สมบัติการย้อมสีและความคงทนของสีบนผ้าไหมย้อมด้วยเปลือกของฝักมะขาม

DYEING AND COLOUR FASTNESS PROPERTIES ON SILK FABRIC DYED WITH TAMARIND HUSK

จิราเมธ สุภารัตน์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาเทคโนโลยีมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งทอ เครื่องนุ่งห่มและแฟชั่น
คณะอุตสาหกรรมสิ่งทอและออกแบบแฟชั่น
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ปีการศึกษา 2567
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

สมบัติการย้อมสีและความคงทนของสีบนผ้าไหมย้อมด้วยเปลือกของฝักมะขาม

จิราเมธ สุภารัตน์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาเทคโนโลยีมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งทอ เครื่องนุ่งห่มและแฟชั่น
คณะอุตสาหกรรมสิ่งทอและออกแบบแฟชั่น
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ปีการศึกษา 2567
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

หัวข้อวิทยานิพนธ์	สมบัติการย้อมสีและความคงทนของสีบนผ้าไหมย้อมด้วยเปลือกของฝักมะขาม Dyeing and Colour Fastness Properties on Silk Fabric Dyed with Tamarind Husk
ชื่อ – นามสกุล	นายจิราเมธ สุภารัตน์
สาขาวิชา	เทคโนโลยีสิ่งทอ เครื่องนุ่งห่มและแฟชั่น
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	รองศาสตราจารย์รัตนพล มงคลรัตนาสิทธิ์, Ph.D.
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ว่าที่พันตรีสมชาย อุดร, วศ.ด.
ปีการศึกษา	2567

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์สาคร ชลสาคร, Ph.D.)

.....กรรมการ
(อาจารย์ก้องเกียรติ มหาอินทร์, ศศ.ด.)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ว่าที่พันตรีสมชาย อุดร, วศ.ด.)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์รัตนพล มงคลรัตนาสิทธิ์, Ph.D.)

คณะอุตสาหกรรมสิ่งทอและออกแบบแฟชั่น มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะอุตสาหกรรมสิ่งทอและออกแบบแฟชั่น
(รองศาสตราจารย์รัตนพล มงคลรัตนาสิทธิ์, Ph.D.)
วันที่...2....เดือน...กุมภาพันธ์....พ.ศ...2568....

หัวข้อวิทยานิพนธ์	สมบัติการย้อมสีและความคงทนของสีบนผ้าไหมย้อมด้วยเปลือกของฝักมะขาม
ชื่อ – นามสกุล	นายจิราเมธ สุภารัตน์
สาขาวิชา	เทคโนโลยีสิ่งทอ เครื่องนุ่งห่มและแฟชั่น
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	รองศาสตราจารย์รัตนพล มงคลรัตนาสิทธิ์, Ph.D.
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ว่าที่พันตรีสมชาย อุดร, วศ.ด.
ปีการศึกษา	2567

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการย้อมสีผ้าไหมด้วยสารสกัดจากเปลือกฝักมะขาม ซึ่งเป็นวัตถุดิบธรรมชาติที่มีศักยภาพในการพัฒนาเป็นสีย้อมธรรมชาติที่ยั่งยืนสำหรับอุตสาหกรรมสิ่งทอ โดยการวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อกระบวนการย้อมสี ได้แก่ อุณหภูมิ เวลา ค่า pH ความเข้มข้นของสารละลายสีย้อม อิทธิพลของสารมอร์แดนท์ต่อความเข้มของสีบนผ้าไหมรวมถึงความคงทนของสีต่อการซักล้าง น้ำ เหงื่อ ขัดถู และแสงแดด ผลการวิจัยพบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการย้อมคือ 90 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที ค่า pH 7 โดยผ้าไหมมีเฉดสีน้ำตาลแดงเข้ม และมีค่าความเข้มสี (K/S) สูงสุด สำหรับผลของความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมพบว่าช่วงความเข้มข้น 70–80% o.w.f. เป็นช่วงที่ให้ค่าความเข้มของสีสูงสุด การใช้สารมอร์แดนท์ประเภทสารส้ม และจุนสีจะให้เฉดสีน้ำตาลออกแดง ในขณะที่สแตนนัสคลอไรด์จะให้เฉดสีครีมออกเหลืองจนถึงสีน้ำตาลอ่อน อย่างไรก็ตามถ้าใช้สารมอร์แดนท์ประเภทสนิมเหล็กผ้าไหมมีเฉดสีน้ำตาลเทาดำ ผ้าไหมที่ย้อมด้วยสารสกัดจากเปลือกของฝักมะขามโดยใช้และไม่ใช้สารมอร์แดนท์มีค่าความคงทนของสีต่อการซักล้าง น้ำ เหงื่อ อยู่ในระดับปานกลางถึงดี ค่าความคงทนของสีต่อการขัดถูมีค่าอยู่ในระดับปานกลางถึงดี ยกเว้นเมื่อใช้สนิมเหล็กและสแตนนัสคลอไรด์เป็นสารมอร์แดนท์ในสภาวะการทำมอร์แดนท์พร้อมการย้อมสี พบว่าค่าความคงทนของสีอยู่ในระดับต่ำถึงพอใช้ ในส่วนค่าความคงทนของสีต่อแสงมีค่าอยู่ในระดับต่ำถึงพอใช้ จากผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าสารสกัดจากเปลือกของฝักมะขามมีศักยภาพสูงในการพัฒนาเป็นสีย้อมธรรมชาติที่มีคุณภาพ เหมาะสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ในวิสาหกิจชุมชนขนาดกลางและขนาดย่อมสำหรับย้อมผ้าไหมอย่างยั่งยืน

คำสำคัญ: ความคงทนของสี, เปลือกของฝักมะขาม, ผ้าไหม, มอร์แดนท์, สีธรรมชาติ

Thesis title	Dyeing and Colour fastness Properties on Silk Fabric Dyed with Tamarind Husk
Author	Mr. Jiramet Suparat
Program	Textile, Clothing and Fashion Technology
Advisor	Associate Professor Rattanaphol Mongkholratanasit, Ph.D.
Co-Advisor	Assistant Professor Acting Major Somchai Udon, D.Eng
Academic Year	2024

ABSTRACT

This research aims to study the factors affecting silk dyeing using tamarind husk extracts, a natural raw material with potential for development as a sustainable natural dye for the textile industry. The study analyzed factors influencing the dyeing process including temperature, time, pH level, dye solution concentration, and the effect of mordants on color intensity on silk fabric, as well as colorfastness to washing, water, perspiration, rubbing, and sunlight. The results indicated that the optimal dyeing temperature is 90 degrees Celsius, with a dyeing time of 60 minutes and a pH of 7, resulting in a dark reddish-brown shade on silk and the highest color strength (K/S). Regarding the effect of dye solution concentration, the concentration range of 70–80% o.w.f. yielded the highest color intensity. The use of alum and copper sulfate as mordants produced reddish-brown shades, while stannous chloride resulted in cream-yellow to light brown shades. However, when iron rust was used as a mordant, the silk fabric exhibited a dark grayish-brown shade. Silk fabric dyed with tamarind husk extract, with or without mordants, demonstrated moderate to good colorfastness to washing, water, and perspiration. Colorfastness to rubbing was rated moderate to good, except when iron rust and stannous chloride were used as mordants in a simultaneous mordanting and dyeing process, which resulted in low to fair colorfastness. Color fastness to light was also rated as low to fair. The findings demonstrate that tamarind husk extracts have high potential for development into a high-quality natural dye, suitable for application in small and medium-sized community enterprises for sustainable silk fabric dyeing.

Keywords: Colorfastness, Tamarind Husk, Silk Fabric, Mordant, Natural Dye

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี เนื่องด้วยการสนับสนุนและความช่วยเหลือจากหลายฝ่าย ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. รัตนพล มงคลรัตนาสิทธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ว่าที่พันตรี ดร. สมชาย อุดร อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ยิ่ง ทั้งในด้านแนวทางการวิจัย การกำหนดโครงสร้างเนื้อหา และการวิเคราะห์ข้อมูล อีกทั้งยังให้คำปรึกษาในการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการดำเนินงานวิจัยอย่างเต็มกำลัง ข้าพเจ้าขอน้อมแสดงความสำนึกในพระคุณและขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

ข้าพเจ้าขอแสดงความขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. สาคร ชลสาคร ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และ อาจารย์ก้องเกียรติ มหาอินทร์ ผู้ทรงคุณวุฒิ ที่ได้กรุณาให้ข้อเสนอแนะและคำแนะนำอันเป็นประโยชน์ ทำให้ข้าพเจ้าสามารถพัฒนากรอบแนวคิดทางวิชาการและพิจารณาประเด็นปัญหาต่าง ๆ ได้อย่างเป็นระบบ ส่งผลให้งานวิจัยฉบับนี้มีความสมบูรณ์และครบถ้วนยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ สาขาเทคโนโลยีสิ่งทอ เครื่องนุ่งห่มและแฟชั่น คณะอุตสาหกรรมสิ่งทอและออกแบบแฟชั่น มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ปฏิบัติงานวิจัยและอำนวยความสะดวกในด้านห้องปฏิบัติการทดสอบสิ่งทอ ตลอดจนเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดี

ท้ายที่สุด ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ผู้ให้การอุปการะเลี้ยงดู สนับสนุนการศึกษา และให้กำลังใจตลอดมา อีกทั้งขอขอบคุณ เพื่อนร่วมรุ่นและผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจที่สำคัญในการดำเนินงานวิจัย นอกจากนี้ ข้าพเจ้าขอขอบคุณ เจ้าของผลงาน เอกสาร และงานวิจัยทุกชิ้น ที่เป็นแหล่งข้อมูลสำคัญในการศึกษาค้นคว้า ซึ่งส่งผลให้งานวิจัยฉบับนี้สามารถดำเนินไปจนแล้วเสร็จด้วยความสมบูรณ์

จิราเมธ สุภารัตน์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... (3)

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... (4)

กิตติกรรมประกาศ..... (5)

สารบัญ..... (6)

สารบัญตาราง..... (8)

สารบัญภาพ..... (11)

บทที่ 1 บทนำ..... 12

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหาการวิจัย..... 12

1.2 วัตถุประสงค์งานวิจัย..... 13

1.3 ขอบเขตของการวิจัย..... 14

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 14

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 15

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับมะขาม..... 15

2.2 ไหม (silk)..... 18

2.3 สารมอร์แดนท์ (mordanting agent)..... 23

2.4 การย้อมสีสิ่งทอ..... 26

2.5 ชนิดของสารที่ให้สีในสีธรรมชาติ..... 28

2.6 การสกัดแยกสารสีจากพืช..... 33

2.7 การย้อมด้วยสีธรรมชาติ..... 35

2.8 ทฤษฎีการวัดค่าสี..... 36

2.9 การทดสอบความคงทนของสี..... 39

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 42

บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย..... 44

3.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง..... 44

3.2 สารเคมี..... 45

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3 วิธีการทดลอง..... 45

บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์..... 61

4.1 ผลการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของสีย้อมเชิงปริมาณของสารละลายสีย้อมที่ได้จากเปลือกของฝักมะขาม..... 61

4.2 ผลการศึกษาสภาวะอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการย้อมสีผ้าไหมด้วยเปลือกของฝักมะขาม..... 64

4.3 ผลการศึกษาสภาวะเวลาที่เหมาะสมสำหรับการย้อมสีผ้าไหมด้วยเปลือกของฝักมะขาม..... 66

4.4 ผลการศึกษาสภาวะค่า pH ที่เหมาะสมสำหรับการย้อมสีผ้าไหมด้วยเปลือกของฝักมะขาม..... 67

4.5 ผลการศึกษาอัตราส่วนวัสดุต่อสีย้อม (L:R) ที่เหมาะสมสำหรับการย้อมสีผ้าไหมด้วยเปลือกของฝักมะขาม..... 69

4.6 ผลการศึกษาอิทธิพลความเข้มข้นของสีย้อม (% o.w.f.) ต่อการย้อมสีผ้าไหมด้วยเปลือกของฝักมะขาม..... 70

4.7 ผลการศึกษาการทำมอร์แดนท์โดยใช้ความเข้มข้นของสีย้อมที่แตกต่างกันสำหรับการย้อมสีผ้าไหมด้วยเปลือกของฝักมะขาม..... 72

4.8 ผลการศึกษาการทำมอร์แดนท์โดยใช้ความเข้มข้นของสารละลายมอร์แดนท์ที่แตกต่างกันสำหรับการย้อมสีผ้าไหมด้วยเปลือกของฝักมะขาม..... 77

4.9 ผลการทดสอบสมบัติความคงทนของสี..... 83

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ..... 90

5.1 สรุปผลการทดลอง..... 90

5.2 ข้อเสนอแนะ..... 91

บรรณานุกรม..... 92

ภาคผนวก..... 95

ภาคผนวก ก เอกสาร การตีพิมพ์ในวารสารระดับชาติหรือนานาชาติ..... 96

ประวัติผู้เขียน..... 110

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 2.1	สีย้อมที่ได้จากวัสดุธรรมชาติ.....	27
ตารางที่ 3.1	สภาวะการทดลองเพื่อศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการย้อมสีผ้าไหมด้วยเปลือกของฝักมะขาม.....	47
ตารางที่ 3.2	สภาวะการทดลองเพื่อศึกษาเวลาที่เหมาะสมสำหรับการย้อมสีผ้าไหมด้วยเปลือกของฝักมะขาม.....	48
ตารางที่ 3.3	สภาวะการทดลองเพื่อศึกษาค่า pH ที่เหมาะสมในการย้อมสีผ้าไหมด้วยเปลือกของฝักมะขาม.....	49
ตารางที่ 3.4	สภาวะการทดลองเพื่อศึกษาอัตราส่วนวัสดุต่อสีย้อม (L:R) ที่เหมาะสมสำหรับการย้อมสีผ้าไหมด้วยเปลือกของฝักมะขาม.....	50
ตารางที่ 3.5	สภาวะการทดลองเพื่อศึกษาหาค่าความเข้มข้นที่เหมาะสมสำหรับการย้อมสีผ้าไหมด้วยเปลือกของฝักมะขาม.....	51
ตารางที่ 3.6	สภาวะการศึกษาการทำมอร์แดนท์ก่อนการย้อมสี (pre- mordanting) โดยใช้ความเข้มข้นของสีย้อมจากเปลือกของฝักมะขามที่แตกต่างกัน.....	53
ตารางที่ 3.7	สภาวะการศึกษาการทำมอร์แดนท์ระหว่างการย้อมสี (meta-mordanting) โดยใช้ความเข้มข้นของสีย้อมจากเปลือกของฝักมะขามที่แตกต่างกัน.....	54
ตารางที่ 3.8	สภาวะการศึกษาการทำมอร์แดนท์หลังการย้อมสี (post-mordanting) โดยใช้ความเข้มข้นของสีย้อมจากเปลือกของฝักมะขามที่แตกต่างกัน.....	55
ตารางที่ 3.9	สภาวะการศึกษาการทำมอร์แดนท์ก่อนการย้อมสี (pre-mordanting) โดยใช้ความเข้มข้นของสารละลายมอร์แดนท์ที่แตกต่างกัน.....	57
ตารางที่ 3.10	สภาวะการศึกษาการทำมอร์แดนท์พร้อมกับการย้อมสี (meta-mordanting) โดยใช้ความเข้มข้นของสารละลายมอร์แดนท์ที่แตกต่างกัน..	58
ตารางที่ 3.11	สภาวะการศึกษาการทำมอร์แดนท์หลังการย้อมสี (post-mordanting) โดยใช้ความเข้มข้นของสารละลายมอร์แดนท์ที่แตกต่างกัน.....	59
ตารางที่ 4.1	ค่าการดูดกลืนคลื่นแสง (Absorbance) ของสีย้อมจากเปลือกของฝักมะขาม ที่ความยาวคลื่นแสง 275 นาโนเมตร.....	62

