



การสกัดและการใช้สีย้อมธรรมชาติจากมูลหนอนไหม : การสร้างอัตลักษณ์และความยั่งยืน ให้ผ้าไหมทอมือของชุมชน

Extraction and Application of Natural Dye from Silkworm Manure: Cultivating Identity and Sustainability in Community Handwoven Silk

เมธี ไชยหา¹ จีระนันท์ วงศ์ทัญญู^{2*} ปิยฉัตร ทองแพง³ จันจิรา ชาตมนตรี⁴
Metee Chaiha¹ Jeeranan Wongwatanyoo^{2*} Piyachat Thongpaeng³ Junjira Chatmontree⁴

Received: March 12, 2026

Revised: May 25, 2026

Accepted: June 26, 2026

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการสกัดและการประยุกต์ใช้สีย้อมธรรมชาติจากมูลหนอนไหม ซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการปลูกหม่อนเลี้ยงไหม เพื่อนำมาพัฒนาเป็นนวัตกรรมสีย้อมสำหรับผ้าไหมทอมือ และสร้างอัตลักษณ์พร้อมความยั่งยืนให้กับผลิตภัณฑ์ผ้าไหมของชุมชน โดยศึกษาปัจจัยด้านปริมาณตัวทำละลายและเวลาในการสกัดสีจากมูลหนอนไหม 10 กรัม ผลการศึกษาพบว่าสารสกัดมีค่า pH อยู่ในช่วง 7.38–7.92 โดยสภาวะการใช้ตัวทำละลาย 200 มิลลิลิตร ที่เวลา 120 นาที ให้ค่า pH สูงสุด (7.92 ± 0.03) ขณะที่การใช้ตัวทำละลาย 300 มิลลิลิตร ที่เวลา 120 นาที ให้ค่าสีหลัก (Hue) สูงสุดเท่ากับ 69.31 ± 0.92 ซึ่งให้เฉดสีเขียวเข้มบนสีน้ำตาล ผลการวิเคราะห์ค่าสี L^* , a^* และ b^* พบว่าสภาวะตัวทำละลาย 100 มิลลิลิตร และเวลา 90 นาที ให้ค่าความสว่างและความเข้มของสีสูงสุด โดยการเพิ่มปริมาณน้ำและเวลาในการสกัดส่งผลให้ความเข้มของสีลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

การย้อมผ้าไหมทอมือภายใต้สภาวะการสกัดที่เหมาะสมร่วมกับสารช่วยย้อมจากธรรมชาติไม่ส่งผลต่อค่าสีอย่างมีนัยสำคัญ แต่มีผลต่อสมดุลกรด-ด่างของสารสกัด โดยน้ำซึ่ถ้าทำให้ค่า pH เพิ่มขึ้น ผลการทดสอบความคงทนของสีต่อการขัดถูอยู่ในระดับ 4–5 และต่อการซักอยู่ในระดับ 3–4 รวมถึงสมบัติเชิงกลของเส้นใยและผ้ายังคงอยู่ในเกณฑ์เหมาะสม นอกจากนี้ การพัฒนาผลิตภัณฑ์ต้นแบบผ้าไหมย้อมสีจากมูลหนอนไหม พบว่าผู้บริโภคมีแนวโน้มยอมรับผลิตภัณฑ์ในระดับสูง และสามารถสร้างมูลค่าเพิ่มเชิงเศรษฐกิจได้จริง ผลการวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าการใช้สีย้อมจากมูลหนอนไหมเป็นนวัตกรรมท้องถิ่นที่สอดคล้องกับแนวคิดเศรษฐกิจชีวภาพ-หมุนเวียน-สีเขียว (BCG Economy) ช่วยลดของเสีย เพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์ และส่งเสริมความยั่งยืนของผ้าไหมทอมือในระดับชุมชนอย่างเป็นรูปธรรม

คำสำคัญ : มูลหนอนไหม, สีย้อมธรรมชาติ, ผ้าไหมทอมือ, มูลค่าเพิ่ม, นวัตกรรมท้องถิ่น

¹ สาขาออกแบบและนวัตกรรมวัสดุ คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษ

^{2*} สาขาเทคโนโลยีและนวัตกรรมอาหาร คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษ

³ สาขาวิชาการบัญชี คณะบริหารธุรกิจและการบัญชี มหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษ

⁴ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษ



Abstract

This research aimed to investigate the extraction and application of natural dye derived from silkworm manure, an agricultural by-product of the traditional mulberry–silkworm farming system, for the development of handwoven silk textiles and the enhancement of community identity and sustainability. The study examined the effects of solvent volume and extraction time on dye extraction using 10 g of silkworm manure. The results revealed that the dye extracts exhibited pH values ranging from 7.38 to 7.92, indicating neutral to slightly alkaline characteristics. The extraction condition using 200 mL of solvent for 120 minutes yielded the highest pH value (7.92 ± 0.03), while extraction with 300 mL of solvent for 120 minutes produced the highest hue value (69.31 ± 0.92), resulting in a distinctive dark green–brown coloration. Analysis of L^* , a^* , and b^* color values showed that extraction with 100 mL of solvent for 90 minutes provided the highest brightness and color intensity. Increasing solvent volume and extraction time significantly reduced color intensity ($p \leq 0.05$), highlighting the importance of controlling extraction conditions.

Silk dyeing under optimal extraction conditions combined with natural mordants did not significantly affect color values; however, it influenced the acid–base balance of the dye extract, particularly when ash water was used, resulting in increased pH. Color fastness tests demonstrated good performance, with rubbing fastness rated at 4–5 and washing fastness at 3–4, while the mechanical properties of silk fibers and fabrics remained within acceptable standards. Furthermore, the development of prototype handwoven silk products dyed with silkworm manure showed a high level of consumer acceptance and demonstrated tangible economic value creation. Overall, the findings confirm that silkworm manure-based natural dye represents a viable local innovation aligned with the Bio–Circular–Green (BCG) economy concept, contributing to waste reduction, value-added product development, and the sustainable advancement of community-based handwoven silk production.

Keywords: silkworm manure, natural dye, handwoven silk, value-added products, local innovation

บทนำ

มูลหนอนไหม ((silkworm excrement: SE)) เป็นผลพลอยได้ (by-product) จากระบบปลูกหม่อนเลี้ยงไหม (Tang et al., 2024) มีลักษณะเป็นเม็ดหยาบสีเขียวเข้ม ขนาดประมาณ 1–5 มิลลิเมตร และเกิดจากใบหม่อนที่ผ่านกระบวนการย่อยในระบบทางเดินอาหารของหนอนไหม โดยมีรายงานว่าประมาณร้อยละ 60 ของใบหม่อนที่บริโภคจะถูกขับถ่ายออกมาโดยไม่ผ่านการย่อย ขณะที่อีกร้อยละ 40 เป็นผลจากการทำงานของเอนไซม์และจุลินทรีย์ภายในลำไส้ของหนอนไหม (Li et al., 2021; Liao et al., 2020; Sohn et al., 2009) ส่งผลให้มูลหนอนไหมยังคงมีองค์ประกอบทางเคมีหลายชนิดที่ใกล้เคียงกับใบหม่อน ในด้านองค์ประกอบทางชีวเคมี พบว่ามูลหนอนไหมมีปริมาณไขมันหยาบใกล้เคียงกับใบหม่อน แม้ปริมาณโปรตีนและกรดอะมิโนจะลดลงจากกระบวนการย่อย อย่างไรก็ตาม มูลหนอนไหมยังคงอุดมด้วยสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สำคัญ ได้แก่ คลอโรฟิลล์และอนุพันธ์ ฟลาโวนอยด์ และแคโรทีนอยด์ โดยเฉพาะคลอโรฟิลล์ซึ่งมีปริมาณ

