

**การทดสอบคุณภาพผ้าสีธรรมชาติที่ย้อมด้วยสีผงจากเปลือกฝักโกโก้
(*Theobroma cacao*) โดยการใช้สารช่วยติดสี
Quality Testing of Naturally Dyed Fabric Using Powdered Dye
from Cocoa Pod Husks (*Theobroma cacao*)
with the Application of Mordants**

จutiporn อัสววรรณ¹ วีระเกียรติ ทรัพย์มี² และจุฑามาศ ศุภพันธ์^{1*}
Jutiporn Assawasowan¹, Verakiat Supmee² and Juthamas Suppapan^{1*}

บทคัดย่อ

ในกระบวนการผลิตและการแปรรูปโกโก้มีส่วนของเปลือกฝักโกโก้ที่เป็นส่วนเหลือทิ้งซึ่งสามารถนำมาพัฒนาให้เกิดประโยชน์ได้ การศึกษานี้มีการนำเปลือกฝักโกโก้มาสกัดด้วยวิธีตกตะกอนด้วยเกลือเพื่อทำเป็นสีผงสำหรับนำไปย้อมผ้าสีธรรมชาติ จากนั้นนำสีผงมาทดสอบการย้อมผ้าด้วยวิธีการทำผ้ามัดย้อม การหม่สีในการทำผ้าพิมพ์สีธรรมชาติ (eco-print) และการย้อมเส้นด้ายฝ้ายสำหรับทอผ้า โดยใช้สารส้ม น้ำปูนใส และเฟอร์รัสซัลเฟต ซึ่งนิยมใช้ในการทำผ้าสีธรรมชาติเป็นสารช่วยติดสี ผลการศึกษาพบว่าในกระบวนการผลิตสีผงสามารถผลิตสีผงได้ร้อยละ 26.29 ของน้ำหนักเปลือกฝักโกโก้เริ่มต้น เมื่อนำไปทดสอบคุณภาพการย้อมสีด้วยการวิเคราะห์ค่าสี (L^* a^* และ b^*) และค่าความเข้มสี พบว่าสามารถไล่เฉดสีในการย้อมผ้าเป็นสีน้ำตาลอ่อน สีน้ำตาลแก่ และสีเทาปนดำ ด้วยการใช้สารช่วยติดสี คือ สารส้ม น้ำปูนใส และเฟอร์รัสซัลเฟต ตามลำดับ ผลการทดสอบคุณภาพผ้าสีธรรมชาติที่ได้จากการย้อมโดยการใช้สารส้มและน้ำปูนใสเป็นสารช่วยติดสีพบว่ามีความคงทนต่อการซักล้าง น้ำ เหงื่อ แสงแดดเทียม และการขัดถูในระดับปานกลางถึงดีของการย้อมผ้าแต่ละวิธี ส่วนการใช้เฟอร์รัสซัลเฟตเป็นสารช่วยติดสีพบว่ามีความคงทนในระดับที่ดีที่สุดในการย้อมผ้าทุกวิธี การศึกษานี้สรุปว่าการใช้สีผงจากเปลือกฝักโกโก้ที่สกัดด้วยวิธีตกตะกอนด้วยเกลือในการทำผ้าสีธรรมชาติเป็นแนวทางในการพัฒนาเพื่อนำส่วนเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตโกโก้มาใช้ประโยชน์ได้

คำสำคัญ: โกโก้ สีผง สารช่วยติดสี ย้อมผ้า

¹ คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

² สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

* Corresponding author e-mail: jutamas_sup@nstru.ac.th

DOI: <https://doi.org/10.65217/wichchajinstru.2025.v44i2.264813>

Received: 25 September 2024, Revised: 5 November 2024, Accepted: 6 November 2024

Abstract

In cocoa production and processing, cocoa pod husks are considered waste, but they can be developed for beneficial use. This study extracted cocoa pod husks using salt precipitation method to create a powder dye for natural fabric dyeing. The dye powder underwent testing for fabric dyeing using tie-dye techniques, color padding in eco-printing, and dyeing cotton yarn for weaving. Potassium alum, limewater, and ferrous sulfate, commonly used as mordants in natural fabric dyeing, were utilized to help fix the color. The study found that the dye powder production process yielded 26.29% of the initial weight of the cocoa pod husks. When the dye quality was tested by analyzing the color values (L^* , a^* , b^*) and color strength, it was found that the dyeing process could produce shades of light brown, dark brown, and grayish-black using alum, limewater, and ferrous sulfate as mordants, respectively. The test results for the quality of naturally dyed fabrics showed that using alum and limewater as mordants provided moderate to good durability against washing, water, sweat, artificial sunlight, and rubbing for each dyeing method. Using ferrous sulfate as a mordant provided the highest level of durability in all fabric dyeing methods. This study concludes that using dye powder extracted from cocoa pod husks through salt precipitation for natural fabric dyeing offers a viable approach to utilizing waste from the cocoa production process.

Keywords: Cocoa, Powder dye, Mordant, Fabric dyeing

บทนำ

โกโก้ (*Theobroma cacao*) เป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญที่สามารถนำมาแปรรูปเป็นอาหารได้หลายชนิด (สถาบันวิจัยพืชสวน กรมวิชาการเกษตร, 2564) การแปรรูปส่วนใหญ่จะนำมาผลิตเป็นช็อกโกแลต ส่วนของวัตถุดิบที่นำมาผลิตเป็นช็อกโกแลต คือ ส่วนเนื้อและเมล็ดที่เข้าสู่กระบวนการแปรรูป โดยในกระบวนการแปรรูปจะมีส่วนเหลือทิ้งจำนวนมาก คือ เปลือกของฝักโกโก้ การนำเปลือกฝักโกโก้ที่เหลือไปใช้ประโยชน์ในปัจจุบันคือการนำไปผลิตเป็นปุ๋ยหมักซึ่งไม่สามารถเพิ่มมูลค่าได้มาก ปัจจุบันเกษตรกรผู้ปลูกโกโก้รายใหญ่จะมีธุรกิจร้านจำหน่ายผลิตภัณฑ์และเครื่องดื่มโกโก้ควบคู่กันไปด้วย โดยส่วนใหญ่ผู้ประกอบการจะมีโรงงานผลิตและร้านจำหน่ายอยู่ในบริเวณเดียวกัน ซึ่งนอกจากการจำหน่ายผลิตภัณฑ์จากโกโก้แล้วยังมีการจัดกิจกรรมให้ลูกค้าเที่ยวชมสวนโกโก้และมีส่วนร่วมในกระบวนการผลิตช็อกโกแลตหรือมีกิจกรรมอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง ดังนั้นการพัฒนาส่วนเหลือทิ้งจากเปลือกฝักโกโก้เพื่อใช้ในกิจกรรมส่งเสริมการขาย การนำไปใช้ในการผลิตสีย้อมผ้า (อรจิรา และชุตินา, 2567) จึงเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่น่าสนใจนอกจากจะช่วยลดส่วนเหลือทิ้งแล้วยังเป็นการเพิ่มมูลค่าการผลิตโกโก้อีกด้วย