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ค่าของสี (L*, a*, b*) ของการย้อมสีผ้าไหมด้วยเปลือกของฝักมะขาม ที่อุณหภูมิ 30, 40, 50, 60, 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที และอัตราส่วนวัสดุต่อสีย้อม 1:100..... 64

ตารางที่ 4.3 ค่าของสี (L*, a*, b*) ของการย้อมสีผ้าไหมด้วยเปลือกของฝักมะขาม ที่เวลา 10, 20, 30, 40, 50 และ 60 นาที อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส และอัตราส่วนวัสดุต่อสีย้อม 1:100..... 66

ตารางที่ 4.4 ค่าของสี (L*, a*, b*) ของการย้อมสีผ้าไหมด้วยเปลือกของฝักมะขาม ที่มีค่า pH แตกต่างกัน ณ อุณหภูมิการย้อมสี 90 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที และอัตราส่วนวัดุต่อสีย้อม 1:100..... 68

ตารางที่ 4.5 ค่าของสี (L*, a*, b*) ของการย้อมสีผ้าไหมด้วยเปลือกของฝักมะขาม ที่อัตราส่วนวัสดุต่อสีย้อม (L:R) ที่แตกต่างกัน ณ อุณหภูมิการย้อมสี 90 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที และ pH 7..... 69

ตารางที่ 4.6 ค่าของสี (L*, a*, b*) บนผ้าไหมที่ย้อมด้วยสีจากเปลือกของฝักมะขามโดยใช้ความเข้มข้นสีย้อมที่แตกต่างกัน ณ อุณหภูมิการย้อมสี 90 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที อัตราส่วนวัสดุต่อสีย้อม 1:100 pH 7..... 71

ตารางที่ 4.7 ค่าของสีและค่าความเข้มสีบนผ้าไหมที่ย้อมด้วยสีย้อมจากเปลือกของฝักมะขามที่ความเข้มข้นสีย้อมที่แตกต่างกัน และใช้ความเข้มข้นของสารมอร์แดนท์ 50% o.w.f. ในการทำมอร์แดนท์ก่อนการย้อมสี (pre-mordanting) 73

ตารางที่ 4.8 ค่าของสีและค่าความเข้มสีบนผ้าไหมที่ย้อมด้วยสีย้อมจากเปลือกของฝักมะขามที่ความเข้มข้นสีย้อมที่แตกต่างกัน และใช้ความเข้มข้นของสารมอร์แดนท์ 50% o.w.f. ในการทำมอร์แดนท์พร้อมการย้อมสี (meta-mordanting)..... 75

ตารางที่ 4.9 ค่าของสีและค่าความเข้มสีบนผ้าไหมที่ย้อมด้วยสีย้อมจากเปลือกของฝักมะขามที่ความเข้มข้นสีย้อมที่แตกต่างกัน และใช้ความเข้มข้นของสารมอร์แดนท์ 50% o.w.f. ในการทำมอร์แดนท์หลังการย้อมสี (post-mordanting)..... 76

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 4.10 ค่าของสีและค่าความเข้มสีบนผ้าไหมที่ย้อมด้วยสีย้อมจากเปลือกของฝักมะขามที่ความเข้มข้น 50% o.w.f. และใช้ความเข้มข้นของสารมอร์แดนท์ที่แตกต่างกัน โดยการทำมอร์แดนท์ก่อนการย้อมสี (pre-mordant)..... 79

ตารางที่ 4.11 ค่าของสีและค่าความเข้มสีบนผ้าไหมที่ย้อมด้วยสีย้อมจากเปลือกของฝักมะขามที่ความเข้มข้น 50% o.w.f. และใช้ความเข้มข้นของสารมอร์แดนท์ที่แตกต่างกัน โดยการทำมอร์แดนท์พร้อมการย้อมสี (meta-mordanting).... 80

ตารางที่ 4.12 ค่าของสีและค่าความเข้มสีบนผ้าไหมที่ย้อมด้วยสีย้อมจากเปลือกของฝักมะขามที่ความเข้มข้น 50% o.w.f. และใช้ความเข้มข้นของสารมอร์แดนท์ที่แตกต่างกัน โดยการทำมอร์แดนท์หลังการย้อมสี (post-mordanting)..... 82

ตารางที่ 4.13 ผลการทดสอบความคงทนของสีต่อการซักล้าง (colorfastness to washing) มาตรฐาน AATCC 61-2013..... 84

ตารางที่ 4.14 ผลการทดสอบความคงทนของสีต่อน้ำ (colorfastness to water) มาตรฐาน AATCC 107-2013..... 86

ตารางที่ 4.15 ผลการทดสอบความคงทนของสีต่อเหงื่อเทียม (สภาวะกรด pH 4.5) (colorfastness to perspiration) มาตรฐาน AATCC 15-2013..... 87

ตารางที่ 4.16 ผลการทดสอบความคงทนของสีต่อการขัดถู มาตรฐาน AATCC 8-2016 และความคงทนของสีต่อแสงแดดเทียม มาตรฐาน ISO 105-B02:1994..... 89

สารบัญภาพ

		หน้า
ภาพที่ 2.1	โครงสร้างของสารให้สีกลุ่มฟลาโวนอยด์บางชนิด.....	29
ภาพที่ 2.2	โครงสร้างของสารให้สีกลุ่มแอนทราควิโนนและแนพทราควิโนน.....	30
ภาพที่ 2.3	โครงสร้างของสารให้สีกลุ่มอัลคาลอยด์บางชนิด.....	31
ภาพที่ 2.4	โครงสร้างของสารให้สี curcumin และ chlorophylls.....	31
ภาพที่ 2.5	การเชื่อมโยงระหว่างโปรตีนกับแทนนินโดยใช้พันธะไฮโดรเจน (H-bonding).....	32
ภาพที่ 2.6	สูตรโครงสร้างของสารเคมีที่ได้จากไฮโดรไลซ์แทนนิน.....	33
ภาพที่ 2.7	โครงสร้างหน่วยย่อยของ tannin red.....	33
ภาพที่ 2.8	ระบบการวัดค่าสีแบบ CIE L*, a*, b*	37
ภาพที่ 4.1	กราฟแสดงค่าการดูดกลืนแสงของสีย้อมที่ได้จากเปลือกของฝักมะขาม.....	61
ภาพที่ 4.2	กราฟมาตรฐานของสีย้อมที่สกัดได้จากเปลือกของฝักมะขาม ณ ความยาวคลื่นแสง 275 นาโนเมตร.....	62
ภาพที่ 4.3	ค่าความเข้มสีบนผ้าไหมที่ย้อมสีด้วยเปลือกของฝักมะขาม ณ อุณหภูมิที่ต่างกัน...	65
ภาพที่ 4.4	ค่าความเข้มสีบนผ้าไหมที่ย้อมสีด้วยเปลือกของฝักมะขาม ณ เวลาต่างกัน.....	67
ภาพที่ 4.5	ค่าความเข้มสีบนผ้าไหมที่ย้อมสีด้วยเปลือกของฝักมะขาม ณ ค่า pH ที่ต่างกัน....	68
ภาพที่ 4.6	ค่าความเข้มสีบนผ้าไหมที่ย้อมสีด้วยเปลือกของฝักมะขาม ณ อัตราส่วน (L:R) ที่ต่างกัน.....	70
ภาพที่ 4.7	ค่าความเข้มสีบนผ้าไหมที่ย้อมสีด้วยเปลือกของฝักมะขาม ณ ความเข้มข้นของสีย้อมที่ต่างกัน.....	71

บทที่1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหาการวิจัย

สีธรรมชาติ เป็นสีที่สกัดได้จากวัตถุดิบจากแหล่งธรรมชาติ เช่น รากไม้ แก่นไม้ เปลือก ต้น ผล ดอก จากสัตว์ เช่น ครั่ง และจากแร่ธาตุต่าง ๆ เช่น ดินแดง ในอดีต การใช้สีธรรมชาติถือเป็นส่วนหนึ่งของวิถีชีวิตและวัฒนธรรมของมนุษย์ ซึ่งถูกนำไปใช้ในกิจกรรมและพิธีกรรมหลากหลายรูปแบบ อาทิ การทาตามร่างกายเพื่อการตกแต่งหรือประกอบพิธีตามความเชื่อ การระบายสีบนภาชนะและเครื่องปั้นดินเผาเพื่อเพิ่มความสวยงามและคงทน การวาดภาพฝาผนังเพื่อบันทึกเรื่องราวหรือแสดงออกถึงคติความเชื่อของชุมชน ตลอดจนการใช้สีเป็นองค์ประกอบสำคัญในพิธีกรรมต่าง ๆ ที่สะท้อนถึงความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งแวดล้อมกับมนุษย์ แหล่งกำเนิดของสีธรรมชาติมีความหลากหลาย โดยสามารถแบ่งออกได้เป็นสามประเภทหลัก ได้แก่ สีจากพืช เช่น ใบไม้ เปลือกไม้ ดอกไม้ และรากไม้ สีแดงครั่งจากสัตว์ และสีแร่ธาตุ จาก หินแร่ชนิดต่าง ๆ และดิน สีธรรมชาติเหล่านี้มีข้อได้เปรียบสำคัญคือสามารถหาได้ง่ายในท้องถิ่น อีกทั้งยังเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและสะท้อนภูมิปัญญาพื้นบ้านที่ถูกสืบทอดและพัฒนามาอย่างต่อเนื่องจนถึงปัจจุบัน แสดงให้เห็นถึงการใช้ทรัพยากรธรรมชาติอย่างรู้คุณค่าและยั่งยืนในวิถีชีวิตของมนุษย์ สีธรรมชาติมีคุณสมบัติเด่นเฉพาะตัว คือ ไม่ฉูดฉาด เย็นตา สามารถละลายน้ำได้ง่าย แต่มีกระบวนการที่ค่อนข้างยุ่งยาก นอกจากนี้ยังมีสมบัติด้านความคงทนต่อแสงไม่ดีนักเนื่องจากสีย้อมธรรมชาติไม่ได้สร้างพันธะเคมีกับโครงสร้างของเส้นใย จึงมีการใช้สีสังเคราะห์เข้ามาแทนที่ ซึ่งการใช้สีสังเคราะห์อาจทำให้ผู้สวมใส่เกิดอาการแพ้ ตลอดจนมีของเสียที่เกิดขึ้นภายหลังการย้อมสี และทำให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นจึงทำให้เกิดแนวความคิดและมีความสนใจในการนำเอาสีธรรมชาติมาใช้แทนสีสังเคราะห์ในการย้อมสีสิ่งทอ [1] การใช้สีธรรมชาติสามารถช่วยลดปัญหามลพิษต่อสิ่งแวดล้อมและผู้ใช้งานได้ อีกทั้งในกระบวนการผลิตสิ่งทอมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทั้งในไทย และต่างประเทศที่มีการนำสีธรรมชาติมาใช้งาน ส่งผลให้ผู้บริโภคเกิดความเชื่อมั่นในต่อผลิตภัณฑ์สิ่งทอที่ย้อมด้วยสีธรรมชาติ รวมถึงมีความเชื่อมั่นว่าผลิตภัณฑ์ดังกล่าวไม่เป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม

การย้อมไหมและการทอผ้าเป็นศาสตร์ที่มีความเกี่ยวข้องกับคนไทยมาอย่างยาวนาน ซึ่งทุกวันนี้ไหมมีทั้งย้อมด้วยสีย้อมจากธรรมชาติและสีย้อมสังเคราะห์ ซึ่งมีข้อดี ข้อเสีย ต่างกันไปดังนี้ การย้อมไหมด้วยสีสังเคราะห์หรือสีเคมีนั้น ทำได้ง่าย สะดวกสบาย มีหลายเฉดสีให้เลือก แต่มีอันตรายต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม สำหรับการย้อมไหมด้วยสีย้อมจากธรรมชาติ จะให้เฉดสีที่แตกต่างกันไปแต่ไม่เท่ากับสีสังเคราะห์ สีที่ย้อมจากวัตถุดิบที่ได้จากธรรมชาติจะมีข้อจำกัดในเรื่องความคงทนของสี

ความสม่ำเสมอของสี และวัตถุดิบจากธรรมชาติในยุคปัจจุบันที่มีการให้สีหาได้ยาก ซึ่งปัจจุบันมีการนำมาใช้เพิ่มมากขึ้น แต่วัตถุดิบที่เป็นแหล่งสีย้อมจากธรรมชาติกลับมีจำนวนลดลง [2]

มะขามเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญระดับชาติ โดยเฉพาะมะขามหวาน ซึ่งเป็นสินค้าจีไอ (geographical indications: GI) ของประเทศไทย รวมทั้งมะขามเปรี้ยวทั่วไปที่ใช้ทำมะขามเปียก ซึ่งมีการนำมาใช้ในชีวิตประจำวัน เช่น ปรุงอาหาร และสำหรับใช้ผสมทำเครื่องประทินผิว จึงทำให้การปลูกมะขามได้รับการสนับสนุนจากภาครัฐให้มีการปลูกมากขึ้นในหลาย ๆ จังหวัด [3] มะขามหวาน นับเป็นอีกหนึ่งของพืชเศรษฐกิจสำคัญที่สร้างมูลค่าให้กับจังหวัดเพชรบูรณ์ ซึ่งได้มีการรองรับการขึ้นทะเบียนสิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ ปี 2548 จากข้อมูลดังกล่าวของสำนักงานเกษตรจังหวัดเพชรบูรณ์ (ณ วันที่ 15 มกราคม 2567) คาดการณ์ใน ปี 2566/67 จังหวัดเพชรบูรณ์ จะมีเนื้อที่ปลูกมะขามหวาน 90,017 ไร่ และมีผลผลิตรวม 30,582.72 ตัน ซึ่งมีเกษตรกรผู้ปลูก 10,041 ราย ทั้งนี้ จังหวัดเพชรบูรณ์เป็นแหล่งผลิตมะขามหวานอันดับ 1 ของประเทศ เนื่องจากพื้นที่มีความอุดมสมบูรณ์ไปด้วยแร่ธาตุที่เหมาะสมต่อการปลูกมะขามหวาน นอกจากนี้เกษตรยังมีความเชี่ยวชาญในการทำไร่มะขามหวาน จึงทำให้หลายพื้นที่ของจังหวัดเพชรบูรณ์ สามารถเพาะปลูกมะขามหวานได้ผลผลิตที่ดี ทำให้มีคุณภาพสูงกว่าจังหวัดอื่น [4] และโดยทั่วไปแล้วเนื้อมะขามจะถูกนำไปใช้บริโภค ส่วนเปลือกและเม็ดมะขามเหลือทิ้งเป็นปริมาณที่มาก และไม่ค่อยมีการนำไปใช้ประโยชน์มากนัก เมื่อเทียบปริมาณผลผลิตของมะขามที่ออกสู่ตลาดกับปริมาณของเปลือกฝักมะขามที่ทิ้งแล้วนั้น จะพบว่าในฝักมะขาม 1 กิโลกรัม จะมีเนื้อมะขาม 0.55 กิโลกรัม เมล็ดมะขาม 0.33 กิโลกรัม และเปลือกของฝักมะขาม 0.12 กิโลกรัม