ประมาณร้อยละ 0.8–1 ของน้ำหนักแห้ง และพบในระดับที่สูงกว่าใบหม่อน (Hu et al., 2005; Wu et al., 2012) สารกลุ่มดังกล่าวมีบทบาทสำคัญต่อการให้เฉดสีเขียว-น้ำตาล และมีศักยภาพในการยึดเกาะกับเส้นใยโปรตีน เช่น เส้นไหม ดังนั้น มูลหนอนไหมจึงเป็นแหล่งวัตถุดิบทางเลือกที่มีศักยภาพสำหรับการพัฒนาสีย้อมธรรมชาติในงานสิ่งทอ ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดการใช้ทรัพยากรเหลือทิ้งอย่างคุ้มค่า และเป็นฐานองค์ความรู้สำคัญที่สนับสนุนการศึกษาการสกัดและการย้อมสีผ้าไหมทอมือในงานวิจัยนี้ วัสดุเหลือทิ้งดังกล่าวมีสารประกอบจากใบหม่อนที่ย่อยไม่หมดและพฤษเคมีหลายชนิด จึงถูกมองว่าเป็น “ทรัพยากรชีวภาพ” ที่สามารถพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์มูลค่าสูงได้ หากมีการจัดการและต่อยอดองค์ความรู้อย่างเป็นระบบ การนำมูลหนอนไหมมาใช้เป็นแหล่งสีธรรมชาติยังสอดคล้องกับแนวทางลดของเสียในห่วงโซการผลิตไหม และการสร้างคุณค่าใหม่จากทรัพยากรท้องถิ่น (local resource valorization) การผลิตเส้นไหมคิดเป็น 60% ของการผลิตทั่วโลก ในกระบวนการเลี้ยงไหม จะมีการผลิตมูลไหมจำนวนมาก จากสถิติพบว่า การผลิตมูลไหมในประเทศจีนต่อปีสูงถึง 5 ล้านตัน (Liu et al., 2022, Zhang et al., 2019) กระบวนการสกัดสีธรรมชาติแบบร้อน (hot extraction) เป็นวิธีที่ใช้แพร่หลายในการสกัดสีจากวัสดุธรรมชาติ โดยอาศัยความร้อนช่วยละลายสารให้สีและสารประกอบร่วม (เช่น กลุ่มสารฟีนอลิก/แทนนิน) เพิ่มการแพร่ของสีและการยึดเกาะกับเส้นใย ซึ่งเป็นหลักการสำคัญที่พบได้ในงานย้อมผ้าไหมด้วยสีธรรมชาติหลายชนิด ขณะเดียวกัน “การสกัดแบบหมัก” เป็นกระบวนการภูมิปัญญาที่เด่นในงานย้อมคราม ซึ่งอาศัยการเปลี่ยนแปลงทางชีวภาพของระบบหมักและจุลินทรีย์ในหม้อต้ม ทำให้สารสีอยู่ในรูปพร้อมย้อมและเกิดการติดสีบนเส้นใย การย้อมผ้าทอมือ การใช้สารช่วยย้อมจากธรรมชาติ (natural mordants) เป็นเทคนิคสำคัญเพื่อเพิ่มความคงทนและลดความเสี่ยงจากสารเคมี โดยผลการทดลองพบว่าเมื่อเติมน้ำซี้เถ้าลงในสารสกัด ค่า pH เพิ่มขึ้นเฉลี่ยราว 8.95

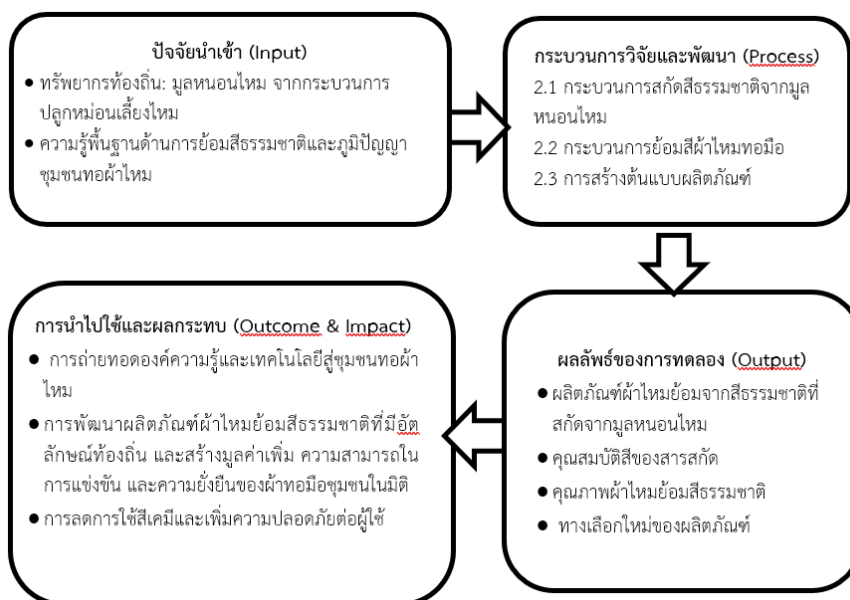
ซึ่ง “นวัตกรรมท้องถิ่น” การพัฒนาสีจากมูลหนอนไหมเป็นการนำสิ่งที่มีอยู่ในชุมชนมาดัดแปลงให้เกิดประโยชน์ใหม่ ผ่านกระบวนการคิดอย่างเป็นระบบและพิสูจน์ด้วยข้อมูลเชิงประจักษ์ ซึ่งสอดคล้องกับเป้าหมายด้านสุขภาวะและสิ่งแวดล้อม เนื่องจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ/การย้อมสีเป็นแหล่งมลพิษสำคัญและอาจเกี่ยวข้องกับโลหะหนักในน้ำทิ้งและสารเคมีอันตรายหลายชนิด ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ ได้แก่ (1) จัดการความรู้ด้านการสกัดและการย้อมสีจากมูลหนอนไหม (2) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการสกัด/ย้อมด้วยข้อมูลเชิงปริมาณและสถิติ และ (3) ถ่ายทอดองค์ความรู้สู่ชุมชนเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ผ้าไหมทอมือให้มีอัตลักษณ์

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. จัดการความรู้ด้านการสกัดและการย้อมสีจากมูลหนอนไหม
2. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการสกัดและการย้อม
3. ถ่ายทอดองค์ความรู้สู่ชุมชนเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ผ้าไหมทอมือให้มีอัตลักษณ์

กรอบแนวคิดการวิจัย

แนวทางในการกำหนดกรอบแนวความคิดในกระบวนการออกแบบและพัฒนาการวิจัยการสกัดและการใช้สีย้อมธรรมชาติจากมูลหนอนไหม: การสร้างอัตลักษณ์และความยั่งยืนให้ผ้าทอมือของชุมชน



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

ที่มา: เเมธิ และคณะ (2569)

วิธีดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนที่ 1 เตรียมวัตถุดิบ เตรียมผงมูลหนอนไหม จากการเลี้ยงหม่อนจากกลุ่มวิสาหกิจชุมชนบ้านไหมไทยเฉลิมพระเกียรติ ตำบลโคกจาน อำเภออุทุมพรพิสัย กลุ่มวิสาหกิจชุมชนบ้านไหมไทยเฉลิมพระเกียรติบ้านอะกลาง บดตัวอย่างเป็นผงละเอียด ด้วยเครื่องบดผง (pin mill) ร่อนผ่านตะแกรงความละเอียด 80 เมช (mesh) มีปริมาณความชื้นสุดท้ายไม่เกิน ร้อยละ 6 น้ำหนักแห้ง (% d.b) นำมาเก็บไว้ที่อุณหภูมิ $4 \pm 1^{\circ}\text{C}$ บรรจุในภาชนะที่มีฝาปิดสนิทเพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงความชื้นก่อนการนำมาทดลอง

ขั้นตอนที่ 2 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของมูลหนอนไหมผง โดยวิเคราะห์คุณสมบัติของมูลหนอนไหมผง นำตัวอย่างมูลหนอนไหมผงที่ได้จากการเตรียมได้จากข้อที่ 1 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี คือ ปริมาณความชื้น (Moisture content (% d.b) ปริมาณโปรตีน ปริมาณไขมันและปริมาณเถ้า โดยดัดแปลงวิธีจาก (AOAC, 2000)

ขั้นตอนที่ 3 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสีจากมูลหนอนไหม โดยกำหนดปัจจัยในการศึกษา จำนวน 3 ปัจจัย คือ ปัจจัยที่ 1 คือ อัตราส่วนการสกัด โดยมีระดับของปัจจัยที่ศึกษา 2 ระดับ คือ (ผงมูลหนอนไหมต่อ น้ำ) 1:5 และ 1:10 ปัจจัยที่ 2 คือ ระยะเวลาการสกัด โดยมีระดับของปัจจัยที่ศึกษา 3 ระดับ คือ 60 90 และ 120 นาที และปัจจัยที่ 3 คือ อุณหภูมิของการสกัด โดยมีระดับของปัจจัยที่ศึกษา 3 ระดับ คือ 30 60 และ 90 นาที (ดัดแปลงวิธีจากจักรพันธ์ และคณะ (2560) โดยวางแผนการศึกษาทดลองแบบสุ่มโดยสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวน และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยทรีทเมนต์โดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ซึ่งวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ SPSS version 19

ขั้นตอนที่ 4 วิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี และคุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ คุณสมบัติทางเคมี คือ ค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ปริมาณความเป็นกรด (% total acidity) (ตามวิธี AOAC 2000) และความชื้นของตัวอย่าง (%d.b) โดยใช้เครื่อง Hot air oven (ตามวิธี AOAC 2000) และคุณสมบัติทางกายภาพ คือ วัตถุประสงค์ (Color) ด้วยเครื่องวัดสี

