

การย้อมสีเส้นไหมด้วยดินแดงจากจังหวัดสุรินทร์: การพัฒนาเฉดสีและการประเมินความคงทนของสี

วีรญา สิงคินา^{1*}

Received : May 25, 2024

Revised : April 5, 2025

Accepted : April 30, 2025

บทคัดย่อ

การศึกษากระบวนการย้อมไหมจากดินแดง มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของสารช่วยติดสีต่อการย้อมไหมด้วยดินแดง ค่าความเป็นกรดเบส ค่าความเข้มข้นของสีในระบบ CIELab ความคงทนของสีต่อการซักและความคงทนต่อแสงแดด ผลการศึกษาพบว่าทำการหมักดินแดง โดยใช้อัตราส่วนดินแดง 2 กิโลกรัมต่อน้ำ 1 ลิตร แช่เป็นเวลา 30 นาที ได้ผลดีที่สุด การเตรียมสารช่วยติดสีได้แก่ สารส้ม ใบมะขาม ใบผักโขมหนาม กระบวนการย้อมไหมแบ่งออกเป็น 2 ชุด ชุดที่ 1 ย้อมด้วยดินแดงอย่างเดียวโดยไม่ใช้สารช่วยติดสีเป็นเวลา 1 ชั่วโมง 12 ชั่วโมง 24 ชั่วโมง ชุดที่ 2 ย้อมไหมด้วยดินแดงโดยใส่สารช่วยติด สีของเส้นไหมมีเฉดสีส้ม ค่าสีของเส้นไหมให้ค่าความสว่าง (L^*) อยู่ในช่วง 68.75 – 74.21 ค่าความเป็นสีแดง (a^*) อยู่ในช่วง 14.61 – 18.24 และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) อยู่ในช่วง 23.22 – 29.16 เส้นไหมที่ย้อมด้วยดินแดง 12 ชั่วโมง และตามด้วยต้มน้ำใบมะขาม 15 นาทีให้สีเข้มที่สุด การทดสอบความคงทนของสีของเส้นไหมพบว่าความคงทนของสีต่อการซักและความคงทนต่อแสงแดดอยู่ในระดับคุณภาพค่อนข้างดีมากที่สุดถึงดีมากที่สุด (4/5-5) ซึ่งในการนำดินแดงมาย้อมไหม เป็นการนำวัสดุธรรมชาติในท้องถิ่นมาพัฒนาผลิตภัณฑ์ผ้าไหม เพื่อให้ได้สีย้อมที่เป็นมิตรกับมนุษย์และสิ่งแวดล้อม

คำสำคัญ: การย้อมไหมด้วยดินแดง ความคงทนของสี สารช่วยติดสี

¹ อาจารย์ประจำหลักสูตรครุศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์
อีเมล: weeraya.sing82@gmail.com

* ผู้นิพนธ์หลัก อีเมล: weeraya.sing82@gmail.com

DYEING SILK WITH LATERITE SOIL FROM SURIN PROVINCE: DEVELOPMENT OF COLOR SHADES AND EVALUATION OF COLORFASTNESS

Weeraya Singcanipa ^{1*}

Abstract

The study of dyeing-silk processes using laterite soil was aimed to investigate the effects of the mordants towards dyeing silk using laterite soil, pH value, color-saturation values using the CIELab system, and colorfastness to washing and light. The research results indicated that fermenting 2 kilograms of laterite soil with 1 liter of water for 30 minutes provided the best result. Additionally, the mordant solution included alum, tamarind leaves, and thorn spinach leaves. The silk threads were divided into two sets: The first set was dyed using only laterite soil for 1, 12, and 24 hours, while the second set was dyed using laterite soil in combination with the previously mentioned colorants. After dyeing the silk, its color resulted in an orange shade. Its lightness (L^*) value of the shade was between 68.75 to 74.21, its redness (a^*) value was between 14.61 to 18.24, and its yellowness (b^*) value was between 23.22 to 29.16. The darkest shade of silk threads was dyed using laterite soil for 12 hours and was subsequently boiled with tamarind leaves for 15 minutes. The colorfastness test was revealed that the level of colorfastness to washing and the light was good to excellent (rated 4/5 to 5). In addition, dying the silk with laterite soil was a crucial way to employ locally natural materials to develop silk products, enabling the extraction of dyes that have been safe for both humans and the environment.

Keywords: Silks dyeing with Laterite Soil, Colorfastness, Mordants

¹ Lecturer, Bachelor of Education Program in Chemistry, Faculty of Science and Technology, Surindra Rajabhat University, e-mail: weeraya.sing82@gmail.com