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงใช้ประโยชน์จาก เปลือกของฝักมะขาม โดยนำมาพัฒนาเป็นวัสดุสีย้อมสำหรับการย้อมผ้าไหม ทั้งนี้ มุ่งเน้นการศึกษาเกี่ยวกับตัวแปรที่มีผลต่อกระบวนการย้อมสี ได้แก่ อุณหภูมิและเวลา ค่า pH ของสีย้อม ความเข้มข้นของสีย้อม อิทธิพลของสารมอร์แดนท์ต่อการย้อม ตลอดจนมีการทดสอบสมบัติความคงทนของสี ซึ่งผลของการวิจัยที่ได้คาดว่าจะสามารถเพิ่มมูลค่าให้กับเปลือกของฝักมะขาม ในเชิงพาณิชย์ รวมถึงเสริมคุณค่าให้กับผ้าไหมย้อมสีธรรมชาติ อันเป็นแนวทางในการลดต้นทุนการจัดหาสีย้อม ตลอดจนสร้างความปลอดภัยให้แก่ผู้ย้อมและผู้สวมใส่ผลิตภัณฑ์ผ้าไหม อีกทั้งยังเป็นการอนุรักษ์และส่งเสริมการสืบทอด ภูมิปัญญาท้องถิ่น อย่างยั่งยืน

1.2 วัตถุประสงค์งานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการย้อมสีผ้าไหมจากเปลือกของฝักมะขาม

1.2.2 เพื่อศึกษาอิทธิพลความเข้มข้นของสีย้อมที่ได้จากเปลือกของฝักมะขามต่อการย้อมสีผ้าไหม

1.2.3 เพื่อศึกษาอิทธิพลความเข้มข้นของสารมอร์แดนท์ที่ใช้ในการย้อมสีผ้าไหมจากเปลือกของฝักมะขาม

1.2.4 เพื่อศึกษาสมบัติความคงทนของสีในการย้อมสีผ้าไหมจากเปลือกของฝักมะขาม

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 เปลือกฝักมะขามหวานจากจังหวัดเพชรบูรณ์

1.3.2 วัสดุสิ่งทอที่ใช้ในการย้อม ได้แก่ ผ้าไหม

1.3.3 สารมอร์แดนท์ที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ สารส้ม จุนสี สนิมเหล็ก และสแตนนัสคลอไรด์

1.3.4 การประเมินค่าของสี ใช้วิธีวัดค่าของสี L*, a*, b* ส่วนการประเมินค่าความเข้มสีโดยจะใช้การวัดค่า K/S

1.3.5 การทดสอบความคงทนของสี ดำเนินการทดสอบในส่วนของการทดสอบความคงทนของสีต่อการซักล้าง น้ำ เหงื่อเทียม การขัดถู และแสงแดดเทียม

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทราบสภาวะในการย้อมสีผ้าไหมด้วยเปลือกของฝักมะขามที่เหมาะสม

1.4.2 ทราบระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมในการใช้สารมอร์แดนท์ และผลของสารมอร์แดนท์ต่อความคงทนของสีบนผ้าไหมที่ย้อมด้วยเปลือกของฝักมะขาม

1.4.3 ช่วยสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับเปลือกฝักมะขาม ซึ่งเหลือทิ้งจากการเกษตร ตลอดจนเพื่อเป็นแนวทางในการอนุรักษ์การใช้สีธรรมชาติในการย้อมผ้า

1.4.4 ช่วยสร้างขีดความสามารถในการแข่งขันตามแผนยุทธศาสตร์ชาติด้านการสร้างมูลค่าทางการเกษตร

1.4.5 ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจที่ต่อเนื่อง การมีงานที่มีคุณค่าสำหรับทุกคน และการส่งเสริมนวัตกรรมตามเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน

บทที่2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยเรื่อง สมบัติการย้อมสีและความคงทนของสีบนผ้าไหมย้อมด้วยเปลือกของฝักมะขาม มีวัตถุประสงค์เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการย้อมผ้าไหม โดยใช้สารสกัดจากเปลือกของฝักมะขาม ซึ่งมุ่งเน้นความเข้มข้นของสีย้อมที่ได้จากเปลือกของฝักมะขามต่อประสิทธิภาพในการย้อมสีผ้าไหม ตลอดจนการวิเคราะห์ความเข้มข้นของสารมอร์แดนท์ที่ใช้ในกระบวนการ เพื่อให้ได้สีที่มีคุณภาพสูงและสามารถยึดเกาะเส้นใยได้อย่างมีประสิทธิภาพ การวิจัยได้ดำเนินการทดสอบสมบัติความคงทนของสีย้อมบนผ้าไหมภายใต้สภาวะต่าง ๆ เพื่อประเมินความสามารถของสีย้อมจากเปลือกของฝักมะขามต่อการใช้งานจริง ทั้งนี้ การศึกษาดังกล่าวอ้างอิงจากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับมะขาม

มะขาม [4] มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Tamarindus Indica* คือ ไม้พันธุ์ยืนต้นขนาดกลางจนถึงใหญ่ มีใบเขียวทั้งปี ฝักมีรูปร่างยาวและโค้งงอ ใช้ในการปรุงอาหาร โดยที่ฝักอ่อนจะมีสีเขียวอมเทา ฝักแก่กรอบและหักง่ายซึ่งมีสีน้ำตาลเข้ม ผลมีรสเปรี้ยวหรือหวาน และนิยมปลูกไว้ในบริเวณรอบ ๆ บ้านเพื่อให้ร่มเงา

2.1.1 ประเภทของมะขาม

2.1.1.1 มะขามหวาน (sweet tamarind) เป็นผลไม้ที่มีเนื้อรสหวาน ได้รับความนิยมในการบริโภค โดยมีแหล่งเพาะปลูกสำคัญอยู่ในจังหวัดเพชรบูรณ์ มะขามหวานมีความหลากหลายทางสายพันธุ์ อาทิ พันธุ์น้ำผึ้ง พันธุ์สีชมพู พันธุ์อินทผาลัม พันธุ์ขันตี พันธุ์สีทอง พันธุ์หมื่นจง และพันธุ์เพชรเกษตร อย่างไรก็ตาม สายพันธุ์ที่ได้รับความนิยมและมีชื่อเสียงมากที่สุดคือสายพันธุ์ประกายทอง ซึ่งชาวบ้านมักเรียกกันว่า "พันธุ์ตาแป๊ะ" สายพันธุ์ประกายทองมีลักษณะเด่นที่แตกต่างจากมะขามหวานทั่วไป โดยมีฝักขนาดใหญ่และตรง เนื้อในมีความหนา นุ่ม ชุ่มฉ่ำ อีกทั้งยังมีรสชาติหวานจัด จึงเป็นที่ต้องการของตลาดและผู้บริโภคอย่างกว้างขวาง

2.1.1.2 มะขามเปรี้ยว (sour tamarind) เป็นมะขามที่ให้เนื้อรสเปรี้ยว โดยมีลักษณะของฝักที่มีขนาดใหญ่กว่ามะขามหวาน นิยมใช้ในการประกอบอาหารและแปรรูปเพื่อเพิ่มมูลค่า ตัวอย่างเช่น การนำน้ำมะขามมาใช้เป็นส่วนผสมในอาหารประเภทต้มยำเพื่อให้ได้รสเปรี้ยวตามธรรมชาติ หรือใช้แทนมะนาวในบางเมนู

มะขามที่เหมาะสำหรับการปรุงอาหารควรเป็นมะขามพันธุ์ที่มีรสเปรี้ยว เนื่องจากมะขามพันธุ์หวานไม่นิยมนำมาใช้ในการประกอบอาหาร แต่จะนิยมบริโภคในรูปแบบของผักสดสุกแทน สำหรับมะขามเปรี้ยวที่มีการเพาะปลูกในประเทศไทย คือ มะขามเปรี้ยวพันธุ์กระดาน ซึ่งมีลักษณะเด่นคือฝักมีขนาดใหญ่และแบนมากกว่ามะขามหวาน ในด้านฤดูกาลเพาะปลูก มะขามเปรี้ยวจะเริ่มออกดอกและติดผลตั้งแต่ช่วงเดือนเมษายนไปจนถึงเดือนตุลาคม ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่เหมาะสมสำหรับการเก็บเกี่ยวเพื่อนำไปใช้ในการปรุงอาหารและแปรรูปผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ

2.1.2 ประโยชน์ของส่วนต่าง ๆ ของต้นมะขามและฝักมะขาม

2.1.2.1 ดอกมะขามสด มีลักษณะเด่นคือสีเหลืองอมส้ม และได้รับความนิยมในการนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการประกอบอาหาร เนื่องจากสามารถเพิ่มทั้งรสชาติและกลิ่นหอมที่เป็นเอกลักษณ์ให้กับเมนูต่าง ๆ ตัวอย่างอาหารที่นิยมใช้ดอกมะขามสด ได้แก่ ต้มโคล้งกุ้งสดกับดอกมะขาม, ต้มโคล้งปลาช่อนแห้งดอกมะขาม, และ แกงจืดดอกมะขาม ซึ่งแต่ละเมนูมีรสชาติกลมกล่อมและกลิ่นหอมเฉพาะตัวจากดอกมะขามสด อันเป็นเอกลักษณ์ที่ช่วยเสริมความน่ารับประทานและเพิ่มมิติของรสชาติให้กับอาหารเหล่านี้

2.1.2.2 ใบมะขาม ทั้งจากมะขามหวานและมะขามเปรี้ยว ใบอ่อน หรือ ยอดใบอ่อนมีสีเขียวอ่อนและให้รสชาติเปรี้ยวเล็กน้อย ในขณะที่ ยอดใบที่เป็นสีแดง ให้รสฝาด ใบมะขามมีคุณค่าทางโภชนาการสูง โดยเฉพาะแคลเซียม และมีสรรพคุณทางยา

ในด้านการประกอบอาหาร ใบมะขามอ่อน นิยมนำมาใช้ในเมนูต่าง ๆ เช่น ปลาสลิดต้มกะทิแกงหมูย่างยอดมะขาม ปลาแห้งต้มโคล้ง แกงหอยเสียบใบมะขาม และยอดมะขามแกงจืด ซึ่งช่วยเพิ่มรสชาติและความกลมกล่อมให้กับอาหาร นอกจากนี้ ใบมะขามอ่อนยังมีประโยชน์ในด้านการทำความสะอาด โดยนิยมนำมาใช้ขัดถูเครื่องเรือนโลหะ เช่น ทองเหลืองและทองแดง เพื่อช่วยขจัดคราบและทำให้โลหะเงางามขึ้น อีกทั้ง ใบแก่ เมื่อนำมาขยำสามารถใช้ล้างทำความสะอาดคราบมันของจานชามและอุปกรณ์ครัวได้อีกด้วย

2.1.2.3 ใบมะขามแก่ ใช้ย้อมผ้าให้เฉดสีเขียวโดยการนำใบแก่มาต้ม

2.1.2.4 ใบมะขามแห้งสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างหลากหลาย โดยกระบวนการเตรียมเริ่มจากการล้างทำความสะอาดใบมะขามอย่างถูกวิธี จากนั้นนำไปผึ่งลมจนแห้งสนิทก่อนจะนำมาบดให้ละเอียดเพื่อนำไปใช้ในการชงเป็นชา ซึ่งชาใบมะขามมีสรรพคุณทางยาหลายประการ ใบมะขามแห้งเป็นแหล่งของสารต้านอนุมูลอิสระที่มีบทบาทสำคัญในการชะลอความเสื่อมของเซลล์ ลดการเกิดอนุมูลอิสระในร่างกาย และทำหน้าที่เป็นยาอายุวัฒนะ คุณสมบัติดังกล่าวทำให้ชาใบมะขามเป็นที่นิยมในกลุ่มผู้ใส่ใจสุขภาพและผู้ที่ต้องการดูแลร่างกายด้วยสมุนไพรธรรมชาติ อันสะท้อนถึงแนวโน้มการหันมาใช้ผลิตภัณฑ์จากธรรมชาติเพื่อส่งเสริมสุขภาพอย่างยั่งยืน

2.1.2.5 ฝักมะขามอ่อนมีลักษณะเด่นคือฝักสีเขียว รสเปรี้ยวอ่อนและมีความฝาดเล็กน้อย อุดมด้วยวิตามินซีและวิตามินเอ ซึ่งมีคุณประโยชน์ในการช่วยบรรเทาอาการระคายคอ ทั้งนี้ฝักมะขามอ่อนสามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการประกอบอาหารได้หลากหลายเมนู อาทิ น้ำพริกมะขาม ส้มตำมะขามอ่อน ข้าวคลุกน้ำพริกมะขาม ยำปูเค็มมะขามอ่อน และพริกเกลือมะขามสด โดยสามารถใช้ได้ทั้งฝักและเปลือกเพื่อเพิ่มรสเปรี้ยวและกลิ่นหอมเฉพาะตัวให้แก่อาหาร ทั้งยังช่วยเสริมรสชาติและยกระดับความน่ารับประทานของเมนูต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.1.2.6 ฝักมะขามแก่ มีสีออกน้ำตาลเข้มและรสชาติเปรี้ยวอมหวานเล็กน้อย ถูกนำมาใช้ในการปรุงอาหาร เช่น การต้มทั้งเปลือกใช้ในแกงส้มผักบุ้งพริกสด พริกขี้หนูหลน และต้มยำ [4] นอกจากนี้ ฝักมะขามยังเป็นพืชที่มีสีธรรมชาติและมีการใช้เป็นสารให้สีในอุตสาหกรรมอาหารในหลายประเทศ โดยเฉพาะในประเทศญี่ปุ่น ซึ่งสีจากมะขามนั้นประกอบด้วยสารสีหลัก ได้แก่ ลิวโคแอนโทไซยานิดินและแอนโทไซยานิน เป็นสารประกอบที่ให้สีแดงถึงน้ำเงินในพืชบางชนิด แอนโทไซยานินจากมะขามพันธุ์สีแดงที่ยังไม่สุกเต็มที่สามารถนำมาใช้เพิ่มสีแดงธรรมชาติในผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น แกง แยม และเยลลี่ ซึ่งมีแนวโน้มที่จะมีบทบาทสำคัญในอุตสาหกรรมอาหารในอนาคต โดยใช้เป็นทางเลือกสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีสีสันจากธรรมชาติ และการประยุกต์ใช้สารสีจากมะขามยังช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์อาหาร พร้อมทั้งเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและสอดคล้องกับการพัฒนาอุตสาหกรรมอาหารที่ยั่งยืน [5]

2.1.2.7 เนื้อมะขามเปียกเป็นวัตถุดิบสำคัญในการประกอบอาหารและเครื่องดื่ม กระบวนการผลิตเริ่มต้นจากการคัดเลือกมะขามแก่ นำมาแกะเปลือกและเมล็ดออก แล้วตากแดดจนแห้ง ก่อนจะอัดเป็นก้อนเพื่อความสะดวกในการจัดจำหน่าย เนื้อมะขามเปียกสามารถแบ่งออกเป็นสามประเภทหลัก คือ มะขามก้าน มะขามหัวโล้น และมะขามเนื้อล้วน แต่ละประเภทมีการใช้งานที่แตกต่างกันไป มะขามก้านเป็นเนื้อมะขามที่ไม่มีเมล็ดแต่ยังมีซังติดอยู่ ลักษณะเด่นคือสามารถคั้นน้ำได้ง่าย เพราะซังทำหน้าที่ช่วยกักเก็บเนื้อไม่ให้เล็ดออก จึงเป็นประเภทที่ได้รับความนิยมสำหรับการทำน้ำมะขามเปียก ส่วนมะขามเนื้อล้วนเป็นเนื้อมะขามที่ไม่มีทั้งเมล็ดและซัง เหมาะสำหรับเมนูที่ต้องการใช้เนื้อโดยตรง เช่น น้ำพริก น้ำพริกปลาย่าง และปลาร้าสับ ขณะที่มะขามหัวโล้นซึ่งมีเมล็ดแต่ไม่มีซัง มักถูกนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เช่น มะขามหยี มะขามคลุก และมะขามกวน วิธีการคั้นน้ำมะขามเปียกทำได้โดยการนำเนื้อมะขามมาผสมกับน้ำอุ่นแล้วคั้นเบา ๆ จนได้ความเข้มข้นตามต้องการ โดยสามารถเลือกใช้แบบเข้มข้นหรือกรองเอาแต่น้ำ ขึ้นอยู่กับประเภทของอาหารที่จะปรุง นอกจากประโยชน์ด้านการปรุงอาหารแล้ว ยังช่วยกระตุ้นระบบย่อยอาหารและสามารถดื่มเป็นเครื่องดื่มเย็นเพื่อลดน้ำหนักตามธรรมชาติได้โดยไม่ต้องพึ่งยาลดความอ้วน