Hunter LAB, รุ่น Ultra Pro ประเทศสหรัฐอเมริกา ได้แก่ ค่าความสว่าง (L^*) มีค่าตั้งแต่ 0-100 ค่าความสีเขียวแดง (a^*) ค่าความเป็นสีเขียวเหลือง (b^*) ค่าเฉดสีหลัก ($^\circ$ Hue) และค่าความสดสีของสี (Chroma)

ขั้นตอนที่ 5 การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการย้อมสีจากมูลหนอนไหมในผ้าทอมือ คัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมจากกิจกรรมที่ 1 เพื่อนำมาศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการย้อมสีจากมูลหนอนไหมในผ้าทอมือ ที่การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสีจากมูลหนอนไหม จำนวน 1 การทดลอง โดยกำหนดปัจจัยในการศึกษา คือ ปัจจัยที่ 1 คือสารช่วยย้อม มี 3 ชนิด ได้แก่ น้ำสนิม สารสกัดใบชงโค และ น้ำซี้เถ้า และปัจจัยที่ 2 คือร้อยละของการเติมสารช่วยย้อม มี 4 ระดับ ได้แก่ ร้อยละ 5 10 15 และ 20 โดยออกแบบการทดลองแบบสุ่มโดยสมบูรณ์ ทดสอบความแตกต่างโดยวิธี Duncan's Multiple Rang test ($p < 0.05$) โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ SPSS

ขั้นตอนที่ 6 วิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านกายภาพของของผ้าทอมือย้อมสีจากมูลหนอนไหม วัดค่าสี (Color) ด้วยเครื่องวัดสี Hunter LAB, รุ่น Ultra Pro ประเทศสหรัฐอเมริกา ได้แก่ ค่าความสว่าง (L^*) มีค่าตั้งแต่ 0-100 ค่าความสีเขียวแดง (a^*) ค่าความเป็นสีเขียวเหลือง (b^*) ค่าเฉดสีหลัก ($^\circ$ Hue) และค่าความสดสีของสี (Chroma) และค่าความคงทนต่อการซักล้าง ตามวิธีมาตรฐาน (AATCC 61: 2010) ค่าความคงทนสีต่อแสง ตามวิธีมาตรฐาน (AATCC 61: 2010) และค่าความคงทนของสีต่อการขัดถู ตามวิธีมาตรฐาน (AATCC 61: 2010)

ขั้นตอนที่ 7 พัฒนารูปแบบผลิตภัณฑ์ ทำแบบสอบถามความต้องการพัฒนารูปแบบผลิตภัณฑ์ จากผู้บริโภค 50 คน เพื่อสอบถามความต้องการที่มีต่อผลิตภัณฑ์ต้นแบบผ้าฝ้ายจากกากกาแฟ โดยมีประเด็นในการสอบถาม 1.ความต้องการรูปแบบผลิตภัณฑ์ผ้า 2.ความต้องการผลิตภัณฑ์ผ้าฝ้ายที่มีลวดลายหรือไม่ 3.ความต้องการผลิตภัณฑ์ประเภทเครื่องแต่งกาย 4.ความพึงพอใจในรูปแบบการออกแบบผลิตภัณฑ์ผ้า

ขั้นตอนที่ 8 ถ่ายทอดองค์ความรู้สู่ชุมชนเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ผ้าไหมทอมือให้มีอัตลักษณ์ ซึ่งถ่ายทอดให้กับชุมชนต้นแบบ ได้แก่ หมู่บ้านไหมไทยเฉลิมพระเกียรติ วิสาหกิจชุมชนบ้านอะลาง อำเภออุทุมพรพิสัย จังหวัดศรีสะเกษ จำนวน 20 คน

ผลการวิจัย

การปลูกหม่อนเลี้ยงไหม มีลักษณะเป็นเม็ดหยาบสีเขียวเข้ม ขนาดประมาณ 1-5 มิลลิเมตร ะเกิดจากใบหม่อนที่ผ่านกระบวนการย่อยในระบบทางเดินอาหารของหนอนไหม โดยมีรายงานว่าประมาณร้อยละ 60 ของใบหม่อนที่บริโภคจะถูกขับถ่ายออกมาโดยไม่ผ่านการย่อย ขณะที่อีกร้อยละ 40 เป็นผลจากการทำงานของเอนไซม์และจุลินทรีย์ภายในลำไส้ของหนอนไหม (Li et al., 2021; Liao et al., 2020; Sohn et al., 2009) ส่งผลให้มูลหนอนไหมยังคงมีองค์ประกอบทางเคมีหลายชนิดที่ใกล้เคียงกับใบหม่อน ผลการศึกษาสภาวะการสกัดสีจากมูลหนอนไหมโดยกำหนดปัจจัยในการศึกษา คือ ปริมาณตัวทำละลาย (น้ำกลั่น) และเวลาที่ใช้ในการสกัด โดยใช้ปริมาณตัวอย่างในการสกัดที่ 10 กรัมเท่ากันทุกการทดลอง ซึ่งลักษณะของมูลหนอนไหมมีสีเขียวเข้มปนสีน้ำตาลเข้ม (ภาพที่ 2) เมื่อนำมาบดเป็นผงและผ่านการร่อนเพื่อ แยกเอากากและสิ่งเจือปนออกจะได้ลักษณะของผงสีเขียวปนน้ำตาลดังแสดงในภาพที่ 1 ซึ่งนำมาใช้ในการศึกษาสภาวะการสกัดต่อไป



ภาพที่ 2 แสดงลักษณะของผงมูลหนอนไหมที่ผ่านการบดละเอียด

ที่มา: เมธีและคณะ 2569

ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ของมูลหนอนไหมที่สภาวะการสกัดสีต่าง ๆ จะให้ค่า pH ในช่วง 7.38-7.92 ซึ่งการสกัดสีที่สภาวะการใช้ตัวทำละลาย หรือน้ำกลั่นที่ 200 มล. เวลา 120 นาที จะให้ค่า pH สูงสุด ($7.92 \pm 0.03a$) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$) โดยพบว่าน้ำกลั่นที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อค่า pH ที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเนื่องจากการทำละลายมูลหนอนไหมให้ละลายเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกันกับเวลาที่ใช้ในการสกัดสารส่งผลต่อปริมาณค่า pH อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$) ซึ่งเมื่อปริมาณน้ำเพิ่มขึ้นค่า pH มีแนวโน้มค่าเพิ่มขึ้นโดยมีค่า pH มีค่าเป็นกลางและมีแนวโน้มมีค่าความเป็นด่างเพิ่มสูงขึ้น ในด้านองค์ประกอบทางชีวเคมี พบว่ามูลหนอนไหมมีปริมาณไขมันหยาบใกล้เคียงกับใบหม่อน แม้ปริมาณโปรตีนและกรดอะมิโนจะลดลงจากกระบวนการย่อย อย่างไรก็ตาม มูลหนอนไหมยังคงอุดมด้วยสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สำคัญ ได้แก่ คลอโรฟิลล์และอนุพันธ์ ฟลาโวนอยด์ และแคโรทีนอยด์ โดยเฉพาะคลอโรฟิลล์ซึ่งมีปริมาณประมาณร้อยละ 0.8-1 ของน้ำหนักแห้ง และพบในระดับที่สูงกว่าใบหม่อน (Hu et al., 2005; Wu et al., 2012) สารกลุ่มดังกล่าวมีบทบาทสำคัญต่อการให้เฉดสีเขียว-น้ำตาล (ภาพที่ 2) และมีศักยภาพในการยึดเกาะกับเส้นใยโปรตีน



ภาพที่ 3 แผ่นเทียบสีหลักของสารสกัดมูลหนอนไหมเมื่อใช้สารช่วยย้อม

ที่มา: เมธี และคณะ 2569

ค่าสีของมูลหนอนไหมที่ผ่านกระบวนการสกัดสีที่สภาวะต่าง ๆ พบว่าค่า L^* มีค่าในช่วง 1.51-3.90 โดยพบว่าสภาวะการสกัดสีที่มีปริมาณตัวทำละลายในปริมาณน้อย คือ 100 มล. เวลาในการสกัดที่ 90 นาที จะให้ค่า L^* ที่มากที่สุด ($3.90 \pm 0.06a$) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$) เช่นเดียวกับค่าความเป็นสีแดงเขียว (a^*) และค่าความเป็นสีเหลืองน้ำเงิน (b^*) สภาวะการสกัดที่มีปริมาณตัวทำละลาย 100 มล. เวลาในการสกัดที่ 90 นาที จะให้ค่าสีทั้ง 2 ค่ามีค่าสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$) โดยพบว่าในระหว่าง การสกัดสีมูลหนอนไหมนั้น จะให้ค่าสีที่มีลักษณะเขียวเข้มปนสีน้ำตาล และเมื่อเวลาที่เพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ค่า a^* และ b^* เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และยังพบว่าที่ปริมาณตัวทำละลายที่เพิ่มขึ้น จะทำให้ค่า a^* และ b^* ที่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จึงทำให้สารสกัดมูลหนอนไหมที่ได้มีเฉดสีเขียวเข้มปนสีน้ำตาล (ภาพที่ 2) ดังนั้น มูลหนอนไหมจึงเป็นแหล่งวัตถุดิบทางเลือกที่มีศักยภาพสำหรับการพัฒนาสีย้อมธรรมชาติในงานสิ่งทอซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดการใช้ทรัพยากรเหลือทิ้งอย่าง