ปัจจุบันความนิยมในการใช้ผลิตภัณฑ์จากธรรมชาติมีความนิยมเพิ่มมากขึ้นโดยเฉพาะผลิตภัณฑ์จากผ้าที่มีการใช้สีธรรมชาติในการย้อมซึ่งมีความปลอดภัย ไม่มีส่วนประกอบของโลหะหนัก

และสามารถย่อยสลายได้ง่าย (ระมัด, 2556; ศรีนทร์ และคณะ, 2554) แต่ในกระบวนการย้อมสีจากธรรมชาติมีขั้นตอนในการผลิตที่ยุ่งยาก โดยเฉพาะในขั้นตอนการเตรียมสีซึ่งต้องมีการจัดการวัตถุดิบก่อนทำการสกัดสีและเป็นขั้นตอนที่ใช้เวลานาน ดังนั้นการผลิตสีย้อมเป็นสีผงก่อนที่จะนำมาใช้ในงานย้อมสีธรรมชาติจะเป็นการลดขั้นตอนดังกล่าวทำให้สามารถใช้งานได้ทันที อีกทั้งเก็บไว้ใช้งานได้นาน และมีความสะดวกต่อการใช้งานในแต่ละครั้ง แต่อย่างไรก็ตามสีผงที่ได้มีข้อจำกัดหลายอย่างในการใช้งานจึงต้องมีการทดสอบคุณสมบัติในการย้อมติดสีเพื่อนำไปใช้พัฒนาให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น ดังนั้นการวิจัยครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบคุณภาพสีผงจากเปลือกฝักโกโก้ที่ได้จากกระบวนการผลิตด้วยการตกตะกอนด้วยเกลือซึ่งเป็นวิธีที่ผู้ประกอบการสามารถผลิตเป็นสีผงได้ง่ายและใช้ต้นทุนต่ำ โดยนำมาทดสอบกับการใช้ในกิจกรรมการทำผ้าสีธรรมชาติ ได้แก่ การทำผ้ามัดย้อม การท้อมสีในการผลิตผ้าพิมพ์สีธรรมชาติ (eco-print) และการนำไปย้อมเส้นด้ายฝ้ายสำหรับทอผ้า โดยใช้สารช่วยติดสีที่นิยมใช้ในการทำผ้าสีธรรมชาติเป็นสารช่วยย้อม ได้แก่ สารส้ม (potassium alum) น้ำปูนใส (calcium hydroxide) และเฟอร์รัสซัลเฟต (ferrous sulfate) ซึ่งสารช่วยติดสี (mordant) เป็นตัวที่ช่วยให้สีติดอยู่บนผ้าและเส้นใยได้อย่างมีประสิทธิภาพ สีไม่ตกง่าย อีกทั้งสารช่วยติดสีแต่ละชนิดยังส่งผลให้เกิดสีที่แตกต่างกันอีกด้วย เช่น ทำให้สีสว่างหรือเข้มขึ้น ซึ่งเป็นการช่วยการไล่เฉดสีให้มีความหลากหลายมากขึ้น ดังนั้นการศึกษานี้เพื่อหาแนวทางความเป็นไปได้ในการใช้สีผงจากเปลือกฝักโกโก้เพื่อพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์จากผ้าสีธรรมชาติสำหรับใช้ในกิจกรรมส่งเสริมธุรกิจโกโก้ต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การผลิตสีผงจากเปลือกฝักโกโก้จากการแปรรูปโกโก้

ผลิตสีผงจากเปลือกฝักโกโก้โดยดัดแปลงตามวิธีของไพรัตน์ และคณะ (2557) ด้วยวิธีการตกตะกอนด้วยเกลือ โดยทำการผลิตจากน้ำสีจากเปลือกฝักโกโก้ ใช้อัตราส่วนเปลือกฝักโกโก้ 1 กิโลกรัมต่อน้ำ 5 ลิตร นำไปต้มโดยควบคุมที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง หลังจากนั้นกรองน้ำสีแล้วนำไปต้มต่อที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ให้เหลือน้ำสี 2 ลิตร แล้วปล่อยให้สีเย็นเพื่อนำไปทำสีผงต่อไป ทำน้ำสีให้เป็นสีผงโดยใช้สารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ ด้วยการนำน้ำสีที่สกัดได้ผสมกับสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 15 ปริมาตร 1 ลิตร คนให้เข้ากันและปล่อยให้แห้งให้ตกตะกอน แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงเพื่อให้ตกตะกอนอีกครั้งโดยใช้ความเร็วรอบ 7,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที หลังจากนั้นนำน้ำสีไปกรองด้วยกระดาษกรอง แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จนแห้ง นำสีที่ได้บนกระดาษกรองไปบดเป็นผงเพื่อนำไปทดสอบการใช้งานต่อไป

2. การทดสอบคุณภาพสีผงโดยการทำผ้ามัดย้อม

นำผ้าฝ้ายดิบขนาด 30 x 30 เซนติเมตร มาทำความสะอาดด้วยน้ำยาล้างจานยี่ห้อซันไลต์ ปริมาตร 30 มิลลิลิตร นาน 10 นาที เพื่อขจัดคราบไขมัน ทำการย้อมโดยใช้สีผงความเข้มข้น 1 กรัมต่อลิตร โดยกระบวนการย้อมสีเริ่มต้นเมื่อสารละลายมีอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิเป็น 70 องศาเซลเซียส ภายในเวลา 10 นาที แล้วควบคุมอุณหภูมิการย้อมสีไว้ที่ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำผ้าที่ย้อมสีเสร็จแล้วมาย้อมสารช่วยติดสีปริมาตร 2 ลิตร โดยใช้สารช่วยติดสีจำนวน 3 ชนิด ได้แก่ สารส้ม น้ำปูนใส และเฟอร์รัสซัลเฟต ความเข้มข้น 1 กรัมต่อลิตร ที่อัตราส่วนสารช่วยติดสีต่อน้ำ 1:10 แล้วล้างด้วยน้ำอุ่นปริมาตร 2 ลิตร ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา

5 นาที และตากผึ่งให้แห้งในที่ร่ม แล้วนำไปวัดค่าสี ความเข้มสี และทดสอบความคงทนของสี โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design: CRD) จำนวน 5 ซ้ำ และใช้ผ้าดิบเป็นชุดควบคุม

