้นมีประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระใน
อาหารจำลองใกล้เคียงกัน โดยฟิล์มสามารถต้านอนุมูลอิสระในอาหารจำลองที่มีน้ำและแอลกอฮอล์ได้ดีกว่าอาหารจำลองที่
มีไขมัน สำหรับสมบัติทางกลของเมื่อเพิ่มความเข้มข้นพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ในฟิล์มค่าต้านทานแรงดึงจะเพิ่มขึ้นในขณะที่
ความสามารถในการยืดหยุ่นของฟิล์มจะลดลง โดยค่าต้านทานแรงดึงของฟิล์มเพิ่มขึ้นสูงสุดเมื่อฟิล์มผสมพอลิไวนิล
แอลกอฮอล์ร้อยละ 3 โดยน้ำหนักและลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็นร้อยละ 6 และ 9 โดยน้ำหนัก จากการ
ทดสอบบรรจุมะเขือเทศ ฟิล์มจากข้าวไรซ์เบอร์รี่มีคุณสมบัติในการช่วยชะลอการเหี่ยวของผิวมะเขือเทศได้เพียงระยะสั้นๆ
เท่านั้น อย่างไรก็ตามฟิล์มที่มีส่วนผสมของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์หรือฟิล์มบรรจุภัณฑ์ย่อยสลายได้สามารถลดเปอร์เซ็นต์
การสูญเสียน้ำหนักของมะเขือเทศได้ดีกว่าฟิล์มที่ไม่มีพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

เอกสารอ้างอิง

1. Huber K, Embuscado M. Edible Films and Coatings for Food Applications. Edible Films and Coatings for Food Applications: , ISBN 978-0-387-92823-4. Springer-Verlag New York, 2009.
2. Thessrimuang N, Prachayawarakorn J. Characterization and Properties of High Amylose Mung Bean Starch Biodegradable Films Cross-linked with Malic Acid or Succinic Acid. J Polym Environ. 2019;27(2):234–244.
3. Hosseini SF, Rezaei M, Zandi M, Farahmandghavi F. Bio-based composite edible films containing Origanum vulgare L. essential oil. Ind Crops Prod. 2015;67:403–413.
4. Zanela J, Olivato JB, Dias AP, Grossmann MVE, Yamashita F. Mixture design applied for the development of films based on starch, polyvinyl alcohol, and glycerol. J Appl Polym Sci. 2015;132(43).
5. Olivato JB, Grossmann MVE, Bilck AP, Yamashita F. Effect of organic acids as additives on the performance of thermoplastic starch/polyester blown films. Carbohydr Polym. 2012;90(1):159–164.

