

การใช้กลูเตนข้าวสาลีเป็นมอร์แดนต์ชีวภาพในการย้อมผ้าฝ้ายด้วยสีธรรมชาติ Wheat Gluten as a Biomordant in Natural Dyeing of Cotton Fabrics

เพ็ญวิสาข์ พิสิษฐศักดิ์^{1*}, อรวรรณ ไพศาลวรกิจ¹, เด่นนภา แผลงศร¹, สาวิตรี เดชบุญ¹

ธนิกา หุตะกมล¹ และ รับโชค ทองเจริญ²

Penwisa Pisitsak^{1*}, Orawan Pisanworakit¹, Dennapha Plangsorn¹, Sawitri Detbun¹

Thanika Hutakamol¹ and Rabchok Thongcharoen²

¹สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุและสิ่งทอ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

²สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งทอ

¹Department of Materials and Textile Technology, Faculty of Science and Technology, Thammasat University

²Thailand Textile Institute, Bangkok

*Email: penwisa@tu.ac.th

Received: August 11, 2021; Revised: March 28, 2022; Accepted: April 22, 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการใช้กลูเตนข้าวสาลีเป็นมอร์แดนต์ชีวภาพ เพื่อย้อมผ้าฝ้ายด้วยสีธรรมชาติที่อุดมด้วยสารแทนนิน โดยสีผงธรรมชาติที่ใช้อยู่ได้จากการนำสารสกัดจากเปลือกไม้ตะบูนขาวมาผ่านการอบแห้งแบบพ่นละอองฝอย ในการใช้ผงกลูเตนข้าวสาลีทำโดยนำผงกลูเตนข้าวสาลีไปละลายน้ำที่พีเอช 12 จากนั้นนำสารละลายที่ได้ไปจุ่มอัดบนผ้าฝ้ายก่อนทำการย้อม พบว่ามีผลเป็นมอร์แดนต์ชีวภาพที่ช่วยให้ความเข้มสีของผ้าที่ย้อมได้สูงขึ้น โดยความเข้มข้นของโปรตีนกลูเตนข้าวสาลีค่าพีเอช ระยะเวลาในการย้อม และอุณหภูมิต่อความเข้มสีล้วนมีผลต่อความเข้มสีที่ได้ สำหรับสภาวะการย้อมสีที่เหมาะสมคือการใช้กลูเตนข้าวสาลีความเข้มข้น 0.5% w/v, ความเข้มข้นสีย้อม 30% owf, อุณหภูมิการย้อม 90 องศาเซลเซียส, ระยะเวลาในการย้อม 45 นาที, ค่าอัตราส่วน L:R เท่ากับ 1:30 และพีเอช 5 นอกจากนี้ยังทำการศึกษาผลของการใช้กลูเตนข้าวสาลีต่อค่าความคงทนของสีต่อการซัก ความคงทนของสีต่อแสง เหงื่อ การขัดถู และทดสอบสมบัติเชิงกล ได้แก่ ความต้านทานการฉีกขาด และความต้านทานแรงดึง

คำสำคัญ : กลูเตนข้าวสาลี, การย้อมสีธรรมชาติ, แทนนิน, ผ้าฝ้าย, มอร์แดนต์

Abstract

This study investigated the use of wheat gluten as a biomordant in natural dyeing of cotton. Tannin-rich natural dye powder was obtained from spray-drying of *Xylocarpus granatum* bark extract. Wheat gluten was dissolved in water at pH 12 and applied to cotton samples by padding. This improved dye uptake, giving the biomordant-pretreated samples a higher color strength. The effect on color strength of the protein concentration, pH, dyeing time, and dyeing temperature were investigated. The optimal dyeing conditions were a wheat gluten concentration 0.5% w/v, a dye concentration 30% owf, a dyeing temperature of 90°C, a dyeing time of 45 min, an L:R ratio of 1:30, and a pH of 5. Effects of wheat gluten on color fastness to washing, light, perspiration, crocking, and mechanical properties, including tear and tensile resistance, were also investigated.

Keywords : Wheat gluten, Natural dyeing, Tannin, Cotton, Mordant

1. บทนำ

กลูเต็นข้าวสาลีเป็นไกลโคโปรตีนที่พบในเอ็นโดสเปิร์มของข้าวสาลี ซึ่งได้มาจากกระบวนการแยกแป้งออกจากข้าวสาลีมีคุณสมบัติเหนียวและยืดหยุ่น [1-3] ในกลูเต็นข้าวสาลีประกอบด้วยโปรตีนประมาณ 80% และอื่นๆ ได้แก่ สารกลุ่ม พอลิแซ็กคาไรด์ ไชมัน และแร่ธาตุ [4] กลูเต็นข้าวสาลีมีสมบัติทางการไหลและสมบัติอื่นๆ ที่เหมาะสมต่อการนำมาใช้เป็นส่วนประกอบของอาหาร เช่น ขนมปัง เนื้อเทียม ช่วยให้มีความเหนียวนุ่ม และยังสามารถนำไปทำผลิตภัณฑ์ที่ไม่ใช่อาหาร เช่น เครื่องสำอางและยา เป็นต้น

เส้นใยฝ้ายจัดเป็นเส้นใยธรรมชาติที่มีการใช้งานมากที่สุด โมเลกุลของเส้นใยฝ้ายคือเซลลูโลส ซึ่งมีหน่วยซ้ำคือกลูโคส ดังนั้นจึงทำให้เส้นใยฝ้ายอุดมไปด้วยหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl group) จึงมีแนวโน้มแสดงประจุลบในน้ำและผลักกับสีย้อมธรรมชาติซึ่งมักมีประจุลบในน้ำเช่นกัน ดังนั้นฝ้ายจึงมักติดสีย้อมธรรมชาติได้ไม่ดี ได้ฝ้าย้อมที่มีความเข้มสีต่ำ [5, 6] ดังนั้นเพื่อให้การย้อมติดสีดีขึ้น จึงมีการใช้มอร์แดนต์ (สารช่วยย้อม) กลุ่มเกลือโลหะ ซึ่งจะช่วยให้เส้นใยฝ้ายจับกับสีย้อมได้โดยผ่านการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างเกลือโลหะกับสีย้อม หรือใช้สารผนึกสีประจุบวก (Cationic fixing agent) เพื่อตัดแปรประจุฝ้ายให้เกิดประจุบวกที่สามารถจับกับโมเลกุลสีย้อมที่เป็นลบได้ดี [7, 8]