คุ่มค่า และเป็นฐานองค์ความรู้สำคัญที่สนับสนุนการศึกษาการสกัดและการย้อมสีผ้าไหมทอมือในงานวิจัยนี้ซึ่งแสดงผลดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงผลการศึกษาสภาวะการสกัดสีจากมูลหอนไหม

จำนวน ตัวอย่าง	ปัจจัยที่ศึกษา		pH	L*	a*	b*	Hue
	ปริมาณ สารสกัด (มล.)	เวลาที่ใช้ สกัด (นาท)					
10	100	30	7.38±0.03g	2.29±0.30e	1.34±0.01c	2.53±0.19e	62.00±1.11b
10	200	30	7.65±0.03f	1.61±0.04g	0.79±0.01h	1.40±0.07i	60.58±0.10bc
10	300	30	7.74±0.05e	1.58±0.05g	0.05±0.05g	1.69±0.03g	60.63±0.53bc
10	100	60	7.67±0.02f	3.47±0.20b	2.43±0.04b	4.23±0.15b	60.10±0.28bcd
10	200	60	7.18±0.01d	1.68±0.06g	1.03±0.05ef	1.65±0.09gh	57.94±0.15de
10	300	60	7.66±0.02f	1.51±0.03g	0.82±0.06h	1.46±0.05hi	60.70±0.99bc
10	100	90	7.84±0.03cd	3.90±0.06a	3.14±0.03a	4.84±0.10a	57.013±0.37e
10	200	90	7.89±0.02ab	2.64±0.08d	0.97±0.02fg	1.73±0.02f	60.81±0.21bc
10	300	90	7.64±0.02f	1.72±0.04g	1.09±0.02e	2.02±0.05f	61.68±0.37b
10	100	120	7.76±0.05e	3.01±0.25c	2.38±0.04b	3.88±0.03c	58.39±0.86de
10	200	120	7.92±0.03a	2.04±0.05f	1.26±0.08d	2.07±0.09f	58.62±1.13cde
10	300	120	7.87±0.03bc	3.43±0.30b	1.06±0.07e	2.82±0.07d	69.31±0.92a

หมายเหตุ a b และ c ที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

ที่มา: เหมธี และคณะ 2569

ผลการศึกษา พบว่า สารสกัดจากมูลหอนไหมที่ใช้ปริมาณตัวทำละลาย 300 มิลลิลิตร และเวลาในการสกัด 120 นาที่ ให้ค่าสีหลัก (Hue) สูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยมีค่าเท่ากับ 69.31 ± 0.92 ซึ่งให้เฉดสีเขียวเข้มปนสีน้ำตาล อย่างไรก็ตาม เมื่อเพิ่มปริมาณตัวทำละลายและระยะเวลาในการสกัดมากขึ้น พบว่าค่าสีหลักมีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แสดงให้เห็นว่าปริมาณน้ำและเวลาในการสกัดเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความเข้มของสีที่ได้จากสารสกัดมูลหอนไหม ผลการศึกษาดังกล่าวมีความในด้านองค์ประกอบทางชีวเคมี พบว่ามูลหอนไหมมีปริมาณไขมันหยาบใกล้เคียงกับไบโหม่อน แม้ปริมาณโปรตีนและกรดอะมิโนจะลดลงจากกระบวนการย่อย อย่างไรก็ตาม มูลหอนไหมมีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สำคัญ ได้แก่ คลอโรฟิลล์ ฟลาโวนอยด์ และแคโรทีนอยด์ โดยเฉพาะคลอโรฟิลล์ซึ่งมีปริมาณประมาณร้อยละ 0.8–1 ของน้ำหนักแห้ง และพบในระดับที่สูงกว่าไบโหม่อน (Hu et al., 2005; Wu et al., 2012) สารกลุ่มดังกล่าวมีบทบาทสำคัญต่อการให้เฉดสีเขียว–น้ำตาล และมีศักยภาพในการยึดเกาะกับเส้นใยโปรตีน (อนันต์เสวก, 2543). ดังนั้นมูลหอนไหมจึงเป็นแหล่งวัตถุดิบทางเลือกที่มีศักยภาพสำหรับการพัฒนาสีย้อมธรรมชาติใน



งานสิ่งทอ ซึ่งสอดคล้องกับแนวความคิดการใช้ทรัพยากรเหลือทิ้งอย่างคุ้มค่า และเป็นฐานองค์ความรู้สำคัญที่สนับสนุนการศึกษากการสกัดและการย้อมสีผ้าไหมทอมือในงานวิจัยนี้ และเหมาะสมกับความต้องการของผลิตภัณฑ์ในเชิงพาณิชย์ต่อไป (ภาพที่ 3)

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการย้อมสีจากมูลหนอนไหมบนผ้าทอมือ พบว่าสภาวะการสกัดที่คัดเลือก ได้แก่ อัตราส่วน 10:100:90 (น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม): ปริมาณน้ำกลั่น (มิลลิลิตร): เวลาในการสกัด (นาทิต)) เมื่อทำการย้อมภายใต้สภาวะดังกล่าวและเติมสารช่วยย้อม 3 ชนิด ได้แก่ น้ำสนิม น้ำสกัดจากใบชงโค และน้ำซี้เถ้า ไม่ส่งผลให้ค่าพารามิเตอร์สี L^* , a^* , b^* และค่าสีหลัก (Hue°) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) แม้ว่ากระบวนการย้อมผ้าโดยทั่วไปจะมีการเติมสารช่วยย้อมทั้งในระหว่างและหลังการย้อม แต่ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าสามารถลดขั้นตอนดังกล่าวได้โดยไม่กระทบต่อคุณสมบัติสีของผ้าไหมที่ย้อมด้วยสารสกัดจากมูลหนอนไหม เมื่อพิจารณาสภาวะการสกัดที่ 10:300:120 พบผลสอดคล้องกัน โดยการเติมสารช่วยย้อมทั้งสามชนิดไม่ก่อให้เกิดความแตกต่างของค่าสีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) อย่างไรก็ตาม การเติมน้ำซี้เถ้าลงในสารสกัดมูลหนอนไหมภายใต้สภาวะดังกล่าวส่งผลให้ค่า pH ของสารสกัดเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน โดยมีค่า pH สูงสุดเท่ากับ 9.04 ± 0.32 ซึ่งสะท้อนสภาวะที่มีความเป็นด่างเพิ่มขึ้นตามปริมาณน้ำซี้เถ้าที่เติม ทั้งนี้คุณสมบัติของน้ำซี้เถ้าก่อนเติมมีค่า pH ประมาณ 8.95 จึงมีผลโดยตรงต่อการเพิ่มค่า pH ของสารสกัด ในทางตรงกันข้ามการเติมน้ำสนิมและน้ำสกัดจากใบชงโค ซึ่งมีค่า pH ค่อนข้างเป็นกลาง ส่งผลให้ค่า pH ของสารสกัดมูลหนอนไหมอยู่ในช่วง 7.54–7.75 ซึ่งยังคงอยู่ในสภาวะใกล้เคียงกลาง ผลการทดลองดังกล่าวชี้ให้เห็นว่าชนิดของสารช่วยย้อมมีผลต่อสมดุลกรด-ด่างของสารสกัดมากกว่าการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติสี ทั้งนี้ข้อมูลที่ได้สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการปรับกระบวนการย้อมสีจากมูลหนอนไหมให้เหมาะสม ลดขั้นตอนการผลิต และเพิ่มประสิทธิภาพการพัฒนาผ้าไหมทอมือเชิงนวัตกรรมได้อย่างเป็นระบบ ดังภาพที่ 4 และ 5



ภาพที่ 4 การย้อมเส้นใยไหมจากสารสกัดมูลหนอนไหม ที่สภาวะการทดลองที่สภาวะการสกัดที่ 10:100:90
ที่มา: เมธี และคณะ 2569



ภาพที่ 5 เส้นใยไหม และผ้าไหมที่ทอมือที่ได้จากสารสกัดมูลหนอนไหม
ที่มา: เมธี และคณะ 2569

จากสภาวะการย้อมที่สภาวะการทดลองที่ 10:100:90 มาทดสอบความคงทนของสีต่อการขัดถูกับตัวอย่างผ้าไหม 3 ชนิดที่ผ่านการย้อมด้วยสารสกัดจากมูลหนอนไหม และใช้สารช่วยย้อมจากธรรมชาติ ซึ่งทดสอบตามมาตรฐาน มอก.121 (2552) เพื่อช่วยย้อมให้ติดสีและคงทนของสีที่เพิ่มขึ้น ชนิดผ้า และคณะ (2555) พบว่าอยู่ในเกณฑ์ 4-5 คือ สีเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยถึงไม่มีการเปลี่ยนแปลงของสี (ภาพที่ 4)