* Corresponding author, e-mail: weeraya.sing82@gmail.com

บทนำ

ในปัจจุบันผ้าที่ย้อมด้วยสีธรรมชาติถือเป็นหนึ่งในภูมิปัญญาไทยที่ได้รับการสืบทอดมาตั้งแต่อดีต โดยกระบวนการผลิตอาศัยการคัดสรรพันธุ์พืชและพัฒนาจนได้สีย้อมที่มีคุณภาพดี มีความคงทน สีสันไม่ตก และไม่ซีดจางง่าย ซึ่งพบในพืชเพียงไม่กี่ชนิด และเริ่มไม่เพียงพอต่อความต้องการที่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากผลิตภัณฑ์จากผ้าย้อมสีธรรมชาติได้รับความนิยมมากขึ้น โดยเฉพาะในตลาดต่างประเทศ (สำนักวิจัยและพัฒนาหม่อนไหม กรมหม่อนไหม, 2566) ซึ่งให้ความสำคัญกับกระบวนการผลิตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและลักษณะเฉพาะตัวของสีธรรมชาติที่ให้โทนสีนุ่มนวลไม่ฉูดฉาด การย้อมสีธรรมชาติมีจุดเด่นสำคัญคือความปลอดภัยต่อสุขภาพ เมื่อเปรียบเทียบกับสีสังเคราะห์ที่อาจก่อให้เกิดการแพ้และการระคายเคืองต่อผิวหนัง รวมถึงส่งผลกระทบต่อระบบหายใจ (Ghosh & Das, 2015) นอกจากนี้ สีสังเคราะห์บางชนิด เช่น สีเอโซ (Azo dyes) ยังสามารถสลายตัวเป็นสารอะโรมาติกเอมีน (Aromatic amines) ซึ่งมีคุณสมบัติก่อมะเร็ง (Weisburger, 2002) แม้ว่าสีธรรมชาติจะมีข้อดีในด้านความปลอดภัย แต่ก็มีข้อจำกัดบางประการ เช่น การติดสีต่ำ (Low color yield) เติดสีที่ได้อาจไม่เหมือนกันในแต่ละครั้ง และมักทำซ้ำได้ยาก สีที่ย้อมอาจซีดจางหรือตกสีระหว่างการใช้งาน อีกทั้งยังมีความคงทนของสีต่อการซักและแสงต่ำ ซึ่งไม่สามารถตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ได้ดีเท่าสีสังเคราะห์ (มาหามะสุโฮมิ มะแซ และพชิญา พิศสุวรรณ, 2562) เพื่อแก้ไขข้อจำกัดดังกล่าว มีการนำสารช่วยติดสี (Mordant) มาใช้ในการย้อมสีธรรมชาติ เช่น น้ำขี้เถ้า ยางกล้วย และโคลน ซึ่งช่วยเพิ่มความคงทนของสีและการติดเส้นใย (คิวพร แก่นจันทร์ และปิยะพร คามภิรภาพพันธ์, 2557) การพัฒนาเทคนิคเหล่านี้ไม่เพียงช่วยเพิ่มคุณภาพของผ้าย้อมสีธรรมชาติ แต่ยังเป็นการอนุรักษ์และต่อยอดภูมิปัญญาไทยให้สอดคล้องกับความต้องการของตลาดในปัจจุบัน

จังหวัดสุรินทร์เป็นจังหวัดที่มีวัฒนธรรมในเรื่องการทอผ้าไหม และการย้อมสีไหมที่มีมาตั้งแต่สมัยบรรพบุรุษจนถึงปัจจุบัน ดังคำขวัญที่ว่า “สุรินทร์ถิ่นช้างใหญ่ ผ้าไหมงาม ประคำสวย ร่ำรวยปราสาท ผักกาดหวาน ข้าวสารหอม งามพร้อมวัฒนธรรม” ตลอดจนประเพณีวัฒนธรรมต่างๆ ซึ่งมีอิทธิพลต่อลวดลายของผ้าไหม การผลิตเส้นไหมและกรรมวิธีการทอ การทอผ้าจะทำหลังจากสิ้นสุดฤดูการทำนา ซึ่งเป็นอาชีพหลัก แหล่งผลิตผ้าไหมในจังหวัดสุรินทร์จึงมีเกือบทุกหมู่บ้าน ภูมิปัญญาการทอผ้าไหมพื้นเมือง บ้านท่าสว่าง อำเภอเมือง จังหวัดสุรินทร์ นับเป็นศาสตร์ความรู้ที่มีประวัติความเป็นมายาวนานหลายชั่วอายุคน ช่างทอผ้าไหมบ้านท่าสว่างยังคงรักษามรดกภูมิปัญญาการทอผ้าไหมพื้นเมืองในด้านรูปแบบสีสันลวดลาย และความประณีตงดงามในการทอไว้อย่างครบถ้วน ซึ่งเป็นเทคนิคการทอแบบโบราณอันเป็นเอกลักษณ์มาจนถึงปัจจุบัน ภูมิปัญญาช่างทอส่วนใหญ่เป็นชนกลุ่มชาติพันธุ์เขมร หรือเรียกว่า “ชาวไทยเชื้อสายเขมร” เทคนิคการทอส่วนใหญ่เป็นการทอ “มัดหมี่” (อัคราพร สุขทอง และคณะ, 2566)

ดินแดง (Laterite soil) มีองค์ประกอบหลัก คือ ซิลิกอนออกไซด์ (SiO_2) 79.0% และอลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) 10.90% เหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) 6.29% แคลเซียมออกไซด์ (CaO) 0.39% (อรทิมา จันทรสิงห์ และคณะ, 2565) ดินแดงสามารถนำมาย้อมผ้าได้และมีกลุ่มทอผ้าหลายพื้นที่นำไปใช้ย้อมเส้นใยฝ้ายเป็นส่วนใหญ่ อาทิเช่น ผ้าพื้นเมืองย้อมสีธรรมชาติจังหวัดมุกดาหาร ที่ยังคงย้อมผ้าด้วยดินแดงแบบโบราณเรียกว่าการย้อมผ้าอาบแดง นอกจากนี้จังหวัดบุรีรัมย์ได้รื้อฟื้นภูมิปัญญาของบรรพบุรุษที่มีการนำเอาดินแดงจากดินภูเขาไฟมาย้อมและทอเป็นผ้าฝ้ายในนาม “ภูอัคนี” สำหรับจังหวัดกาฬสินธุ์ก็ร่วมรื้อฟื้นภูมิปัญญาวัฒนธรรมการทอผ้าพื้นเมืองแบบโบราณเชิงสร้างสรรค์โดยการย้อมดินแดงจากชุดดินยโสธรในนาม “ไผ่ดินกลิ่นไพร” (ธีรกานต์ โพธิ์แก้ว, 2556) จะพบว่าแม้การย้อมสีธรรมชาติได้รับความนิยมเพิ่มขึ้น แต่ยังคงขาดการศึกษาเฉพาะทางเกี่ยวกับการใช้ดินแดงในกระบวนการย้อมไหมอย่างยั่งยืน สำหรับพื้นที่ทำวิจัยในจังหวัดสุรินทร์ พื้นที่หมู่บ้านระเวียง ตำบลระเวียง อำเภอนโนนารายณ์ มีพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นที่ราบลุ่ม พื้นที่บางส่วนเป็นพื้นที่ป่าสงวนแห่งชาติ บางแห่งเป็นป่าสงวนเสื่อมโทรม พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นดินแดง (องค์การบริหารส่วนตำบลระเวียง, 2566)