6. Wu J, Chen S, Ge S, Miao J, Li J, Zhang Q. Preparation, properties and antioxidant activity of an active film from silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) skin gelatin incorporated with green tea extract. *Food Hydrocoll.* 2013;32(1):42–51.
7. Yoon SD, Chough S-H, Park H-R. Effects of additives with different functional groups on the physical properties of starch/PVA blend film. *J Appl Polym Sci.* 2006;100(5):3733–3740.
8. Debeaufort F, Voilley A. Lipid-Based Edible Films and Coatings BT - Edible Films and Coatings for Food Applications. In: Huber KC, Embuscado ME, editors. New York, NY: Springer New York; 2009. p. 135–168.
9. Ounkaew A, Kasemsiri P, Kamwilaisak K, Saengprachatanarug K, Mongkolthanaruk W, Souvanh M, et al. Polyvinyl Alcohol (PVA)/Starch Bioactive Packaging Film Enriched with Antioxidants from Spent Coffee Ground and Citric Acid. *J Polym Environ.* 2018;26(9):3762–3772.
10. Cano AI, Cháfer M, Chiralt A, González-Martínez C. Physical and microstructural properties of biodegradable films based on pea starch and PVA. *J Food Eng.* 2015;167:59–64.
11. Hu Y, Topolkaraev V, Hiltner A, Baer E. Measurement of water vapor transmission rate in highly permeable films. *J Appl Polym Sci.* 2001;81(7):1624–1633.
12. Brand-Williams W, Cuvelier ME, Berset C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Sci Technol.* 1995;28(1):25–30.
13. Bourtoom T, Chinnan MS. Preparation and properties of rice starch–chitosan blend biodegradable film. *LWT - Food Sci Technol.* 2008;41(9):1633–1641.
14. Srirachya N, Boonkerd K, Kobayashi T. Effective elongation properties of cellulose–natural rubber composite hydrogels having interconnected domain. *J Elastomers Plast.* 2019;0095244319849699.
15. Colivet J, Carvalho RA. Hydrophilicity and physicochemical properties of chemically modified cassava starch films. *Ind Crops Prod.* 2017;95:599–607.
16. Guimarães M, Botaro VR, Novack KM, Teixeira FG, Tonoli GHD. High moisture strength of cassava starch/polyvinyl alcohol-compatible blends for the packaging and agricultural sectors. *J Polym Res.* 2015;22(10):192.
17. Tampau A, González-Martínez C, Chiralt A. Release kinetics and antimicrobial properties of carvacrol encapsulated in electrospun poly-(ϵ -caprolactone) nanofibres. Application in starch multilayer films. *Food Hydrocoll.* 2018;79:158–169.
18. López-de-Dicastillo C, Gómez-Estaca J, Catalá R, Gavara R, Hernández-Muñoz P. Active antioxidant packaging films: Development and effect on lipid stability of brined sardines. *Food Chem.* 2012;131(4):1376–84.
19. Yun Y-H, Na Y-H, Yoon S-D. Mechanical Properties with the Functional Group of Additives for Starch/PVA Blend Film. *J Polym Environ.* 2006;14(1):71–78.
20. Reddy N, Yang Y. Citric acid cross-linking of starch films. *Food Chem.* 2010;118(3):702–711.

ตารางที่ 1 ค่าสี และความหนาของฟิล์มบรรจุภัณฑ์ย่อยสลายได้จากข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่มีปริมาณ PVA ตั้งแต่ 0, 3, 6 และ 9 (ร้อยละโดยน้ำหนัก)

ปริมาณ PVA (ร้อยละโดยน้ำหนัก)		ค่าสี		ความหนา (มิลลิเมตร)
	L*	a*	b*	
0	27.82±0.70	4.27±0.32	1.77±0.13	0.174±0.01
3	26.40±1.29	5.26±0.24	2.43±0.31	0.235±0.02
6	26.96±0.34	5.48±0.09	2.69±0.03	0.266±0.11
9	25.13±0.85	5.78±0.14	2.87±0.07	0.298±0.09

ตารางที่ 2 ค่าร้อยละปริมาณความชื้น ของฟิล์มบรรจุภัณฑ์ย่อยสลายได้จากข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่มีปริมาณ PVA ตั้งแต่ 0, 3, 6 และ 9 (ร้อยละโดยน้ำหนัก)

ปริมาณ PVA (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)
0	12.95±0.89
3	9.77±0.45
6	8.52±0.38
9	15.16±1.13

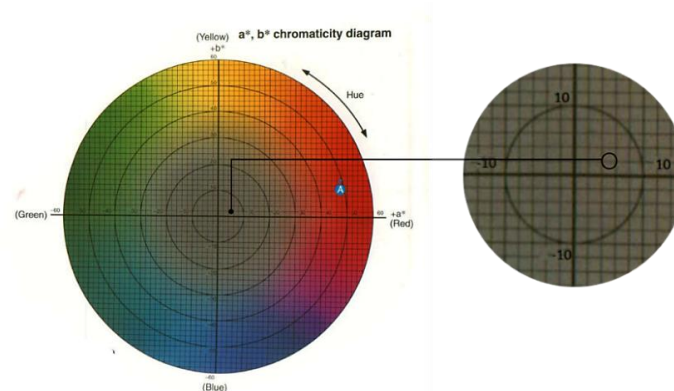
ตารางที่ 3 สมบัติทางกล ได้แก่ ค่าความต้านทานแรงดึง (MPa) และค่าร้อยละความยืดหยุ่นของฟิล์มบรรจุภัณฑ์ย่อยสลายได้จากข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่มีปริมาณ PVA ตั้งแต่ร้อยละ 0, 3, 6 และ 9 wt