2.1.2.8 เนื้อมะขามหวานเป็นวัตถุดิบที่มีคุณค่าหลากหลาย สามารถบริโภคได้โดยตรงโดยให้รสชาติหวานตามธรรมชาติ อีกทั้งยังเป็นยาระบายอ่อน อย่างไรก็ตาม การรับประทานในปริมาณที่มากอาจก่อให้เกิดอาการท้องเสียได้ ปัจจุบันมีการคิดค้นและพัฒนาผลิตภัณฑ์จากมะขามเพื่ออำนวยความสะดวกแก่ผู้บริโภค หนึ่งในนั้นคือมะขามเปียกสำเร็จรูปชนิดผง ซึ่งสามารถละลายน้ำเพื่อใช้งานได้ทันที เหมาะสำหรับผู้ที่ต้องการประหยัดเวลาในการปรุงอาหาร กระนั้นก็ตาม ผลิตภัณฑ์ในรูปแบบดังกล่าวไม่ค่อยได้รับความนิยมเมื่อเปรียบเทียบกับมะขามเปียกแบบดั้งเดิม ในด้านสรรพคุณทางสมุนไพร มะขามมีบทบาทสำคัญต่อการส่งเสริมสุขภาพหลายประการ อาทิ การกระตุ้นระบบขับถ่าย บรรเทาอาการท้องผูก ช่วยลดอาการไอและขับเสมหะ อีกทั้งยังมีวิตามินซีซึ่งมีคุณสมบัติในการบำรุงผิวพรรณให้สดใส รวมถึงมีฤทธิ์ในการขับพยาธิตัวกลมในลำไส้ จากคุณประโยชน์ดังกล่าว มะขามจึงนับเป็นพืชสมุนไพรที่ควรค่าแก่การนำมาใช้เพื่อการดูแลสุขภาพอย่างรอบด้าน

2.1.3 ประโยชน์จากมะขามและข้อควรระวัง

มะขามเป็นพืชที่มีรสเปรี้ยวและมีคุณและโทษต่อร่างกาย ดังนั้น การใช้ควรพิจารณาถึงข้อควรระวัง ดังต่อไปนี้

2.1.3.1 การบริโภคมะขามเปียก ในท้องตลาดทั่วไปที่จำหน่ายอาจมีสิ่งสกปรกหรือสารปนเปื้อน หากรับประทานโดยไม่ผ่านการทำความสะอาดอย่างถูกต้อง อาจเกิดอาการท้องเสียรุนแรง เนื่องจากมะขามมีฤทธิ์เป็นยาระบายตามธรรมชาติ การรับประทานมะขามที่ไม่สะอาดอาจเพิ่มความเสี่ยงต่อการติดเชื้อในระบบทางเดินอาหาร รวมถึงอาจก่อให้เกิดภาวะขาดน้ำซึ่งเป็นอันตรายต่อร่างกาย

2.1.3.2 การใช้มะขามเปียกเพื่อดูแลผิวพรรณ แม้มะขามเปียกจะถูกนำมาใช้ในการขัดผิวหรือพอกหน้าเพื่อประโยชน์ด้านความงาม แต่การใช้บ่อยเกินสัปดาห์ละสองครั้งอาจทำให้ผิวหนังเกิดอาการระคายเคืองได้ ดังนั้น ผู้ใช้ควรปฏิบัติตามคำแนะนำอย่างเคร่งครัด และภายหลังการขัดผิวหรือพอกหน้าควรบำรุงผิวด้วยครีมให้ความชุ่มชื้นและทาครีมกันแดดเพื่อปกป้องผิวจากรังสีอัลตราไวโอเลต

2.2 ไหม (silk)

ไหมเป็นเส้นใยโปรตีนธรรมชาติที่มีความมันวาวสูง เหนียว และทนทาน เส้นไหมที่มีคุณสมบัติดีที่สุดได้มาจากตัวอ่อนของผีเสื้อ (bombyx mori) [6] ซึ่งสร้างรังไหมโดยการปล่อยเส้นใยออกมารอบตัวในระยะดักแด้ ก่อนที่จะเป็นตัวเต็มวัยและเจาะรังออกมา ความมันวาวของเส้นไหมเกิดจากโครงสร้างเส้นใยที่มีลักษณะคล้ายปริซึมสามเหลี่ยม ทำให้เส้นใยสามารถสะท้อนและหักเหแสง ส่งผลให้ผ้าไหมมีความมันเงางาม

"ไหมป่า" (wild silk) เป็นเส้นใยไหมที่ได้จากดักแด้ของแมลงจำพวกไหมที่ไม่ใช่ไหมหม่อน (Bombyx mori) การใช้ไหมป่ามีประวัติความเป็นมายาวนานตั้งแต่สมัยโบราณในจีน เอเชียใต้ และยุโรป อย่างไรก็ตาม การผลิตไหมป่าอยู่ในระดับที่ต่ำกว่าไหมหม่อนซึ่งเป็นไหมที่มีการเพาะเลี้ยงในเชิงอุตสาหกรรม

ไหมป่ามีลักษณะแตกต่างจากไหมเลี้ยงอย่างชัดเจน เนื่องจากดักแด้ของไหมป่ามักเจาะทะลุรังไหมออกมาก่อนกระบวนการสาวไหม ส่งผลให้เส้นใยสั้นและไม่ต่อเนื่อง ในทางตรงกันข้ามอุตสาหกรรมการผลิตไหมหม่อนมักใช้วิธีการต้มรังไหมหรืออบรังไหมเพื่อฆ่าตัวดักแด้ก่อนที่มันจะฟักออกมาเป็นตัวเต็มวัย วิธีนี้ช่วยรักษาความสมบูรณ์ของรังไหม ทำให้สามารถสาวเส้นไหมได้ต่อเนื่องเป็นเส้นเดียวตลอดทั้งรัง ซึ่งส่งผลให้ผ้าที่ทอจากไหมเลี้ยงมีความแข็งแรงและทนทานมากกว่าไหมป่า นอกจากนี้ ไหมป่ายังมีคุณสมบัติในการดูดซับสีย้อมต่ำกว่าไหมเลี้ยง ทำให้กระบวนการย้อมสีทำได้ยากขึ้น

2.2.1 โครงสร้างของเส้นใยไหม

กระบวนการสร้างเส้นใยไหมสามารถอธิบายได้โดยสังเขปดังนี้ เมื่อหนอนไหมเจริญเติบโตเต็มที่และเข้าสู่ระยะดักแด้ มันจะหลั่งของเหลวที่มีความหนืดจากต่อมพิเศษสองต่อมภายในร่างกาย ซึ่งสารละลายนี้ถูกขับออกมาผ่านท่อบริเวณศีรษะไปยังโครงสร้างที่เรียกว่าแว่นกดเส้นใย ของเหลวหนืดดังกล่าวประกอบด้วยโปรตีนหลักสองชนิด ได้แก่ ไฟโบรอิน (fibroin) ซึ่งเป็นโครงสร้างหลักของเส้นไหม และเซริซิน (sericin) เป็นกาวไหม เชื่อมเส้นใยสองเส้นให้ติดกัน

เมื่อสารละลายโปรตีนทั้งสองสัมผัสกับอากาศ จะเกิดกระบวนการแข็งตัว ทำให้เส้นใยไหมก่อตัวขึ้นอย่างต่อเนื่อง เส้นใยไหมประกอบด้วยสององค์ประกอบหลัก ได้แก่ กาวไหมและเส้นใยไหม โดยกาวไหมมีปริมาณประมาณร้อยละ 25 ของน้ำหนักไหมดิบ กาวไหมประกอบด้วยสิ่งเจือปน เช่น ขี้ผึ้ง ไขมัน และเม็ดสีพิกเมนต์ มีลักษณะเป็นสารสีเหลือง แข็งตัว และไม่ยืดหยุ่น ทำหน้าที่ปกป้องเส้นใยไฟโบรอินและลดความมันเงาของเส้นใย นอกจากนี้ เซริซินยังจัดเป็นสารที่มีโครงสร้างไม่เป็นระเบียบ (amorphous) [7] และสามารถละลายในน้ำสบู่ร้อนได้ โดยพบว่าปริมาณของกาวไหมจะมีมากบริเวณเปลือกรังไหมด้านนอก และลดลงเมื่อเข้าสู่ชั้นใน ในขณะที่เส้นใยไหมหรือไฟโบรอินซึ่งเป็นโครงสร้างหลักของเส้นไหม มีน้ำหนักปริมาณประมาณร้อยละ 78 ของไหมดิบ เส้นใยนี้จัดเป็นโปรตีนที่ไม่ละลายน้ำ มีโครงสร้างที่เป็นระเบียบและมีการจัดเรียงตัวที่ดี ส่งผลให้เส้นไหมมีคุณสมบัติด้านความแข็งแรง ความเงางาม และความทนทานสูง

โครงสร้างของเส้นไหมสามารถจำแนกได้เป็นสามรูปแบบหลัก ได้แก่

2.2.1.1 แผ่นบีต้า (β-sheet)

2.2.1.2 เกลียวอัลฟ่า (α-helical) ซึ่งพบในบริเวณที่เป็นผลึก (crystalline) มีหน้าที่หลักในการเสริมความแข็งแรงและความยืดหยุ่นของเส้นไหม

2.2.1.3 เกลียวสุ่ม (random coil) อยู่ในบริเวณอสัณฐาน ซึ่งมีบทบาทต่อคุณสมบัติทางกายภาพโดยรวมของเส้นใยด้วยโครงสร้างผลึกที่มีความเป็นระเบียบและโครงสร้างอสัณฐานที่ให้ความยืดหยุ่น เส้นไหมไฟโบรอินจึงมีสมบัติทางกลโดดเด่นและมีค่าสูงเมื่อเทียบกับวัสดุประเภทอื่น ๆ

2.2.2 คุณสมบัติทั่วไปของผ้าไหม

ผ้าไหมเป็นสิ่งทอที่มีคุณสมบัติเด่นหลายประการ โดยมีเนื้อผ้าที่มันเงาและให้ความสวยงามอย่างโดดเด่น ทั้งยังมีความเหนียวและทนทานสูง ทำให้สวมใส่สบายและปรับตัวตามสภาพอากาศ นอกจากนี้ ยังย้อมสีได้ดี สีติดทน และสามารถพิมพ์ลวดลายได้ ขณะสวมใส่จะเกิดเสียงเสียดสีระหว่างเส้นไหม ซึ่งเรียกว่า "เสียงสายไหม" [7] ในด้านการใช้งาน ผ้าไหมมักถูกนำไปตัดเย็บเป็นเสื้อผ้าและเครื่องใช้ที่เน้นความหรูหราและความสวยงาม นิยมใช้ในโอกาสพิเศษมากกว่าการสวมใส่ในชีวิตประจำวัน เนื่องจากมีราคาค่อนข้างสูงและดูแลรักษายาก โดยผ้าไหมที่ผ่านกระบวนการฟอกเพื่อนำกาวไหมออกจากเส้นใยจะมีน้ำหนักเบาขึ้น แต่จะยับง่าย จึงจำเป็นต้องผ่านกระบวนการตกแต่งเพื่อเพิ่มความทนทานต่อการยับ อย่างไรก็ตาม ผ้าไหมมีข้อจำกัดบางประการ ได้แก่ ความไวต่อการเสื่อมสภาพเมื่อซักรีดบ่อยครั้ง ความไม่ทนต่อสารซักฟอกที่มีส่วนผสมของด่างเข้มข้น และการเสื่อมสภาพจากการสัมผัสแสงแดดโดยตรง ดังนั้น การทำความสะอาดและดูแลผ้าไหมจึงต้องใช้ความระมัดระวังมากกว่าผ้าประเภทอื่น ๆ เพื่อคงสภาพและยืดอายุการใช้งานของผ้าไหมให้นานที่สุด

2.2.2.1 คุณสมบัติทางกายภาพของผ้าไหม [7]

1) ความยาว ใยไหมมีความยาวตั้งแต่ 400-1,400 เมตร ขึ้นอยู่กับชนิดและสภาวะแวดล้อมในการเลี้ยงไหม

2) สีของใยไหม ใยไหมธรรมชาติมีสีตั้งแต่เหลืองจนถึงขาว โดยสีของเส้นไหมอาจได้รับอิทธิพลจากชนิดของไหมและอาหารที่ตัวไหมบริโภค

3) ความเงามัน ใยไหมมีความเงามันตามธรรมชาติ โดยเฉพาะเมื่อผ่านกระบวนการลอกกาวไหม (sericin) ออกแล้ว ทำให้เกิดความเงางามมากขึ้น

4) ความต้านแรงดึง ใยไหมมีความสามารถในการต้านแรงดึงสูงเปรียบเทียบกับลวดทองแดงขนาดเดียวกันแล้ว ใยไหมมีความเหนียวมากกว่า โดยค่าความเหนียวของใยไหมอยู่ระหว่าง 2.4-5.1 กรัมต่อดีเนียร์ในสภาวะแห้ง และลดลงเหลือประมาณร้อยละ 80-85 เมื่อเปียก

5) ความแข็งแรง ใยไหมถือเป็นหนึ่งในเส้นใยธรรมชาติที่มีความแข็งแรงสูง โดยผิวของเส้นใยมีความเรียบและมัน ซึ่งช่วยลดแรงเสียดทานและเพิ่มประสิทธิภาพในการป้องกันการ

ขัดถู ทำให้สามารถออกแบบเนื้อผ้าให้มีความบางเบาควบคู่กับความทนทานได้อย่างดีเยี่ยม สำหรับค่าความทนต่อแรงดึงจนถึงจุดขาดในสภาวะแห้งอยู่ระหว่าง 3.5–5.0 กรัมต่อดีเนียร์ เมื่ออยู่ในสภาวะเปียกค่าความทนแรงดึงจะลดลงประมาณ ร้อยละ 15–25 ซึ่งเป็นลักษณะทั่วไปของเส้นใยโปรตีนธรรมชาติ

6) การยืดตัวและการคืนรอยยับ ใยไหมมีความยืดหยุ่นปานกลาง โดยสามารถยืดตัวได้ร้อยละ 10-25 ในสภาวะแห้ง และสูงสุดร้อยละ 33-35 เมื่อเปียก หากมีการยืดตัวไม่มากนัก ใยไหมสามารถคืนตัวได้อย่างรวดเร็ว อย่างไรก็ตาม ใยไหมมีความคงรูปปานกลาง รอยยับสามารถคืนตัวได้แต่ไม่หมดจดเหมือนขนสัตว์

7) ความหนาแน่น ใยไหมมีความถ่วงจำเพาะประมาณ 1.5 ซึ่งต่ำกว่าเส้นใยเซลลูโลส ส่งผลให้สามารถผลิตผ้าที่มีเนื้อบางและเบาได้ดี