อย่างไรก็ตาม มีความพยายามใช้สารมอร์แดนต์ชีวภาพ ซึ่งมีความเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่ามอร์แดนต์

กลุ่มเกลือโลหะมาใช้ทดแทนกัน ซึ่งมอร์แดนต์ชีวภาพที่มีผู้รายงานในฐานข้อมูลวิชาการ ได้แก่ ไคโตซาน (Chitosan) [5] กรดแทนนิกร่วมกับเอนไซม์ (Tannic acid and enzyme) [9] สารสกัดจากต้นปลายसान (*Eurya acuminata* DC var. *acuminata* Karth) [10] โปรตีนอัลบูมินในซีรัม (Bovine serum albumin) [11] โปรตีนไข่ขาว [11] โปรตีนถั่วเขียว โปรตีนเวย์ [12] และโปรตีนสกัดจากเคยแอนตาร์กติก [13] จากผลการวิจัยในอดีต เป็นที่แน่ชัดว่า โปรตีนสามารถช่วยให้ผ้าฝ้ายติดสีย้อมแทนนินได้ดีขึ้น โดยค่าความเข้มสี (K/S) ของผ้าฝ้ายที่ใช้โปรตีนเป็นมอร์แดนต์ชีวภาพ มีค่าสูงกว่าผ้าฝ้ายที่ไม่ใช้มอร์แดนต์ชีวภาพอย่างชัดเจน

งานวิจัยนี้ ศึกษาการใช้โปรตีนกลูเต็นจากข้าวสาลีในการย้อมผ้าฝ้ายด้วยสีย้อมสกัดจากเปลือกตะบูนขาว (Cannonball Mangrove ชื่อวิทยาศาสตร์ *Xylocarpus granatum*) ซึ่งเป็นสีย้อมที่อุดมไปด้วยสารคอนเดนส์แทนนิน (Condensed tannin) โดยมีสมมติฐานว่า การใช้ผ้าที่มีโปรตีนกลูเต็นข้าวสาลี จะช่วยบดบังประจุลบของเส้นใยฝ้ายและการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างโปรตีนกับสีย้อมแทนนินซึ่งมีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำ จะทำให้สีย้อมติดอยู่บนผ้าได้ดี ผ้ามีสีเข้มและคงทนต่อการซัก อย่างไรก็ตามเนื่องจากโปรตีนข้าวสาลีประกอบด้วยไกลอะดีน (Gliadin) และกลูเตนิน (Glutenin) เป็นองค์ประกอบหลัก และโปรตีนทั้งสองชนิดนี้ไม่ละลายน้ำที่พีเอชเป็นกลาง แต่สามารถ

ละลายได้ในน้ำที่มีสภาวะเป็นกรด หรือเป็นด่าง [14-15] งานวิจัยนี้จึงเลือกเตรียมสารละลายโปรตีนที่สภาวะต่าง เนื่องจากเส้นใยฝ้ายสามารถทนทานต่อสภาวะต่างได้ดีกว่า สภาวะกรด ซึ่งการใช้โปรตีนกลูเตนข้าวสาลีซึ่งหาได้ง่ายและ ราคาไม่แพงในการช่วยย้อมสีฝ้าย จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีองค์ประกอบจากธรรมชาติทั้งหมด จึงมีความน่าสนใจในแง่ของความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการย้อมสีฝ้ายโดยใช้สีย้อมธรรมชาติและใช้กลูเตนข้าวสาลีเป็นมอร์แดนท์ชีวภาพ
2. เพื่อศึกษาสภาวะต่างๆ ที่มีผลต่อการย้อม
3. เพื่อศึกษาสมบัติความคงทนของสีและสมบัติเชิงกลของผ้าที่ย้อมได้

3. วิธีการทดลอง

3.1 วัสดุและสารเคมี

กลูเตนข้าวสาลี (75% จากบริษัท Sigma Aldrich) ฝ้ายทอละลายขัด (จำนวนด้ายยืน 28 เส้น/ตร.ซม. จำนวนด้ายพุ่ง 34 เส้น/ตร.ซม.) จากตลาดพาหุรัด กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย

สีย้อมธรรมชาติสกัดจากเปลือกตะบูนขาว เตรียมโดยนำเปลือกลำต้นตะบูนขาวมาตากแดดจนแห้งเป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์ แช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และให้ความร้อนที่ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำน้ำสีที่ได้ไปทำการกรองแล้วเข้ากระบวนการอบแห้งแบบพ่นละอองฝอย (spray-drying) ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ได้ผงสีน้ำตาลแดงที่มีองค์ประกอบของแทนนิน 70.0% [13]

3.2 การเตรียมสารละลายกลูเตนข้าวสาลีและจุ่มอัดบนผ้าฝ้าย

นำกลูเตนข้าวสาลีมาละลายในน้ำปราศจากไอออนที่พีเอชต่างๆ พบว่าสามารถละลายได้ดีที่สุดที่พีเอช 12 (ปรับพีเอชด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์) ขณะที่พีเอชอื่นๆให้สารละลายสีขาวขุ่น ดังนั้นจึงใช้สารละลายกลูเตนข้าวสาลีที่พีเอช 12 ในการจุ่มอัดผ้าฝ้ายเพื่อทำการทดลองต่อไป

การจุ่มอัดผ้าฝ้ายด้วยสารละลายกลูเตนข้าวสาลีทำโดยละลายกลูเตนข้าวสาลีที่ความเข้มข้น 0.25-1.5% w/v ในน้ำที่มีค่าพีเอช 12 จนกระทั่งผ้าเปียกทั่ว จากนั้นจึงนำไปจุ่มอัดด้วยลูกกลิ้งจุ่มอัดด้วยแรงกด 2 kg/cm² จากนั้นแขวนผืนผ้าฝ้ายที่ผ่านการจุ่มอัดให้แห้ง