ปริมาณ PVA (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ค่าต้านทานแรงดึง (MPa)	ค่าความยืดหยุ่น (ร้อยละ)
0	106.10±13.05	34.61±2.86
3	365.88±30.15	4.38±0.93
6	305.15±28.98	4.71±0.53
9	320.42±27.87	10.92±0.69

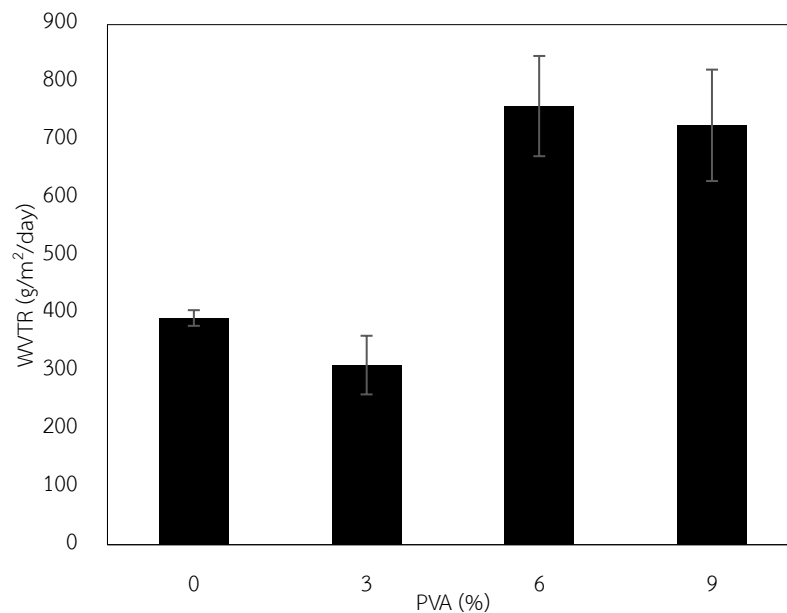


(a) (b) (c) (d)

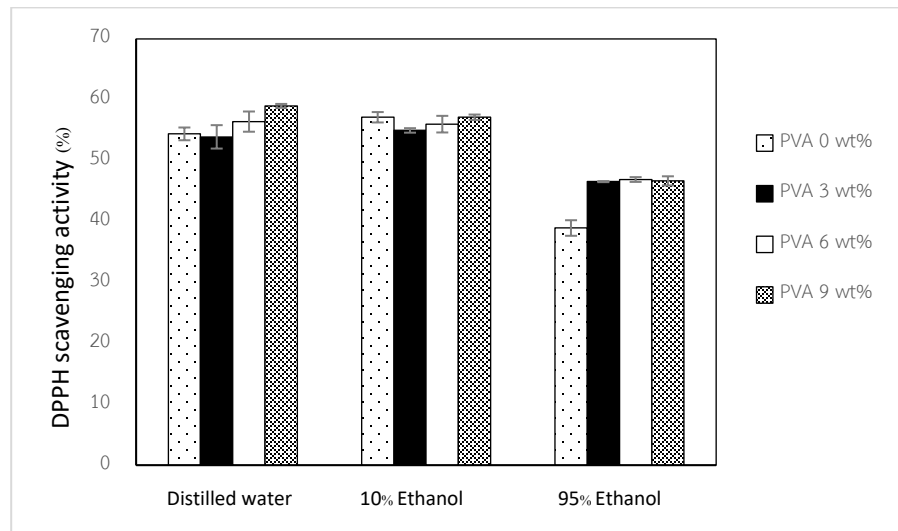
ภาพที่ 1 ลักษณะฟิล์มบรรจุภัณฑ์ย่อยสลายได้จากข้าวไรซ์เบอร์รี่หลังการขึ้นรูปโดย (a), (b), (c) และ (d) แทนฟิล์มบรรจุภัณฑ์ย่อยสลายได้จากข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่มีปริมาณ PVA 0, 3, 6 และ 9 (ร้อยละโดยน้ำหนัก) ตามลำดับ