จึงทำให้ผู้วิจัยสนใจที่จะศึกษาการย้อมไหมด้วยดินแดงจากดินในหมู่บ้านระเวียง ตำบลระเวียง อำเภอนโนนารายณ์ จังหวัดสุรินทร์โดยย้อมร่วมกับสารช่วยติดสีได้แก่ สารส้ม ใบมะขาม และใบผักโขมหนาม เพื่อดูความเป็นไปได้ในการนำดินแดงที่มีอยู่ในท้องถิ่นมาใช้ให้เกิดประโยชน์ในการย้อมไหม นอกจากนี้เพื่อเป็นการอนุรักษ์ภูมิปัญญาท้องถิ่นและพัฒนาผลิตภัณฑ์จากไหมสู่ตลาดสากล

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษากระบวนการย้อมสีเส้นไหมจากดินแดงและผลของสารช่วยติดสีต่อความเข้มของสีและความคงทนของสีของเส้นไหม จากดินแดงในหมู่บ้านระเวียง ตำบลระเวียง อำเภอนโนนารายณ์ จังหวัดสุรินทร์

วิธีดำเนินการวิจัย

1. อุปกรณ์ วัสดุ และสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือ ได้แก่ 1) เครื่องวัดความเป็นกรด-เบส (pH Meter) ยี่ห้อ JENWAY รุ่น 3510 2) เครื่องวัดสี (Chroma Meter) ยี่ห้อ KONICA MINOLTA รุ่น CR-400 3) เครื่องทดสอบการซักล้าง (Washing fastness tester) 4) เกรย์สเกลสำหรับการเปื้อนสี (Gray scale for staining)

วัตถุดิบ ได้แก่ 1) ดินแดง 2) ใบมะขาม 3) ใบผักโขมหนาม

สารเคมี ได้แก่ 1) โพแทสเซียมซัลเฟตหรือสารส้ม (Alum)

2. การเก็บตัวอย่าง

ดินแดงที่ใช้ในการทำวิจัยโดยเก็บตัวอย่างดินแดงในพื้นที่ป่าบ้านระเวียง ตำบลระเวียง อำเภอนอนนารายณ์ จังหวัดสุรินทร์

3. การเตรียมน้ำย้อมจากดินแดง

นำดินแดงมาร่อนผ่านตะแกรง ซั่งดินแดงจำนวน 2 กิโลกรัม เติมน้ำสะอาดจำนวน 1 ลิตร แخذดินแดงทิ้งไว้ 30 นาที จากนั้นใช้มือบีบและขยำดินร่วมกับน้ำในภาชนะที่เตรียมไว้ โดยให้น้ำซึมเข้าสู่เนื้อดินอย่างทั่วถึง และดินมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน จะได้สารละลายดินแดงที่มีลักษณะเหลว สีส้มอ่อน ในอัตราส่วน 2 : 1 น้ำหนักต่อปริมาตร (w/v)

4. การเตรียมสารช่วยติดสี

เตรียมสารช่วยติดสี 3 ชนิด ได้แก่ สารส้ม ใบมะขาม ใบผักโขมหนาม ดังนี้

4.1 สารส้ม นำสารส้มอัตราส่วน 10 กรัม ต่อน้ำ 300 มิลลิลิตร ต้มเป็นเวลา 15 นาที ทิ้งไว้ให้เย็น วัดค่า pH

4.2 ใบมะขาม นำใบมะขามสดอัตราส่วน 10 กรัม ต่อน้ำ 300 มิลลิลิตร ต้มเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็น วัดค่า pH

4.3 ใบผักโขมหนาม นำผักโขมหนามสดอัตราส่วน 10 กรัม ต่อน้ำ 300 มิลลิลิตร ต้มเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็น วัดค่า pH

5. การย้อมเส้นไหม

นำเส้นไหมที่ฟอกขาวไหมแล้วจำนวน 2 กรัม ไปแช่น้ำสะอาดเป็นเวลา 15 นาที จากนั้นบิดให้แห้งพอหมาดๆ นำไปผึ่งลม 5 นาที แล้วนำไปย้อมดินแดง โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 12 กลุ่มทดลอง ดังนี้

กลุ่มทดลองที่ A - C ย้อมด้วยดินแดง โดยนำเส้นไหมที่ผ่านการฟอกขาวไหมไปย้อมดินแดง โดยไม่ใส่น้ำสารช่วยติดสี ทำการนวดคลุกเคล้าให้เส้นไหมกับดินแดงเข้าด้วยกัน หมักทิ้งไว้ในภาชนะเปิดเป็นเวลา 1 ชั่วโมง 12 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง ตามลำดับ โดยให้กลับพลิกและนวดเส้นไหมทุกๆ 15 นาที เมื่อครบเวลาที่กำหนดรินน้ำออกจากเส้นไหมให้พอหมาดๆ นำไปผึ่งลม 5 นาที จากนั้นนำไปล้างด้วยน้ำสะอาดจนกระทั่งน้ำใสไม่มีสี นำไปผึ่งลมให้แห้ง นำน้ำย้อมหลังการย้อมมาวัดค่า pH

กลุ่มทดลองที่ D - F ย้อมด้วยดินแดง และใช้สารส้มเป็นสารช่วยติดสีหลังย้อม โดยนำเส้นไหมที่ผ่านการฟอกขาวไหมหมักด้วยดินแดง (เตรียมได้จากข้อ 3) โดยการนวดคลุกเคล้าให้เส้นไหมกับดินแดงเข้าด้วยกัน หมักทิ้งไว้ในภาชนะเปิดเป็นเวลา 1 ชั่วโมง 12 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง ตามลำดับ โดยให้กลับพลิกและนวดเส้นไหมทุกๆ 15 นาที เมื่อครบเวลาที่กำหนดรินน้ำออกจากไหมพอหมาดๆ นำไปผึ่งลม 5 นาที จากนั้นนำไปล้างด้วยน้ำสะอาดจนกระทั่งน้ำใสไม่มีสี นำไปผึ่งลม 5 นาที จากนั้นนำน้ำสารส้มปริมาณ 300 มิลลิลิตร

นำเส้นไหมที่ย้อมด้วยดินแดงลงไปต้มเดือดที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที เมื่อครบเวลาที่กำหนด นำไปผึ่งลม 5 นาที จากนั้นนำไปล้างด้วยน้ำสะอาด จนกระทั่งน้ำใสไม่มีสี นำไปผึ่งลมให้แห้ง นำน้ำย้อมหลังการย้อมมาวัดค่า pH