3.3 การเตรียมสารละลายสีย้อม และขั้นตอนการย้อมผ้าฝ้าย

นำผงสีย้อมที่ทราบน้ำหนักมาละลายในน้ำปราศจากไอออนที่พีเอชที่ต้องการ (ศึกษาในช่วงพีเอช 3-12) จากนั้นนำผ้าฝ้ายตัวอย่างขนาดกว้าง 15 เซนติเมตร ยาว 21 เซนติเมตร จุ่มแช่ในสารละลายด้วยอัตราส่วน L:R 1:30 ทำการย้อมด้วยเครื่องย้อมสีระบบอินฟราเรด (Starlet DL-6000) ตั้งสภาวะการย้อมให้เริ่มจากอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ให้ความร้อนด้วยอัตราเร็ว 2 องศาเซลเซียสต่อ นาที จนถึงอุณหภูมิการย้อมที่ต้องการ ได้แก่ 60, 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส จากนั้นรักษาระดับอุณหภูมิไว้ตามระยะเวลาที่ต้องการ ได้แก่ 10, 30, 45 และ 60 นาที จากนั้นปรับลดอุณหภูมิลงภายในเวลา 5 นาทีให้เหลือ 60 องศาเซลเซียส จึงนำผ้าออกจากเครื่องย้อม ล้างด้วยน้ำสะอาดและผึ่งให้แห้ง

กระบวนการกำจัดสีย้อมส่วนเกินทำโดยให้ความร้อนผ้าฝ้ายย้อมในสารละลายผงซักฟอกมาตรฐาน (AATCC 1993 standard reference WOB) ความเข้มข้น 2 กรัม/ลิตร ที่ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 20 นาที ใช้ค่า L:R ที่ 1:30 จากนั้นนำผ้าไปล้างน้ำและผึ่งให้แห้ง

3.4 การวัดสีด้วยระบบซีไอแอล็บ (CIELab)

นำผ้าฝ้ายย้อมสีไปวัดค่าพารามิเตอร์สี ในระบบซีไอแอล็บ ได้แก่ ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (GretagMacbeth Color i5) โดยวัดการสะท้อนแสงที่ตำแหน่งต่างๆ ของผ้า 3 ตำแหน่ง โปรแกรมจะทำการประมวลผลและรายงานค่าที่ได้ในรูปค่าเฉลี่ย L^* (ความสว่าง), a^* (แดง-เขียว), b^* (เหลือง-น้ำเงิน), ค่า C^* (ความเข้มตัวของสี), h° (ค่าเฉดสีหรือค่ามุมของฮิว) และความเข้มสี (K/S) มีรายละเอียดดังสมการที่ (1) - (3)

$$C^* = [(a^*)^2 + (b^*)^2]^{1/2} \quad (1)$$

$$h^\circ = \arctan(b^*/a^*) \quad (2)$$

$$K/S = (1-R)^2/2R \quad (3)$$

เมื่อ R คือค่าการสะท้อนแสง (Reflectance) ของผ้า ตัวอย่าง K คือสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง (Absorption coefficient) และ S คือสัมประสิทธิ์การกระเจิงแสง (Scattering coefficient)

3.5 การทดสอบความคงทนของสี

นำผ้าตัวอย่างซึ่งย้อมด้วยสีย้อมธรรมชาติความเข้มข้น 30% owf อุณหภูมิในการย้อม 90 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการย้อม 45 นาที ค่า L:R เท่ากับ 1:30 และพีเอชเท่ากับ 5 เปรียบเทียบระหว่างการย้อมโดยใช้โปรตีนกลูเต็นข้าวสาลี 0.5% w/v (Wheat gluten-treated) เทียบกับกรณีที่ย้อมโดยไม่ใช้โปรตีน (Untreated) มาทำการทดสอบความคงทนของสีต่อการซักด้วยมาตรฐาน ISO105-C06:2010 วิธี A1 ทดสอบความคงทนของสีต่อเหงื่อตามมาตรฐาน ISO105-E04:2013 ความคงทนของสีต่อแสงตามมาตรฐาน ISO 105-B02:2014 และความคงทนของสีต่อการขัดถูตามมาตรฐาน ISO105-X12:2001

3.6 การทดสอบสมบัติเชิงกลของผ้า

นำผ้าตัวอย่างซึ่งย้อมด้วยสีย้อมธรรมชาติความเข้มข้น 30% owf อุณหภูมิในการย้อม 90 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการย้อม 45 นาที ค่า L:R เท่ากับ 1:30 และพีเอชเท่ากับ 5 เปรียบเทียบระหว่างการย้อมโดยใช้โปรตีนกลูเต็นข้าวสาลี 0.5% w/v (Wheat gluten-treated) เทียบกับกรณีที่ย้อมโดยไม่ใช้โปรตีน (Untreated) และผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านกระบวนการใดๆ (Blank) มาทดสอบความต้านทานการฉีกขาด ตามมาตรฐาน ASTM D1424: 1996 และความต้านทานแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM D 5035-95: 2003

4. ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

4.1 ผลการวัดค่าสี

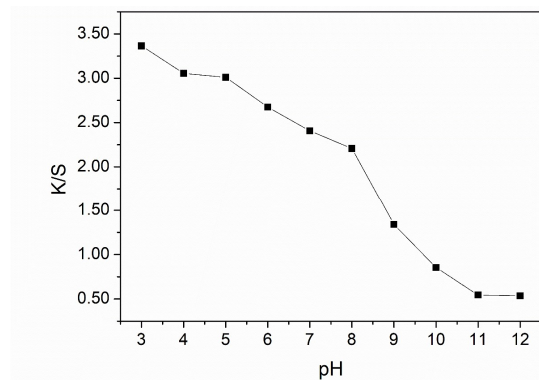
ตารางที่ 1 แสดงภาพถ่ายผ้าตัวอย่าง และค่าสีที่วัดได้ พบว่าผ้าที่ผ่านการย้อมจะมีสีน้ำตาลแดง สอดคล้องกับค่า