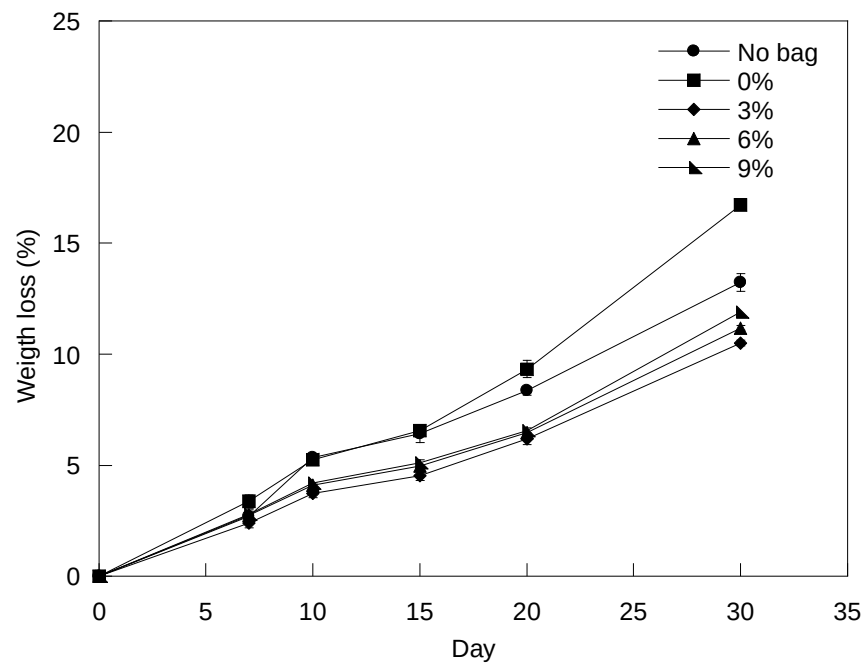
ภาพที่ 2 การเปรียบเทียบค่า a^* และ b^* ของฟิล์มบรรจุภัณฑ์ย่อยสลายได้จากข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่มีปริมาณ PVA ตั้งแต่ 0, 3, 6 และ 9 ร้อยละโดยน้ำหนัก ที่ได้จากการที่ 3 กับไดอะแกรมสัมประสิทธิ์สี a^* b^*



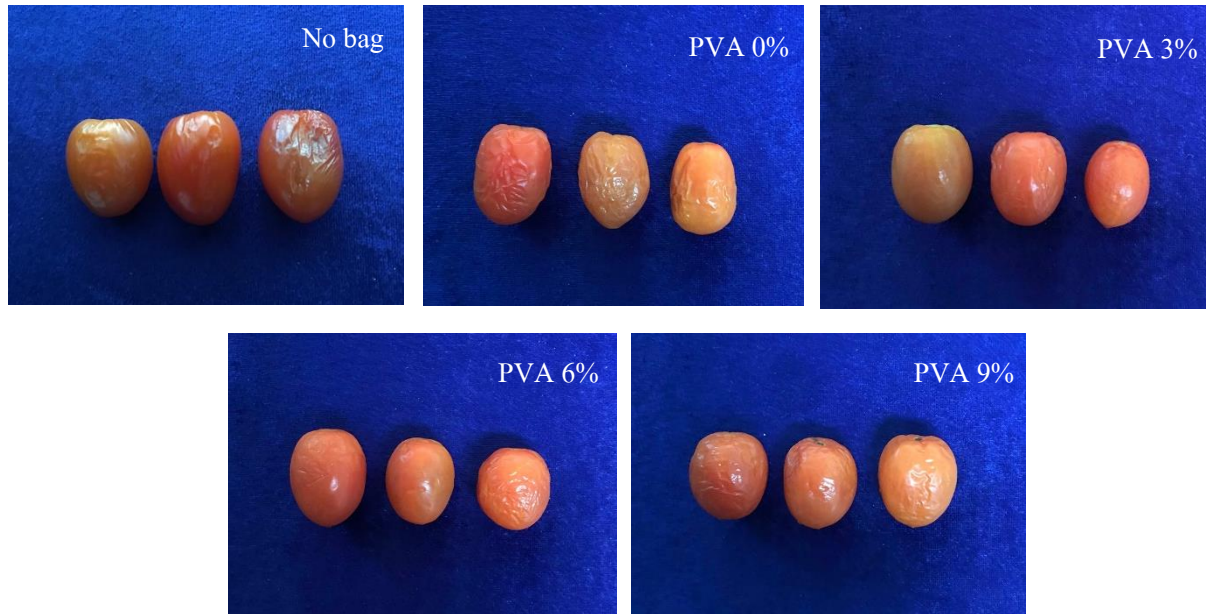
ภาพที่ 3 กราฟแสดงค่าอัตราการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มบรรจุภัณฑ์ย่อยสลายได้จากข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่มีปริมาณ PVA ตั้งแต่ 0, 3, 6 และ 9 ร้อยละโดยน้ำหนัก



