



ผลของควิโนนและการบ่มด้วยความร้อนต่อสมบัติของฟิล์มเจลาติน

Effects of Quinones and Heat Curing on Properties of Gelatin Film

ภารวี กุศลินกุล (Parawee Kusarinkul)¹ ธนจันทร์ มหาวนิช (Thanachan Mahawanich)²

บทคัดย่อ

เจลาตินเป็นพอลิเมอร์ชีวภาพที่มีสมบัติในการเกิดเป็นฟิล์มที่ดี อย่างไรก็ตามฟิล์มเจลาตินยังคงมีสมบัติที่ด้อยกว่าเมื่อเทียบกับฟิล์มพลาสติกโดยเฉพาะอย่างยิ่งในด้านสมบัติเชิงกล จึงมีความพยายามในการปรับปรุงความแข็งแรงเชิงกลของฟิล์มเจลาตินโดยการส่งเสริมให้เกิดการเชื่อมข้ามของโปรตีนโดยใช้เทคนิคต่างๆ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) ศึกษาผลของชนิดของควิโนน (ไฮโดรควิโนน และ พารา-เบนโซควิโนน) และความเข้มข้น (0.5, 1.0, 1.5 และ 3.0% โดยน้ำหนักเจลาติน) ต่อสมบัติของฟิล์มเจลาติน และ (2) ศึกษาผลของอุณหภูมิ (45, 55 และ 65 องศาเซลเซียส) และระยะเวลา (10, 20 และ 30 นาที) ในการบ่มสารละลายฟิล์มด้วยความร้อนต่อสมบัติของฟิล์มเจลาตินที่เติมควิโนน พบว่าเมื่อความเข้มข้นของควิโนนเพิ่มขึ้นในช่วง 0.5-1.5% ฟิล์มเจลาตินมีความต้านทานแรงดึงขาดและการยืดตัวถึงจุดขาดเพิ่มสูงขึ้น แต่เมื่อความเข้มข้นของควิโนนเพิ่มเป็น 3.0% ฟิล์มเจลาตินกลับมีความต้านทานแรงดึงขาดและการยืดตัวถึงจุดขาดลดลง โดยพารา-เบนโซควิโนนมีความสามารถในการปรับปรุงสมบัติเชิงกลของฟิล์มเจลาตินสูงกว่าไฮโดรควิโนน นอกจากนี้ยังพบว่าการเติมควิโนนมีผลสำคัญต่อสมบัติเชิงแสงของฟิล์มเจลาติน โดยฟิล์มที่เติมควิโนนมีความเข้มสีสูงกว่า ในขณะที่มีมุมสีและความโปร่งใสต่ำกว่าตัวอย่างควบคุม สำหรับผลของการบ่มด้วยความร้อนพบว่าให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 20 นาที ทำให้ฟิล์มที่ได้มีความต้านทานแรงดึงขาดสูงสุด การบ่มด้วยความร้อนมีผลค่อนข้างน้อยต่อมุมสีของฟิล์ม แต่ทำให้ความเข้มสีเพิ่มขึ้นและความโปร่งใสลดลง

คำสำคัญ ฟิล์มเจลาติน ไฮโดรควิโนน พารา-เบนโซควิโนน การบ่มด้วยความร้อน

¹ นิสิตหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย kusalinkul@gmail.com

² ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย thanachan_m@hotmail.com



การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 7

The 7th STOU National Research Conference

Abstract

Gelatin is a biopolymer that has good film-forming property. However, gelatin film is still inferior to plastic films, particularly in terms of mechanical properties. Attempts, therefore, have been made in order to improve mechanical strength of gelatin film by promoting protein cross-linking using various techniques. The objectives of this study were: (1) to investigate the effect of type (hydroquinone and *p*-benzoquinone) and concentration (0.5, 1.0, 1.5 and 3.0% by weight of gelatin) of quinones on properties of gelatin film and (2) to study the effect of heat curing temperature (45, 55 and 65 °C) and time (10, 20 and 30 minutes) on properties of quinone-added gelatin film. Tensile strength and elongation at break of the film were found to increase as quinone concentration increased in the range of 0.5-1.5% but at the concentration of 3.0%, tensile strength and elongation at break became decreasing. *p*-Benzoquinone was found to be more efficient in improving mechanical strength of gelatin film than hydroquinone. Moreover, it was found that addition of quinone posed a significant effect on optical properties of gelatin film. The quinone-added films exhibited greater chroma, with lower hue angle and transparency, as compared to the control film. Regarding the effect of heat curing, treating the film-forming solution at 55 °C for 20 minutes produced a film with highest tensile strength. Heat curing posed little effect on the film hue angle but caused an increase in chroma and a decrease in transparency.