เฉดสีหรือค่ามุมของฮิว ($h^\circ = b^*/a^*$) ที่แสดงในตาราง ส่วนความเข้มสีของผ้าซึ่งใช้พารามิเตอร์ K/S ในการวัดพบว่า ผ้าที่ใช้โปรตีนกลูเต็นข้าวสาลีช่วยในการย้อมจะมีความเข้มสีสูงกว่ากรณีที่ย้อมโดยไม่ใช้โปรตีนอย่างชัดเจน ทั้งนี้เนื่องจากการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแทนนินในสีย้อมกับโปรตีน ทำให้ผ้าสามารถดูดซับโมเลกุลสีย้อมเข้าไปได้ดีขึ้น ซึ่งแตกต่างจากกรณีการย้อมสีผ้าฝ้ายกับสีย้อมโดยตรง เนื่องจากปกติแล้วผ้าฝ้ายจะแสดงประจุลบในน้ำย้อม ที่พีเอช 2.9 ขึ้นไป ซึ่งแทนนินเองก็จะแสดงประจุลบเช่นกัน [12] ทำให้เกิดการผลักกันระหว่างเส้นใยผ้ากับสีย้อม ซึ่งการนำผ้าชุบโปรตีนข้าวสาลีก่อนการย้อม จะช่วยลดประจุลบดังกล่าวบนหน้าผ้า

อย่างไรก็ตาม จากรูปที่ 1 และตารางที่ 2 ในงานวิจัยนี้ เมื่อเพิ่มค่าพีเอชจะมีผลให้การติดสีต่ำลงเรื่อยๆ แสดงให้เห็นว่า ยิ่งสารละลายเป็นด่างมากขึ้น จะยิ่งเพิ่มประจุลบให้กับผ้า (เนื่องจากสารละลายด่างจะมีความเข้มข้นของไอออนไฮดรอกไซด์มาก) และน่าจะทำให้โปรตีนละลายหลุดออกจากผ้าได้ง่ายขึ้น (ผลจากการถูกไอออนด้วยไอออนไฮดรอกไซด์) ในระหว่างการย้อม ซึ่งเป็นผลเสียต่อการย้อม ทำให้โมเลกุลแทนนินซึ่งมีประจุลบแพร่เข้าหาผ้าได้น้อยลง ซึ่งจากที่กล่าวมา การใช้โปรตีนกลูเต็นข้าวสาลี ให้ผลที่แตกต่างจากการใช้โปรตีนเวย์ [12] เนื่องจากโปรตีนเวย์จะมีค่าพีเอชที่เหมาะสมต่อการย้อมที่พีเอช 5 (ศึกษาในช่วงพีเอช 4-11) เนื่องจากโปรตีนเวย์จะแสดงประจุเป็นกลาง (isoelectric point) ที่พีเอช 5.2 [16] และที่ประจุเป็นกลางนี้ มีหลักฐานการวิจัยสนับสนุนว่าโปรตีนมักจะจับกับแทนนินได้ดี เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่ไม่ละลายน้ำ [12, 17-18] Chemistry of Tannin-Protein Complexation อย่างไรก็ตาม ในกรณีกลูเต็นข้าวสาลีนั้น ที่พีเอชที่ทำให้ประจุเป็นกลาง (พีเอชประมาณ 6 [19] และ 6.2 [20]) ไม่ใช่พีเอชที่ทำให้การจับกันระหว่างกลูเต็นและแทนนินเกิดขึ้นดีที่สุด แต่พีเอชที่ต่ำลงเรื่อยๆ ซึ่งหมายถึงความเป็นกรดที่เพิ่มขึ้น กลับมีอิทธิพลในการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการจับสีย้อมแทนนิน มากกว่า ทั้งนี้อาจเป็นผลจากการที่โปรตีนกลูเต็นและผ้าฝ้ายแสดงประจุบวกที่เอื้อต่อการดูดซับสีแทนนินซึ่งมีประจุลบ อย่างไรก็ตาม เส้นใยผ้าสามารถถูกทำลายได้ในสารละลายที่มีค่าพีเอชต่ำกว่า 4 ได้ ดังนั้นจึงเลือกทำการ

ย้อมที่พีเอช 5 ซึ่งเป็นค่าพีเอชที่ให้ความเข้มสีสูง แม้ว่าจะไม่ใช่ค่าพีเอชที่ให้ความเข้มสีสูงสุด

โปรตีนกลูเต็นข้าวสาลีมีอันตรกิริยากับแทนนินผ่านแรงระหว่างโมเลกุลหลายประเภทด้วยกัน ทั้งจากส่วนที่มีขั้ว คือ พันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ฟีนอลิกไฮดรอกซิล (Phenolic hydroxyl) ในโครงสร้างแทนนิน กับหมู่อะมิโน คาร์บอกซิล และไฮดรอกซิลของโปรตีน และมีอันตรกิริยาแบบไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic interaction) ระหว่างส่วนที่ไม่มีขั้วของทั้งสองด้วย [21-23]

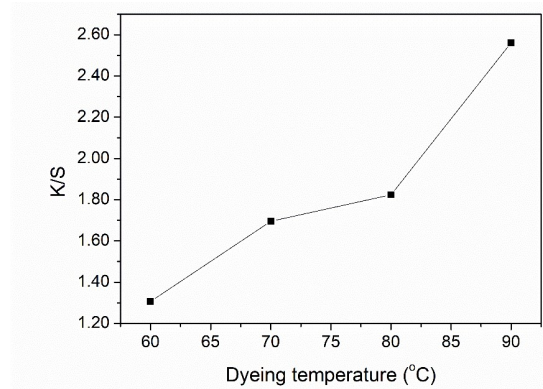


รูปที่ 1 ผลของพีเอชของน้ำย้อมต่อค่าความเข้มสีของผ้าฝ้ายที่ จุ่มอัดด้วยโปรตีนกลูเต็นข้าวสาลี 1.0% w/v สีย้อมเข้มชั้น 30% owf ใช้อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการย้อม 45 นาที

4.2 ผลของสภาวะในการย้อมสีต่อค่าความเข้มสี

4.2.1 ผลของอุณหภูมิ

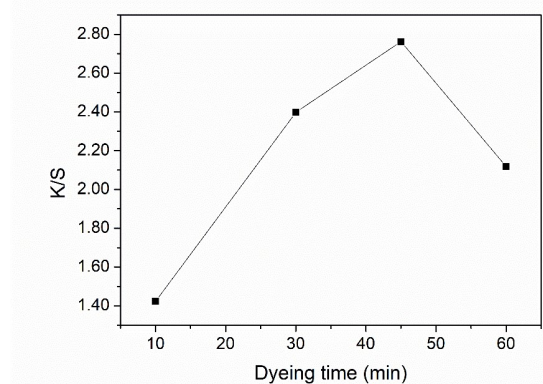
เนื่องจากพลังงานความร้อนมีผลต่อการแพร่ของโมเลกุลสีเข้าสู่เส้นใย ดังนั้นการย้อมที่อุณหภูมิสูง 90 องศาเซลเซียส จึงมีผลให้ความเข้มสีของผ้าสูงที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 2 และในการทดลองต่อไปจะใช้อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส



รูปที่ 2 ผลของอุณหภูมิในการย้อมต่อค่าความเข้มสีของผ้าฝ้ายที่ จุ่มอัดด้วยโปรตีนกลูเต็นข้าวสาลี 0.5% w/v สีย้อมเข้มชั้น 30% owf ใช้เวลาในการย้อม 45 นาที

4.2.2 ผลของระยะเวลาในการย้อม

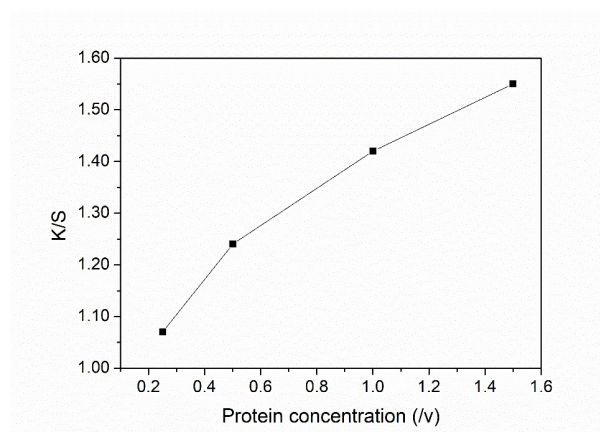
ผลการวิเคราะห์ความเข้มสี เมื่อทำการย้อมที่อุณหภูมิต่างๆ ในระยะเวลา 10 ถึง 60 นาที แสดงดังรูปที่ 3 พบว่าเวลาที่เหมาะสมในการย้อมคือ 45 นาที โดยในช่วงเวลาไม่เกิน 45 นาที ความเข้มสีของผ้าจะสูงขึ้นเมื่อเวลาในการย้อมเพิ่มขึ้น อธิบายได้ว่าเมื่อให้เวลานานขึ้น ผ้าจะมีเวลาในการดูดซับ (Adsorption) โมเลกุลสีย้อมจึงเข้าไปภายในมากขึ้น ทำให้การติดสีเพิ่มขึ้นตามเวลาในการย้อม อย่างไรก็ตาม ที่เวลายาวนานขึ้นถึง 60 นาที ค่าความเข้มสีของผ้ากลับลดลง ซึ่งอาจเกิดจากเมื่อเวลาผ่านไปนานขึ้นอาจทำให้โปรตีนหลุดจากผ้า และมีข้อสังเกตว่าไม่เห็นช่วงที่ความเข้มสีคงที่เมื่อเทียบกับเวลา ดังนั้นการติดสีของผ้าเมื่อย้อมนาน 60 นาที จึงต่ำกว่าเมื่อเทียบกับผ้าที่ย้อม 45 นาทีได้



รูปที่ 3 ระยะเวลาในการย้อมค่าความเข้มสีของผ้าฝ้ายที่จุ่มอัดด้วยโปรตีนกลูเต็นข้าวสาลี 0.5% w/v สีย้อมเข้มชั้น 30% owf ใช้อุณหภูมิการย้อม 90 องศาเซลเซียส

4.2.3 ผลของความเข้มข้นของโปรตีนข้าวสาลี

ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของโปรตีนกลูเตนข้าวสาลีกับค่าความเข้มสีที่ได้ แสดงในรูปที่ 4 ซึ่งพบว่า เมื่อใช้โปรตีนเข้มข้นมากขึ้นย่อมมีผลให้ความเข้มสีของผ้าสูงขึ้น เนื่องจากมีปริมาณโปรตีนบนผ้าที่ดูดซับสีย้อมได้มากขึ้น และโปรตีนจะช่วยลดการผลัดกันระหว่างประจุของผ้าฝ้ายกับสีย้อม ในงานวิจัยนี้เลือกใช้โปรตีนกลูเตนข้าวสาลีเข้มข้น 0.5% w/v ในการชุบผ้าฝ้ายก่อนทำการย้อม ทั้งนี้เนื่องจากพบว่าการใช้โปรตีนเข้มข้นมากขึ้นจะมีผลให้ผ้ากระด้างขึ้นเช่นกัน



รูปที่ 4 ผลของความเข้มข้นของโปรตีนกลูเตนข้าวสาลีต่อความเข้มสีของผ้าฝ้าย สีย้อมเข้มข้น 15% owf อุณหภูมิการย้อม 90 องศาเซลเซียส เวลาในการย้อม 45 นาที

4.3 ผลการทดสอบความคงทนของสี

การทดสอบความคงทนของสี เป็นการทดสอบการต้านทานของผ้าย้อมต่อการเปลี่ยนแปลงสี หรือการติดเปื้อนสีไปยังวัสดุข้างเคียง ในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบความคงทนของสีต่อการซัก เหงื่อ แสง และการขัดถู

4.3.1 ความคงทนของสีต่อการซัก

ตารางที่ 3 แสดงการทดสอบความคงทนของสีต่อการซัก โดยใช้เกรย์สเกล ซึ่งประเมินการเปลี่ยนแปลงของสี (Gray Scale for color change) และการติดเปื้อนสี (Gray scale for staining) ไปยังผ้าที่ประกบ (Adjacent fabric) ได้เปรียบเทียบระหว่างผ้าที่ผ่านการชุบโปรตีนกลูเตนข้าวสาลีกับตัวอย่างควบคุม (ผ้าที่ย้อมโดยไม่ใช้โปรตีน) พบว่าผ้าที่ใช้

โปรตีนจะมีค่าความคงทนของสีในระดับดี (เกรด 4) สูงกว่าระดับปานกลาง (เกรด 3) ในตัวอย่างควบคุม