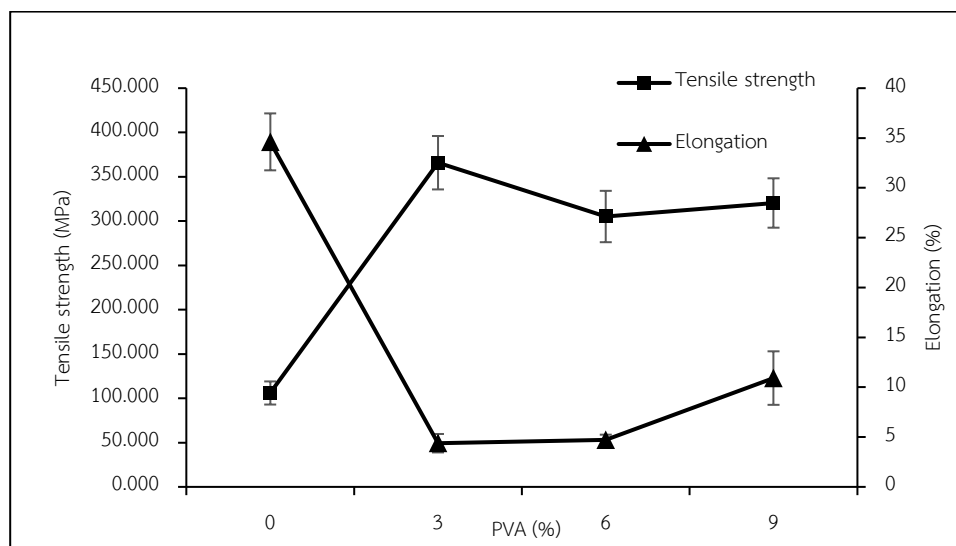
ภาพที่ 4 ประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระของฟิล์มบรรจุภัณฑ์ย่อยสลายได้จากข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่มีปริมาณ PVA ตั้งแต่ 0, 3, 6 และ 9 ร้อยละ โดยน้ำหนัก ในอาหารจำลอง (น้ำกลั่น เอทานอล 10% และ เอทานอล 95%)



ภาพที่ 5 ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักต่อวันของมะเขือเทศที่บรรจุด้วยฟิล์มบรรจุภัณฑ์ย่อยสลายได้จากข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่มีปริมาณ PVA ตั้งแต่ 0, 3, 6 และ 9 ร้อยละ โดยน้ำหนัก



ภาพที่ 6 ลักษณะของมะเขือเทศหลังการบ่มเป็นเวลา 30 วัน



ภาพที่ 7 ความต้านทานแรงดึง (MPa) และค่าร้อยละความยืดหยุ่นของฟิล์มบรรจุภัณฑ์ย่อยสลายได้จากข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่มีปริมาณ PVA ตั้งแต่ 0, 3, 6 และ 9 ร้อยละ โดยน้ำหนัก