Keywords: Gelatin film, Hydroquinone, *p*-Benzoquinone, Heat curing



การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 7

The 7th STOU National Research Conference

บทนำ

ฟิล์มบรรจุภัณฑ์ที่นิยมใช้ในปัจจุบันส่วนใหญ่ผลิตจากพอลิเมอร์ฐานปิโตรเลียม (petroleum-based polymer) เนื่องจากพอลิเมอร์ดังกล่าวสามารถผลิตได้ในปริมาณที่มาก ด้วยเทคโนโลยีที่ทันสมัยในรูปแบบอุตสาหกรรม ซึ่งควบคุมและกำหนดสมบัติของผลิตภัณฑ์ได้แน่นอนกว่า นอกจากนี้พอลิเมอร์เหล่านี้ยังมีสมบัติที่ดีกว่าพอลิเมอร์ชีวภาพจากธรรมชาติ (naturally occurring biopolymer) ในหลายด้าน ได้แก่ สมบัติเชิงกล ลักษณะปรากฏ และสมบัติด้านการป้องกันการซึมผ่านของสารต่างๆ อย่างไรก็ตามปัญหาสำคัญที่เป็นผลจากการใช้บรรจุภัณฑ์จากพอลิเมอร์ฐานปิโตรเลียมหรือบรรจุภัณฑ์พลาสติกคือการกำจัดขยะซึ่งหากมีการใช้ที่มากเกินไปและมีการจัดการที่ไม่เหมาะสมอาจก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมเช่นที่โลกเผชิญอยู่ในปัจจุบัน ด้วยเหตุนี้อุตสาหกรรมต่างๆ รวมถึงอุตสาหกรรมอาหารจึงเริ่มหันมาให้ความสนใจในวัสดุบรรจุภัณฑ์ที่ย่อยสลายได้ง่ายทดแทนการใช้บรรจุภัณฑ์พลาสติก (González et al.: 2011)

เจลาตินเป็นพอลิเมอร์ชีวภาพชนิดหนึ่งที่มีสมบัติในการเกิดเป็นฟิล์มที่ดี ฟิล์มเจลาตินเป็นที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและอุตสาหกรรมยา เนื่องจากมีความโปร่งใสและมีสมบัติเชิงกลที่ดีกว่าเมื่อเทียบกับฟิล์มจากพอลิเมอร์ชีวภาพโดยทั่วไป (Gómez-Guillén et al.: 2002) อย่างไรก็ตามฟิล์มเจลาตินยังมีสมบัติที่ด้อยกว่าเมื่อเทียบกับฟิล์มพลาสติก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในด้านสมบัติเชิงกล ดังนั้นเพื่อเพิ่มประโยชน์การใช้งานของฟิล์มเจลาตินจึงต้องมีการปรับปรุงสมบัติเชิงกลของฟิล์มเจลาติน

การปรับปรุงสมบัติเชิงกลของฟิล์มโปรตีนสามารถทำได้โดยการส่งเสริมให้เกิดพันธะเชื่อมข้ามระหว่างโปรตีน ซึ่งสามารถทำได้โดยเทคนิคต่างๆ เช่น การใช้รังสี การใช้เอนไซม์ การผลิตเป็นฟิล์มคอมพอสิตร่วมกับพอลิเมอร์ชนิดอื่นที่มีสมบัติเชิงกลที่ดีกว่า การเสริมความแข็งแรงด้วยเส้นใยขนาดเล็ก รวมถึงการใช้สารเคมีเชื่อมข้าม และการบ่มด้วยความร้อน

การเชื่อมข้ามโปรตีนโดยควิโนนเป็นปรากฏการณ์ที่พบในกระบวนการทางชีววิทยาในธรรมชาติ เช่น การแข็งตัวของเปลือกนอกของแมลง ควิโนนสามารถเกิดปฏิกิริยากับหมู่อะมิโนหรือหมู่ซัลไฟไฮดริลของกรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบของโปรตีนเกิดเป็นพันธะโควาเลนต์ชนิดคาร์บอน-ไนโตรเจน (ในกรณีที่เกิดปฏิกิริยากับหมู่อะมิโน) หรือคาร์บอน-ซัลเฟอร์ (ในกรณีที่เกิดปฏิกิริยากับหมู่ซัลไฟไฮดริล) เชื่อมข้ามระหว่างโปรตีน (Strauss & Gibson: 2004) ในขณะที่การบ่มโดยให้ความร้อนแก่โปรตีนในภาวะที่เป็นเบสสามารถเร่งให้เกิดปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยนไธออล-ไดซัลไฟด์ (thiol-disulfide exchange) ซึ่งทำให้เกิดพันธะไดซัลไฟด์เชื่อมข้ามระหว่างโปรตีนได้ (Jensen: 1959)

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของชนิดควิโนน (ไฮโดรควิโนน และ พารา-เบนโซควิโนน) และความเข้มข้นของควิโนน (0.5, 1.0, 1.5 และ 3.0% โดยน้ำหนักเจลาติน) รวมทั้งผลของอุณหภูมิ (45, 55 และ 65 องศาเซลเซียส) และระยะเวลา (10, 20 และ 30 นาที) ในการบ่มสารละลายฟิล์มด้วยความร้อนต่อสมบัติของฟิล์มเจลาติน

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาผลของชนิดและความเข้มข้นของควิโนนต่อสมบัติของฟิล์มเจลาติน
2. เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิและระยะเวลาในการบ่มสารละลายฟิล์มด้วยความร้อนต่อสมบัติของฟิล์มเจลาตินที่เติมควิโนน



การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 7

The 7th STOU National Research Conference

ระเบียบวิธีวิจัย

1. วัตถุดิบ

เจลาตินเป็นผลิตภัณฑ์ของบริษัท ซีที เคมีคอล เทรตติ้ง (ประเทศไทย) จำกัด (กรุงเทพฯ) กลีเซอรอลเป็นผลิตภัณฑ์ของบริษัท สยามแอ็บโซลูท เคมีคอล จำกัด (กรุงเทพฯ) ไฮโดรควิโนนเป็นผลิตภัณฑ์ของ Ajax Finechem (New South Wales, Australia) พารา-เบนโซควิโนน เป็นผลิตภัณฑ์ของ Sigma-Aldrich (St. Louis, MO, USA) และคอปเปอร์ (II) อะซิเตทโมโนไฮเดรต เป็นผลิตภัณฑ์ของ QRec (New Zealand)

2. การเตรียมฟิล์มเจลาติน

การเตรียมฟิล์มเจลาตินดัดแปลงจากวิธีของ Yamauchi et al. (2009) และ Jiang et al. (2007) กำหนดให้ฟิล์มเจลาตินที่ไม่เติมควิโนนเป็นตัวอย่างควบคุม เตรียมสารละลายฟิล์มโดยละลายเจลาติน 5 กรัมในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (พีเอช 7.4) ซึ่งมีกลีเซอรอล (30% โดยน้ำหนักของเจลาติน) เป็นพลาสติกไซเซอร์ ผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันโดยใช้โฮโมจีไนเซอร์ที่ความเร็วรอบ 22,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 2 นาที นำสารละลายที่ได้ไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที เพื่อให้โปรตีนเกิดการเสียสภาพธรรมชาติบางส่วน นำสารละลายฟิล์มที่ผ่านการให้ความร้อนแล้วมาทำให้เย็นลงจนถึงอุณหภูมิห้อง กำจัดฟองอากาศโดยใช้เครื่องอัลตราโซนิกเป็นเวลา 10 นาที ขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มโดยบีบอัดสารละลายฟิล์มปริมาตร 40 มิลลิลิตร บรรจุลงในพิมพ์ที่ทำจากอะคริลิกขนาด 15 เซนติเมตร × 15 เซนติเมตร นำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นลอกแผ่นฟิล์มออกและนำไปเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 50% เป็นระยะเวลา 48 ชั่วโมง ก่อนวิเคราะห์สมบัติของฟิล์ม

สำหรับตัวอย่างฟิล์มที่เติมควิโนน (ไฮโดรควิโนน หรือ พารา-เบนโซควิโนน) แปรความเข้มข้นของควิโนนเป็น 4 ระดับ ได้แก่ 0.5, 1.0, 1.5 และ 3.0% โดยน้ำหนักของเจลาติน และเติมคอปเปอร์ (II) อะซิเตทโมโนไฮเดรต เพื่อช่วยในการเกิดปฏิกิริยาของควิโนน (Yamauchi et al.: 2009) การเตรียมฟิล์มทำเช่นเดียวกับตัวอย่างควบคุม แต่เพิ่มขั้นตอนการเติมควิโนนและคอปเปอร์ (II) อะซิเตทโมโนไฮเดรตหลังจากการให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์มที่ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที และทำให้เย็นลงจนถึงอุณหภูมิห้อง

สำหรับตัวอย่างฟิล์มที่ศึกษาผลของการบ่มสารละลายฟิล์มด้วยความร้อน คัดเลือกจากตัวอย่างฟิล์มที่เติมไฮโดรควิโนน และพารา-เบนโซควิโนนที่มีความต้านทานแรงดึงขาดสูงที่สุดมาชนิดละ 1 ตัวอย่าง การเตรียมฟิล์มทำเช่นเดียวกับตัวอย่างที่เติมควิโนน แต่หลังจากการให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์มที่ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที และทำให้เย็นลงจนถึงอุณหภูมิห้องแล้ว นำสารละลายฟิล์มไปบ่มด้วยความร้อน โดยแปรอุณหภูมิการบ่มเป็น 3 ระดับ (45, 55 และ 65 องศาเซลเซียส) และแปรระยะเวลาการบ่มเป็น 3 ระดับ (10, 20 และ 30 นาที)

3. การวิเคราะห์สมบัติของฟิล์ม

3.1 ความหนา

ตัดตัวอย่างฟิล์มให้มีขนาด 30 มิลลิเมตร × 100 มิลลิเมตร วัดความหนาโดยใช้ไมโครมิเตอร์ระบบดิจิตอล (Mitutoyo, Tokyo, Japan) สุ่มวัดความหนาตัวอย่างละ 15 จุดนับเป็น 1 ซ้ำ



การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 7

The 7th STOU National Research Conference

3.2 สมบัติเชิงกล

ทดสอบการดึง (tensile test) โดยใช้ universal materials testing machine (รุ่น 5565, Instron, Norwood, MA, USA) ซึ่งติดตั้งด้วยโหลดเซลล์ขนาด 5 กิโลกรัม ใช้หัววัด pneumatic side-action grips ดึงตัวอย่างฟิล์มขนาด 30 มิลลิเมตร × 100 มิลลิเมตร ด้วยความเร็ว 5 มิลลิเมตรต่อวินาที จนกระทั่งตัวอย่างฟิล์มขาดออกจากกัน คำนวณความต้านทานแรงดึงขาด (tensile strength) และการยืดตัวถึงจุดขาด (elongation at break) โดยใช้สมการที่ (1) และ (2) ตามลำดับ

$$\text{ความต้านทานแรงดึงขาด (เมกะพาสคาล)} = (F \times 0.009807 \times 10^{-6}) / w \times d \quad \dots(1)$$