3. การทดสอบสีผงโดยการหม่สีในการทำผ้าพิมพ์สีธรรมชาติ

เตรียมผ้าโดยใช้ผ้าฝ้ายดิบขนาด 30 x 30 เซนติเมตร เคลือบสารช่วยติดสีสูตรปูนธรรมชาติโดยแช่ผ้าในสารช่วยติดสีสูตรปูนธรรมชาติปริมาตร 2 ลิตร สำหรับทำผ้าพิมพ์สีธรรมชาติจำนวน 2 ชั่วโมง และนำมาผึ่งให้แห้งในที่ร่ม เตรียมใบไม้ นำมาทำความสะอาดล้างน้ำเปล่าและผึ่งลมนาน 30 นาที ให้พอหมาดก่อนนำมาใช้วางบนผ้าที่เคลือบสารช่วยติดสีสูตรปูนธรรมชาติแล้ว เตรียมสีย้อมปริมาตร 2 ลิตร เพื่อนำมาใช้ในการหม่สี โดยใช้สีผงความเข้มข้น 1 กรัมต่อลิตร ปริมาตร 2 ลิตร หลังจากนั้นนำผ้าขาวมาชุบน้ำสีและใช้สารช่วยติดสีปริมาตร 2 ลิตร โดยใช้สารช่วยติดสีจำนวน 3 ชนิด ได้แก่ สารละลายสารส้มความเข้มข้น 1 กรัมต่อลิตร น้ำปูนใส ความเข้มข้น 1 กรัมต่อลิตร และสารละลายเพอร์สซัลเฟตความเข้มข้น 1 กรัมต่อลิตร นำมาวางทับบนผ้าที่วางใบไม้ แล้วม้วนผ้าด้วยแกนไม้ไผ่ ใช้เชือกมัดให้แน่นตลอดแนว จากนั้นนำผ้าไปนึ่งโดยใช้ความร้อนที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง นำผ้าออกจากแกนม้วนแล้วล้างด้วยน้ำอุ่นปริมาตร 2 ลิตร ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที และผึ่งให้แห้งในที่ร่ม แล้วนำไปวัดค่าสี ความเข้มสี และทดสอบความคงทนของสี โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ จำนวน 5 ซ้ำ และใช้ผ้าดิบเป็นชุดควบคุม

4. การทดสอบสีผงโดยการนำไปย้อมเส้นด้ายฝ้ายสำหรับทอผ้า

เตรียมสีย้อมปริมาตร 5 ลิตร เพื่อนำมาใช้ในการย้อมเส้นด้ายน้ำหนัก 1 กิโลกรัม โดยใช้สีความเข้มข้น 1 กรัมต่อลิตร นำเส้นด้ายฝ้ายที่ทำความสะอาดแล้วลงย้อมในน้ำสีนาน 1 ชั่วโมง พลิกเส้นด้ายให้ถูกน้ำย้อมเสมอกันทุก ๆ 10 นาที โดยกระบวนการย้อมสีเริ่มต้นที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิเป็น 70 องศาเซลเซียส ภายใน 10 นาที แล้วควบคุมอุณหภูมิการย้อมสีไว้ที่ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำเส้นด้ายที่ย้อมสีเสร็จแล้วมาย้อมสารช่วยติดสีปริมาตร 2 ลิตร โดยใช้สารช่วยติดสีจำนวน 3 ชนิด ได้แก่ สารละลายสารส้ม น้ำปูนใส และสารละลายเพอร์สซัลเฟตความเข้มข้น 1 กรัมต่อลิตร แล้วล้างด้วยน้ำอุ่นปริมาตร 10 ลิตร ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 นาที และผึ่งให้แห้งในที่ร่ม แล้วนำไปวัดค่าสี ความเข้มสี และทดสอบความคงทนของสี โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ จำนวน 5 ซ้ำ โดยใช้ผ้าขาวที่ทอจากเส้นด้ายที่ไม่มีการย้อมเป็นชุดควบคุม

5. การวัดค่าสีและความเข้มสี

การค่าสี (L^* a^* และ b^*) และความเข้มสี (color strength หรือ K/S) โดยใช้เครื่อง Datascolor 850 ซึ่งการวัดค่าความเข้มสีใช้เทคนิคการวัดการสะท้อนของแสงและแสดงในรูปของ K/S ตามสมการของ Kubelka - Munk โดยค่า K/S มีความสัมพันธ์กับค่าการสะท้อนแสง (R) ตามสมการ (1) (Kokhanovsky, 2007)

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

เมื่อ K คือ สัมประสิทธิ์ของการดูดกลืนแสง (coefficient of absorption)

S คือ สัมประสิทธิ์ของการกระจายแสง (coefficient of scatter)

และ R คือ ค่าการสะท้อนแสง (reflectance)

6. การทดสอบความคงทนของสี

นำผ้าที่ผ่านการย้อมด้วยสีผงมาทดสอบความคงทนของสีเพื่อทดสอบการเปลี่ยนแปลงของสีเมื่อผ่านกิจกรรมต่าง ๆ โดยใช้เกณฑ์การตรวจสอบตามมาตรฐานอุตสาหกรรม ดังนี้

- 1) ทดสอบความคงทนของสีต่อการซักล้าง (color fastness to washing) ตามมาตรฐานการทดสอบ International Standard (ISO 105-C06) (2010)
- 2) ทดสอบความคงทนของสีต่อน้ำ (color fastness to water) ตามมาตรฐานการทดสอบ International Standard (ISO 105-E01) (2010)
- 3) ทดสอบความคงทนของสีต่อเหงื่อ (color fastness to perspiration) ตามมาตรฐานการทดสอบ International Standard (ISO 105-E04) (2013)
- 4) ทดสอบความคงทนของสีต่อแสงแดดเทียม (color fastness to light) ตามมาตรฐานการทดสอบ International Standard (ISO 105-B02) (1994)
- 5) ทดสอบความคงทนของสีต่อการขัดถู (color fastness to rubbing) ตามมาตรฐานการทดสอบ International Standard (ISO 105-E01) (2010)

7. การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลของแต่ละวิธีการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์หาค่าความแปรปรวนทางสถิติ (ANOVA) เมื่อพบว่ามีความแตกต่างทางสถิติทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี least significant difference (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ผลการวิจัย

1. การผลิตสีผงจากเปลือกฝักโกโก้

การผลิตสีผงจากเปลือกฝักโกโก้โดยใช้วิธีการตกตะกอนด้วยเกลือเมื่อใช้น้ำหนักเปลือกฝักโกโก้เริ่มต้น 1 กิโลกรัม จะผลิตสีผงได้น้ำหนัก 262.96 กรัม คิดเป็นร้อยละ 26.29 ของน้ำหนักเปลือกฝักโกโก้เริ่มต้น ดังภาพที่ 1