สำหรับการติดเปื้อนสีพบว่า ผ้าทั้งสองตัวอย่างได้ระดับดี (เกรด 4) ในกรณีที่ผ้าประกบเป็นเส้นใยพอลิเอสเตอร์ ฝ้าย และอะซิเตท แต่ในกรณีที่ผ้าประกบเป็นเส้นใยขนสัตว์ และไนลอน 6,6 พบว่า ผ้าควบคุมจะได้เกรด 3 และ 3-4 ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าผ้าที่ใช้กลูเตนข้าวสาลีซึ่งได้ระดับ 4 ทั้งคู่ และเมื่อพิจารณากรณีที่ผ้าประกบเป็นอะคริลิก พบว่าผ้าที่ใช้กลูเตนข้าวสาลีได้เกรดปานกลาง-ดี (3-4) ต่ำกว่าผ้าควบคุมซึ่งได้เกรดดี (4) เพียงเล็กน้อย กล่าวโดยรวมว่าผลการติดเปื้อนสีของตัวอย่างผ้าที่ใช้โปรตีนกลูเตนข้าวสาลีกับผ้าตัวอย่างควบคุมใกล้เคียงกัน

4.3.2 ความคงทนของสีต่อเหงื่อ

ตารางที่ 4 แสดงผลความคงทนของสีต่อเหงื่อกรดและเหงื่อต่าง โดยทดสอบการเปลี่ยนแปลงของสีด้วยเกรย์สเกลพบว่าผ้าที่ใช้โปรตีนกลูเตนข้าวสาลีและผ้าตัวอย่างควบคุมได้ความคงทนระดับดี (เกรด 4) เมื่อทดสอบกับเหงื่อต่าง แต่ผ้าควบคุมจะมีความคงทนต่อเหงื่อกรดระดับปานกลาง-ดี (เกรด 3-4) ซึ่งสูงกว่าผ้าที่ใช้กลูเตนข้าวสาลีซึ่งได้ระดับปานกลาง (เกรด 3) เล็กน้อย ส่วนการวิเคราะห์การติดเปื้อนสีพบว่าผลการประเมินโดยส่วนใหญ่ของผ้าตัวอย่างทั้งสองอยู่ในระดับเดียวกัน ยกเว้นกรณีผ้าข้างประกบเป็นเส้นใยขนสัตว์และพอลิเอสเตอร์ ซึ่งผ้าตัวอย่างที่ใช้กลูเตนข้าวสาลีจะแสดงผลประเมินสูงกว่าเล็กน้อย

4.3.3 ความคงทนของสีต่อการขัดถู

ผลการประเมินการทดสอบความคงทนของสีต่อการขัดถู ในตารางที่ 5 พบว่า ผ้าตัวอย่างทั้งสองได้ผลประเมินระดับดี-ดีมาก (4-5) ทั้งหมด ยกเว้นการขัดถูขณะเปียก ซึ่งผ้าที่ใช้กลูเตนข้าวสาลีให้ผลการประเมินต่ำลงเล็กน้อยที่ระดับดี (เกรด 4) จากผลการประเมินที่ได้ จัดได้ว่าอยู่ในระดับที่ยอมรับได้สำหรับผ้าทอที่ใช้ผลิตเสื้อผ้าและเคหะสิ่งทอ [24]

4.3.4 ความคงทนของสีต่อแสง

ผลการประเมินการทดสอบความคงทนของสีต่อแสงในตารางที่ 5 พบว่า ผ้าที่ไม่ใช้กลูเตนข้าวสาลีจะมีความคงทนของสีต่อแสงต่ำมาก (เกรด 1) ขณะที่ผ้าที่ใช้กลูเตนข้าวสาลี

เป็นมอร์แดนที่ชีวภาพ มีความคงทนของสีต่อแสงระดับปานกลาง (เกรด 3) แสดงว่ากลูเต็นข้าวสาลีช่วยให้ความคงทนของสีต่อแสงสูงขึ้นซึ่งอาจเกิดจากการที่โมเลกุลของสีได้รับการปกป้องจากโปรตีน และค่าความคงทนของสีต่อแสงอยู่ในระดับที่ยอมรับได้สำหรับผ้าที่ย้อมสีธรรมชาติ

4.4 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกล

ตารางที่ 6 แสดงผลการทดสอบสมบัติเชิงกล ระหว่างผ้าฝ้ายขาว (Blank) ผ้าฝ้ายควบคุม (ผ้าที่ผ่านการย้อมสีแต่ไม่ผ่านการจุ่มอัดด้วยโปรตีน) และผ้าฝ้ายย้อมที่ใช้กลูเต็นข้าวสาลี พบว่า การจุ่มอัดด้วยโปรตีนเพียงอย่างเดียว มีผลทำให้ความต้านทานการฉีกขาด (Tear resistance) ลดลง 11.2% ตามแนวด้ายยืน และลดลง 15.6% ตามแนวด้ายพุ่ง เมื่อเทียบกับผ้าฝ้ายขาวที่ไม่ผ่านกระบวนการใดๆ ส่วนตัวอย่างผ้าที่ผ่านการจุ่มอัดด้วยโปรตีนและย้อมสีจะมีความต้านทานการฉีกขาดที่ยิ่งต่ำกว่าผ้าขาวลงไปอีก โดยลดลง 21.7% ตามแนวด้ายยืน และ 22.4% ตามแนวด้ายพุ่ง ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การเคลือบผิวผ้าด้วยโปรตีนกลูเต็นข้าวสาลีรวมทั้งการย้อมสี จะทำให้เส้นด้ายเคลื่อนที่ได้ไม่ดี ทำให้ผ้าเสียความยืดหยุ่นและฉีกขาดได้ง่ายขึ้น

สำหรับผลการทดสอบความต้านทานแรงดึง (Tensile resistance) พบว่า โปรตีนกลูเต็นข้าวสาลีไม่มีผลต่อสมบัติความต้านทานแรงดึงและความสามารถในการยืดตัวของผ้าทั้งแนวด้ายยืนและด้ายพุ่ง

5. สรุปผลการทดลอง

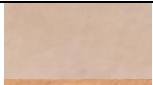

งานวิจัยนี้ศึกษาการใช้โปรตีนกลูเต็นข้าวสาลีเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการย้อมผ้าฝ้ายด้วยสีธรรมชาติซึ่งอุดมด้วย