เมื่อ F คือ แรงที่ใช้ในการดึงตัวอย่างให้ขาดออกจากกัน (กรัม-แรง) w คือ ความกว้างของตัวอย่าง (เมตร) และ d คือ ความหนาของตัวอย่าง (เมตร)

$$\text{การยืดตัวถึงจุดขาด (\%)} = L_f \times 100 / L_i \quad \dots(2)$$

เมื่อ L_f คือ ความยาวของตัวอย่าง ณ จุดที่ยืดออกได้มากที่สุดก่อนที่จะขาดออกจากกัน (มิลลิเมตร) และ L_i คือ ความยาวของตัวอย่างระหว่างส่วนยึดจับก่อนดึง (มิลลิเมตร)

3.3 สมบัติเชิงแสง

วัดค่าสีของตัวอย่างฟิล์มในระบบ CIELAB (L^* , a^* , b^*) โดยใช้ chroma meter (รุ่น CR-400, Konica Minolta Sensing, Osaka, Japan) วัดภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D65 มุมมอง 10 องศา คำนวณมุมสี (hue angle) และความเข้มสี (chroma) โดยใช้สมการที่ (3) และ (4) ตามลำดับ

$$\text{มุมสี (องศา)} = \arctan(b^*/a^*) \quad \dots(3)$$

$$\text{ความเข้มสี} = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2} \quad \dots(4)$$

สำหรับความโปร่งใส (transparency) ของฟิล์ม แสดงในรูปร้อยละของแสงส่องผ่าน (%transmittance) ที่ความยาวคลื่น 500 นาโนเมตร ด้วย visible spectrophotometer (รุ่น GENESYS20, Thermo Scientific, Waltham, MA, USA) โดยตัดตัวอย่างฟิล์มให้มีขนาด 1 เซนติเมตร × 4 เซนติเมตร ติดตั้งตัวอย่างฟิล์มลงบนพื้นผิวด้านในของด้านที่แสงส่องผ่านของคิวเวตต์แก้ว โดยกำหนดให้ร้อยละของแสงที่ส่องผ่านคิวเวตต์เปล่า (แบล็ก) มีค่าเท่ากับ 100

4. การออกแบบการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

สำหรับการศึกษาผลของคิวโนนต่อสมบัติของฟิล์มเจลาติน วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design) ทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลโดยใช้ Analysis of Variance (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's new multiple range test (Cochran & Cox: 1957) ที่ $p=0.05$

ส่วนในขั้นตอนการศึกษาผลของการบ่มสารละลายฟิล์มด้วยความร้อนต่อสมบัติของฟิล์มเจลาตินที่เติมคิวโนน วางแผนการทดลองแบบแฟกทอเรียลขนาด 3×3 ทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลโดยใช้ ANOVA และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's new multiple range test (Cochran & Cox: 1957) ที่ $p=0.05$



การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 7

The 7th STOU National Research Conference

ผลการวิจัย

1. ผลของชนิดและความเข้มข้นของควิโนนต่อสมบัติของฟิล์มเจลาติน

ในแง่ความหนา พบว่าตัวอย่างฟิล์มทั้งหมดมีความหนาไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.10-0.13 มิลลิเมตร

สำหรับสมบัติเชิงกล ความต้านทานแรงดึงขาดและการยืดตัวถึงจุดขาดของตัวอย่างฟิล์มเจลาตินที่เติมควิโนนแสดงดังตารางที่ 1 พบว่าชนิดและความเข้มข้นของควิโนนมีผลต่อความต้านทานแรงดึงขาดและการยืดตัวถึงจุดขาดของฟิล์มเจลาตินอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq 0.05$) สำหรับฟิล์มที่เติมไฮโดรควิโนนพบว่าเมื่อความเข้มข้นของไฮโดรควิโนนเพิ่มขึ้นในช่วง 0.5-1.5% ความต้านทานแรงดึงขาดและการยืดตัวถึงจุดขาดของตัวอย่างฟิล์มมีค่าเพิ่มสูงขึ้น แต่เมื่อความเข้มข้นของไฮโดรควิโนนเพิ่มเป็น 3.0% ความต้านทานแรงดึงขาดและการยืดตัวถึงจุดขาดกลับมีค่าลดลง สำหรับฟิล์มที่เติมพารา-เบนโซควิโนนพบว่าให้ผลในทำนองเดียวกันกับฟิล์มที่เติมไฮโดรควิโนน โดยเมื่อความเข้มข้นของพารา-เบนโซควิโนนเพิ่มขึ้นในช่วง 0.5-1.5% ความต้านทานแรงดึงขาดมีค่าเพิ่มสูงขึ้น ส่วนการยืดตัวถึงจุดขาดมีค่าเพิ่มสูงขึ้นในช่วงความเข้มข้นของพารา-เบนโซควิโนนเท่ากับ 0.5-1.0% เมื่อความเข้มข้นของพารา-เบนโซควิโนนเพิ่มสูงขึ้นจากช่วงดังกล่าว ความต้านทานแรงดึงขาดและการยืดตัวถึงจุดขาดจึงกลับมีค่าลดลงอีกครั้งหนึ่ง สำหรับผลของชนิดของควิโนน โดยทั่วไปพบว่าที่ความเข้มข้นเท่ากัน พารา-เบนโซควิโนนมีประสิทธิภาพในการปรับปรุงความต้านทานแรงดึงขาดและการยืดตัวถึงจุดขาดสูงกว่าไฮโดรควิโนน