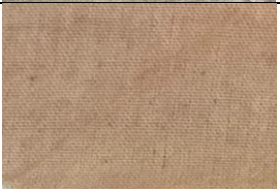


ภาพที่ 1 สีผงจากเปลือกฝักโกโก้

2. การทดสอบสีผงโดยการทำผ้ามัดย้อม

ผลการทดสอบความเข้มสีจากการใช้สีผงจากเปลือกฝักโกโก้ในการทำผ้ามัดย้อม พบว่าค่าความเข้มสีจากการย้อมด้วยการใช้เฟอร์สซัลเฟตเป็นสารช่วยติดสีมีค่าความเข้มสีมากที่สุด รองลงมา คือ น้ำปูนใส และสารส้ม โดยมีค่าเท่ากับ 9.147 3.589 และ 2.471 ตามลำดับ ซึ่งแต่ละสารช่วยติดสีมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ผลการวัดค่าสีพบว่าการใช้สารส้มเป็นสารช่วยติดสีให้โทนสีผ้าเป็นสีน้ำตาลอ่อน การใช้น้ำปูนใสเป็นสารช่วยติดสีให้โทนสีผ้าเป็นสีน้ำตาลเข้ม และการใช้เฟอร์สซัลเฟตให้โทนสีผ้าเป็นสีเทาเข้ม ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การทดสอบค่าสีและความเข้มสีจากการใช้สีผงจากเปลือกฝักโกโก้ในการทำผ้ามัดย้อม

สารช่วยติดสี	ค่าสี			ค่าความเข้มสี	ตัวอย่างสีผ้า
	L*	a*	b*		
ชุดควบคุม	94.589 ^a	0.512 ^c	8.712 ^c	0.131 ^d	
สารส้ม	60.028 ^b	24.422 ^b	23.028 ^a	2.471 ^c	
น้ำปูนใส	52.218 ^c	26.280 ^a	10.692 ^b	3.589 ^b	
เฟอร์สซัลเฟต	32.827 ^d	-6.006 ^d	4.076 ^d	9.147 ^a	

หมายเหตุ: - ค่าที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันในสดมภ์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ผลการทดสอบความคงทนจากการใช้สีผงจากเปลือกฝักโกโก้ในการทำผ้ามัดย้อม พบว่า การใช้สารส้มเป็นสารช่วยติดสีให้ความคงทนต่อการซักล้าง น้ำ เหมื่อ และแสงแดดเทียมในระดับดี และมีความคงทนต่อการขัดถูในระดับปานกลาง การใช้น้ำปูนใสเป็นสารช่วยติดสีให้ความคงทนต่อน้ำ และแสงแดดเทียมในระดับดี ความคงทนต่อการซักล้างและเหมื่อในสภาพกรดและสภาพด่างในระดับปานกลางถึงดี และความคงทนต่อการขัดถูในระดับปานกลาง การใช้สารช่วยติดสีด้วยเฟอร์สซัลเฟต

ให้ความคงทนต่อการซักล้าง น้ำ เหนือในสภาพกรดและสภาพด่าง แสงแดดเทียมและการขัดถูในระดับ ดีที่สุด ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การทดสอบความคงทนของสีจากการใช้สีผงจากเปลือกฝักโกโก้ในการทำผ้ามัดย้อม

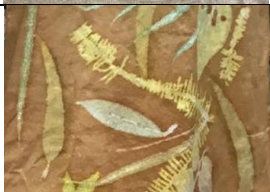
สารช่วยติดสี	การทดสอบความคงทน					ขัดถู
	ซักล้าง	น้ำ	เหงื่อ		แสงแดดเทียม	
			สภาพกรด	สภาพด่าง		
ชุดควบคุม	5	5	5	5	5	5
สารส้ม	4	4	4	4	4	3
น้ำปูนใส	3-4	4	3-4	3-4	4	3
เฟอร์รัสซัลเฟต	5	5	5	5	5	5

หมายเหตุ: - ระดับความคงทน ได้แก่ 5 = ดีที่สุด 4-5 = ดีถึงดีที่สุด 4 = ดี 3-4 = ปานกลางถึงดี 3 = ปานกลาง 2-3 = แย่ถึงปานกลาง 2 = แย่ 1-2 = แย่ถึงแย่มากที่สุด และ 1 = แย่มากที่สุด

3. การทดสอบสีผงโดยการหม่สีในการทำผ้าพิมพ์สีธรรมชาติ

ผลการทดสอบความเข้มสีจากการใช้สีผงจากเปลือกฝักโกโก้ในการหม่สีในการทำผ้าพิมพ์สีธรรมชาติ พบว่าค่าความเข้มสีจากการย้อมด้วยการใช้เฟอร์รัสซัลเฟตเป็นสารช่วยติดสีมีค่าความเข้มสีมากที่สุด รองลงมา คือ น้ำปูนใส และสารส้ม โดยมีค่าเท่ากับ 7.175 3.074 และ 2.112 ตามลำดับ ซึ่งแต่ละสารช่วยติดสีมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ผลการวัดค่าสีพบว่าการใช้สารส้มเป็นสารช่วยติดสีให้โทนสีผ้าเป็นสีน้ำตาลอ่อน การใช้น้ำปูนใสเป็นสารช่วยติดสีให้โทนสีผ้าเป็นสีน้ำตาลเข้ม และการใช้เฟอร์รัสซัลเฟตให้โทนสีผ้าเป็นสีเทาเข้ม ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การทดสอบค่าสีจากการใช้สีผงจากเปลือกฝักโกโก้ในการหม่สีในการทำผ้าพิมพ์สีธรรมชาติ

สารช่วยติดสี	ค่าสี			ค่าความเข้มสี	ตัวอย่างสีผ้า
	L*	a*	b*		
ชุดควบคุม	92.994 ^a	-0.461 ^c	3.213 ^d	0.137 ^d	
สารส้ม	50.294 ^b	23.441 ^a	23.145 ^a	2.112 ^c	

ตารางที่ 3 (ต่อ)

สารช่วยติดสี	ค่าสี			ค่าความเข้มสี	ตัวอย่างสีผ้า
	L*	a*	b*		
น้ำปูนใส	45.625 ^c	19.841 ^b	19.924 ^b	3.074 ^b	
เฟอร์ริซัลเฟต	39.773 ^d	-3.415 ^d	7.476 ^c	7.175 ^a	