ตารางที่ 2 แสดงความคงทนของสีต่อการขัดถู

ความคงทนของสีต่อการขัดถู	ผ้าไหม A	ผ้าไหม B	ผ้าไหม C
สีตกติดผ้าขาวสภาพแห้ง (ระดับ)			
แนวเส้นด้ายยืน	4-5	4-5	4-5
แนวเส้นด้ายพุ่ง	4-5	4-5	4-5
สีตกติดผ้าขาวสภาพเปียก (ระดับ)			
แนวเส้นด้ายยืน	4-5	4-5	4-5
แนวเส้นด้ายพุ่ง	4-5	4-5	4-5

หมายเหตุ ผ้าไหม A คือ ผ้าทดสอบที่ย้อมด้วยน้ำซึ่เถ้า ผ้าไหม B คือ ผ้าทดสอบที่ย้อมด้วยน้ำสนิม ผ้าไหม C คือ ผ้าที่ย้อมด้วยน้ำใบชงโค

ที่มา: เมธี และคณะ 2569

การทดสอบความคงทนของสีต่อการซัก กับขึ้นทดสอบ 3 ชนิด ใช้กลุ่มตัวอย่าง 3 กลุ่มตัวอย่าง ผ้าผลการทดสอบความคงทนของสีต่อการซักของผ้าไหมย้อมด้วยมูลหนอนไหม จำนวน 3 ชนิด ได้แก่ ผ้าไหม A ผ้าไหม B และผ้าไหม C ดำเนินการตามมาตรฐาน มอก. 121 เล่ม 3: 2552 วิธี A(1) ภายใต้สภาวะอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที พบว่าการเปลี่ยนแปลงของสีหลังการซักอยู่ในระดับ 3-4 ซึ่งหมายถึงมีสีเปลี่ยนพอสังเกตเห็นได้จึงสีเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย สำหรับการทดสอบการตกติดผ้าขาว พบว่าผ้าฝ้าย (Cotton) และผ้าไหม (Silk) มีค่าความคงทนของสีอยู่ในระดับ 4-5 แสดงถึงสีเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยถึงไม่มีการเปลี่ยนแปลงของสี ซึ่งสะท้อนคุณภาพการย้อมสีในระดับที่เหมาะสมต่อการใช้งานจริง (ภัทราภา และมาหามะสุโฮม, 2559) นอกจากนี้ ผู้วิจัยได้วิเคราะห์ข้อมูลด้านปัจจัยการผลิต กระบวนการผลิต และคุณภาพผลิตภัณฑ์ เพื่อใช้เป็นข้อมูลประกอบการออกแบบผลิตภัณฑ์ผ้าไหมทอมือย้อมสีจากมูลหนอนไหม โดยการทดสอบคุณภาพเส้นไหมดำเนินการกับกลุ่มตัวอย่าง 3 กลุ่ม ได้แก่ เส้นไหม A เส้นไหม B และเส้นไหม C ด้วยวิธีทดสอบแรงดึงขาด หน่วยนิวตัน (N) เพื่อประเมินความแข็งแรงของเส้นไหม ผลการทดสอบดังกล่าวช่วยยืนยันว่ากระบวนการย้อมสีจากมูลหนอนไหมไม่ส่งผลกระทบต่อสมบัติเชิงกลของเส้นไหม และสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ผ้าไหมเชิงพาณิชย์ได้อย่างเหมาะสม



ตารางที่ 3 การวิเคราะห์คุณภาพเส้นใย

ลำดับ	ชนิดไหม	ความแข็งแรง (นิวตัน,N)
1	เส้นไหม A	8.28
2	เส้นไหม B	6.49
3	เส้นไหม C	8.03

ที่มา: เมธี และคณะ 2569

จากตารางที่ 3 พบว่า เส้นไหม A รับแรงดึง ได้มากที่สุด 8.28 นิวตัน รองลงมา เส้นไหม C รับแรงดึง ได้มากที่สุด 8.03 นิวตัน และเส้นไหม B รับแรงดึง ได้น้อยที่สุด 6.49 นิวตัน และจากตารางที่ 4 พบว่า ผ้าไหม B รับแรงดึง ได้มากที่สุด รองลงมา ผ้าไหม C รับแรงดึงปานกลาง และผ้าเส้นไหม A รับแรงดึง ได้น้อยที่สุด

ตารางที่ 4 การวิเคราะห์คุณภาพผ้าทอมือชนิดต่างๆ

ลำดับ	ชนิดเส้นไหม	ความตึงขาด (นิวตัน)	ความต้านแรงฉีกขาด (นิวตัน)
1	เส้นไหม A		
	แนวเส้นด้ายยืน	384.57	49.43
	แนวเส้นด้ายพุ่ง	922.73	55.78
2	เส้นไหม B		
	แนวเส้นด้ายยืน	637.41	104.15
	แนวเส้นด้ายพุ่ง	614.89	123.17
3	เส้นไหม C		
	แนวเส้นด้ายยืน	571.31	92.38
	แนวเส้นด้ายพุ่ง	638.67	107.09

หมายเหตุ ผ้าไหม A คือ ผ้าไหมพื้นเรียบ ผ้าไหม B คือ ผ้าไหมยกดอกกลายลูกแก้ว ผ้าไหม C คือ ผ้าไหมทางกระรอก

ที่มา: เมธี และคณะ 2569

ผลการศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์ต้นแบบผ้าไหมย้อมสีจากมูลหอนไหม ดำเนินการเก็บข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างรวม 50 คน ประกอบด้วยสมาชิกวิสาหกิจชุมชนบ้านอะลาง จำนวน 10 คน สมาชิกวิสาหกิจชุมชนบ้านไหมไทย จำนวน 10 คน และประชาชนทั่วไปที่สนใจผ้าไหม จำนวน 20 คน เพื่อสำรวจความต้องการและความคิดเห็นต่อรูปแบบผลิตภัณฑ์ต้นแบบ ผลการวิเคราะห์ข้อมูลพื้นฐานของผู้ตอบแบบสอบถามพบว่า ส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง คิดเป็นร้อยละ 80 ขณะที่เพศชายคิดเป็นร้อยละ 20 ด้านอายุพบว่ากลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่อยู่ในช่วงอายุ 41-50 ปี คิดเป็นร้อยละ 46 รองลงมาคือช่วงอายุ 31-40 ปี คิดเป็นร้อยละ 32 และอายุ 60 ปีขึ้นไป คิดเป็นร้อยละ 22 ในด้านอาชีพ พบว่ากลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่ประกอบอาชีพรับราชการ คิดเป็นร้อยละ 56 รองลงมาคืออาชีพค้าขาย คิดเป็นร้อยละ 24 และลูกจ้างหรือพนักงานบริษัท คิดเป็นร้อยละ 20 สำหรับรายได้ต่อเดือน พบว่าส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 10,001-20,000 บาท คิดเป็นร้อยละ 76 และด้านระดับการศึกษา พบว่าผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี คิดเป็นร้อยละ 78 ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงศักยภาพของกลุ่มเป้าหมายในการยอมรับและสนับสนุนการพัฒนาผลิตภัณฑ์ผ้าไหมเชิงนวัตกรรม



ภาพที่ 6 ร้างแบบสเก็ตตัวอย่างเครื่องแต่งกายจากใช้ผ้าไหมที่ย้อมด้วยมูลหนอนไหมในเครื่องแต่งกายชายหญิง
จำนวน 12 แบบ
ที่มา: เมธี และคณะ 2569

ผลการสำรวจความต้องการของผู้ตอบแบบสอบถามจำนวน 50 คน พบว่าส่วนใหญ่มีความสนใจในผลิตภัณฑ์เครื่องแต่งกาย คิดเป็นร้อยละ 64 และต้องการให้ผ้าไหมมีลวดลาย คิดเป็นร้อยละ 80 โดยร้อยละ 84 มีความต้องการรูปแบบชุดลำลองที่สุภาพ สีไม่ฉูดฉาด และสามารถสวมใส่ได้ในทุกโอกาส ขณะที่ร้อยละ 90 ต้องการให้สามารถประยุกต์เป็นชุดทำงานได้ทั้งเพศชายและหญิง นอกจากนี้ ผู้ตอบแบบสอบถามเสนอแนวทางการพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้มีความทันสมัย เข้าถึงผู้บริโภคหลากหลายช่วงวัย และสามารถต่อยอดเป็นของใช้ เช่น กระเป๋า ผ้าพันคอ หรือเครื่องประดับ เพื่อลดเศษผ้าเหลือทิ้ง ผลการศึกษานำไปสู่การออกแบบร่างผลิตภัณฑ์จากผ้าไหมย้อมสีมูลหนอนไหมจำนวน 12 แบบ ซึ่งสะท้อนการสร้างนวัตกรรมท้องถิ่นตามแนวคิดเศรษฐกิจชีวภาพ-หมุนเวียน-สีเขียว (BCG Economy) ช่วยเพิ่มมูลค่าวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรลดของเสียในกระบวนการผลิต และเสริมศักยภาพเศรษฐกิจชุมชนอย่างยั่งยืน (ดังภาพที่ 6)