กลุ่มทดลองที่ G - I ย้อมด้วยดินแดง และใช้ใบมะขามเป็นสารช่วยติดสีหลังย้อม โดยกระบวนการการย้อมจะเหมือนกลุ่มทดลองที่ D-F แต่ใช้ใบมะขามแทนสารส้ม

กลุ่มทดลองที่ J - L ย้อมด้วยดินแดง และใช้ใบผักโขมหนามเป็นสารช่วยติดสีหลังย้อม โดยกระบวนการการย้อมจะเหมือนกลุ่มทดลองที่ D-F แต่ใช้ใบผักโขมหนามแทนสารส้ม

6. การทดสอบคุณภาพเส้นไหมหลังการย้อม

6.1 การทดสอบวัดค่าความเข้มของสี (Intensity color) ทำการสอบเทียบ (Calibration) เครื่องวัดค่าความสว่าง (Chroma Meter) เพื่อตรวจเช็คค่าบนแผ่น White Calibration Plate ก่อนการใช้งาน จากนั้นนำเส้นไหมที่ย้อมแล้วไปวัดความเข้มของสีโดยใช้เครื่อง Spectrometer รุ่น Spectraflash 500 ระบบ CIE $L^*a^*b^*$ โดยเครื่องวัดสี (Chroma Meter) บันทึกค่าที่อ่านได้แล้วนำค่าไปรายงานผลเป็นค่า L^* = ค่าความสว่าง a^* = ค่าความเป็นสีเขียว-แดง และ b^* = ค่าความเป็นสีน้ำเงิน-เหลือง (L^* มีค่าเท่ากับ 0 หมายถึง สีดำ L^* มีค่าเท่ากับ 100 หมายถึง สีขาว a^* เป็นบวก หมายถึง ความเป็นสีแดง a^* เป็นลบ หมายถึงความเป็นสีเขียว b^* เป็นบวก หมายถึง ความเป็นสีเหลือง และ b^* เป็นลบ หมายถึง ความเป็นสีน้ำเงิน)

6.2 การทดสอบเทียบค่าสีมาตรฐาน (Pantone) นำเส้นไหมที่ได้ทั้งหมดมาเปรียบเทียบกับสี โดยนำเส้นไหมที่ย้อมแล้วไปประเมินลักษณะของสีโดยเทียบแผ่นสีมาตรฐาน (Pantone)

6.3 การทดสอบความคงทนของสีต่อการซักล้าง (Washing tester) ตามมาตรฐาน มอก.121 เล่ม 3-2552 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2552ก) นำชิ้นทดสอบที่เตรียมไว้ใส่กระบอกซักใส่ลูกเหล็กกลมลงไปในกระบอกซักที่มีชิ้นทดสอบ เติมน้ำสะอาด 30 มิลลิลิตรปิดฝากระบอก ซักด้วยเครื่องซักที่อุณหภูมิ 40 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที เมื่อซักเสร็จนำชิ้นทดสอบออกจากกระบอกซัก จากนั้นล้างชิ้นทดสอบด้วยน้ำกลั่น กำจัดน้ำส่วนเกินออก โดยการบีบชิ้นทดสอบด้วยมือ ผึ่งให้แห้งหรือนำเข้าตู้อบ ประเมินการเปลี่ยนสีของผ้าประภโดยใช้เกรย์สเกล

6.4 การทดสอบความคงทนของสีต่อแสงแดด (Color Fastness to light) ตามมาตรฐาน มอก. 121 เล่ม 14-2552 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2552ข) นำกระดามาประภปิดเส้นไหมไว้ด้านหนึ่ง นำไปตากแดดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำเส้นไหมมาประเมินโดยใช้เกรย์สเกล

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ในการศึกษาค่าความเป็นกรด-เบส (pH) ของน้ำย้อมก่อนย้อมและหลังย้อม ผลการทดลองดังตารางที่ 1 ค่าความเป็นกรด-เบสของดินแดงก่อนย้อมมีค่าเท่ากับ 6.40 และหลังย้อมมีค่า pH เท่ากับ 6.26, 6.24 และ 6.23 ตามลำดับ พบว่าน้ำย้อมดินแดงที่ไม่ใส่สารช่วยติดสี มีสมบัติเป็นกรดอ่อน ซึ่งไม่สอดคล้องกับงานวิจัยของ นันทิยา อัจฉรวรรณ และคณะ (2554) รายงานว่าค่าความเป็นกรดของดินแดงมีค่า pH เท่ากับ 8.99 มีสมบัติเป็นเบส แต่ดินแดงในหมู่บ้านระเวียงค่อนข้างสมบูรณ์ เนื่องจากแบคทีเรียหรือจุลินทรีย์ในดินปล่อยไนโตรเจนจากอินทรีย์วัตถุได้ดีที่สุดช่วง pH 5.5-7.0 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ćirić et al. (2023) ที่รายงานค่า pH มีผลต่อการแลกเปลี่ยนไอออนบวก (Cation Exchange Capacity - CEC) โดยค่า pH ของดินมีค่าต่ำ ไอออนที่อยู่บนอนุภาคดินจะเป็นไอออนลบและไอออนบวก ทำให้ไอออนที่มาดึงดูดจึงเป็นได้ทั้งไอออนบวกและไอออนลบ เมื่อค่า pH เข้าใกล้ 7 ไอออนที่อนุภาคดินส่วนใหญ่เป็นไอออนลบดึงดูดเฉพาะไอออนบวก ไอออนบวกคือธาตุกลุ่มโลหะอยู่ในรูป oxides ของแคลเซียม เหล็ก และอะลูมิเนียม