หมายเหตุ: - ค่าที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันในระดับเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ผลการทดสอบความคงทนจากการใช้สีผงจากเปลือกฝักโกโก้ในการหม่สีในการทำผ้าพิมพ์สีธรรมชาติ พบว่าการใช้สารส้มเป็นสารช่วยติดสีให้ความคงทนต่อเหงื่อในสภาพกรดและสภาพด่าง และต่อแสงแดดเทียมในระดับดี ทนต่อน้ำในระดับปานกลางถึงดี และทนต่อการซักล้างและการขัดถูในระดับปานกลาง การใช้น้ำปูนใสเป็นสารช่วยติดสีให้ความคงทนต่อเหงื่อในสภาพกรดและสภาพด่าง และต่อแสงแดดเทียมในระดับดี ทนต่อน้ำในระดับปานกลางถึงดี และทนต่อการซักล้างและการขัดถูในระดับปานกลาง การใช้เฟอร์ริซัลเฟตเป็นสารช่วยติดสีให้ความคงทนต่อการซักล้าง น้ำ เหงื่อในสภาพกรดและสภาพด่าง แสงแดดเทียม และการขัดถูในระดับดีที่สุด ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 การทดสอบความคงทนของสีจากการใช้สีผงจากเปลือกฝักโกโก้ในการหม่สีในการทำผ้าพิมพ์สีธรรมชาติ

สารช่วยติดสี	การทดสอบความคงทน				
	ซักล้าง	น้ำ	เหงื่อ		ขัดถู
			สภาพกรด	สภาพด่าง	
ชุดควบคุม	5	5	5	5	5
สารส้ม	3	3-4	4	4	3
น้ำปูนใส	3	3-4	4	4	3
เฟอร์ริซัลเฟต	5	5	5	5	5

หมายเหตุ: - ระดับความคงทน ได้แก่ 5 = ดีที่สุด 4-5 = ดีถึงดีที่สุด 4 = ดี 3-4 = ปานกลางถึงดี 3 = ปานกลาง 2-3 = แย่ถึงปานกลาง 2 = แย่ 1-2 = แย่ถึงแย่มากที่สุด และ 1 = แย่ที่สุด

4. การทดสอบสีผงจากการย้อมเส้นด้ายฝ้ายสำหรับทอผ้า

ผลการทดสอบค่าสีผงจากการใช้สีผงจากเปลือกฝักโกโก้ในการย้อมเส้นด้ายฝ้ายสำหรับทอผ้า พบว่าค่าความเข้มสีจากการย้อมด้วยการใช้เฟอร์สซัลเฟตเป็นสารช่วยติดสีมีค่าความเข้มสีมากที่สุด รองลงมา คือ น้ำปูนใส และสารส้ม โดยมีค่าเท่ากับ 8.172 3.671 และ 2.241 ตามลำดับ ซึ่งแต่ละสารช่วยติดสีมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ผลการวัดค่าสีพบว่า การใช้สารส้มเป็นสารช่วยติดสีให้โทนสีผ้าเป็นสีน้ำตาลอ่อน การใช้ปูนใสเป็นสารช่วยติดสีให้โทนสีผ้าเป็นสีน้ำตาลเข้ม และการใช้เฟอร์สซัลเฟตให้โทนสีผ้าเป็นสีเทาเข้ม ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 การทดสอบค่าสีและความเข้มสีผงจากการใช้สีผงจากเปลือกฝักโกโก้ในการย้อมเส้นด้ายสำหรับทอผ้า

สารช่วยติดสี	ค่าสี			ค่าความเข้มสี	ตัวอย่างสีผ้า
	L*	a*	b*		
ชุดควบคุม	92.861 ^a	-2.811 ^d	7.674 ^d	0.101 ^d	
สารส้ม	58.683 ^b	18.207 ^b	34.632 ^a	2.241 ^c	
น้ำปูนใส	53.523 ^c	24.555 ^a	29.807 ^b	3.671 ^b	
เฟอร์สซัลเฟต	32.476 ^d	-0.354 ^c	9.781 ^c	8.172 ^a	

หมายเหตุ: - ค่าที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันในสดมภ์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ผลการทดสอบความคงทนจากการใช้สีผงจากเปลือกฝักโกโก้ในการหม่สีในการย้อมเส้นด้ายฝ้ายสำหรับทอผ้า พบว่าการใช้สารส้มเป็นสารช่วยติดสีให้ความคงทนต่อน้ำและแสงแดดเทียมในระดับดี ทนต่อการซักล้าง เหงื่อในสภาพกรดและสภาพด่างในระดับปานกลางถึงดี และทนต่อการขัดถูในระดับปานกลาง การใช้ปูนใสเป็นสารช่วยติดสีให้ความคงทนต่อน้ำและแสงแดดเทียมในระดับดี

ทนต่อการชักล้าง เหงื่อในสภาพกรดและสภาพด่างในระดับปานกลางถึงดี และทนต่อการชักล้างและการขัดถูในระดับปานกลาง การใช้เฟอร์สซัลเฟตเป็นสารช่วยติดสีให้ความคงทนต่อการชักล้าง น้ำเหงื่อในสภาพกรดและสภาพด่าง แสงแดดเทียมและการขัดถูในระดับดีที่สุด ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ผลการทดสอบความคงทนของสีจากการใช้สีผงจากเปลือกฝักโกโก้ในการย้อมเส้นด้ายฝ้ายสำหรับทอผ้า

สารช่วยติดสี	การทดสอบความคงทน					ขัดถู
	ชักล้าง	น้ำ	เหงื่อ		แสงแดดเทียม	
			สภาพกรด	สภาพด่าง		
ชุดควบคุม	5	5	5	5	5	5
สารส้ม	3-4	4	3-4	3-4	4	3
น้ำปูนใส	3	4	3-4	3-4	4	3
เฟอร์สซัลเฟต	5	5	5	5	5	5

หมายเหตุ: - ระดับความคงทน ได้แก่ 5 = ดีที่สุด 4-5 = ดีถึงดีที่สุด 4 = ดี 3-4 = ปานกลางถึงดี 3 = ปานกลาง 2-3 = แย่ถึงปานกลาง 2 = แย่ 1-2 = แย่ถึงแย่มากที่สุด และ 1 = แย่มากที่สุด