8) การดูดความชื้น ใยไหมมีค่าความชื้นรวม (moisture content) ประมาณร้อยละ 11 และมีค่าความชื้นรีเกน (moisture regain) อยู่ในช่วงร้อยละ 25-35 คุณสมบัตินี้ช่วยให้ใยไหมสามารถดูดซับสีย้อมและสารตกแต่งได้ดี อย่างไรก็ตาม ใยไหมยังสามารถดูดซับสารอื่น ๆ จากของเหลว เช่น เกลือของโลหะ ดังนั้น การซักผ้าไหมด้วยน้ำที่มีสิ่งเจือปน เช่น เกลือของโลหะอาจส่งผลให้เนื้อผ้าเสื่อมสภาพเร็วขึ้น

9) ความอยู่ตัว ผ้าไหมมีคุณสมบัติในการคงรูปที่แตกต่างกันไปตามวิธีการทำความสะอาด ไม่ว่าจะเป็นการซักเปียกหรือการซักแห้ง ล้วนส่งผลต่อการยืดหรือหดตัวของเนื้อผ้า สำหรับผ้าแพรที่ทอด้วยใยไหมแท้ เมื่อผ่านการซักด้วยน้ำจะเกิดการหดตัว อย่างไรก็ตาม ขนาดของผ้าจะกลับคืนสู่สภาพเดิมได้เมื่อทำการรีดด้วยความร้อนที่เหมาะสม

10) ใยไหมทนความร้อน 135 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตาม เมื่ออุณหภูมิสูงถึง 177 องศาเซลเซียส ใยไหมจะเริ่มเปลี่ยนสีเป็นเหลืองและสลายตัวในที่สุด

2.2.2.2 คุณสมบัติทางเคมีของผ้าไหม [7]

1) กรด ผ้าไหมมีความทนทานต่อกรดทั่วไป แต่ไม่ทนกรดดินประสิว (nitric acid) ซึ่งสามารถทำให้ใยไหมเปลี่ยนเป็นสีเหลือง

2) ด่าง ใยไหมไม่ทนต่อด่างที่มีความเข้มข้นสูง

3) เกลือคลอไรด์ ใยไหมมีความไวต่อสารที่มีเกลือคลอไรด์เป็นองค์ประกอบ เช่น เหงื่อ น้ำยาดับกลิ่น และน้ำเกลือ ซึ่งอาจส่งผลให้เส้นใยไหมเสื่อมสภาพหรือถูกทำลายได้เมื่อสัมผัสเป็นเวลานาน

4) สารละลายอินทรีย์ ผ้าไหมส่วนใหญ่มักใช้วิธีซักแห้ง (dry cleaning) เนื่องจากโครงสร้างของเส้นใยและสีที่ใช้ในการย้อมอาจได้รับผลกระทบจากการซักด้วยน้ำ

5) สารซักฟอก ใยไหมมีความทนทานต่อสารซักฟอกได้ในระดับหนึ่งคล้ายกับขนสัตว์ อย่างไรก็ตาม สารซักฟอกประเภทออกซิไดส์ สามารถทำลายเส้นใยไหมได้หากใช้ในความเข้มข้นสูงหรือสัมผัสเป็นเวลานาน ภายใต้สภาวะการซักปกติ สารซักฟอกเหล่านี้มักไม่ส่งผลเสียต่อผ้าไหม

6) แสง ผ้าไหมไวต่อแสงแดด โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อถูกแสงแดดโดยตรงเป็นระยะเวลานาน ซึ่งอาจทำให้เส้นใยไหมเสื่อมสภาพและเปราะได้

7) เชื้อรา ไหมมีความทนทานต่อเชื้อราส่วนใหญ่ เชื้อราจะสามารถทำลายเส้นใยไหมได้ก็ต่อเมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีความชื้นสูงและขาดการดูแลที่เหมาะสม

8) แมลง ผ้าไหมที่สะอาดและได้รับการเก็บรักษาอย่างเหมาะสมมักไม่เป็นที่อยู่อาศัยของแมลงและเชื้อรา อย่างไรก็ตาม หากไหมสัมผัสกับสารอินทรีย์หรือสิ่งสกปรก อาจเกิดปัญหาจากแมลงบางชนิด เช่น มอดเสื้อผ้า ได้

2.2.3 ประโยชน์ที่ได้จากไหม

ไหมเป็นแมลงที่มีความสำคัญในเชิงเศรษฐกิจและอุตสาหกรรม เนื่องจากผลิตภัณฑ์จากไหมสามารถสร้างมูลค่าอย่างมหาศาลในทางเศรษฐกิจของประเทศ มนุษย์นำเส้นใยไหมมาใช้ประโยชน์ในหลายด้าน โดยสามารถจำแนกการใช้ประโยชน์ของไหมออกเป็น 4 ด้านหลัก ดังนี้ [8]

2.2.3.1 อุตสาหกรรมสิ่งทอ เส้นใยไหมเป็นเส้นใยธรรมชาติที่มีคุณสมบัติดูดซับความร้อน เหนียว ทนทาน ระบายอากาศได้ดี แต่เส้นใยไหมมีต้นทุนการผลิตที่สูง จึงมีการนำเส้นใยสังเคราะห์ซึ่งมีคุณสมบัติยืดหยุ่นและมีราคาถูกกว่ามาทดแทนหรือผสมกับเส้นใยไหม เพื่อพัฒนาเส้นใยที่มีคุณภาพสูงขึ้น

2.2.3.2 อุตสาหกรรมเครื่องสำอาง เส้นใยไหมประกอบด้วยโปรตีนไฟโบรอิน (fibroin) ซึ่งมีคุณสมบัติในการป้องกันอันตรายจากรังสีอัลตราไวโอเลต (UV) ด้วยเหตุนี้ จึงมีการนำเส้นใยไหมมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางหลากหลายชนิด เช่น ครีมรองพื้น และผลิตภัณฑ์บำรุงผิว

2.2.3.3 การแพทย์ เส้นใยไหมถูกนำมาใช้ในทางการแพทย์เป็นวัสดุเย็บแผลผ่าตัด เนื่องจากมีความเหนียว ทนทาน และสามารถเข้ากับเนื้อเยื่อของมนุษย์ได้ดี นอกจากนี้ ยังมีการวิจัยและพัฒนาเพื่อใช้ไหมในการผลิตวัสดุทางการแพทย์อื่น ๆ เช่น ผิวหนังเทียม และคอนแทคเลนส์

2.2.3.4 การควบคุมศัตรูพืช ในสหรัฐอเมริกา มีการสกัดสารจากเชื้อ bacillus thuringiensis ซึ่งพบในหนอนไหมมาใช้เป็นสารกำจัดแมลงชนิดชีวภาพ (microbial insecticide) โดยสามารถทำลายแมลงศัตรูพืชบางชนิดได้ เช่น ด้วงหนวดยาว นอกจากนี้ ยังมีการใช้ฮอร์โมนบางชนิดที่ได้จากหนอนไหมเพื่อควบคุมการเจริญเติบโตของแมลง อีกทั้งหนอนไหมยังสามารถนำมาใช้เป็นอาหารของไส้เดือนฝอยที่ช่วยในการขยายพันธุ์เพื่อใช้กำจัดแมลงศัตรูพืช

2.3 สารมอร์แดนท์ (mordanting agent)

สารมอร์แดนท์ (mordanting Agent) มีความสำคัญในการยึดเกาะของสีย้อมธรรมชาติกับเส้นใย เนื่องจากสีธรรมชาติสามารถติดเส้นใยและละลายในน้ำได้ การติดเส้นใยได้ด้วยตนเอง (substantivity) ซึ่งแม้ว่าจะทำให้ง่ายต่อการย้อม แต่สีที่ย้อมมักจะหลุดลอกง่ายและไม่ค่อยมีความคงทน ดังนั้นการใช้สารมอร์แดนท์ จึงช่วยป้องกันการตกสีและลดการซีดจางของสีที่ย้อม สารมอร์แดนท์ส่วนใหญ่มีราคาย่อมเยา หาได้ง่ายในท้องตลาด เก็บรักษาได้นาน และไม่เกิดผลกระทบต่อคุณสมบัติทางกายภาพของเส้นใย ทั้งนี้ ปริมาณและระยะเวลาในการใช้ต้องเหมาะสม เพราะหากกระบวนการย้อมไม่สมบูรณ์ อาจทำให้สีที่ได้มีความไม่สม่ำเสมอ สูญเสียความสดใส และความคงทนของสีลดลง [9] นอกจากนี้ สารมอร์แดนท์แต่ละประเภทสามารถทำให้เกิดสีต่างกัน ขึ้นอยู่กับค่า pH ที่ใช้ด้วย [10] ในปัจจุบัน มีการใช้ทั้งจากแหล่งเคมีและแหล่งธรรมชาติ เพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการด้านสิ่งแวดล้อมและความปลอดภัยของผู้ใช้งาน

2.3.1 สารมอร์แดนท์เคมี

สารมอร์แดนท์เคมีคือสารประกอบทางเคมีที่มีหน้าที่เสริมสร้างประสิทธิภาพยึดเกาะระหว่างสีย้อมและวัสดุสิ่งทอ โดยทั่วไปที่พบ เช่น อะลูมิเนียม เหล็ก ดีบุก และโครเมียม ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการเพิ่มความคงทนของสีต่อปัจจัยภายนอก เช่น การซัก การสัมผัสกับแสง และการขัดถู ทั้งนี้ สารมอร์แดนท์เคมีสามารถจำแนกประเภทได้ตามชนิดของธาตุโลหะที่เป็นองค์ประกอบหลักได้ดังนี้ [11]

2.3.1.1 สารมอร์แดนท์ประเภทอะลูมิเนียม ได้จากสารส้ม (potassium aluminum sulfate) ทำหน้าที่ช่วยให้สีย้อมสามารถติดกับวัสดุสิ่งทอได้ดี นิยมใช้สำหรับการย้อมสีในโทนสีน้ำตาล สีเขียว และสีเหลือง

2.3.1.2 สารมอร์แดนท์ประเภททองแดงได้จากสารประกอบคอปเปอร์ซัลเฟต หรือที่รู้จักกันทั่วไปว่า จุนสี (copper sulfate) ซึ่งมีคุณสมบัติช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการยึดเกาะของสีย้อมกับวัสดุสิ่งทอ สีที่ได้มักมีโทนสีเข้มขึ้นพร้อมเฉดสีเขียวแทรก สีที่ย้อมด้วยทองแดงมักมีความคงทนต่อแสงต่ำ ทั้งนี้ เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดสารตกค้างในน้ำทิ้ง การใช้สารมอร์แดนท์ประเภทนี้ควรอยู่ภายใต้การควบคุมปริมาณอย่างเหมาะสม

2.3.1.3 สารมอร์แดนท์ประเภทเหล็กสกัดได้จาก เฟอรัสซัลเฟต (ferrous sulfate) ช่วยเพิ่มความคงทนของสีย้อมต่อการซักและการสัมผัสกับแสง อย่างไรก็ตาม สีที่ได้มีความหม่นลงจากเฉดสีเดิม โดยจะเปลี่ยนไปเป็นโทนสีเทาหรือเทาดำ ทั้งนี้ อาจก่อให้เกิดผลเสียต่อวัสดุสิ่งทอถ้าใช้ในปริมาณที่มากเกินควร โดยทำให้เนื้อผ้าเปราะและเสื่อมสภาพเร็วยิ่งขึ้น ดังนั้นจึงควรมีการควบคุมปริมาณการใช้อย่างเหมาะสมเพื่อรักษาคุณภาพของสิ่งทอ

2.3.1.4 สารมอร์แดนท์ประเภทโครเมียมได้จาก โปแตสเซียมไดโครเมต (potassium dichromate) ซึ่งมีคุณสมบัติในการเสริมประสิทธิภาพการยึดเกาะของสีย้อมกับวัสดุสิ่งทอให้มีความแน่นหนายิ่งขึ้น ส่งผลให้สีเข้มขึ้น สดใส และคงทนต่อการซักรวมถึงการสัมผัสกับแสงในระดับสูง

2.3.1.5 สารมอร์แดนท์ประเภทดีบุก ได้จากสแตนนัสคลอไรด์ (stannous chloride) ช่วยเพิ่มให้สีสดใส ทนต่อแสงและการซักสูง

2.3.2 สารมอร์แดนท์ธรรมชาติ

สารมอร์แดนท์ธรรมชาติ บทบาทสำคัญในการย้อมสีจากแหล่งธรรมชาติ โดยมีตัวอย่างของสารมอร์แดนท์ ได้แก่

2.3.2.1 น้ำปูนใส ได้จากการเผาเปลือกหอย นำมาละลายในน้ำและทิ้งไว้ให้ตกตะกอนก่อนนำไปใช้งาน

2.3.2.2 น้ำด่างจากขี้เถ้า ช่วยเพิ่มปฏิกิริยาระหว่างโมเลกุลของสีย้อมกับเส้นใย โดยเฉพาะเส้นใยเซลลูโลส ทำให้สีย้อมติดได้ดีขึ้น ได้จากเถ้าของพืช เช่น กล้วย หรือกากมะพร้าวที่ผ่านกระบวนการเผาให้เป็เถา นำไปแช่น้ำ และทิ้งไว้ให้ตกตะกอน แล้วกรองน้ำออกเพื่อนำไปใช้ [12]

2.3.2.3 กรดจากพืชธรรมชาติ ได้จากพืชที่มีรสเปรี้ยว เช่น มะนาว น้ำใบส้มป่อย และน้ำมะขามเปียก กรดเหล่านี้ช่วยลดประจุไฟฟ้าลบบนเส้นใย และเพิ่มประจุไฟฟ้าบวก ทำให้โมเลกุลของสีย้อมสามารถดูดซึมเข้าสู่เส้นใยได้มากขึ้น

2.3.2.4 น้ำสนิมเหล็กหรือน้ำบาดาล ได้จากแหล่งน้ำบาดาลที่มีสนิมเหล็ก หรือสามารถผลิตได้โดยการเผาเหล็กจนแดงแล้วนำไปแช่น้ำ ประมาณ 3 วันก่อนใช้ สารนี้ทำให้สีเข้มขึ้น เช่นเดียวกับเฟอรัสซัลเฟต

2.3.2.5 น้ำโคลน ได้จากการผสมดินโคลนกับน้ำในอัตราส่วน 1:1 ใช้เพื่อเพิ่มความเข้มของสีหรือลดความสดของสีให้กลายเป็นโทนเทาดำ เช่นเดียวกับน้ำสนิมเหล็ก

2.3.3 การนำสารมอร์แดนท์มาใช้ย้อมสีผ้า

เพื่อเพิ่มการยึดเกาะของสีย้อมบนเส้นใย โดยคำว่า Mordant มีรากศัพท์ว่า Mordre ซึ่งเป็นภาษาฝรั่งเศสโบราณ มีความหมายว่า "การกัด" หรือ "การกร่อน" อันสะท้อนถึงกลไกการทำงานของสารมอร์แดนท์ที่มีบทบาทในการทำให้เส้นใยเกิดรูพรุนขนาดเล็ก ส่งผลให้อนุภาคของสีย้อมกับเส้นใยยึดเกาะกันได้อย่างดี สารมอร์แดนท์ มี 3 ชนิด ได้แก่

2.3.3.1 มอร์แดนท์โลหะ (metallic mordant) เช่น chrome, alum, bluestone, coppers, tin salt และ titanium salt

2.3.3.2 มอร์แดนท์แทนนิน (tannin mordant) เช่น cutch, sumac, tannin acid

2.3.3.3 มอร์แดนท์น้ำมัน (oil mordant) เช่น turkey-red oil, gallipoli oil, fatty acid