ในการศึกษาสมบัติการเป็นกรดเบสของสารช่วยติดสี (Mordant) ได้แก่ สารส้ม ใบมะขาม และใบผักโขมหนาม พบว่าก่อนย้อมสารส้ม ใบมะขาม และใบผักโขมหนาม มีค่า pH ประมาณ 3.3 3.5 และ 7.6 ตามลำดับ หลังย้อมสารส้ม ใบมะขาม และใบผักโขมหนาม มีค่า pH ประมาณ 3.3, 4.8 และ 7.0 ตามลำดับ ผลการทดลองพบว่าค่าพีเอชของน้ำย้อมเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยหลังการย้อม เนื่องจากสารช่วยติดสีบางชนิด เช่น ใบมะขามมีกรดอินทรีย์ (กรดซิตริก กรดมาริก และกรดทาตาลิก) ซึ่งช่วยเพิ่มการดูดซับสีย้อมโดยทำให้โปรตีนในเส้นไหมสามารถจับกับเม็ดสีได้ดีขึ้น ใบผักโขมหนามมีสมบัติเป็นเบสอ่อน เนื่องจากในใบผักโขมหนามมีเบตาเลน มีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidants) และใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและย้อมสีธรรมชาติอย่างแพร่หลาย มีองค์ประกอบเป็นแทนนินและฟลาโวนอยด์ (จุฑามาศ เมรสนัด และคณะ, 2561) ซึ่งมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของธีรกานต์ โพธิ์แก้ว (2556) รายงานว่าบ้านเจริญสุข อำเภอเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดบุรีรัมย์ มีการนำเอาดินแดงจากดินภูเขาไฟมาย้อมผสมน้ำเปลือกไม้ประดู่เพื่อรักษาสีให้คงทน สีที่ได้คือสีส้มแดง และทอเป็นผ้าฝ้ายในนาม “ภูอัคนี” จะเห็นได้ว่าการย้อมนี้เป็นการใช้สารช่วยติดสีหลังการย้อมสี (Post - mordant) ส่งผลให้น้ำย้อมหลังการย้อมมีการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-เบสเพียงเล็กน้อย

ตารางที่ 1 ค่าความเป็นกรด-เบสของน้ำย้อมทั้ง 12 กลุ่มทดลอง

กลุ่มทดลอง	เวลาย้อม (ชั่วโมง)	สารช่วยติดสี	ค่าความเป็นกรด-เบส (pH)	
			pH ก่อนย้อม	pH หลังย้อม
A	1	ไม่มี	6.40	6.26
B	12	ไม่มี	6.40	6.24
C	24	ไม่มี	6.40	6.23

ตารางที่ 1 ค่าความเป็นกรด-เบสของน้ำย้อมทั้ง 12 กลุ่มทดลอง (ต่อ)

กลุ่มทดลอง	เวลาย้อม (ชั่วโมง)	สารช่วยติดสี	ค่าความเป็นกรด-เบส (pH)	
			pH ก่อนย้อม	pH หลังย้อม
D	1	สารส้ม	3.31	3.37
E	12	สารส้ม	3.33	3.37
F	24	สารส้ม	3.33	3.29
G	1	ไบมะขาม	3.53	4.30
H	12	ไบมะขาม	3.52	4.73
I	24	ไบมะขาม	3.58	4.81
J	1	ไบผักโขมหนาม	7.43	7.04
K	12	ไบผักโขมหนาม	7.92	7.71
L	24	ไบผักโขมหนาม	7.63	7.56

การวัดค่าสีของเส้นไหมด้วยระบบ $CIEL^*a^*b^*$ ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 2 พบว่าค่าความสว่างของเส้นไหม (L^*) เส้นไหมย้อมด้วยดินแดง 24 ชั่วโมงแล้วตามด้วยสารส้ม (ชุด F) มีค่าความสว่างมากที่สุด ค่าสีแดงของเส้นไหม (a^*) พบว่าเส้นไหมย้อมด้วยดินแดง 12 ชั่วโมงตามด้วยสารส้ม (ชุด E) มีค่าสีแดงมากที่สุด ค่าสีเหลืองของเส้นไหม (b^*) พบว่าเส้นไหมย้อมด้วยดินแดง 24 ชั่วโมง ไม่ใส่สารช่วยติดสี (ชุด C) มีค่าสีเหลืองมากที่สุด

ตารางที่ 2 ค่าสีระบบ $CIEL^*a^*b^*$ ของเส้นไหมและสีของเส้นไหมเทียบกับมาตรฐาน Pantone

กลุ่มทดลอง	ค่าสี			สีของเส้นไหมเทียบกับ Pantone	
	L^*	a^*	b^*		
A	74.15±0.20	17.31±0.12	26.64±0.16	Peach Cobbler 14-1231 TPX	
B	73.95±0.32	17.52±0.34	27.62±0.81	Peach Cobbler 14-1231 TPX	
C	71.68±0.91	17.43±0.50	29.16±0.65	Pumpkin 14-1139 TPX	
D	74.17±0.64	17.51±0.14	26.86±0.64	Prairie Sunset 13-1021 TPX	
E	73.42±0.72	18.24±0.44	28.20±0.10	Pumpkin 14-1139 TPX	

ตารางที่ 2 ค่าสีระบบ CIEL*a*b* ของเส้นไหมและสีของเส้นไหมเทียบกับมาตรฐาน Pantone (ต่อ)

กลุ่มทดลอง	ค่าสี			สีของเส้นไหมเทียบกับ Pantone	
	L^*	a^*	b^*		
F	74.21±0.41	17.93±0.32	27.64±0.41	Coral Sands 14-1224 TPX	
G	68.75±0.32	14.61±0.39	23.22±0.71	Canyon Sunset 15-1333 TPX	
H	69.05±0.41	15.04±0.48	24.03±0.19	Copper Tean 16-1338 TPX	
I	70.91±0.33	15.68±0.44	25.35±0.72	Copper Tean 16-1338 TPX	
J	73.48±0.84	16.22±0.56	25.94±0.62	Salmon Butt 14-1135 TPX	
K	72.14±0.85	16.60±0.56	25.22± 0.78	Apricot Wash 14-1230 TPX	
L	74.15±0.20	17.31±0.12	26.64±0.16	Peach 14-1227 TPX	

หมายเหตุ : L^* = ค่าความสว่าง a^* ค่าความเป็นสีแดง-สีเขียว และ b^* ค่าความเป็นสีเหลือง-สีน้ำเงิน