การอภิปรายผลการวิจัย

จากการผลิตสีผงด้วยการตกตะกอนด้วยเกลือพบว่าได้ปริมาณสีผงร้อยละ 26.29 ของน้ำหนักเปลือกฝักโกโก้เริ่มต้น สอดคล้องกับการศึกษาของ Donkor *et al.* (1991) ที่พบว่าปริมาณเยื่อใยของเปลือกโกโก้เมื่อทำเป็นน้ำหนักแห้งจะเหลือประมาณร้อยละ 26.90 ปริมาณสีผงที่ได้พบว่ามีมากกว่าสีผงที่สกัดจากแก่นฝางที่ได้น้ำหนักสีผงประมาณร้อยละ 13.00 (มาลี และคณะ, 2550) และการผลิตสีผงจากฝักคูณที่ได้น้ำหนักสีผงประมาณร้อยละ 13.50 (นวรรตน์ และคณะ, 2560) ซึ่งจากการได้สีผงปริมาณมากกว่าการใช้พืชชนิดอื่นอาจเป็นเพราะเปลือกฝักโกโก้มีองค์ประกอบพวกเซลลูโลสและเยื่อใยที่มากกว่า (จันทิมา และคณะ, 2565) ทำให้เมื่อผ่านกระบวนการผลิตสีผงซึ่งเป็นการนำน้ำออกจากวัตถุดิบจึงทำให้มีปริมาณสีผงที่มากกว่า ลักษณะสีของสีผงที่ได้จากเปลือกโกโก้มีสีน้ำตาลเข้ม การที่สีผงให้โทนสีน้ำตาลเป็นเพราะส่วนของเปลือกลำต้น ฝัก หรือผลของพืชส่วนใหญ่จะมีองค์ประกอบของรงควัตถุที่เป็นแทนนิน ซึ่งมีบทบาทในการทำให้เกิดสีน้ำตาล และสารแทนนินสามารถกระจายได้ดีในน้ำร้อน (Khanbabaee and van Ree, 2001) ดังนั้นในการสกัดสีครั้งนี้ใช้ความร้อนในการสกัดสีจากเปลือกโกโก้ซึ่งเป็นพืชที่มีแทนนินสูง นอกจากนี้ยังมีสีผงจากพืชธรรมชาติหลายชนิดที่มีแทนนินเป็นองค์ประกอบที่ให้สีน้ำตาล เช่น เปลือกมังคุด (ธนิภา และเพ็ญวิสาข์, 2563; วันแข็ง, 2557) มูลช้าง (ณัฐธิดา และคณะ, 2566) กิ่งมะยมขิด (พัทวัฒน์ และคณะ, 2566) และฝักคูณ (นวรรตน์ และคณะ, 2560) เป็นต้น

ผลการทดสอบค่าสีและความเข้มสีจากการย้อมผ้า โดยใช้สีผงที่ผลิตจากเปลือกฝักโกโก้เมื่อพิจารณาจากค่าความสว่าง (L^*) พบว่าการใช้เฟอร์สซัลเฟตเป็นสารช่วยติดสีให้ค่าความสว่างของสีน้อยที่สุด รองลงมา คือ สารส้ม และน้ำปูนใส ตามลำดับ จากการศึกษาของ Patel and Kanade

(2021) และ Burkinshaw and Kumar (2008) พบว่าเฟอร์รัสซัลเฟตจะทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับแทนนินเพื่อเปลี่ยนเป็นเฟอร์ริกแทนเนต (ferric tannate) ซึ่งเป็นสารกลุ่มฟีนอลิกไฮดรอกซิล (phenolic hydroxyl) ทำให้มีการเปลี่ยนสีของสีธรรมชาติเป็นโทนสีเทาถึงสีดำ การใช้เฟอร์รัสซัลเฟตในการเป็นสารช่วยติดสีและช่วยในการเปลี่ยนสีของการทำผ้าสีธรรมชาติมีการนำมาใช้ในหลายรายงาน เช่น การทำผ้าสีดำพื้นเมือง (ผ่องศรี, 2560) ส่วนการใช้น้ำปูนใสเป็นสารช่วยติดสีจะทำให้สีผ้าที่ได้มีความสว่างมากขึ้น และการใช้สารส้มเป็นสารช่วยติดสีจะให้ความสว่างของสีเพิ่มขึ้นแต่น้อยกว่าการใช้น้ำปูนใสเป็นสารช่วยติดสี จึงเป็นการใช้สารช่วยติดสีในการไล่เฉดสีในโทนสีน้ำตาลได้ (Failisnur *et al.*, 2018) และเมื่อพิจารณาจากค่าความเป็นสีแดง (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ทุกการทดสอบจากการย้อม ได้แก่ การทำผ้ามัดย้อม การท้อมสีในการทำผ้าพิมพ์สีธรรมชาติ และการย้อมเส้นด้ายฝ้ายสำหรับทอผ้า เมื่อใช้สารส้มเป็นสารช่วยติดสีจะให้สีผ้าเป็นสีน้ำตาลอ่อน และเมื่อใช้น้ำปูนใสเป็นสารช่วยติดสีจะให้สีผ้าเป็นสีน้ำตาลเข้ม ซึ่งสอดคล้องกับหลายรายงานที่พบว่าเมื่อแทนนินทำปฏิกิริยากับโพแทสเซียมอะลูมิเนียม (potassium alum) ซึ่งอยู่ในสารส้มจะให้โทนสีน้ำตาลอ่อน และเมื่อทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (calcium hydroxide) ซึ่งอยู่ในน้ำปูนใสจะให้โทนสีน้ำตาลเข้ม (Prabhu and Bhute, 2012; Kasembunyakorn *et al.*, 2012) ส่วนการใช้เฟอร์รัสซัลเฟตเป็นสารช่วยติดสีจะให้สีเทาถึงสีดำซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Mongkhlorattanasit *et al.* (2013) ที่พบว่าเมื่อแทนนินทำปฏิกิริยากับเฟอร์รัสซัลเฟตจะให้โทนสีเทาถึงสีดำ ผลการทดสอบความเข้มสีพบว่าสอดคล้องกับผลการทดสอบค่าสี ซึ่งสามารถไล่เฉดสีในการย้อมผ้าด้วยการใช้สารช่วยติดสี ได้แก่ สีดำ สีน้ำตาลเข้ม และสีน้ำตาลอ่อน ด้วยเฟอร์รัสซัลเฟต น้ำปูนใส และสารส้ม ตามลำดับ ซึ่งสามารถนำสารช่วยติดสีไปใช้ในการประยุกต์ใช้งานในการไล่เฉดสีของการย้อมผ้าในแต่ละประเภทได้ สำหรับความเข้มสีที่ปรากฏลงบนผ้าเมื่อพิจารณาจากค่าสีและค่าความเข้มสี พบว่าในการทดสอบการย้อมผ้าแต่ละวิธีมีผลต่อการติดสีลงบนผ้าด้วย โดยเฉพาะการท้อมสีในการทำผ้าพิมพ์สีธรรมชาติซึ่งจะได้สีที่จางกว่าการย้อมด้วยวิธีอื่น ซึ่งเกิดจากเทคนิคการย้อมที่สีย้อมไม่ได้มีการสัมผัสโดยตรงแต่เป็นการดูดซับของสีผ่านผ้าที่มีการขุบสี ดังนั้นในการใช้สารช่วยติดสีทุกชนิดจึงให้สีที่จางกว่าการย้อมด้วยวิธีอื่น