ในด้านสมบัติเชิงแสง (ตารางที่ 2) พบว่าตัวอย่างควบคุมซึ่งไม่เติมควิโนนมีมุมสีเท่ากับ 84 องศา (มุมสีของสีเหลือง) และความเข้มสีเท่ากับ 6.81 การเติมควิโนนมีผลให้มุมสีมีค่าลดลง โดยตัวอย่างฟิล์มที่เติมควิโนนมีมุมสีในช่วง 47 องศา (มุมสีของสีส้ม) ไปจนถึง 8 องศา (มุมสีของสีแดง) และตัวอย่างฟิล์มที่เติมควิโนนมีความเข้มสีสูงกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq 0.05$) นอกจากนี้ยังพบว่าการเติมควิโนนส่งผลให้ความโปร่งใสของฟิล์มเจลาตินต่ำกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq 0.05$)



การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 7

The 7th STOU National Research Conference

ตารางที่ 1 สมบัติเชิงกลของฟิล์มเจลลาตินที่เติมควิโนน

ตัวอย่างฟิล์ม	ความเข้มข้นของควิโนน (%)	ความต้านทานแรงดึงขาด (เมกะพาสคาล)	การยืดตัวถึงจุดขาด (%)
ฟิล์มควบคุม	0	2.65±0.03f	251.17±9.83e
ฟิล์มที่เติมไฮโดรควิโนน	0.5	2.86±0.03e	341.33±7.15c
	1.0	3.29±0.02c	348.67±4.65bc
	1.5	3.90±0.34b	369.17±7.75a
	3.0	3.08±0.01d	349.33±14.98bc
ฟิล์มที่เติมพารา-เบนโซควิโนน	0.5	2.97±0.03de	351.67±2.51bc
	1.0	3.83±0.01b	360.65±2.11ab
	1.5	4.83±0.00a	319.33±3.75d
	3.0	3.78±0.02b	318.67±2.89d

ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

a, b, c,... ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 2 สมบัติเชิงแสงของฟิล์มเจลลาตินที่เติมควิโนน

ตัวอย่างฟิล์ม	ความเข้มข้นของควิโนน (%)	มูมสี (องศา)	ความเข้มสี	ร้อยละของแสงส่องผ่าน
ฟิล์มควบคุม	0	83.49±0.28a	6.81±0.09i	21.33±0.30a
ฟิล์มที่เติมไฮโดรควิโนน	0.5	46.47±0.13b	20.14±0.07a	4.75±0.04b
	1.0	41.65±0.21d	17.78±0.08c	3.61±0.01d
	1.5	37.40±0.40e	15.90±0.04e	2.81±0.01f
	3.0	20.39±0.08h	12.19±0.14g	1.46±0.00h
ฟิล์มที่เติมพารา-เบนโซควิโนน	0.5	43.65±0.01c	19.13±0.06b	4.25±0.02c
	1.0	35.86±0.15f	16.39±0.05d	3.18±0.02e
	1.5	22.77±0.14g	13.77±0.12f	2.31±0.02g
	3.0	7.67±0.31i	11.75±0.01h	0.66±0.02i

ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

a, b, c,... ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)



การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 7

The 7th STOU National Research Conference

2. ผลของอุณหภูมิและระยะเวลาในการบ่มสารละลายฟิล์มด้วยความร้อนต่อสมบัติของฟิล์มเจลาตินที่เติมควิโนน

จากผลการทดลองข้างต้นพบว่าตัวอย่างฟิล์มที่เติมไฮโดรควิโนนเข้มข้น 1.5% และตัวอย่างฟิล์มที่เติมพารา-เบนโซควิโนนเข้มข้น 1.5% มีความต้านทานแรงดึงขาดสูงสุด จึงคัดเลือกมาศึกษาผลของอุณหภูมิและระยะเวลาในการบ่มสารละลายฟิล์มด้วยความร้อนต่อสมบัติของฟิล์มในขั้นตอนนี้

ในแง่ความหนา พบว่าการบ่มด้วยความร้อนไม่มีผลต่อความหนาของฟิล์มเจลาตินที่เติมควิโนนอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.10-0.13 มิลลิเมตร