ผลการวิเคราะห์พบว่าค่าสว่าง (L^*) ของเส้นไหมที่ไม่ใส่สารช่วยติดสี ใส่สารส้มและใบผักโขมหนามให้ผลที่ไม่แตกต่างกันมากนัก การใช้ใบมะขามเป็นสารช่วยติดสีให้ค่าความสว่างน้อยที่สุด เนื่องจากใบมะขามจะมีกรดซิตริก กรดมาริก และกรดทาฮาสิก ซึ่งกรดเหล่านี้มีหมู่ฟังก์ชันของคาร์บอกซิลิก ($-\text{COOH}$) จะสร้างพันธะไฮโดรเจนกับหมู่อะมิโนของเส้นไหม ส่งผลให้เส้นไหมเพิ่มความสามารถในการติดสีมากขึ้นจาก 1 ตำแหน่งเป็น 3 ตำแหน่ง (Bakr et al., 2020) จึงทำให้การดูดซับสีของเส้นไหมได้ดี ส่วนสารส้มเป็นสารช่วยติดสีที่ทำให้เส้นไหมสว่างมากที่สุด เนื่องจากสารส้มมีองค์ประกอบเป็นอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ (Al^{3+}) สามารถสร้างพันธะพันธะไฮดรอกไซด์หรือพันธะโคเวเลนต์บางส่วนกับหมู่คาร์บอกซิล ($-\text{COOH}$) และหมู่อะมิโน ($-\text{NH}_2$) ในเส้นไหม ซึ่งไม่สอดคล้องกับงานวิจัยของศิวพร แก่นจันทร์ และปิยะพร คามภิรภาพพันธ์ (2557) ได้ศึกษาการย้อมไหมด้วยสีจากกากกาแฟโดยใช้สารสกัดเปลือกหับทิมเป็นสารช่วยติด รายงานว่าการใช้สารส้มเป็นสารช่วยติดสีส่งผลให้วัตถุดิบค่าความเข้มของสีมากที่สุด

จากผลการวัดค่าสีของเส้นไหมพบว่าเส้นไหมที่ย้อมด้วยดินแดงไม่ใส่สารช่วยติดสีและใส่สารช่วยติดสีให้ค่าความสว่าง (L^*) อยู่ในช่วง 68.75 – 74.21 ค่าความเป็นสีแดง (a^*) อยู่ในช่วง 14.61 – 18.24 และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) อยู่ในช่วง 23.22 – 29.16 ส่งผลให้ได้เส้นไหมเฉดสีน้ำตาลทองถึงน้ำตาลเข้ม ซึ่งสอดคล้องกับการเทียบสีมาตรฐาน (Pantone)

ตารางที่ 3 การทดสอบความคงทนของสีต่อการซักและความคงทนของสีต่อแสงแดด

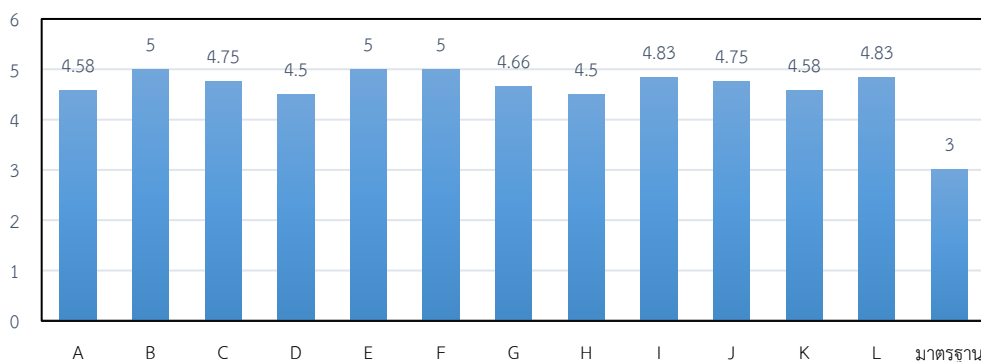
กลุ่มทดลอง	เวลาย้อม (ชั่วโมง)	สารช่วยติดสี	ความคงทนของสี	
			ต่อการซัก	ต่อแสงแดด
A	1	ไม่มี	4/5	5
B	12	ไม่มี	5	5
C	24	ไม่มี	4/5	5
D	1	สารส้ม	4	5
E	12	สารส้ม	5	5
F	24	สารส้ม	5	5
G	1	ใบมะขาม	4/5	5
H	12	ใบมะขาม	4/5	4/5
I	24	ใบมะขาม	5	4/5
J	1	ใบผักโขมหนาม	5	4/5
K	12	ใบผักโขมหนาม	4/5	4/5
L	24	ใบผักโขมหนาม	5	4/5

หมายเหตุ : ระดับ 5 หมายถึง ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของสี 4 หมายถึง สีเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย 3 หมายถึง สีเปลี่ยนแปลงพอสังเกตเห็นได้ 2 หมายถึง สีเปลี่ยนแปลงค่อนข้างมาก และ 1 หมายถึง สีเปลี่ยนแปลงมาก

ผลการทดสอบความคงทนของสีของเส้นไหมที่ย้อมด้วยดินแดง ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 3 พบว่าเส้นไหมส่วนใหญ่มีความคงทนของสีต่อการซักอยู่ในระดับคุณภาพค่อนข้างดีมากที่สุดถึงดีมากที่สุด (4/5-5) ในขณะที่ผลการทดสอบความคงทนของสีต่อแสงแดด พบว่าเส้นไหมมีความคงทนอยู่ในระดับคุณภาพค่อนข้างดีมากที่สุดถึงดีมากที่สุด (4/5-5) เช่นเดียวกัน