สารแทนนิน โดยสีย้อมธรรมชาตินี้ได้จากเปลือกไม้ตะบูนขาว ผลการวิจัยพบว่า การจุ่มอัดผ้าฝ้ายด้วยกลูเต็นข้าวสาลีความเข้มข้น 0.5% w/v ช่วยให้ผ้าติดสีได้ดีขึ้น จึงทำให้ได้ผ้าย้อมที่มีความเข้มสีสูงขึ้น สีที่ปรากฏเป็นสีน้ำตาลแดงซึ่งเป็นเฉดสีเดิมของผงสีสกัดจากเปลือกไม้ตะบูนขาว ผลการศึกษาสถานะในการย้อมสีพบว่าได้ความเข้มสีที่ดี เมื่อใช้โปรตีนกลูเต็นข้าวสาลีที่ 0.5% w/v ใช้สีย้อมธรรมชาติความเข้มข้น 30% owf อุณหภูมิในการย้อม 90 องศาเซลเซียสระยะเวลาในการย้อม 45 นาที ค่า L:R เท่ากับ 1:30 และพีเอชเท่ากับ 5 ผลการทดสอบความคงทนของสีต่อการซักแห้ง การขัดถู และแสง พบว่าโดยส่วนใหญ่การใช้กลูเต็นข้าวสาลีเป็นสารช่วยย้อมนั้นจะไม่ทำให้ค่าความคงทนของสีที่ได้แตกต่างกันมากนัก ยกเว้นการทดสอบความคงทนของสีต่อแสงที่แสดงผลความคงทนที่ขึ้นอย่างชัดเจน จากการทดสอบสมบัติเชิงกลพบว่าทั้งการย้อมสีและการจุ่มอัดโปรตีนกลูเต็นข้าวสาลีจะมีผลให้ผ้ามีความคงทนต่อการฉีกขาดต่ำลง แต่สมบัติความต้านทานแรงดึงไม่เปลี่ยนแปลง อาจกล่าวได้ว่า โปรตีนกลูเต็นข้าวสาลีสามารถนำมาใช้เป็นสารมอร์แดนที่ชีวภาพ แทนการใช้มอร์แดนที่เกลือโลหะในการย้อมสีผ้าฝ้ายด้วยสีธรรมชาติที่อุดมด้วยสารแทนนินได้


6. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณทุนสนับสนุนการวิจัยจากหน่วยวิจัยหน่วยวิจัยด้านเคมีสิ่งทอและพอลิเมอร์แห่งมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ตารางที่ 1 ค่าสีของผ้าฝ้ายย้อมด้วยสีย้อมเข้มข้น 30% owf เวลาในการย้อม 45 นาที อุณหภูมิการย้อม 90 องศาเซลเซียส พีเอช 5 เปรียบเทียบระหว่างการใช้และไม่ใช้กลูเต็นข้าวสาลีที่ความเข้มข้น 0.5% w/v

Sample	L^*	a^*	b^*	C^*	h°	K/S	Fabric image
Untreated	69.68	12.28	14.09	18.69	48.92	0.99	
Wheat—gluten treated	54.60	16.84	20.14	26.25	50.10	3.01	

ตารางที่ 2 ผลของพีเอชของน้ำย้อมต่อค่าสีของผ้าฝ้ายที่จุ่มอัดด้วยโปรตีนกลูเตนข้าวสาลี 1.0% w/v สีย้อมเข้มข้น 30% owf เวลาในการย้อม 45 นาที อุณหภูมิการย้อม 90 องศาเซลเซียส

pH	Color value					Fabric image
	L^*	a^*	b^*	C^*	h°	
3	53.22	16.99	20.50	26.63	50.35	
4	54.16	16.32	19.25	25.24	49.71	
5	54.60	16.84	20.14	26.25	50.10	
6	56.01	15.66	20.14	25.51	52.13	
7	57.40	15.91	18.19	24.17	48.83	
8	58.28	15.34	17.10	22.97	48.11	
9	64.69	12.54	14.09	18.86	48.33	
10	69.92	10.22	10.88	14.93	46.79	
11	74.49	8.30	7.25	11.02	41.14	
12	74.01	7.12	6.25	9.47	41.28	

ตารางที่ 3 ผลของการทดสอบความคงทนของสีต่อการซัก ตามมาตรฐาน ISO105-C06:2010 วิธี A1

Fastness properties	Sample	
	Untreated	Wheat gluten-treated
Color change	3	4
Color staining		
– wool	3	4
– acrylic	4	3–4
– polyester	4	4
– nylon	3–4	4
– cotton	4	4
– acetate	4	4

ตารางที่ 4 ผลของการทดสอบความคงทนของสีต่อเหงื่อ ตามมาตรฐาน ISO105–E04:2013

Fastness properties	Sample			
	Untreated		Wheat gluten-treated	
	Acid	Alkali	Acid	Alkali
Color change	3–4	4	3	4
Color staining				
– wool	3	3	4	4
– acrylic	4	4	4	4
– polyester	4	4	4–5	4–5
– nylon	4	4–5	4	4–5
– cotton	4–5	4	4–5	4
– acetate	4	4	4	4

ตารางที่ 5 ผลของการทดสอบความคงทนของสีต่อการซัก (ISO 105–X12: 2001) และต่อแสง (ISO 105–B02: 2014)

Fastness properties	Sample	
	Untreated	Wheat–gluten treated
Crocking		
– dry	4–5	4–5
– wet	4–5	4
Light	1	3

ตารางที่ 6 ผลการทดสอบความต้านทานการฉีกขาด และการต้านทานแรงดึงของผ้า (ตัวเลขในวงเล็บคือค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

Mechanical properties	Sample		
	Blank	Untreated	Wheat–gluten treated
Tearing strength (N)			
– warp	7.57 (0.40)	6.72 (0.21)	5.93 (0.34)
– weft	8.50 (0.33)	7.18 (0.13)	6.60 (0.25)
Tensile strength (N)			
– warp	223.43 (24.48)	224.61 (12.07)	206.85 (20.50)
– weft	177.92 (17.76)	172.62 (22.55)	199.77 (25.88)
Tensile strain at break (%)			
– warp	21.0 (7.5)	17.2 (7.9)	20.61 (5.7)
– weft	33.0 (5.0)	31.6 (10.3)	33.6 (2.2)