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับความพึงพอใจในรูปแบบการออกแบบผลิตภัณฑ์ผ้าโดยใช้สีจากสารสกัดมูลหนอนไหม

ที่	รูปแบบ	$\bar{X}$	SD	ระดับความพึงพอใจ
1	รูปแบบที่ 1 เครื่องแต่งกายสุภาพสตรี	3.59	0.44	มาก
2	รูปแบบที่ 2 เครื่องแต่งกายสุภาพสตรี	4.07	0.41	ดีมาก
3	รูปแบบที่ 3 เครื่องแต่งกายสุภาพสตรี	3.67	0.52	มาก
4	รูปแบบที่ 4 เครื่องแต่งกายสุภาพสตรี	3.45	0.36	ปานกลาง
5	รูปแบบที่ 5 เครื่องแต่งกายสุภาพสตรี	3.51	0.52	มาก
6	รูปแบบที่ 6 เครื่องแต่งกายสุภาพสตรี	4.05	0.52	ดีมาก
7	รูปแบบที่ 7 เครื่องแต่งกายสุภาพสตรี	3.79	0.54	ดีมาก
8	รูปแบบที่ 8 เครื่องแต่งกายสุภาพสตรี	4.66	0.69	ดีมาก
9	รูปแบบที่ 9 เครื่องแต่งกายสุภาพสตรี	4.31	0.34	ดีมาก



ที่	รูปแบบ	$\bar{X}$	SD	ระดับความพึงพอใจ
10	รูปแบบที่ 10 เครื่องแต่งกายสุภาพบุรุษ	4.45	0.39	ดีมาก
11	รูปแบบที่ 11 เครื่องแต่งกายสุภาพบุรุษ	3.35	0.41	ปานกลาง
12	รูปแบบที่ 12 เครื่องแต่งกายสุภาพบุรุษ	3.47	0.45	ปานกลาง

ที่มา: เมีธี และคณะ 2569

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับความพึงพอใจในรูปแบบการออกแบบผลิตภัณฑ์ผ้าผลการวิเคราะห์ความพึงพอใจด้านรูปแบบการออกแบบผลิตภัณฑ์ผ้าไหมย้อมสีจากสารสกัดมูลหนอนไหม พบว่าสามารถคัดเลือกแบบผลิตภัณฑ์ที่ได้รับคะแนนความชอบสูงสุดจำนวน 2 รูปแบบ เพื่อนำมาพัฒนาเป็นต้นแบบการตัดเย็บ ได้แก่ เครื่องแต่งกายสุภาพสตรีและสุภาพบุรุษ หมายเลข 8 และ 10 ตามลำดับ โดยกระบวนการพัฒนาผลิตภัณฑ์ดังกล่าวคำนึงถึงการใช้ผ้าไหมทอมือที่มีหน้ากว้าง 2 เมตรอย่างคุ้มค่า ส่งผลให้เศษผ้าไหมที่เหลือจากการตัดเย็บสามารถนำมาต่อยอดออกแบบเป็นผลิตภัณฑ์เสริม เช่น กระเป๋าสุภาพสตรี ซึ่งช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุที่เหลือจากกระบวนการผลิต และยกระดับผลิตภัณฑ์ภายใต้ตราสินค้าของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนได้อย่างเป็นรูปธรรม การใช้สีย้อมธรรมชาติจากมูลหนอนไหม ซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร สะท้อนแนวคิดนวัตกรรมท้องถิ่นที่สอดคล้องกับเศรษฐกิจชีวภาพ-หมุนเวียน-สีเขียว (BCG Economy) โดยช่วยลดของเสียในระบบการผลิต ลดการพึ่งพาสารเคมีในอุตสาหกรรมสิ่งทอ และเพิ่มคุณค่าให้ทรัพยากรในชุมชน กระบวนการดังกล่าวยังสนับสนุนเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน โดยเฉพาะ SDG 12 การผลิตและการบริโภคที่ยั่งยืน และ SDG 8 การส่งเสริมการเติบโตทางเศรษฐกิจและการจ้างงานในระดับชุมชน นอกจากนี้ การนำผ้าไหมย้อมสีจากมูลหนอนไหมมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ต้นแบบตามความต้องการของผู้ใช้ ยังช่วยอนุรักษ์ภูมิปัญญาการทอผ้าไหมพื้นถิ่น และต่อยอดองค์ความรู้สู่การสร้างผลิตภัณฑ์ชุมชนที่มีอัตลักษณ์ สามารถแข่งขันในตลาดร่วมสมัย และสร้างรายได้อย่างยั่งยืนให้แก่ท้องถิ่นในระยะยาว (ดังภาพที่ 7 - 10)



ภาพที่ 7 ภาพเครื่องแต่งกายจากการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากผ้าไหมย้อมด้วยสารสกัดมูลหนอนไหม จำนวน 2 แบบ สำหรับสุภาพสตรี และสุภาพบุรุษที่ได้รับคะแนนความพึงพอใจสูงสุด และของใช้ คือกระเป๋าผ้าไหมจากผ้าไหมที่เหลือจากการตัดชุดและเสื้อ

ที่มา: เมีธี และคณะ 2569



ภาพที่ 8 การย้อมเส้นไหมด้วยวิธีย้อมร้อนด้วยสารสกัดจากมูลหนอนไหม
ที่มา: เมธี และคณะ 2569



ภาพที่ 9 การเตรียมเส้นไหม
ที่มา: เมธี และคณะ 2569



ภาพที่ 10 ขั้นตอนการขึ้นฟืนหรือฟืม
ที่มา: เมธี และคณะ 2569



ภาพที่ 11 ผ้าไหมที่ได้รับการย้อมสีธรรมชาติจากสารสกัดจากมูลหนอนไหม

ที่มา: เมธี และคณะ 2569

ผลการถ่ายทอดองค์ความรู้ในการวิจัยสู่ชุมชนพื้นที่ วิสาหกิจชุมชนบ้านอะลาง อำเภอบัวชุมพรพิสัย ภายในจังหวัด ศรีสะเกษ มีผู้เข้าร่วมในการพัฒนา 20 คน ส่วนใหญ่เป็นผู้ประกอบการผ้าในชุมชนในพื้นที่ดังกล่าว ซึ่งผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของการพัฒนาผลิตภัณฑ์ผ้าไหมทอมือย้อมสีธรรมชาติจากมูลหนอนไหม ทั้งในมิติคุณภาพผลิตภัณฑ์และความคุ้มค่าเชิงเศรษฐกิจ ภายใต้แนวคิดเศรษฐกิจชีวภาพ-หมุนเวียน-สีเขียว (BCG Economy) โดยการคำนวณต้นทุนการผลิตอ้างอิงจากข้อมูลต้นทุนผ้าไหม 2,000 บาทต่อกิโลกรัม ซึ่งสามารถทอผ้าได้เฉลี่ย 3 เมตรต่อกิโลกรัม คิดเป็นต้นทุนผ้าไหมประมาณ 666.67 บาทต่อเมตร เมื่อรวมต้นทุนตรง ได้แก่ ค่าวัตถุดิบและค่าตัดเย็บ และคำนวณต้นทุนรวมโดยเพิ่มค่าแรงร้อยละ 30 และค่าเชื้อเพลิงร้อยละ 5 ของต้นทุนตรง สามารถคำนวณได้จากสูตร ต้นทุนรวม = ต้นทุนตรง $\times$ 1.35 จากนั้นกำหนดเป้าหมายกำไรร้อยละ 30 ของต้นทุนรวม ซึ่งคำนวณราคาขายจากสูตร ราคาขาย = ต้นทุนรวม $\times$ 1.30 ผลการคำนวณพบว่า ผลิตภัณฑ์ชุดเดรสสตรีมีต้นทุนรวมประมาณ 2,025 บาท และตั้งราคาขายที่ 2,650 บาท ทำให้มีกำไรเฉลี่ยประมาณ 625 บาทต่อชิ้น ขณะที่เสื้อบุรุษมีกำไรประมาณ 540 บาทต่อชิ้น และผลิตภัณฑ์กระเป๋าทอที่ใช้เศษผ้าไหมเหลือจากการตัดเย็บ มีต้นทุนรวมเพียง 607.50 บาท และสามารถจำหน่ายในราคา 800 บาท สร้างกำไรประมาณ 192.50 บาทต่อชิ้น แนวทางดังกล่าวสะท้อนการเพิ่มมูลค่าวัสดุเหลือทิ้ง ลดของเสียในกระบวนการผลิต และเสริมศักยภาพทางเศรษฐกิจให้แก่ชุมชนอย่างยั่งยืน