ผลการทดสอบความคงทนของการย้อมสีด้วยสีผงจากเปลือกฝักโกโก้ด้วยการใช้สารช่วยติดสีพบว่าการใช้สารส้มและน้ำปูนใสให้ความคงทนในระดับปานกลางถึงดี โดยเฉพาะความคงทนต่อการขัดถูจะมีความคงทนในระดับปานกลางเท่านั้น ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของผ้าสีธรรมชาติที่มีความคงทนต่อการขัดถูโดยเฉพาะการขัดถูน้อย ซึ่งในการทำความสะอาดต้องใช้ความพิถีพิถันมากกว่าผ้าชนิดอื่น ส่วนการใช้เฟอร์รัสซัลเฟตจะให้ความคงทนของสีย้อมมากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของณิชา และคณะ (2567) ปรีชา และคณะ (2564) และเกศศิณี และคณะ (2563) ที่กล่าวว่า การใช้เฟอร์รัสซัลเฟตเป็นสารช่วยติดสีนอกจากจะให้โทนสีเป็นสีเทาถึงดำแล้วยังให้ความคงทนต่อการซักและกิจกรรมอื่นต่อวัสดุที่ใช้ย้อมได้เป็นอย่างดี

ในการศึกษานี้พบว่าการใช้สีผงจากเปลือกฝักโกโก้ในการนำมาย้อมสีผ้าโดยใช้สารส้ม น้ำปูนใส และเฟอร์รัสซัลเฟต ซึ่งเป็นสารช่วยติดสีที่นิยมใช้ในการทำผ้าสีธรรมชาติสามารถนำมาใช้ในการย้อมสีผ้าธรรมชาติได้และมีคุณภาพที่สามารถนำไปใช้พัฒนาต่อยอดได้ อย่างไรก็ตามในการศึกษานี้เป็นการศึกษาคุณภาพของสีผงที่ได้จากการสกัดด้วยวิธีการตกตะกอนด้วยเกลือ ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ต้นทุนน้อยในการผลิตสีผงซึ่งเหมาะสมในการนำไปใช้ในกิจกรรมของกิจการธุรกิจโกโก้ แต่อย่างไรก็ตามควรมี

การศึกษาเพิ่มเติมด้านประสิทธิภาพของการย้อมสีเมื่อเก็บรักษาที่ระยะเวลาที่ยาวนานขึ้น หรือ ทดสอบเปรียบเทียบด้วยการผลิตสีผงด้วยวิธีที่สามารถเก็บรักษาสีผงได้ในระยะเวลายาวนานกว่า เช่น การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง เป็นต้น

สรุปผลการวิจัย

การศึกษานี้เป็นการทดสอบคุณภาพผ้าสีธรรมชาติที่ย้อมด้วยสีผงจากเปลือกฝักโกโก้ โดยการใช้ สารช่วยติดสีที่นิยมใช้ในการทำผ้าสีธรรมชาติ พบว่าสามารถผลิตสีผงจากเปลือกฝักโกโก้ได้ร้อยละ 26.29 ของน้ำหนักเปลือกฝักโกโก้เริ่มต้น เมื่อนำไปทดสอบการย้อมพบว่าสีผงที่ได้สามารถนำมาใช้ในการผลิต ผ้าสีธรรมชาติได้ โดยสามารถนำมาย้อมสีโดยการไล่เฉดสีด้วยสารช่วยติดสี และผ้าที่ย้อมมีความคงทน ในระดับปานกลางถึงดีที่สุดในเมื่อใช้สารช่วยติดสีแต่ละชนิดและในการย้อมผ้าแต่ละวิธี โดยหากต้องการ สีผ้าที่เป็นสีโทนน้ำตาลควรใช้สารช่วยติดสีชนิดสารส้มและน้ำปูนใส ส่วนผ้าโทนสีดำควรใช้สาร เพอร์สซัลเฟต และหากต้องการผ้าที่มีความคงทนต่อการติดสีมากที่สุดควรเลือกใช้สารเพอร์สซัลเฟต เป็นสารช่วยติดสี

เอกสารอ้างอิง

- เกศศิณี นามกร พรเพ็ญ อารทกิจวัฒน์ และชนิษฐา วัชรารณณ์. (2563). การศึกษาและพัฒนา กระบวนการย้อมสีกกหอเสื่อด้วยสีธรรมชาติจากครั่ง. ใน *การประชุมทางวิชาการของ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 58* (หน้า 743-750). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- จันทิมา ชั่งสิริพร พฤกระยา พงศ์ยี่หล้า และนิธนา ชัยฤกษ์. (2565). ผลของการใช้เปลือกโกโก้บดแห้ง เป็นส่วนประกอบในอาหารสำหรับไก่ไข่ต่อผลผลิตและคุณภาพของไข่. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี*, 24(3), 11-19.
- ณัฐธิดา ทิพย์กุล รัตนพล มงคลรัตนาสีธิ์ และสาคร ชลสาคร. (2566). อัตราส่วนที่เหมาะสมของการ พิมพ์สกรีนด้วยสีผงสกัดจากมูลช้าง. ใน *การประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 17 สมาคม คหเศรษฐศาสตร์แห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์* (หน้า 98-107). ปทุมธานี: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- ณิชา ประสงค์จันทร์ นพดล โพชกำเหนิด และโกสินทร์ ทีปรักษพันธ์. (2567). การพัฒนาสีย้อม ธรรมชาติจากตาลโตนด (*Borassus flabellifer* L.) สู่ผลิตภัณฑ์สิ่งทอชุมชน. *วารสารหน่วย วิจัยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้*, 15(1), 12-24.
- ธนิภา หุตะกมล และเพ็ญวิสาข์ พิสิฐฐศักดิ์. (2563). การย้อมสีผ้าฝ้ายและผ้าเรยอนด้วยสีผงธรรมชาติ ที่สกัดจากเปลือกมังคุด. ใน *การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 58* (หน้า 635-642). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- นวรรัตน์ ขาดิวิวัฒน์พรชัย ณัฐนิช ดิษฐภาพร ชนินิษฐา วัชรารณณ์ นิตยา ทับทิมทัย และณัฐดนัย รุ่งเรืองกิจไกร. (2560). การสกัดสีธรรมชาติจากฝักคูณและประยุกต์ใช้ในการย้อมบนผ้าไหม. ใน *การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 55* (หน้า 833-840). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