การย้อมมอร์แดนท์มี 3 ขั้นตอนคือ

ขั้นตอนที่ 1 อนุภาคของสีย้อมซึมเข้าสู่ภายในโครงสร้างของเส้นใย

ขั้นตอนที่ 2 สารมอร์แดนท์ถูกดูดซึมเข้าสู่เส้นใย

ขั้นตอนที่ 3 สีย้อมและสารมอร์แดนท์เกิดปฏิกิริยาภายในเส้นใย ก่อให้เกิดสารประกอบสีชนิดใหม่ที่มีความเสถียรสูง ซึ่งอาจเกิดขึ้นภายในน้ำย้อมหรือในเส้นใยโดยตรง สารประกอบนี้เรียกว่า (lake) หรือสารละอองสี ซึ่งจะซึมผ่านช่องว่างของเส้นใยและยึดเกาะอย่างมั่นคงภายในโครงสร้างเส้นใย

นอกจากการใช้สารมอร์แดนท์แล้ว อาจมีสารช่วยตรึงสี (*fixing agents*) เพื่อเสริมความคงทนของสีที่ย้อม ตัวอย่างสารประเภทนี้ ได้แก่ แทนนินหรือกรดแทนนิก กรดแลคติก และกรดอะซิติก ซึ่งทำหน้าที่ป้องกันการซีดจางของสี

กระบวนการย้อมมอร์แดนท์มีด้วยกัน 3 วิธีดังนี้ [13]

1) การย้อมด้วยวิธีมอร์แดนท์ก่อนการย้อมสีเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย โดยมีขั้นตอนดังนี้

1.1) การเตรียมวัสดุสำหรับย้อม นำวัสดุที่ต้องการย้อมซึ่งผ่านการทำความสะอาดเรียบร้อยแล้วไปแช่ในภาชนะที่มีสารละลายมอร์แดนท์

1.2) กระบวนการแช่ในสารมอร์แดนท์ ทำให้สารละลายร้อนเวลา 15 นาที จากนั้นแช่วัสดุต่อในสารละลายเดิมอีกประมาณ 15-30 นาที เพื่อให้สารมอร์แดนท์ซึมเข้าสู่เส้นใยได้อย่างทั่วถึง

1.3) กระบวนการย้อมสี นำวัสดุออกจากสารมอร์แดนท์แล้วไปย้อมสีต่อเนื่องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

1.4) การหมักและทำให้แห้ง หลังการย้อมเสร็จสิ้น ให้นำวัสดุมาหมักทิ้งไว้เป็นเวลา 1 คืน เพื่อเสริมความคงทนของสี จากนั้นนำไปตากให้แห้ง

1.5) การล้างทำความสะอาด ล้างวัสดุด้วยน้ำสะอาดเพื่อล้างสารตกค้างออก แล้วตากให้แห้ง

2) กระบวนการย้อมด้วยมอร์แดนท์พร้อมกับการย้อมสี (simultaneous mordanting หรือ meta-mordanting) เป็นวิธีที่ผสมสารละลายมอร์แดนท์ลงในกระบวนการย้อมโดยตรง ซึ่งดำเนินการภายใต้อุณหภูมิเดียวกันกับการย้อมสี มีรูปแบบการเติมมอร์แดนท์ที่หลากหลาย ได้แก่ การเติมลงในน้ำย้อมก่อนเริ่มกระบวนการ การเติมหลังจากย้อมไปได้ระยะหนึ่ง การเติมเป็นช่วง ๆ ระหว่างการย้อม หรือการเติมใกล้สิ้นสุดกระบวนการย้อม

ข้อดีของวิธีนี้คือสามารถลดขั้นตอนในกระบวนการย้อมลง ส่งผลให้ประหยัดเวลาและทรัพยากร อย่างไรก็ตาม การย้อมด้วยวิธีนี้สีมักมีความคงทนต่ำกว่าวิธีการย้อมแบบแช่สารมอร์แดนท์ก่อนการย้อม (pre-mordanting) หลังจากกระบวนการย้อมเสร็จสิ้น วัสดุที่ย้อมอาจถูกแช่ทิ้งไว้ในน้ำย้อมจนเย็นลง หรือถูกนำออกจากน้ำย้อมทันที ทั้งนี้ขั้นตอนการล้างทำความสะอาดจะใช้น้ำที่มีอุณหภูมิลดลงตามลำดับ หรือใช้น้ำสบู่อ่อน ๆ จนกระทั่งสีไม่ตก แล้วจึงนำไปตากให้แห้ง

ข้อเสียของวิธีนี้คือ น้ำย้อมที่ใช้แล้วมักไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ จะทำให้เกิดการสูญเสียทรัพยากรในน้ำย้อมและเป็นปัญหาต่อกระบวนการบำบัดน้ำเสียด้วย

3) การย้อมมอร์แดนท์หลังการย้อมสี (post-mordanting) ช่วยให้สีติดและสามารถเปลี่ยนเฉดสีของวัสดุที่ผ่านการย้อมแล้ว โดยมอร์แดนท์ที่นิยมใช้ ได้แก่ ดีบุก, เหล็ก, แทนนิน หรือ กรดแทนนิน ซึ่งสามารถทำได้สองวิธีหลัก ได้แก่

3.1) การย้อมแยกอิสระ นำวัสดุที่ผ่านการย้อมแล้วไปแช่ในสารละลายมอร์แดนท์ เพื่อความคงทนของสีที่เพิ่มขึ้น และในบางกรณีทำให้สีเข้มขึ้นหรือเปลี่ยนเฉดสีไปจากเดิม

3.2) การเติมมอร์แดนท์ในช่วงสุดท้ายของการย้อม จะเติมในช่วง 5-10 นาที ก่อนนำวัสดุออกจากน้ำย้อม ซึ่งเป็นวิธีที่ช่วยปรับเฉดสีโดยไม่ต้องแยกกระบวนการออกจากกัน

2.4 การย้อมสีสิ่งทอ

สีย้อม (dyestuff) คือสารให้สีแก่วัสดุต่าง ๆ โดยเฉพาะสิ่งทอ โดยทั่วไปสีย้อมส่วนใหญ่สามารถละลายในน้ำได้ และมีที่ไม่ละลายน้ำบางชนิดในขณะยังไม่เข้าสู่กระบวนการย้อมก็ตาม เมื่อเข้าสู่กระบวนการ สีย้อมจะซึมผ่านเข้าเส้นใย ทำให้ยึดเกาะกับเส้นใยได้อย่างมีประสิทธิภาพเอง ส่งผลให้วัสดุนั้นคงสีที่ย้อมไว้ได้โดยไม่หลุดลอกง่าย การจำแนกสีย้อมสามารถแบ่งออกเป็นสองแนวทางหลัก แนวทางแรกคือ การจำแนกตามโครงสร้างของสารสี และการจำแนกตามการใช้งาน

นอกจากวิธีการจำแนกข้างต้น สีย้อมยังสามารถแยกประเภทตามแหล่งที่มาออกเป็นสองกลุ่มใหญ่ ได้แก่ สีสังเคราะห์หรือสีเคมี และสีจากธรรมชาติ สีเคมีได้จากกระบวนการทางเคมี สามารถผลิตได้มาก มีความคงทนสูง และให้สีสันที่สดใสสม่ำเสมอ ส่วนสีย้อมจากธรรมชาติ เช่น พืช สัตว์ และหินหรือแร่ธาตุ มีข้อดีในด้านความปลอดภัยเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม แม้ว่าจะมีข้อจำกัดในเรื่องความคงทนและความยุ่งยากในการเตรียมสีย้อม รายละเอียดสีย้อมทั้งสองชนิดสรุปได้ดังนี้

2.4.1 สีสังเคราะห์หรือสีเคมี หมายถึง สีที่ได้จากกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ โดยนักวิทยาศาสตร์นำสารเคมีหลากหลายชนิดมาทำปฏิกิริยาทางเคมีหรือสังเคราะห์ขึ้นในห้องปฏิบัติการ สีย้อมประเภทนี้มีจุดเด่นที่เนื้อเข้มข้นสูง ทำให้สีเข้มและสดใสได้ แม้ใช้ในปริมาณเพียงเล็กน้อย ส่งผลให้สะดวกต่อการใช้ อีกทั้งบางชนิดยังมีการเติมสารป้องกันการตกสีเพื่อเพิ่มความคงทนของสี แต่ก็มีผลเสีย

กระทบต่อสิ่งแวดล้อม ในกระบวนการผลิตสีย้อมสังเคราะห์มักก่อให้เกิดมลพิษในระดับสูง อีกทั้งสีสังเคราะห์ส่วนใหญ่ยังต้องนำเข้า เนื่องจากไม่มีการผลิตภายในประเทศ ส่งผลให้มีต้นทุนที่แตกต่างกันตามเฉดสีและคุณภาพของสีที่เลือกใช้ ในปัจจุบันมีหลายประเทศในกลุ่มประเทศยุโรป ได้ออกกฎหมายควบคุมและห้ามการนำเข้า หรือการใช้ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการย้อมด้วยสีย้อมดังกล่าว เพื่อลดการนำไปใช้ของประชาชนที่ส่งผลต่อสุขภาพและปกป้องสิ่งแวดล้อมจากมลพิษที่อาจเกิดขึ้นจากสีย้อมสังเคราะห์

ในประเทศไทย ยังคงพบการใช้สีเคมีอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมขนาดเล็กและในครัวเรือน ปัจจัยสำคัญที่ทำให้สีย้อมเคมียังคงเป็นที่นิยมคือ ต้นทุนที่ต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับทางเลือกอื่น อีกทั้งยังไม่มีข้อบังคับหรือการออกกฎหมายที่ชัดเจนในการควบคุมการใช้สีเคมี การขาดความเข้าใจเกี่ยวกับการใช้สีย้อมเคมีในกระบวนการผลิต ยิ่งทำให้เกิดการใช้อย่างไม่เหมาะสม โดยปราศจากมาตรการจัดการที่มีประสิทธิภาพ ย่อมเสี่ยงต่อผลกระทบทั้งในด้านสิ่งแวดล้อม สุขภาพของผู้ใช้ และที่สำคัญคือ อาจส่งผลเสียโดยตรงต่อธุรกิจสิ่งทอพื้นบ้าน ที่เป็นหนึ่งในอัตลักษณ์และมรดกทางวัฒนธรรมของประเทศ

2.4.2 สีจากธรรมชาติ หมายถึง สีที่ได้จากแหล่งกำเนิดตามธรรมชาติ โดยสีประเภทนี้เกิดขึ้นจากกระบวนการทางธรรมชาติไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม เมื่อใช้ในการย้อมผ้าสามารถย่อยสลายได้ง่าย ทั้งนี้ สีธรรมชาติและสารสลายตัวยังมีความปลอดภัยต่อผู้ใช้งาน อย่างไรก็ตาม มีข้อจำกัด คือ ปริมาณของรงควัตถุในวัตถุดิบมีน้อย ส่งผลให้การย้อมมีความเข้มของสีน้อย สีที่ย้อมแล้วซีดจางได้ง่าย โดยเฉพาะเมื่อถูกแสงแดด อีกทั้งการย้อมสีเดิมซ้ำทำได้ยาก และในกรณีที่แหล่งวัตถุดิบธรรมชาติหมดไปจะทำให้เกิดปัญหาการขาดแคลนวัสดุให้สี ตัวอย่างบันทึกของพิพิธภัณฑ์แห่งชาติที่กล่าวถึงสีที่ใช้ในการย้อมผ้า ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สีย้อมที่ได้จากวัสดุธรรมชาติ [14]

วัสดุธรรมชาติ	สีที่ปรากฏ
ขมิ้นชัน ใบสักและเปลือกไม้	สีกากี
ใบสมอป่า แก่นขนุน เปลือกเพกา	สีกากีแกมเขียวหรือเขียวแก่
ใบแค	สีเขียวอ่อน
เปลือกสมอกับใบสมอ	สีเขียวแก่
ใบสับปะรดอ่อนกับน้ำมะนาว หรือน้ำมะกรูด	สีเขียวตองอ่อน
ขมิ้น แก่นเข ลูกมะกาย แก่นขนุน	สีเหลือง
แก่นเข รากยอป่า	สีเหลืองอ่อน
แก่นยอป่า	สีแสด
ผลและใบแสด	สีไพร

ตารางที่ 2.1 สีย้อมที่ได้จากวัสดุธรรมชาติ [14] (ต่อ)

วัสดุธรรมชาติ	สีที่ปรากฏ
เปลือกสมอ	สีนวล
ผลคำแสด	สีแดงส้ม
ใบครามและใบฮ่อม	สีน้ำเงิน
สมอ มะเกลือ	สีดำ

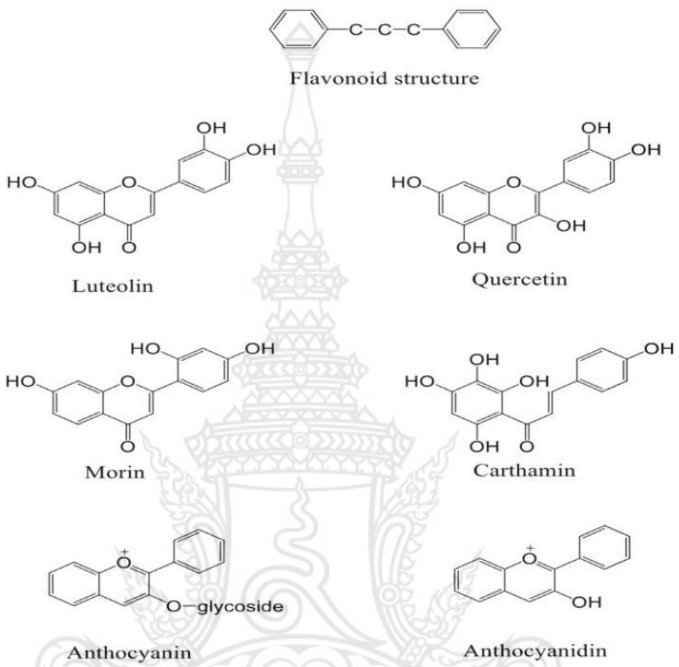
2.5 ชนิดของสารที่ให้สีในสีธรรมชาติ

สารที่ให้สีจากธรรมชาติจัดประเภทตามลักษณะโครงสร้างทางเคมี ได้ดังนี้ [14]