สรุปผลการวิจัย

สรุปผลการศึกษากการสกัดและการใช้สีย้อมธรรมชาติจากมูลหนอนไหม : การสร้างอัตลักษณ์และความยั่งยืนให้ผ้าไหมทอมือของชุมชน โดยสรุปได้ดังนี้

- 1) ผลการศึกษาสภาวะการสกัดสีจากมูลหนอนไหมโดยกำหนดปัจจัยในการศึกษา

ผลการศึกษาสรุปได้ว่ามูลหนอนไหมสามารถนำมาพัฒนาเป็นแหล่งสีย้อมธรรมชาติที่มีศักยภาพสำหรับการย้อมผ้าไหมทอมือ โดยปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อคุณสมบัติของสารสกัด ได้แก่ ปริมาณตัวทำละลายและเวลาในการสกัด การสกัดโดยใช้มูลหนอนไหม 10 กรัม ให้ค่า pH อยู่ในช่วง 7.38–7.92 ซึ่งมีลักษณะเป็นกลางถึงด่างเล็กน้อย โดยสภาวะการใช้ตัวทำละลาย 200 มิลลิลิตร ที่เวลา 120 นาที ให้ค่า pH สูงสุด (7.92 ± 0.03) ขณะที่การใช้ตัวทำละลาย 300 มิลลิลิตร ที่เวลา 120 นาที ให้ค่าสีหลัก (Hue) สูงสุดเท่ากับ 69.31 ± 0.92 ซึ่งให้เฉดสีเขียวเข้มปนสีน้ำตาล ผลการวิเคราะห์ค่าสี L^* , a^* และ b^* พบว่าสภาวะตัวทำละลาย 100 มิลลิลิตร และเวลา 90 นาที ให้ค่าความสว่างและความเข้มของสีสูงสุด อย่างไรก็ตาม

การเพิ่มปริมาณน้ำและเวลาในการสกัดทำให้ความเข้มข้นของสีลดลงอย่างมีนัยสำคัญ แสดงให้เห็นถึงความสำคัญของการควบคุมสภาวะการสกัด

การย้อมผ้าไหมภายใต้สภาวะที่เหมาะสมร่วมกับสารช่วยย้อมจากธรรมชาติไม่ส่งผลกระทบต่อค่าสีอย่างมีนัยสำคัญ แต่มีผลต่อสมมูลกรด-ด่างของสารสกัด โดยเฉพาะน้ำซึ่เถ้าที่ทำให้ค่า pH เพิ่มขึ้น ผลการทดสอบความคงทนของสีต่อการขัดถูอยู่ในระดับ 4–5 และต่อการซักอยู่ในระดับ 3–4 รวมถึงสมบัติเชิงกลของเส้นใยและผ้ายังคงอยู่ในเกณฑ์เหมาะสม ผลการศึกษานี้ยืนยันความเป็นไปได้ในการนำมูลหนอนไหมมาใช้เป็นนวัตกรรมสีย้อมธรรมชาติที่สามารถประยุกต์ใช้เชิงพาณิชย์ และส่งเสริมการพัฒนาผ้าไหมทอมืออย่างยั่งยืน

6.2 สรุปผลการศึกษาศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์ต้นแบบผ้าไหมย้อมสีจากมูลหนอนไหม พบว่าผลการศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์ต้นแบบผ้าไหมย้อมสีจากมูลหนอนไหมแสดงให้เห็นถึงศักยภาพของการนำทรัพยากรเหลือทิ้งทางการเกษตรมาสร้างมูลค่าเพิ่มเชิงผลิตภัณฑ์และเศรษฐกิจชุมชน โดยการสำรวจกลุ่มตัวอย่างจำนวน 50 คน พบว่าส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง (ร้อยละ 80) อายุระหว่าง 41–50 ปี (ร้อยละ 46) มีระดับการศึกษาปริญญาตรี (ร้อยละ 78) และมีรายได้เฉลี่ยต่อเดือน 10,001–20,000 บาท (ร้อยละ 76) ซึ่งสะท้อนถึงศักยภาพของกลุ่มเป้าหมายในการยอมรับผลิตภัณฑ์ผ้าไหมเชิงนวัตกรรม ผลการสำรวจความต้องการพบว่าร้อยละ 64 สนใจผลิตภัณฑ์เครื่องแต่งกาย ร้อยละ 80 ต้องการผ้าไหมที่มีลวดลาย ร้อยละ 84 ต้องการชุดลำลองสุภาพ สีไม่ฉูดฉาด และร้อยละ 90 ต้องการให้สามารถประยุกต์เป็นชุดทำงานได้ทั้งเพศชายและหญิง การประเมินความพึงพอใจด้านรูปแบบการออกแบบผลิตภัณฑ์ผ้าไหมย้อมสีจากมูลหนอนไหมพบว่าสามารถคัดเลือกแบบที่ได้รับคะแนนความชอบสูงสุด ได้แก่ แบบที่ 8 สำหรับเครื่องแต่งกายสุภาพสตรี (ค่าเฉลี่ย 4.66 ± 0.69) และแบบที่ 10 สำหรับเครื่องแต่งกายสุภาพบุรุษ (ค่าเฉลี่ย 4.45 ± 0.39) เพื่อนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ต้นแบบ โดยกระบวนการออกแบบคำนึงถึงการใช้ผ้าไหมหน้ากว้าง 2 เมตรอย่างคุ้มค่า และนำเศษผ้าเหลือจากการตัดเย็บมาต่อยอดเป็นผลิตภัณฑ์เสริม เช่น กระเป๋า ผลการศึกษานี้ยืนยันว่าการใช้สีย้อมจากมูลหนอนไหมสามารถสนับสนุนนวัตกรรมท้องถิ่นตามแนวคิดเศรษฐกิจชีวภาพ-หมุนเวียน-สีเขียว (BCG Economy) ลดของเสีย เพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์ และเสริมความยั่งยืนให้กับการพัฒนาผ้าไหมทอมือในระดับชุมชนอย่างเป็นรูปธรรม

ผลการคำนวณพบว่า ผลิตภัณฑ์ชุดเดรสสตรีมีต้นทุนรวมประมาณ 2,025 บาท และตั้งราคาขายที่ 2,650 บาท ทำให้มีกำไรเฉลี่ยประมาณ 625 บาทต่อชิ้น ขณะที่เสื้อบุรุษมีกำไรประมาณ 540 บาทต่อชิ้น และผลิตภัณฑ์กระเป๋าที่ใช้เศษผ้าไหมเหลือจากการตัดเย็บ มีต้นทุนรวมเพียง 607.50 บาท และสามารถจำหน่ายในราคา 800 บาท สร้างกำไรประมาณ 192.50 บาทต่อชิ้น แนวทางดังกล่าวสะท้อนการเพิ่มมูลค่าวัสดุเหลือทิ้ง ลดของเสียในกระบวนการผลิต และเสริมศักยภาพทางเศรษฐกิจให้แก่ชุมชนอย่างยั่งยืน

อภิปรายผล

ผลการศึกษาครั้งนี้ชี้ให้เห็นว่า “มูลหนอนไหม” ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการหมักไหม สามารถยกระดับเป็นนวัตกรรมสีย้อมธรรมชาติสำหรับผ้าไหมทอมือได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยผลเชิงเทคนิคยืนยันว่าปัจจัย “ปริมาณตัวทำละลายและเวลา” เป็นตัวกำหนดคุณสมบัติสารสกัดอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งด้านความเป็นกรด-ด่างและโทนสีที่ได้ กล่าวคือ เมื่อใช้มูลหนอนไหม 10 กรัม สารสกัดมีค่า pH 7.38–7.92 (เป็นกลางถึงด่างเล็กน้อย) และสภาวะตัวทำละลาย 200 มล. เวลา 120 นาทีให้ค่า pH สูงสุด (7.92 ± 0.03) ขณะที่ตัวทำละลาย 300 มล. เวลา 120 นาทีให้ค่าสีหลัก (Hue) สูงสุด 69.31 ± 0.92 ซึ่งสะท้อนเขต “เขียวเข้มปนน้ำตาล” อันเป็นเอกลักษณ์ของสีย้อมจากมูลหนอนไหม แนวโน้มดังกล่าวสอดคล้องกับรายงานที่พบว่าวัสดุจากกระบวนการหมักไหมมีรงควัตถุในกลุ่มอนุพันธ์คลอโรฟิลล์ที่ให้โทนเขียว-น้ำตาลและสามารถย้อมเส้นใยโปรตีน