สำหรับสมบัติเชิงกล (ตารางที่ 3) พบว่าตัวอย่างฟิล์มที่บ่มด้วยความร้อนมีความต้านทานแรงดึงขาดสูงกว่า ในขณะที่มีการยืดตัวถึงจุดขาดต่ำกว่าตัวอย่างฟิล์มชนิดเดียวกันที่ไม่ผ่านการบ่มด้วยความร้อนอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) เมื่ออุณหภูมิการบ่มเพิ่มสูงขึ้นในช่วง 45-55 องศาเซลเซียส พบว่าตัวอย่างฟิล์มมีความต้านทานแรงดึงขาดเพิ่มขึ้น ในขณะที่การยืดตัวถึงจุดขาดมีค่าลดลง อย่างไรก็ตาม เมื่ออุณหภูมิการบ่มเพิ่มขึ้นเป็น 65 องศาเซลเซียส ความต้านทานแรงดึงขาดของทั้งฟิล์มที่เติมไฮโดรควิโนนและฟิล์มที่เติมพารา-เบนโซควิโนนกลับมีค่าลดต่ำลง

ในด้านสมบัติเชิงแสง (ตารางที่ 4) พบว่าการบ่มด้วยความร้อนมีผลค่อนข้างน้อยต่อมูมสี โดยตัวอย่างที่บ่มด้วยความร้อนมีมูมสีใกล้เคียงกับตัวอย่างชนิดเดียวกันที่ไม่ผ่านการบ่มด้วยความร้อน อย่างไรก็ตามพบว่า การบ่มด้วยความร้อนส่งผลให้ความเข้มสีมีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความโปร่งใสมีค่าลดลง

ตารางที่ 3 สมบัติเชิงกลของฟิล์มเจลาตินที่เติมไฮโดรควิโนนและพารา-เบนโซควิโนนเข้มข้น 1.5% และบ่มด้วยความร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ

ตัวอย่างฟิล์ม	อุณหภูมิการบ่ม (องศาเซลเซียส)	ระยะเวลาการบ่ม (นาท)	ความต้านทานแรงดึงขาด (เมกะพาสคาล)	การยืดตัวถึงจุดขาด (%)
ฟิล์มที่เติมไฮโดรควิโนน 1.5%				
ฟิล์มที่ไม่บ่มด้วยความร้อน			3.90±0.34k	369.17±7.75a
ฟิล์มที่บ่มด้วยความร้อน	45	10	5.78±0.05i	333.60±1.10b
		20	6.54±0.12g	313.64±3.14c
		30	7.20±0.07de	283.85±5.20e
	55	10	8.31±0.09c	254.53±5.23g
		20	9.36±0.05b	233.35±2.18i
		30	9.14±0.03b	231.20±0.59ij
	65	10	6.20±0.08h	318.8±5.97c
		20	6.11±0.02h	316.67±3.33c
		30	6.82±0.12f	313.33±3.25c



การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 7

The 7th STOU National Research Conference

ตารางที่ 3 (ต่อ)

ตัวอย่างฟิล์ม	อุณหภูมิการบ่ม (องศาเซลเซียส)	ระยะเวลาการบ่ม (นาท)	ความต้านทานแรงดึงขาด (เมกะพาสคาล)	การยืดตัวถึงจุดขาด (%)
ฟิล์มที่เติมพารา-เบนโซควิโนน 1.5%				
ฟิล์มที่ไม่บ่มด้วยความร้อน			4.84±0.00j	319.33±3.75c
ฟิล์มที่บ่มด้วยความร้อน	45	10	5.80±0.08i	330.64±1.45b
		20	7.39±0.25d	275.02±2.62f
		30	8.41±0.06c	245.97±1.61h
	55	10	8.28±0.27c	257.85±1.88g
		20	10.20±0.03a	225.80±2.56j
		30	9.19±0.18b	229.43±1.00ij
	65	10	6.60±0.06g	326.99±2.98b
		20	7.29±0.07de	294.46±7.55d
		30	7.14±0.04e	292.61±3.64d

ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

a, b, c,... ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)



การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 7

The 7th STOU National Research Conference

ตารางที่ 4 สมบัติเชิงแสงของฟิล์มเจลาตินที่เติมไฮโดรควิโนนและพารา-เบนโซควิโนนเข้มข้น 1.5% และบ่มด้วยความร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ

ตัวอย่างฟิล์ม	อุณหภูมิการบ่ม (องศาเซลเซียส)	ระยะเวลาการบ่ม (นาที)	มุมสี (องศา)	ความเข้มสี	ร้อยละของ แสงส่องผ่าน
ฟิล์มที่เติมไฮโดรควิโนน 1.5%					
ฟิล์มที่ไม่บ่มด้วยความร้อน			37.40±0.40a	15.90±0.04h	2.81±0.01a
ฟิล์มที่บ่มด้วยความร้อน	45	10	35.43±0.37b	16.46±0.06f	2.59±0.01b
		20	33.52±0.40c	17.26±0.03d	2.53±0.01c
		30	32.87±0.11d	17.42±0.05c	2.40±0.00e
	55	10	32.87±0.11d	17.35±0.15cd	2.49±0.01d
		20	32.59±0.14d	17.69±0.03b	2.41±0.01e
		30	32.62±0.15d	17.78±0.04b	2.21±0.01h
	65	10	32.85±0.05d	17.66±0.03b	2.31±0.01f
		20	32.86±0.02d	17.79±0.06b	2.09±0.01j
		30	32.77±0.04d	17.91±0.04a	1.97±0.02m
ฟิล์มที่เติมพารา-เบนโซควิโนน 1.5%					
ฟิล์มที่ไม่บ่มด้วยความร้อน			22.77±0.14ij	13.77±0.12l	2.31±0.02f
ฟิล์มที่บ่มด้วยความร้อน	45	10	22.86±0.02ij	13.86±0.00l	2.25±0.01g
		20	22.53±0.12j	14.56±0.10k	2.14±0.02i
		30	22.72±0.12ij	15.18±0.02j	2.02±0.02l
	55	10	24.22±0.14g	15.06±0.04j	2.15±0.01i
		20	23.46±0.17h	15.70±0.12i	2.05±0.01k
		30	22.95±0.01i	16.05±0.03g	1.89±0.12n
	65	10	24.67±0.10e	16.17±0.12g	1.88±0.02n
		20	24.60±0.28ef	16.43±0.06f	1.40±0.00o
		30	24.29±0.22fg	16.85±0.13e	1.21±0.01p

ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

a, b, c,... ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)



การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 7

The 7th STOU National Research Conference

อภิปรายผลการวิจัย

1. ผลของชนิดและความเข้มข้นของควิโนนต่อสมบัติของฟิล์มเจลาติน

การเติมไฮโดรควิโนนหรือพารา-เบนโซควิโนนไม่มีผลสำคัญต่อความหนาของฟิล์มเจลาติน Cuq et al. (1997) รายงานว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อความหนาของฟิล์มคือปริมาณของแข็ง เนื่องจากในงานวิจัยนี้ ตัวอย่างฟิล์มมีปริมาณของแข็งที่ใกล้เคียงกัน ฟิล์มที่ได้จึงมีความหนาไม่ต่างกัน ดังนั้นหากตัวอย่างในงานวิจัยนี้มีสมบัติด้านใดด้านหนึ่งที่แตกต่างกันจึงไม่ได้เป็นผลมาจากความหนาของฟิล์ม

การเติมควิโนนสามารถปรับปรุงสมบัติเชิงกลของฟิล์มเจลาตินในด้านความต้านทานแรงดึงขาดและการยืดตัวถึงจุดขาด โดยควิโนนสามารถเกิดปฏิกิริยากับหมู่อะมิโนหรือหมู่ซัลไฟไฮดริลของกรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบของโปรตีน เกิดเป็นพันธะเชื่อมข้ามโควาเลนต์ชนิดคาร์บอน-ไนโตรเจน และ คาร์บอน-ซัลเฟอร์ (Strauss & Gibson: 2004) พันธะโควาเลนต์เป็นพันธะที่มีความแข็งแรงสูง ส่งผลให้โครงร่างของโปรตีนมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามพบว่าการเติมควิโนนที่ความเข้มข้นสูง (3.0%) ทำให้สมบัติเชิงกลของฟิล์มเจลาตินด้อยลง ซึ่งอาจเป็นผลเนื่องมาจากควิโนนเกิดการรวมตัวกันเองที่ความเข้มข้นสูงและไม่เกิดปฏิกิริยากับโปรตีน (Balange & Benjakul: 2009)

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างควิโนนทั้งสองชนิด พบว่าพารา-เบนโซควิโนนมีประสิทธิภาพสูงกว่าไฮโดรควิโนนในการปรับปรุงสมบัติเชิงกลของฟิล์มเจลาติน ทั้งนี้เนื่องจากพารา-เบนโซควิโนนอยู่ในรูปที่ถูกออกซิไดส์ (oxidized form) Strauss & Gibson (2004) รายงานว่าควิโนนที่อยู่ในรูปที่ถูกออกซิไดส์สามารถเกิดปฏิกิริยากับโปรตีนได้ดีกว่า เมื่อทำปฏิกิริยากับโปรตีนแล้วควิโนนจะถูกเปลี่ยนกลับไปอยู่ในรูปที่ถูกรีดิวซ์ (reduced form) และสามารถถูกออกซิไดส์และทำปฏิกิริยากับโปรตีนได้อีกและเกิดเป็นพันธะเชื่อมข้าม

การเชื่อมข้ามของโปรตีนนี้ยังส่งผลต่อสมบัติเชิงแสงของฟิล์ม โดยจะเห็นได้ว่าฟิล์มเจลาตินที่เติมควิโนนมีความโปร่งใสลดลง ส่วนการเปลี่ยนแปลงมุมสีและความเข้มสีเกิดเนื่องมาจากผลิตภัณฑ์สี (colored product) ที่ได้จากปฏิกิริยาของโปรตีนกับควิโนน (Rawel et al.: 2002)

2. ผลของอุณหภูมิและระยะเวลาในการบ่มสารละลายฟิล์มด้วยความร้อนต่อสมบัติของฟิล์มเจลาตินที่เติมควิโนน