โดยในการย้อมสีวัสดุต่างๆ ด้วยสารช่วยติดสีส่งผลให้วัสดุนั้นๆ มีความคงทนของสีดีกว่าการที่ไม่ใช้สารช่วยติด ส่วนใบมะขามเป็นสารช่วยติดสีที่ทำให้ผ้าสีเข้มที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากสีของดินจะเป็นสีออกไซด์ของเหล็กและอลูมิเนียมซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของอรทิมา จันทรสิงห์ และคณะ (2565) ที่ทำให้สีเข้มขึ้นเมื่อเวลาที่นวดเส้นไหมกับดินแดงจะมีการแลกเปลี่ยนไอออนในดินหรือการแลกเปลี่ยนไอออนบวกและไอออนลบได้ ทำให้ดินสามารถดูดซับประจุบวกและประจุลบได้ ส่วนใบผักโขมหนามมีความคงทนของสีมากกว่าใบมะขาม ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Laity et al. (2019) ใบผักโขมหนามมีสารฟลาโวนอยด์ บริเวณหมู่คาร์บอนิลที่ C4 ของวงแหวน C กับหมู่ OH ที่ตำแหน่ง C3 หรือ C5 จะว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยากับไอออนของโลหะเป็นอย่างมาก

ความคงทนของสีของเส้นไหมเฉลี่ยพบว่า ค่าเฉลี่ยของเส้นไหมที่ให้ความคงทนของสีมากที่สุดอยู่ในระดับคุณภาพดีมากที่สุด (5) คือ เส้นไหมย้อมด้วยดินแดง 12 ชั่วโมง ไม่ใส่สารช่วยติดสี (ชุด B) การย้อมด้วยดินแดง 12 ชั่วโมงตามด้วยสารส้ม (ชุด E) และการย้อมด้วยดินแดง 24 ชั่วโมงตามด้วยสารส้ม (ชุด F) ดังในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยความคงทนของเส้นไหมต่อการซักและต่อแสงเทียบกับมาตรฐาน

จากผลการศึกษาความคงทนของสีต่อการซักและความคงทนของสีต่อแสงแดด พบว่าเส้นไหมที่ย้อมด้วยดินแดงและสารส้ม มีความคงทนของสีสูงสุด เนื่องจากไอออนของอลูมิเนียม (Al^{3+}) ในสารส้มสามารถสร้างพันธะไอออนิกหรือพันธะโควาเลนต์บางส่วนกับหมู่คาร์บอกซิล ($-COOH$) และหมู่อะมิโน ($-NH_2$) บนเส้นไหม ทำให้เกิดการยึดติดของสีที่แข็งแรงขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ อัจฉรวรรณ และคณะ (2554) ซึ่งได้ทำการศึกษการสกัดสีย้อมผ้าจากดินแดง ผ้าไหมที่ย้อมพร้อมสารช่วยติดชนิดเกลือ สารส้ม ผงขุรส เมื่อทดสอบตามวิธีมาตรฐานอุตสาหกรรมมีค่าความคงทนของสีต่อการซักอยู่ในระดับดีถึงดีที่ที่สุด (ระดับ 4 ถึง 5) สัมมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงของสี (Colorchange) อยู่ในระดับดีพอใช้ (ระดับ 4) เนื่องจากเส้นไหมที่ย้อมโดยใส่สารช่วยติดจะสามารถรวมกับโมเลกุลของสีเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับสี (Metal Dye Complexes) สามารถผนึกอยู่ในเส้นใยของวัตถุที่นำมาย้อมได้ดีขึ้น ทำให้โมเลกุลของสีมีขนาดใหญ่ขึ้น ทำให้มีความคงทนมากขึ้น

สรุป

การย้อมสีเส้นไหมด้วยดินแดงจากจังหวัดสุรินทร์ การพัฒนาเฉดสีและการประเมินความคงทนของสี การศึกษาค่าความเป็นกรด-เบส (pH) น้ำย้อมจากดินแดงมีคุณสมบัติเป็นกรด สารช่วยติดสีที่มีสมบัติเป็นกรด ได้แก่ สารส้ม และไบมะขาม ส่วนใบผักโขมหวานมีสมบัติเป็นเบสอ่อน ในกระบวนการย้อมสีเส้นไหมจำเป็นต้องเติมสารช่วยติดสีเพื่อให้สีติดทนนาน เนื่องจากเส้นไหมเป็นเส้นใยโปรตีนชนิดที่เรียกว่า ไฟโบรอิน (Fibroin) ทำหน้าที่ช่วยยึดเส้นใยไว้ด้วยกัน เส้นไหมมีคุณสมบัติเป็นกรด โดยทั่วไปสารธรรมชาติหรือรงควัตถุในพืชจะไวต่อกรดมากกว่าเบสทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของสีย้อมนั้น (ชนาธินาถ ไชยภู, 2556) จะพบว่าการหมักเส้นไหมในสารละลายดินแดงเป็นเวลา 12 ชั่วโมงให้ผลที่ดีที่ที่สุด นอกจากนี้การย้อมเส้นไหมด้วยสารส้มภายหลังการหมักสามารถช่วยเพิ่มความเงางามของเส้นไหม ในกรณีที่ต้องการเพิ่มความเข้มของสี สามารถใช้ไบมะขามสดเป็นสาร

ช่วยติดสีเพิ่มเติม การย้อมนี้เป็นการใช้สารช่วยติดสีหลังการย้อมสี (Post - mordant) ผลการวัดค่าสีของเส้นไหมพบว่าเส้นไหมที่ย้อมด้วยดินแดงไม่ใส่สารช่วยติดสีและใส่สารช่วยติดสีให้ค่าความสว่าง (L^*) อยู่ในช่วง 68.75 – 74.21 ค่าความเป็นสีแดง (a^*) อยู่ในช่วง 14.61 – 18.24 และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) อยู่ในช่วง 23.22 – 29.16 ส่งผลให้ได้เส้นไหมเฉดสีส้มอ่อน ซึ่งสอดคล้องกับการเทียบสีมาตรฐาน (Pantone) จากผลการศึกษาความคงทนของสีต่อการซักและความคงทนของสีต่อแสงแดด พบว่าการย้อมไม่ใส่สารช่วยติดสี และการย้อมเส้นไหมใส่สารส้มเป็นสารช่วยติดสีให้ความคงทนอยู่ในระดับดีมากที่สุด การศึกษาการย้อมสีเส้นไหมจากดินแดงในจังหวัดสุรินทร์ สามารถผลิตเฉดสีส้มและสีน้ำตาลที่มีความคงทนสูง เส้นไหมมีลักษณะอ่อนนุ่ม เหมาะสำหรับการพัฒนาผลิตภัณฑ์ผ้าไหมคุณภาพสูง สามารถนำไปเป็นแนวทางในการนำดินแดงที่มีอยู่ในธรรมชาติมาย้อมเพื่อเพิ่มมูลค่าแก่เส้นไหมได้