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] L. Day, M. Augustin, I. Batey, and C. Wrigley, "Wheat- gluten uses and industry needs," *Trends in Food Science and Technology*, vol. 17, no. 2, pp. 82-90, Feb. 2006.
- [2] P. Wang, Z. Jin, and X. Xu, "Physicochemical alterations of wheat gluten proteins upon dough formation and frozen storage –A review from gluten, glutenin and gliadin perspectives," *Trends in Food Science and Technology*, vol. 46, no. 2, pp. 189-198, Dec. 2015.
- [3] E. Abedi, and K. Pourmohammadi, "Physical modifications of wheat gluten protein: An extensive review" *Journal of Food Process Engineering*, vol. 44, no. 3, e13619, Mar. 2021.
- [4] M. Majzoobi, E. Abedi, "Effects of pH changes on functional properties of native and acetylated wheat gluten," *International Food Research Journal*, vol. 21, no. 3, pp. 1219-1224, Dec. 2014.
- [5] A. Haji, "Improved natural dyeing of cotton by plasma treatment and chitosan coating; optimization by response surface methodology," *Cellulose Chemistry and Technology*, vol. 51, no. 9-10, pp. 975-982, Sep.-Dec. 2017.
- [6] S. Janhom, R. Watanesk, S. Watanesk, P. Griffiths, O. A. Arquero, and W. Naksata, "Comparative study of lac dye adsorption on cotton fibre surface modified by synthetic and natural polymers," *Dyes and Pigments*, vol. 71, no. 3, pp. 188-193, Sep. 2006.
- [7] P. Pisitsak, J. Hutakamol, S. Jeenapak, P. Wanmanee, J. Nuammaiphum, and R. Thongcharoen, "Natural dyeing of cotton with *Xylocarpus granatum* bark extract: Dyeing, fastness, and ultraviolet protection properties," *Fibers and Polymers*, vol. 17, pp. 560-558, Apr. 2016.
- [8] M. B.Ticha, W. Haddar, M. Meksi, A. Guesmi, and M. F. Mhenni, "Improving dyeability of modified cotton fabrics by the natural aqueous extract from red cabbage using ultrasonic energy," *Carbohydrate Polymers*, vol. 154, pp. 287-295, Dec. 2016.
- [9] P. S. Vankar, R. Shanker, and A. Verma, "Enzymatic natural dyeing of cotton and silk fabrics without metal mordants," *Journal of Cleaner Production*, vol. 15, no. 15, pp. 1441-1450, Oct. 2007.
- [10] P. S. Vankar, R. Shanker, D. Mahanta, D. And S. Tiwari, "Ecofriendly sonicator dyeing of cotton with *Rubia cordifolia* Linn. using biomordant," *Dyes and Pigments*, vol. 76, no. 1, pp. 207-212, Jan. 2008.
- [11] F. Giacomini, A. A. U. de Souza, and M .A. S. D. de Barros, "Cationization of cotton with ovalbumin to improve dyeing of modified cotton with cochineal natural dye," *Textile Research Journal*, vol. 90, no. 15-16, pp. 1805-1822, Jan. 2020.
- [12] P. Pisitsak, J. Hutakamol, R. Thongcharoen, P. Phokaew, K. Kanjanawan, and N. Saksang, "Improving the dyeability of cotton with tannin-rich natural dye through pretreatment with whey protein isolate," *Industrial Crops and Products*, vol. 79, pp. 47-56, Jan. 2016.
- [13] P. Pisitsak, N. Tungsovatvisit, and K. Singhanu, "Utilization of waste protein from Antarctic krill oil production and natural dye to impart durable UV- properties to cotton textiles," *Journal of Cleaner Production*, vol. 174, pp. 1215-1223, Feb. 2018.

- [14] S. Uthayakumaran, and C. W. Wrigley, "Wheat: characteristics and quality requirements," In *Cereal Grains*, Woodhead Publishing, Cambridge, UK, 2010, pp. 59-111.
- [15] B. G. Thewissen, I., Celus, K. Brijs, and J. A. Delcour, "Foaming properties of wheat gliadin," *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 59, no. 4, pp. 1370-1375, Jan. 2011.
- [16] L. Donato, E. Kolodziejczyk, and M. Rouvet, "Mixtures of whey protein microgels and soluble aggregates as building blocks to control rheology and structure of acid induced cold-set gels," *Food Hydrocolloids*, vol. 25, no. 4, pp. 734-742, Jun. 2011.
- [17] T. N. Asquith, and L. G. Butler, "Interactions of condensed tannins with selected proteins," *Phytochemistry*, vol. 25, no. 7, pp. 1591-1593, Nov. 1985.
- [18] D. K. Salunkhe, J. K. Chavan, and S. S. Kadam, in *Dietary Tannins: Consequences and Remedies*, 1st ed. CRC Press, Florida, 1989, ch. 1, pp. 1-3.
- [19] M. Mejri, B. Rogé, A. BenSouissi, F. Michels, and M. Mathlouthi, "Effects of some additives on wheat gluten solubility: A structural approach," *Food Chemistry*, vol. 92, no. 1, pp. 7-15, Jan. 2005.
- [20] M. Majzoobi, and E. Abedi, "Effects of pH changes on functional properties of native and acetylated wheat gluten," *International Food Research Journal*, vol 21, no. 3, pp. 1219-1224, May 2014.
- [21] A. E. Hagerman, "Chemistry of tannin-protein complexation," In *Chemistry and Significance of Condensed Tannins*, Springer, Germany, 1989, pp 323-333.
- [22] E. R. Deaville, R. J. Green, I. Mueller-Harvey, I. Willoughby, and R. A. Frazier, "Hydrolyzable tannin structures influence relative globular and random coil protein binding strengths," *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 55, no. 11, pp. 4454-4561, May 2007.
- [23] S. Rattanaphani, M. Chairat, J. B. Bremner, and V. Rattanaphani, "An adsorption and thermodynamic study of lac dyeing on cotton pretreated with chitosan," *Dyes and Pigments*, vol. 72, pp. 88-96, Oct. 2005.
- [24] G. N. Ramaswamy, J. Wang, and B. Soeharto, "Mercerization and dyeing of kenaf/ cotton blend fabrics," *Textile Chemists and Colorists*, vol. 31, no. 3, pp. 27-31, Mar. 1999.