2.5.1 ฟลาโวนอยด์ (flavonoids) เป็นกลุ่มสารให้สีที่นิยมใช้เป็นสีย้อมตามธรรมชาติ โดยส่วนใหญ่มักให้สีเหลืองถึงส้มเหลือง มีโครงสร้างทางเคมีทั่วไปเป็น $C_6 - C_3 - C_6$ ตัวอย่างของสารในกลุ่มนี้ ได้แก่ รูติน (rutin), เควอซิทิน (quercetin), และลูทีโอลิน (luteolin) ซึ่งล้วนเป็นสารให้สีเหลือง (ภาพที่ 2.1) โครงสร้างของฟลาโวนอยด์ประกอบด้วยวงเบนซีน (C_6) สองวง และโครงสร้าง C_3 ที่เชื่อมผ่านอะตอมออกซิเจนทำให้เกิดเป็น วงเฮเทอโรไซคลิก (heterocyclic ring) หากมีหมู่คาร์บอนิลอยู่ที่วงเฮเทอโรไซคลิก จะจัดอยู่ในกลุ่ม ฟลาโวน (flavone) แต่ถ้ามีหมู่ไฮดรอกซีติดอยู่ด้วยจะจัดอยู่ในกลุ่มฟลาโวนอล (flavonol) สารเหล่านี้สามารถละลายน้ำได้ดี และมีคุณสมบัติในการดูดกลืนแสงที่ช่วงความยาวคลื่นแตกต่างกัน ทำให้มองเห็นสีหลากหลาย ยกเว้นสีเขียว สารในกลุ่มฟลาโวนอยด์ที่ให้สีม่วงน้ำเงิน และแดง มักเป็นกลุ่ม แอนโธไซยานิน (anthocyanins) ซึ่งพบมากในพืชชั้นสูง โดยแอนโธไซยานินมักอยู่ในรูปของสารประกอบไกลโคไซด์ (glycoside) เมื่อเกิดการสลายตัวในน้ำ จะได้โมเลกุลของน้ำตาล และส่วนที่ไม่ใช่น้ำตาลเรียกว่า แอนโธไซยานิดิน (anthocyanidin) โดยปกติแอนโธไซยานินมักอยู่ในรูปของไกลโคไซด์ ซึ่งน้ำตาลจะมาเกาะที่ตำแหน่ง C_3 หรือทั้งที่ C_3 และ C_5 ในลักษณะ 3,5-diglucosides ซึ่งไม่พบในฟลาโวนอยด์ชนิดอื่น สีแดงในดอกไม้บางชนิดไม่ได้เกิดจากแอนโธไซยานิน แต่เกิดจาก เบตาไซยานิน (betacyanins) เช่น สีแดงของดอกเฟื่องฟ้า บานเย็น และบีทรูท ซึ่งเป็นพืชในวงศ์ nyctaginaceae, amaranthaceae และ centrospermae แอนโธไซยานินมีคุณสมบัติเป็น อินดิเคเตอร์ (Indicator) โดยสีที่เกิดขึ้นจะเปลี่ยนแปลงตามค่า pH ของสารละลาย ในสารละลายที่เป็นกรด จะให้สีแดงถึงส้ม ในสารละลายที่เป็นกลางจะอยู่ในรูปของ pseudobase ซึ่งไม่มีสี และในสารละลายที่เป็นด่างจะอยู่ในรูปของ anhydrobase ซึ่งให้สีม่วงหรือน้ำเงิน

การเปลี่ยนแปลงสีเหล่านี้สามารถเกิดขึ้นได้ตามสภาพแวดล้อม แต่หากค่า pH สูงมาก แอนโธไซยานินจะถูกออกซิไดซ์โดยออกซิเจนในอากาศและเสื่อมสภาพได้ง่าย ทำให้สารละลายมักถูกปรับให้อยู่ในสภาวะกรด แอนโธไซยานินแต่ละชนิดมีโครงสร้างแตกต่างกันที่จำนวนและตำแหน่งของหมู่

ไฮดรอกซิล (-OH) บนวงแหวน ส่งผลให้สีที่ปรากฏแตกต่างกันไป นอกจากนี้แอนโธไซยานินยังสามารถถูกเมททิลเลชัน (methylation) ที่ตำแหน่ง 3' และ 5' ซึ่งเพิ่มความแดงของสี ในขณะที่การเติมหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) จะเป็นสีน้ำเงินมากยิ่งขึ้น ขณะที่สารกลุ่มฟลาโวนอยด์ เช่น ฟลาโวนและฟลาโวนอล มักให้สีเหลือง พบได้ในพืชบางชนิด และเป็นองค์ประกอบของสีในกลีบดอกไม้ต่าง ๆ

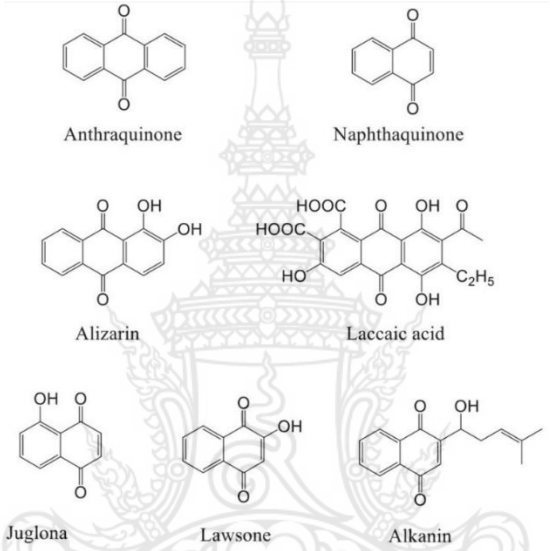


ภาพที่ 2.1 โครงสร้างของสารให้สีกลุ่มฟลาโวนอยด์บางชนิด [14]

2.5.2 คาโรตินอยด์ (carotenoids) เป็นสารประกอบในกลุ่ม เทอร์พีนอยด์ (terpenoids) ซึ่งมีโครงสร้างพื้นฐานมาจากหน่วยไอโซเพนเทน (isopentane unit, C_3) สารในกลุ่มนี้สามารถพบได้ในธรรมชาติและมักให้สีเหลือง ส้ม และแดง คาโรตินอยด์มีโครงสร้างที่ประกอบด้วยพันธะคู่สลับกับพันธะเดี่ยวจำนวนมาก ซึ่งทำให้สารเหล่านี้สามารถดูดซับแสงและแสดงสีที่มองเห็นได้ บิกซินมีคุณสมบัติคงตัวต่อแสง ปฏิกิริยาออกซิเดชัน กรด ด่าง และเชื้อจุลินทรีย์ ทำให้สามารถนำมาใช้เป็นสีผสมอาหารได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกหนึ่ง คาโรตินอยด์ที่สำคัญคือ เบต้า-แคโรทีน (β-carotene) ซึ่งเป็นสารประกอบตัวแรกที่ถูกสังเคราะห์ในระดับอุตสาหกรรม เนื่องจากมีคุณค่าทางอาหารสูง เมื่อเข้าสู่ร่างกาย เอนไซม์ในตับจะเปลี่ยน เบต้า-แคโรทีนให้กลายเป็นวิตามินเอ อย่างไรก็ตาม เบต้า-แคโรทีนเป็นสารที่ไม่ละลายน้ำ ไม่ละลายในเอทานอลและกลีเซอรีน และละลายได้น้อยในตัวทำละลายอินทรีย์

นอกจากนี้ยังไม่คงตัวต่อด่าง ออกซิเจน แสง และอุณหภูมิสูง หากอยู่ในอุณหภูมิประมาณ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลานานกว่า 6 สัปดาห์ เบต้า-แคโรทีนจะถูกทำลาย

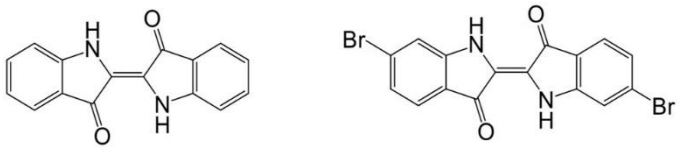
2.5.3 แอนทราควิโนน (anthraquinones) และแนพทราควิโนน (naphthoquinones) เป็นกลุ่มสารประกอบที่ให้สีแดง (ภาพที่ 2.2) ในกลุ่มแอนทราควิโนน สารที่นิยมนำมาใช้ในการย้อมสี ได้แก่ อะลิซาริน (alizarin) ซึ่งสกัดได้จากรากของพืชในสกุล Rubia (เช่น ต้นเข็มหรือ Madder) นอกจากนี้ ยังมีกดแลคเคอิก (laccaic acid) ซึ่งได้จากครั่ง สำหรับสารในกลุ่มแนพทราควิโนน สามารถพบได้ในเปลือกของมันและช่อดอกที่ให้สีตั้งแต่เขียวถึงน้ำตาล



ภาพที่ 2.2 โครงสร้างของสารให้สีกลุ่มแอนทราควิโนนและแนพทราควิโนน [14]

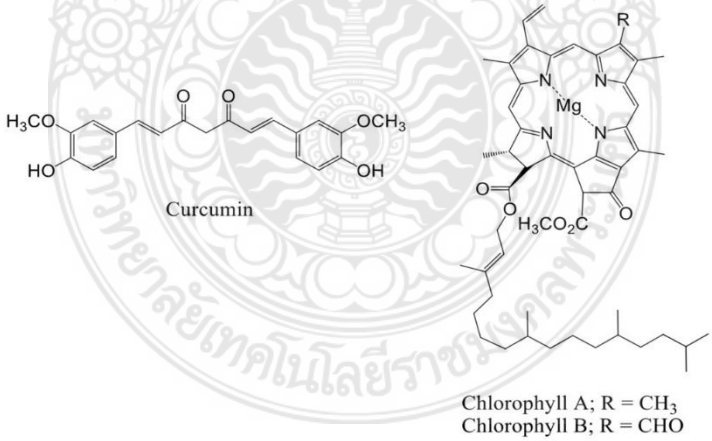
2.5.4 อัลคาลอยด์ (alkaloids) เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่พบในพืชชั้นสูงเป็นหลัก และพบได้บ้างใน พืชชั้นต่ำ สัตว์ และจุลินทรีย์ มีบทบาทสำคัญทั้งในทางยาและพิษ โดยปัจจุบันมีการค้นพบ 5,000 ชนิด คุณสมบัติสำคัญของอัลคาลอยด์คือ มีไนโตรเจน (N) ในโครงสร้าง ซึ่งอาจอยู่ในวงเฮเทอโรไซคลิก (heterocyclic ring) หรือในสายโซ่ข้าง (side chain) ทำให้อัลคาลอยด์มีคุณสมบัติเป็นด่าง โดยระดับความเป็นด่างของอัลคาลอยด์แต่ละชนิดขึ้นอยู่กับจำนวนอะตอมไนโตรเจน ประเภทของหมู่เอมีน (amine group) และชนิดของหมู่ฟังก์ชันอื่น ๆ ที่อยู่ในโมเลกุล

สารกลุ่มอัลคาลอยด์บางชนิดสามารถนำมาใช้เป็น สีย้อมธรรมชาติ ได้ เช่น indigo – ได้จากพืชตระกูลคราม เช่น ต้นคราม (indigofera tinctoria) และ ฮ่อม (strobilanthes cusia) ให้สีน้ำเงิน tyrian purple เป็นสีที่สกัดจากหอยสังข์หนาม (murex brandaris) ซึ่งพบในแถบทะเลเมดิเตอร์เรเนียน ให้สี ม่วงแดง (ภาพที่ 2.3)



ภาพที่ 2.3 โครงสร้างของสารให้สีกลุ่มอัลคาลอยด์บางชนิด [14]

2.5.5 สารให้สีกลุ่มผสม มีโครงสร้างต่างจาก 4 กลุ่มข้นต้น สารเหล่านี้ใช้เป็นสีย้อมลีผสมอาหาร ได้แก่ curcumin จากขมิ้น เป็นผลึกสีเหลืองส้มไม่ละลายในน้ำและอีเทอร์ แต่ละลายในกรดอะซิติกเข้มข้นและเอทานอล ต่อแสงและไม่คงตัวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดและด่าง chlorophyll เป็นสารประกอบประเภท tetrapyrrole ที่มีแมกนีเซียมในโครงสร้างพบในพืชและให้สารสีเขียว สามารถดูดกลืนพลังงานแสงอาทิตย์มาสังเคราะห์แสงโดยใช้น้ำและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศมาผลิตคาร์โบไฮเดรตได้สารคลอโรฟิลล์ 2 ชนิด คือ คลอโรฟิลล์เอ และคลอโรฟิลล์บี (ภาพที่ 2.4)

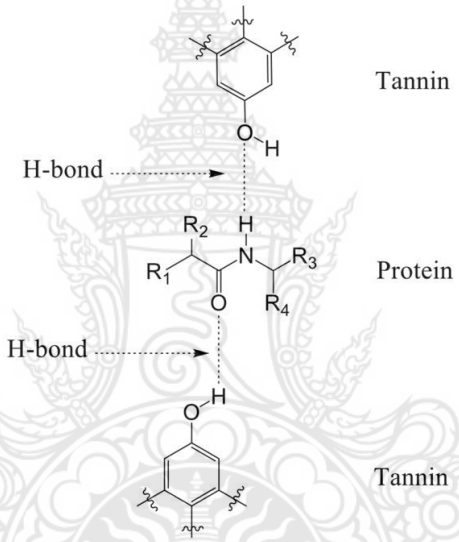


ภาพที่ 2.4 โครงสร้างของสารให้สี curcumin และ chlorophylls [14]

2.5.6 แทนนิน (tannin) เป็นสารประกอบธรรมชาติที่มีบทบาทสำคัญในการย้อมสีจากพืช โดยเฉพาะการย้อมฝ้าย ซึ่งเป็นเส้นใยที่ย้อมติดสีได้ยาก แทนนินช่วยทำให้สีติดแน่นขึ้นและเพิ่มความ

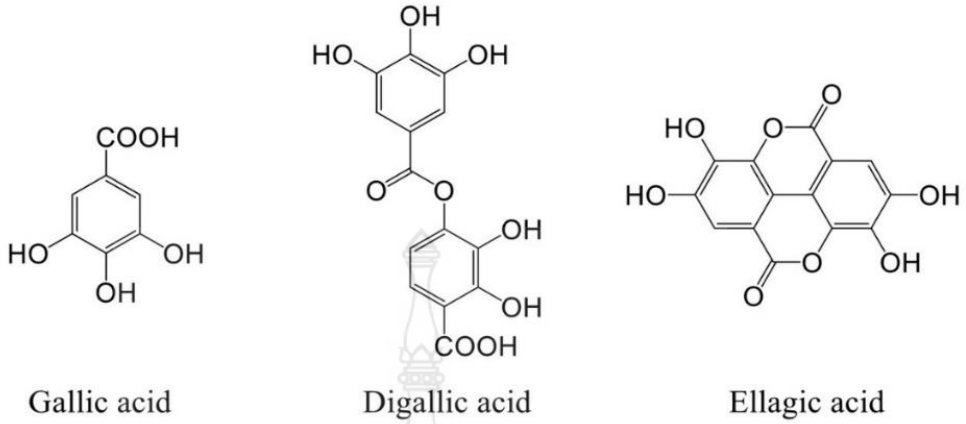
คงทนของสีที่ได้จากการย้อม จึงเป็นสารที่ถูกนำมาใช้เป็นสารช่วยติดสี (mordant) ในกระบวนการย้อมสีธรรมชาติมาอย่างยาวนาน แทนนินกลุ่มพอลิฟีนอล (polyphenol) พบได้ในพืชเกือบทุกชนิด มีน้ำหนักโมเลกุลระหว่าง 500-3,000 โดยมีหมู่ฟีนอลอิสระที่สามารถทำปฏิกิริยากับโปรตีน (ภาพที่ 2.5) และไบโอพอลิเมอร์ เช่น เซลลูโลส ได้อย่างลงตัว โครงสร้างของแทนนินมีความซับซ้อนและพบในรูปไกลโคไซด์ (glycoside) ซึ่งทำให้สามารถละลายในน้ำ ด่างอ่อน แอลกอฮอล์ และอะซีโตนได้ดี

นอกจากการช่วยติดสีแล้ว แทนนินยังสามารถทำปฏิกิริยากับเกลือของโลหะ เช่น เฟอริกคลอไรด์ (ferric chloride, $FeCl_3$) ซึ่งสามารถใช้เป็นตัวบอกชนิดของแทนนินได้ หากเป็นแทนนินชนิดสลายตัวได้ (hydrolyzable tannins) จะให้ตะกอนสีน้ำเงิน-ดำ แต่หากเป็นแทนนินชนิดรวมตัวแน่น (condensed tannins) จะให้ตะกอนสีน้ำตาล-เขียว