ข้อเสนอแนะ

ในการศึกษาการย้อมไหมด้วยดินแดงในครั้งต่อไปอาจเพิ่มการทดสอบความคงทนต่อการกดทับด้วยความร้อน ต่อการขัดถู และต่อเหงื่อ และควรมีการนำดินแดงจากพื้นที่อื่นมาย้อมเพื่อทำการเปรียบเทียบ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณศูนย์วิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ คณาจารย์ และเจ้าหน้าที่สาขาวิชาเคมีทุกท่าน ที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือ และอุปกรณ์ตลอดจนห้องปฏิบัติการเคมีในการทำวิจัยจนเสร็จสมบูรณ์ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- จุฑามาศ เมรสนัด, วนิดา สืบสายพรหม, ทศพล พรพรหม, และจำเนียร ชมภู. (2561). ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดหยาบจากวัชพืชบางชนิด. วารสารเกษตร, 34(3), 373-384.
- ชนาธินาถ ไชยภู. (2556). การออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ผ้าฝ้ายมัดย้อมสีธรรมชาติจากเปลือกสะตอกรณีศึกษากลุ่มมัดย้อมสีธรรมชาติบ้านคีรีวง อำเภอลานสกา จังหวัดนครศรีธรรมราช. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- ธีรกันต์ โพธิ์แก้ว. (2556). วัฒนธรรมสร้างสรรค์ย้อมดินเป็นดาว: ภูมิปัญญาท้องถิ่นการทอผ้าพื้นเมืองด้วยการย้อมสีธรรมชาติจากดินแดงภาคอีสานเพื่อสร้างความเป็นเอกลักษณ์ให้กับผลิตภัณฑ์ชุมชน. กาฬสินธุ์: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตกาฬสินธุ์.

นันทิยา อัจฉรวรรณ, ไพรัช วงศ์ยุทธไกร, และสมพล มงคลพิทักษ์สุข. (2554). การสกัดสีย้อมผ้าจากดินแดง.

วารสารวิชาการอุตสาหกรรมศึกษา, 5(1), 26-35.

มาหามะสุโฮมิ มะแซ และพชญา พิศุวรรณ, (2562). การพัฒนาการย้อมผ้าไหมจากใบมันสำปะหลังเพื่อ

ยับยั้งแบคทีเรียและต้านรังสียูวี. สงขลา: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย.

ศิวพร แก่นจันทร์, และปิยะพร คามภิรภาพันธ์. (2557). การย้อมไหมด้วยสีจากกากกาแฟโดยใช้สารสกัด

เปลือกทับทิมเป็นสารช่วยติด. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2552ก). วิธีทดสอบสิ่งทอ ความคงทนของสีต่อการซักด้วยสบู่

หรือสบู่และโซดา. มอก.121 เล่ม 3

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2552ข). วิธีทดสอบสิ่งทอ เล่ม 14 การประเมินการเปลี่ยนสีและ

การเปลี่ยนสีโดยใช้เกรย์สเกลและเครื่องมือ. มอก.121 เล่ม 14

สำนักวิจัยและพัฒนาหม่อนไหม กรมหม่อนไหม. (2566). วัสดุสีย้อม. สืบค้นจาก <https://qsds.go.th>

องค์การบริหารส่วนตำบลสระเวียง. (2566). ลักษณะทั่วไปของตำบลสระเวียง. สืบค้นจาก

https://www.rawieng.go.th/page.php?pagename=data_detail&id=117

อรทิมา จันทร์สิงห์, วีรยา ฉิมอ้อย, และปานเทพ จุณนิพิฐวงษ์. (2565). คุณสมบัติด้านกำลังของดินลูกรังแทนที่

ด้วยเถ้าก้นเตา. KKU Research Journal (Graduate Studies), 22(1), 63-74.

อัคราพร สุขทอง, อัจฉรา สุทธิสนธิ์, กฤติกา ธรรมวิเศษ, ยุวดี พลศรี, จันทิมา จันทร์เขียว, สุภาวดี หลวงกลาง,

และสุดใจ สะอาดยิ่ง. (2566). การศึกษามรดกภูมิปัญญาการทอผ้าไหมพื้นเมืองสู่การสร้างสรรคการ

แสดง ชุด “ระบำทอผ้าไหมเมืองสุรินทร์” บ้านท่าสว่าง อำเภอเมือง จังหวัดสุรินทร์. Journal of

Humanities and Social Sciences Surin Rajabhat University, 25(1), 145-162.

Bakr, M. M., Ibrahim, H. M., Taha, M. A., & Osman, H. (2020). Novel green printing of cotton,

wool and polyester fabrics with natural alkanet dye nanoparticles. European Journal

of Molecular & Clinical Medicine, 7(11), 1609-1623.

Ghosh, S. K., & Das, A. (2015). Allergic contact dermatitis due to synthetic dyes. Indian Journal

of Dermatology, 60(3), 319. <https://doi.org/10.1111/j.0105-1873.2005.00663.x>.

Ćirić, V., Prekop, N., Šeremešić, S., Vojnov, B., Pejić, B., Radovanović, D., & Marinković, D. (2023).

The implication of cation exchange capacity (CEC) assessment for soil quality management and improvement. Agriculture and Forestry, 69(4), 113-133.

<https://doi.org/10.17707/AgricultForest.69.4.08>

- Laity P.R., Baldwin, E., & Holland C. (2019). Changes in Silk Feedstock Rheology during Cocoon Construction: The Role of Calcium and Potassium Ions. **Macromolecule Bioscience**. 19(3), 1800188. <https://doi.org/10.1002/mabi.201800188>
- Weisburger, J. H. (2002). Comments on the history and importance of aromatic and heterocyclic amines in public health. ***Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis***, 506-507, 9-20. [https://doi.org/10.1016/S0027-5107\(02\)00147-1](https://doi.org/10.1016/S0027-5107(02)00147-1)