(เช่น ไหม/ขนสัตว์) ได้ดี พร้อมคงทนต่อแสงและการซักในระดับที่น่าพอใจ (Tang et al., 2024) รวมถึงงานที่สาธิตการย้อมสีทอด้วยสารสกัดมูลหนอนไหมและประเมินความคงทนของสีในเชิงมาตรฐานสิ่งทอ (Vila et al., 2018) สำหรับการย้อมและสารช่วยย้อม ผลพบว่าการใช้สารช่วยย้อมจากธรรมชาติ (น้ำสนิม น้ำขี้เถ้า และสารสกัดใบขมิ้น) ภายใต้สภาวะสักรัดที่เหมาะสม (10:100:90 และ 10:300:120) “ไม่ทำให้ค่าสี $L^* a^* b^*$ และ Hue เปลี่ยนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ” แต่ส่งผลต่อสมดุลกรด-ด่าง โดยเฉพาะน้ำขี้เถ้าที่ทำให้ pH เพิ่มขึ้น (เฉลี่ย 8.95) ประเด็นนี้มีนัยสำคัญเชิงการผลิต เพราะสะท้อนว่าในบางเงื่อนไขสามารถลดขั้นตอน/ลดสารช่วยย้อมโดยไม่กระทบค่าสีหลัก ขณะเดียวกันยังรักษาคุณภาพการใช้งานจริง โดยผลความคงทนของสีต่อการขัดถูอยู่ระดับ 4–5 และต่อการซักอยู่ระดับ 3–4 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมต่อการต่อยอดเชิงผลิตภัณฑ์ในชุมชน ทั้งนี้แนวคิด “การย้อมอย่างเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม” ที่ลดสารเคมีและเพิ่มคุณสมบัติการใช้งานของเส้นใยโปรตีน สอดคล้องกับแนวโน้มวรรณกรรมสีเขียวที่ยั่งยืน (เช่น UV protection/anti-oxidant) บนผ้าไหม (Huang et al., 2024; Tang et al., 2024) และการพัฒนาการย้อมสีจากพืชร่วมสารช่วยย้อมเพื่อยกระดับคุณค่าทางวัฒนธรรมและผลิตภัณฑ์ (Phukrongpet, 2025)

ด้านการพัฒนาผลิตภัณฑ์และเศรษฐกิจชุมชน ผลสำรวจผู้เกี่ยวข้อง/ผู้สนใจ (n=50) สะท้อน “ตลาดเป้าหมายที่พร้อมยอมรับนวัตกรรม” โดยผู้ตอบส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง (80%) อายุ 41–50 ปี (46%) การศึกษาปริญญาตรี (78%) รายได้ 10,001–20,000 บาท (76%) และมีความต้องการเชิงผลิตภัณฑ์ชัดเจน ได้แก่ สนใจเครื่องแต่งกาย (64%) ต้องการลดตาย (80%) ต้องการชุดลำลองสุภาพสีไม่ฉูดฉาด (84%) และต้องการประยุกต์เป็นชุดทำงานได้ทั้งชาย-หญิง (90%) เมื่อนำความต้องการไปสู่การออกแบบ พบว่าแบบสตรีหมายเลข 8 (4.66 ± 0.69) และแบบบุรุษหมายเลข 10 (4.45 ± 0.39) ได้รับการยอมรับสูงสุด และการบริหารผ้าหน้ากว้าง 2 เมตรพร้อมต่อยอดเศษผ้าเป็นผลิตภัณฑ์เสริม (เช่น กระเป๋า) เป็นรูปธรรมของ BCG ที่ “ลดของเสีย-เพิ่มมูลค่า” ในห่วงโซ่การผลิตชุมชน สอดคล้องกับกรอบการย้อมสิ่งทอยั่งยืนที่เน้นลดการใช้ทรัพยากรและยกระดับมูลค่าผลิตภัณฑ์ท้องถิ่น (Roy & Wang, 2026)

ในเชิงความคุ้มค่าทางธุรกิจ การตั้งราคาบนฐานต้นทุนจริงช่วยยืนยันความเป็นไปได้เชิงพาณิชย์ระดับชุมชน โดยชุดเดรสสตรีมีต้นทุนรวม เฉลี่ยที่ 2,025 บาท ตั้งราคาขาย 2,650 บาท กำไร ~625 บาท/ชิ้น เสื้อบุรุษกำไรโดยเฉลี่ยที่ 540 บาท/ชิ้น และกระเป๋าจากเศษผ้ามีต้นทุน 607.50 บาท ขาย 800 บาท กำไรโดยเฉลี่ย 192.50 บาท/ชิ้น ผลดังกล่าวสะท้อนว่า “นวัตกรรมสีเขียวจากวัสดุเหลือทิ้ง” ไม่เพียงสร้างอัตลักษณ์สีเขียว แต่ยังสร้างรายได้และแรงจูงใจให้ชุมชนคงอยู่กับภูมิปัญญาหม่อนไหมอย่างยั่งยืน ภายใต้การผลิตที่ลดการพึ่งพาเคมีและลดของเสียในกระบวนการผลิต

ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาการวิเคราะห์องค์ประกอบสารให้สีและความคงตัวของสีด้วยเทคนิคทางเคมีขั้นสูง เพื่อยืนยันกลไกการเกิดสีและความสัมพันธ์กับคุณสมบัติการย้อม ซึ่งจะช่วยลดช่องว่างด้านหลักฐานเชิงวิทยาศาสตร์ และสนับสนุนการพัฒนาผลิตภัณฑ์ธรรมชาติ
2. ศึกษาต่อยอดการศึกษาสู่ระดับกิ่งอุตสาหกรรม พร้อมประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment: LCA) เพื่อยืนยันการลดของเสียและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดเศรษฐกิจชีวภาพ-หมุนเวียน-สีเขียว (BCG Economy) และนโยบายการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่าของท้องถิ่น
3. ศึกษาคุณสมบัติเพิ่มเติมของผ้าไหมย้อมสีจากมูลหนอนไหม เช่น การต้านอนุมูลอิสระ การต้านจุลชีพ หรือการป้องกันรังสีอัลตราไวโอเล็ต ร่วมกับการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่ตอบโจทย์ตลาด เพื่อเสริมศักยภาพการแข่งขัน
4. ควรศึกษาโมเดลธุรกิจชุมชน การสร้างอัตลักษณ์สินค้า และกลไกการถ่ายทอดเทคโนโลยี เพื่อสนับสนุนการนำ

ผลงานวิจัยไปใช้จริงในระดับพื้นที่ อันจะช่วยเชื่อมโยงงานวิจัยกับนโยบายท้องถิ่นด้านเศรษฐกิจฐานรากและการพัฒนาที่ยั่งยืน

เอกสารอ้างอิง

- ชนิษฐา เจริญลาภ, ปทุมทิพย์ ตันทับทิมทอง, เขมชาติ สุรกุล, โสมวดี ฤทธิโชติ, ภัทรานิษฐ์ สิทธิอินพพันธ์, และกมลภัทร์ รักสวน. (2555). *สิ่งทอสร้างสรรค์ด้วยสีย้อมธรรมชาติ จากวัสดุเหลือใช้ทางเกษตร*. รายงานวิจัย, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล.
- ภัทรภา จ้อยพจน์ และมาหามะสุโฮมิ มะแซ. (2559). *ความคงทนของสีและสมบัติการย้อมสีธรรมชาติของผ้าไหมด้วยผงชา*. คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย.
- อนันต์เสวก เห่วซึ่งเจริญ. (2543). *คู่มือสีย้อมธรรมชาติฉบับชาวบ้าน สีเขียว สีนํ้าตาล สีดำ เล่ม 1*. กรุงเทพฯ: หน่วยพิมพ์เอกสารวิชาการ คณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- Huang, Q., Wang, Z., Zhao, L., Li, X., Cai, H., Yang, S., Yin, M., & Xing, J. (2024). *Environmental dyeing and functionalization of silk fabrics with natural dye extracted from lac*. *Molecules*, 29(10), 2358. <https://doi.org/10.3390/molecules29102358>
- Phukrongpet, P. (2025). *Innovative plant-dyed silk textiles: Does intangible cultural heritage boost cultural identity?* *Heritage*, 8(9), 360.
- Roy, S., & Wang, W. (2026). Eco-friendly dyeing and functional finishing of silk fabric using a natural dye from Arjuna fruit enhanced by metallic salts. *Cleaner Chemical Engineering*, 13, 100217. <https://doi.org/10.1016/j.clce.2025.100217>
- Tang, Y., Xia, W., Li, Z., & Li, Q. (2024). Novel and environmentally friendly paste-bath dyeing of protein fibers with mulberry leaf and silkworm excrement. *Industrial Crops and Products*, 209, 117937. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.117937>
- Vila, N. T., Silva, M. G., Musialak, A. L., Fernandes, M., Souto, A. P., & Ferreira, A. J. S. (2018). Silkworm excrement used for dyeing textiles. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 460(1), 012028. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/460/1/012028>