- ปรีชา มุลสิน ทันทิรา พันขารี และกนกกรณ์ ศิริทิพย์. (2564). การศึกษาการย้อมสีธรรมชาติจากใบยางพารา โดยใช้ สารส้ม จุนสี และสนิมเหล็กเป็นสารช่วยติดสี. *วารสารมหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 2(1), 35-40.
- ผ่องศรี รอดโพธิ์ทอง. (2560). พืชพื้นเมืองสำหรับย้อมผ้าสีดำ. *วารสารวิชาการคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สจล.*, 25(2), 163-175.
- พัทวัฒน์ สีขาว พลอยชมพู คำบุญ อริศรา ศรีรักษา และหนึ่งฤทัย เนื้อไม้หอม. (2566). การพัฒนาการเตรียมสีผงจากใบและกิ่งมะยงชิดโดยใช้วิธีการดูดซับด้วยเกลือ. ใน *การประชุมวิชาการระดับชาติ ด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรม ครั้งที่ 5* (หน้า 166-172). เลย: มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย.
- ไพรัตน์ ปญญาเจริญนนท์ กาญจนา ลือพงษ์ และจำลอง สาลิกานนท์. (2557). การพัฒนาการเตรียมสีผงจากสีย้อมธรรมชาติ. *รายงานวิจัย*. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.
- มาลี ตั้งสถิตกุลชัย เสาวณีย์ รัตนพานิ วิจิตร รัตนพานิ และสายสุนีย์ เหลี้ยวเรืองรัตน์. (2550). การสกัดและการเกิดสารเชิงซ้อนของสีย้อมธรรมชาติจากแก่นฝาง. *รายงานวิจัย*. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- ระมัด โชชัย. (2556). การย้อมสีเส้นด้ายฝ้ายด้วยสีย้อมธรรมชาติจากใบและเปลือกต้นมะม่วงสำหรับอุตสาหกรรมครอบครัว. *วารสารวิจัยเพื่อการพัฒนาเชิงพื้นที่*, 5(4), 116-127.
- วันแข็ง สิทธิกิจโยธิน. (2557). การเตรียมแบ่งพิมพ์ด้วยสารขึ้นจากกัมเมล็ดพืชสำหรับการพิมพ์ผ้าไหมด้วยสีจากเปลือกมังคุด. *รายงานวิจัย*. มหาวิทยาลัยบูรพา.
- ศรินทร์ ทองธรรมชาติ ชื่นจิตร ศรีชูยงค์ วัชร วารินทร์ และพัชราภรณ์ พิมพ์จันทร์. (2554). การวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในสีย้อมกกสังเคราะห์และการผลิตสีย้อมกกจากธรรมชาติ. *วารสารมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม*, 5(2), 193-203.
- สถาบันวิจัยพืชสวน กรมวิชาการเกษตร. (2564). *การจัดการความรู้เทคโนโลยีการผลิตโกโก้*. กรุงเทพฯ: การันตี Guarantee (นนทบุรี).
- อรจิรา เจียมสกุล และชุติมา เสพย์ธรรม. (2567). การศึกษาจลนพลศาสตร์และอุณหพลศาสตร์ของการย้อมสีสกัดจากเปลือกหุ้มเมล็ดโกโก้บนผ้าฝ้าย. *วารสารวิชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช*, 43(2), 26-38, doi: <https://doi.org/10.65217/wichchajinstru.2024.v43i2.258275>.
- Burkinshaw, S.M. and Kumar, N. (2008). A tannic acid/ferrous sulfate after treatment for dyed nylon 6,6. *Dyes and Pigments*, 79(1), 48-53, doi: <https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2008.01.004>.
- Donkor, A., Atuahene, C.C., Wilson, B.N. and Adomako, D. (1991). Chemical composition of cocoa pod husk and its effect on growth and food efficiency in broiler chicks. *Animal Feed Science and Technology*, 35(1-2), 161-169, doi: [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(91\)90107-4](https://doi.org/10.1016/0377-8401(91)90107-4).

- Failisnur, F., Sofyan, S., Kasim, A. and Angraini, T. (2018). Study of cotton fabric dyeing process with some mordant methods by using gambier (*Uncaria gambir* Roxb) extract. *International Journal on Advanced Science Engineering and Information Technology*, 8(4), 1098-1104, doi: <https://doi.org/10.18517/ijaseit.8.4.4861>.
- International Standard (ISO 105-B02). (1994). Textiles-tests for colour fastness-part B02: Colour fastness to artificial light: Xenon arc fading lamp test. Geneva: International Organization for Standardization.
- International Standard (ISO 105-C06). (2010). Textiles-tests for colour fastness-part C06: Colour fastness to domestic and commercial laundering. Geneva: International Organization for Standardization.
- International Standard (ISO 105-E01). (2010). Textiles-tests for colour fastness-part E01: Colour fastness to water. Geneva: International Organization for Standardization.
- International Standard (ISO 105-E01). (2010). Textiles-tests for colour fastness-part X12: Colour fastness to rubbing. Geneva: International Organization for Standardization.
- International Standard (ISO 105-E04). (2013). Textiles-tests for colour fastness-part E04: Colour fastness to perspiration. Geneva: International Organization for Standardization.
- Kasembunyakorn, S., Mouchai, P. and Arirob, W. (2012). Effect of tannin mordant on silk dyed with tropical almond leaves (*Terminalia catappa* Linn.). *Journal of Asian Regional Association for Home Economics*, 19(4), 174-177.
- Khanbabae, K. and van Ree, T. (2001). Tannins: Classification and definition. *Natural Product Reports*, 8(6), 641-649, doi: <https://doi.org/10.1039/b101061l>.
- Kokhanovsky, A.A. (2007). Physical interpretation and accuracy of the Kubelka-Munk theory. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 40(7), 2210-2216, doi: <https://doi.org/10.1088/0022-3727/40/7/053>.
- Mongkhorrattanasit, R., Klaichoi, C., Rungruangkitkrai, N., Punrattanasin, N., Sriharuksa, K. and Nakpathom, M. (2013). Dyeing studies with *eucalyptus*, quercetin, rutin, and tannin: A research on effect of ferrous sulfate mordant. *Journal of Textiles*, 2013, 423842, doi: <https://doi.org/10.1155/2013/423842>.
- Patel, B. and Kanade, P. (2021). Iron-tannin complex effect on coloration and functional properties of silk fabric. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 22, 100490, doi: <https://doi.org/10.1016/j.scp.2021.100490>.
- Prabhu, K.H. and Bhute, A.S. (2012). Plant based natural dyes and mordants: A review. *Journal of Natural Product and Plant Resources*, 2(6), 649-664.