การบ่มสารละลายฟิล์มด้วยความร้อนไม่มีผลสำคัญต่อความหนาของฟิล์มเจลาตินที่เติมควิโนน ทั้งนี้เนื่องจากตัวอย่างฟิล์มมีปริมาณของแข็งที่ใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตามการบ่มด้วยความร้อนมีผลสำคัญต่อสมบัติเชิงกลของฟิล์มเจลาตินที่เติมควิโนน Jensen (1959) รายงานว่าการให้ความร้อนแก่โปรตีนในภาวะที่เป็นเบสสามารถเร่งให้เกิดปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยนไฮโดร-ไดซัลไฟด์ ซึ่งทำให้เกิดพันธะไดซัลไฟด์เชื่อมข้ามระหว่างโปรตีนได้ พันธะไดซัลไฟด์เป็นพันธะโควาเลนต์ซึ่งมีพลังงานพันธะที่สูงจึงส่งผลให้ฟิล์มที่ผ่านการบ่มด้วยความร้อนมีความต้านทานแรงดึงขาดสูงขึ้น ในขณะที่มีการยืดตัวถึงจุดขาดลดลง อย่างไรก็ตามการใช้อุณหภูมิที่สูงเกินไป (65 องศาเซลเซียส) อาจทำให้เกิดการรวมตัวกัน (aggregation) ของโปรตีนอย่างรวดเร็ว ซึ่งอาจทำให้เนื้อฟิล์ม (film matrix) ที่ได้มีความไม่สม่ำเสมอ ฟิล์มที่ได้จึงมีความแข็งแรงเชิงกลที่ด้อยลง (อัญชนา อินสวาสดี และคณะ, 2557)

การบ่มด้วยความร้อนยังส่งผลต่อสมบัติเชิงแสงของฟิล์ม โดยจะเห็นได้ว่าฟิล์มเจลาตินที่เติมควิโนนและผ่านการบ่มด้วยความร้อนมีความเข้มสีมากขึ้นและความโปร่งใสลดลง เนื่องมาจากความร้อนช่วยเร่งปฏิกิริยาของโปรตีนกับควิโนน



การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 7

The 7th STOU National Research Conference

ข้อเสนอแนะ

จากผลการวิจัยจะเห็นได้ว่าการเติมควิโนนและการบ่มด้วยความร้อนเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการปรับปรุงสมบัติเชิงกลของฟิล์มเจลาติน เนื่องจากการใช้เทคนิคดังกล่าวส่งผลต่อสมบัติเชิงแสงของฟิล์มด้วย โดยฟิล์มที่ได้มีสีที่เข้มขึ้นและมีความโปร่งใสลดลง ดังนั้นฟิล์มเจลาตินนี้อาจเป็นที่ต้องการหรือไม่ต้องการขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการนำไปใช้งาน

ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

ได้ผลิตภัณฑ์ต้นแบบของฟิล์มเจลาตินที่มีความแข็งแรงเชิงกลมากขึ้น รวมทั้งได้ข้อมูลที่เป็นพื้นฐานสำหรับการพัฒนาฟิล์มเจลาตินเพื่อการนำไปใช้ประโยชน์

เอกสารอ้างอิง

- อัญชนา อินสวาสดิ์, เกียรติศักดิ์ ดวงมัลย์ และ ธนจันทร์ มหาวนิช. (2557). ผลของการบ่มด้วยความร้อนต่อสมบัติของฟิล์มโปรตีนถั่วเหลืองที่เติมกรดแกลลิก. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*, 45(2), 25-28.
- Balange, A.K., & Benjakul, S. (2009). Effect of oxidized phenolic compounds on the gel property of mackerel (*Rastrelliger kanagurta*) surimi. *LWT-Food Science & Technology*, 42(6), 1059-1064.
- Cochran, W.G., & Cox, G.M. (1957). *Experimental designs*. New York: Wiley.
- Cuq, B., Gontard, N., & Guilbert, S. (1997). Thermal properties of fish myofibrillar protein-based films as affected by moisture content. *Polymer*, 38(10), 2399-2405.
- Gómez-Guillén, M.C., Turnay, J., Fernández-Díaz, M.D., Ulmo, N., Lizarbe, M.A., & Montero, P. (2002). Structural and physical properties of gelatin extracted from different marine species: a comparative study. *Food Hydrocolloids*, 16(1): 25-34.
- González, A., Strumia, M.C., & Igarzabal, C.I.A. (2011). Cross-linked soy protein as material for biodegradable films: synthesis, characterization and biodegradation. *Journal of Food Engineering*, 106(4), 331-338.
- Jensen, E.V. (1959). Thiol-disulfide interchange. *Science*, 130(3385), 1319-1323.
- Jiang, Y., Tang, C.H., Wen, Q.B., Li, L., & Yang, X.Q. (2007). Effect of processing parameters on the properties of transglutaminase-treated soy protein isolate films. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 8(2), 218-225.
- Rawel, H.M., Czajka, D., Rohn, S., & Kroll, J. (2002). Interactions of different phenolic acids and flavonoids with soy proteins. *International Journal of Biological Macromolecules*, 30(3), 137-150.
- Strauss, G., & Gibson, S.M. (2004). Plant phenolics as cross-linkers of gelatin gels and gelatin-based coacervates for use as food ingredients. *Food Hydrocolloids*, 18(1), 81-89.



การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 7

The 7th STOU National Research Conference

Yamauchi, A., Hatanaka, Y., Muro, T., & Kobayashi, O. (2009). Enzyme-free quinone crosslinking reaction for proteins: a macromolecular characterization study using gelatin. *Macromolecular Bioscience*, 9(9), 875-883.