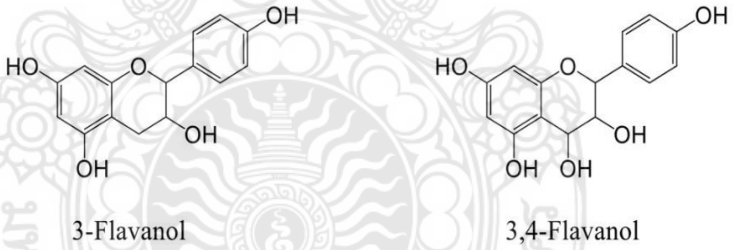
ภาพที่ 2.5 การเชื่อมโยงระหว่างโปรตีนกับแทนนินโดยใช้พันธะไฮโดรเจน (H-bonding) [14]

แทนนินสามารถแบ่งตามโครงสร้างทางเคมีได้ 2 ประเภท คือ hydrolysable tannin เป็นกลุ่มสารประกอบ polyester เกิดจาก polyphenol กับน้ำตาลกลูโคส ซึ่งแทนนิน ประเภทนี้สามารถถูกเอนไซม์และกรดไฮโดรไลซ์ออกเป็นโมเลกุลเล็กได้ gallic acid digallic acid cllagic acid เช่น gallotanin และ ellagitannin



ภาพที่ 2.6 สูตรโครงสร้างของสารเคมีที่ได้จากไฮโดรไลซ์แทนนิน [14]

tannin red คือ phlobaphene เป็นกลุ่มสารเมื่อถูกกรดหรือเอนไซม์แล้วไม่สลายตัวเป็นโมเลกุลเล็ก ๆ แต่รวมตัวเป็นพอลิเมอร์เกิดเป็นสารประกอบไม่ละลายน้ำ มีสีแดงและไม่มีรูปร่างที่แน่นอน โดยมีพอลิเมอร์ของ flavan-3-ol และ flavan 3, 4-diols เป็นองค์ประกอบ



ภาพที่ 2.7 โครงสร้างหน่วยย่อยของ tannin red [14]

2.6 การสกัดแยกสารสีจากพืช

การสกัดสารสำคัญจากพืชสามารถทำได้หลายวิธี โดยวิธีที่ใช้จะขึ้นอยู่กับชนิดของสารที่ต้องการสกัด รวมถึงคุณสมบัติของสาร เช่น ความทนทานต่ออุณหภูมิ และประเภทของตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัด ดังนั้นจึงต้องเลือกกระบวนการที่เหมาะสมเพื่อให้ได้สารสกัดที่มีประสิทธิภาพและสามารถรักษาคุณภาพของสารสีได้ดีที่สุดได้แก่

2.6.1 การแช่หมัก (merceration)

เป็นกระบวนการที่ใช้ตัวทำละลายเพื่อดึงสารออกจากพืช โดยใช้ภาชนะปิดสนิท เช่น ขวดปากกว้าง ขวดรูปชมพู่ หรือโถแก้ว เริ่มต้นด้วยการนำพืชไปแช่ในตัวทำละลายภายในภาชนะที่เตรียมไว้ ทิ้งไว้ประมาณ 7 วัน ระหว่างกระบวนการนี้ ควรมีการเขย่าหรือคนอยู่เสมอเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัด เมื่อครบกำหนดเวลา จึงค่อย ๆ เทสารสกัดออก และบีบกากพืช (marc) เพื่อดึงสารละลายออกมาให้มากที่สุด จากนั้นจึงนำสารสกัดทั้งหมดไปกรองเพื่อแยกสิ่งเจือปน ข้อดีของวิธีนี้คือ สามารถสกัดสารสำคัญได้โดยไม่ใช้ความร้อน ซึ่งช่วยป้องกันการเสื่อมสลายของสารที่ไม่ทนต่ออุณหภูมิสูง อย่างไรก็ตาม วิธี maceration มีข้อจำกัด เนื่องจากใช้ตัวทำละลายในปริมาณมาก และเพื่อให้ได้สารสกัดอย่างสมบูรณ์ มักต้องทำการสกัดซ้ำหลายครั้ง

2.6.2 การไหลซึม (percolation)

เริ่มจากการนำพืชมาหมักกับตัวทำละลายจนพองตัวเต็มที่เป็นเวลาประมาณ 1 ชั่วโมง จากนั้นค่อย ๆ บรรจุผงพืชลงใน percolator เป็นชั้น ๆ แล้วเติมตัวทำละลายให้มีระดับสูงกว่าผงพืชประมาณ 0.5 เซนติเมตร ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง ก่อนเริ่มกระบวนการสกัด ระหว่างการสกัดต้องเติมตัวทำละลายอย่างต่อเนื่องเพื่อให้ระดับของเหลวอยู่เหนือผงพืชและป้องกันไม่ให้แห้ง จากนั้นจึงเก็บรวบรวมสารสกัดที่ได้จนสมบูรณ์ และนำสารสกัดทั้งหมดที่ได้มารวมกันและผ่านการกรองเพื่อแยกสิ่งเจือปน

2.6.3 การสกัดโดยใช้ซอกห์เลต (soxhlet extractor)

กระบวนการสกัดด้วยวิธีนี้เป็นระบบที่ทำงานอย่างต่อเนื่อง โดยอาศัยตัวทำละลายที่มีจุดเดือดต่ำ เริ่มต้นด้วยการให้ความร้อนแก่ตัวทำละลายในแฟลส (flask) จนเกิดการระเหย จากนั้นไอของตัวทำละลายจะควบแน่นและหยดลงบนถุงกรองที่บรรจุผงพืช เมื่อน้ำยาที่สะสมถึงระดับที่กำหนด จะเกิดกาลักน้ำ ส่งผลให้สารสกัดไหลกลับลงสู่แฟลส กระบวนการนี้จะดำเนินต่อเนื่อง โดยที่แฟลสได้รับความร้อนจาก *heating mantle* หรือหม้ออังไอน้ำ ทำให้ตัวทำละลายระเหยขึ้นมาอีกครั้ง เมื่อไอของตัวทำละลายสัมผัสกับคอนเดนเซอร์ (condenser) ก็จะควบแน่นกลับลงมาเพื่อสกัดสารใหม่ วนซ้ำเช่นนี้จนกว่าการสกัดจะเสร็จสมบูรณ์

2.6.4 การสกัดของเหลว-ของเหลว (liquid-liquid extractor)

เป็นการสกัดสารจากสารละลายซึ่งเป็นของเหลว ลงไปในตัวทำละลายอีกชนิดหนึ่ง ซึ่งไม่ผสมกับตัวทำละลายชนิดแรก การสกัดด้วยของเหลว-ของเหลว แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ

1) Extractan lighter คือตัวทำละลายที่ใช้สกัดเบากว่าตัวทำละลายที่ใช้ละลายสาร
2) Raffinate lighter คือตัวทำละลายที่ใช้สกัดหนักกว่าตัวทำละลายที่ใช้ละลายสาร

2.7 การย้อมด้วยสีธรรมชาติ

การย้อมด้วยสีธรรมชาติแบ่งออกเป็น 3 แบบ [9] ดังต่อไปนี้

2.7.1 แบบวัต (vat dyes)

สารให้สีบางชนิดมีคุณสมบัติเฉพาะที่ทำให้ละลายน้ำได้ในบางสภาวะเท่านั้น โดยเมื่ออยู่ในรูปออกซิไดซ์ (oxidized form) จะไม่ละลายน้ำ แต่เมื่ออยู่ในรูปรีดิวซ์ (reduced form) จะสามารถละลายน้ำได้ กระบวนการย้อมสีประเภทนี้จึงต้องอาศัยการเปลี่ยนแปลงสถานะของสารเพื่อให้สามารถซึมเข้าเนื้อวัสดุได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในขั้นตอนแรก จะต้องทำให้สารอยู่ในรูปรีดิวซ์ก่อน จึงนำวัสดุลงไปแช่ในสารละลายดังกล่าว หลังจากวัสดุดูดซับสีแล้ว จึงนำขึ้นมาผึ่งให้แห้ง เมื่อสัมผัสกับอากาศ สารละลายที่ซึมอยู่ในเนื้อวัสดุจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน กลับคืนสู่รูปออกซิไดซ์ซึ่งไม่ละลายน้ำ ส่งผลให้สีย้อมติดแน่นอยู่บนวัสดุ

2.7.2 แบบโดยตรง (direct dyes หรือ substantive dyes)

การย้อมสีโดยใช้สีที่สามารถสร้างพันธะเคมีกับวัสดุโดยตรง โดยวัสดุที่นำมาย้อมแบ่งออกตามโครงสร้างเคมีเป็นสองประเภท ได้แก่ เซลลูโลส (cellulose) และโพลีเปปไทด์ (polypeptide) ซึ่งมีคุณสมบัติเฉพาะที่ส่งผลต่อการจับกับสีย้อมแตกต่างกัน สำหรับวัสดุประเภทเซลลูโลส เช่น ผ้าฝ้าย ผ้าลินิน และกระดาษ โครงสร้างของวัสดุเหล่านี้มีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) จำนวนมาก ซึ่งสามารถสร้างพันธะไฮโดรเจน (hydrogen bonds) กับโมเลกุลของสีย้อมได้โดยตรง ส่งผลให้สีย้อมซึมเข้าสู่เส้นใยและติดแน่นกับวัสดุ ในขณะที่วัสดุประเภทโพลีเปปไทด์ เช่น ผ้าไหม ขนสัตว์ และหนังสัตว์ ประกอบด้วยหมู่กรด (-COOH) และหมู่เบส (-NH2) ซึ่งสามารถเกิดปฏิกิริยากับหมู่ที่เป็นกรดหรือเบสของโมเลกุลสีย้อมได้ ส่งผลให้เกิดแรงดึงดูดไอออนิก (ionic interaction) ระหว่างวัสดุและสี และในบางกรณีสามารถเกิดเป็นสารประกอบประเภทเกลือ ทำให้สีติดแน่นกับวัสดุได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.7.3 แบบมอร์แดนท์ (mordant dyes)

การย้อมสีด้วยสารมอร์แดนท์ (mordant dyeing) เป็นเทคนิคที่ช่วยให้สีติดกับวัสดุได้ดีขึ้น ลดการตกสี และเพิ่มความคงทนต่อการซักล้าง สารมอร์แดนท์ทำหน้าที่เป็นตัวกลางที่ช่วยยึดโมเลกุลของสีย้อมเข้ากับเส้นใยของวัสดุ โดยทั่วไป สารเหล่านี้มักเป็นเกลือโลหะ ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยากับสีย้อมและเส้นใยเพื่อสร้างสารเชิงซ้อนที่แข็งแรง ส่งผลให้สีติดแน่นขึ้นและให้เฉดสีที่เข้มขึ้น สารมอร์แดนท์ที่นิยมใช้ ได้แก่

1) alum (aluminium potassium sulfate), $KAl(SO_4)_2 12H_2O$ ช่วยให้สีสดใสและติดทนนาน

2) blue Vitriol (cupper sulfate), $CuSO_4 5H_2O$ ช่วยเพิ่มความเข้มของสีและทำให้สีมีความเงางาม

3) chrom (potassium dichromate), $K_2Cr_2O_7$ ใช้ในการย้อมสีให้เข้มขึ้น โดยเฉพาะสีดำและน้ำตาล

4) tin (stannous Chloride), $SnCl_2$ ช่วยให้สีมีความสดใสขึ้น โดยเฉพาะสีแดงและส้ม

2.8 ทฤษฎีการวัดค่าสี

2.8.1 การวัดค่าของสี (L*, a*, b*) [15]

สีเป็นคุณสมบัติทางแสงที่สามารถใช้บรรยายลักษณะของวัสดุได้อย่างง่าย การที่มนุษย์มองเห็นสี เกิดจากแสงที่ตกกระทบวัตถุและสะท้อนเข้าสู่ดวงตา จากนั้นสมองจะทำหน้าที่แปลผลออกมาเป็นสีที่เรารับรู้ อย่างไรก็ตามการรับรู้สีอาจมีความคลาดเคลื่อน เนื่องจากปัจจัยต่าง ๆ เช่น ประสบการณ์และความชำนาญของผู้สังเกต เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบสีได้อย่างแม่นยำ จึงมีการใช้เครื่องวัดสี (colorimeter or spectrophotometer) ในการประเมินความแตกต่างของสีระหว่างตัวอย่างและสีมาตรฐาน ซึ่งช่วยควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์และทำให้การตัดสินใจเป็นไปอย่างมีมาตรฐาน ค่าความต่างของสีจะแสดงออกในรูปตัวเลข ซึ่งใกล้เคียงกับการรับรู้ของมนุษย์มากที่สุด โดยทั่วไปปัจจัยที่ทำให้เกิดสีสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภทหลัก [15]

2.8.1.1 แหล่งกำเนิดแสง (light source) มีผลอย่างมากในการบรรยายสีของวัตถุ ซึ่งมี 2 แหล่ง ได้แก่

1) แหล่งกำเนิดแสงตามธรรมชาติ ได้แก่ แสงจากดวงอาทิตย์หรือแสงแดดในช่วงกลางวัน (daylight) ซึ่งส่องมายังพื้นผิวโลกเป็นแสงสีขาว เมื่อนำแสงนี้ผ่านปริซึม จะเกิดการกระจายออกเป็นแถบสี 7 สีที่แตกต่างกัน แต่ละสีมีช่วงความยาวคลื่นอยู่ระหว่าง 400-780 นาโนเมตร อย่างไรก็ตาม การกระจายพลังงานของแสงแดด (spectral energy distribution) ในแต่ละพื้นที่ของประเทศอาจแตกต่างกันขึ้นอยู่กับภูมิประเทศ ภูมิอากาศ ฤดูกาล และช่วงเวลา ส่งผลให้การมองเห็นสีที่ได้รับจากแหล่งกำเนิดแสงตามธรรมชาติมีความแตกต่างกันไปตามสถานที่ เวลา และสภาพอากาศ

2) แหล่งกำเนิดแสงที่มนุษย์สร้างขึ้นมีหลายประเภท เช่น หลอดไฟแบบไส้ (incandescence), หลอดไฟทังสเตน, หลอดฟลูออเรสเซนต์ และหลอดไฟซีนอนอาร์ค

2.8.1.2 วัตถุที่มอง (specimen) วัตถุที่ทึบแสง (opaque) จะให้การสะท้อนของแสงเพื่อเกิดสีแตกต่างจากวัตถุโปร่งแสง (translucent) และโปร่งใส (transparent)

2.8.1.3 ผู้สังเกตการณ์ (observer) ถือเป็นปัจจัยสำคัญในกระบวนการรับรู้สี เมื่อแสงตกกระทบวัตถุที่มีสีและสะท้อนเข้าสู่ดวงตา และส่งไปยังเรตินา ซึ่งเป็นบริเวณที่ประกอบด้วยเซลล์รับแสง 2 ประเภท ได้แก่ เซลล์รูปแท่ง (rods) ทำหน้าที่รับรู้ความแตกต่างระหว่างความสว่างและความมืด

และเซลล์รูปกรวย (cones) ทำหน้าที่แยกแยะสี แบ่งออกเป็น 3 ชนิดตามช่วงความไวต่อแสง ได้แก่ เซลล์ที่ไวต่อแสงสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน

การรับรู้สีผ่านการมองเห็นสามารถอธิบายได้ใน 3 ลักษณะหลัก ได้แก่

1) เฉดสี (hue) สีที่แสดงให้เห็น เช่น แดง เขียว หรือน้ำเงิน

2) ความสว่าง (lightness) ระดับความสว่างของสี ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณแสงที่สะท้อนจากวัตถุ

3) ความบริสุทธิ์ของสี (chroma) ความเข้ม ความสดใส และความบริสุทธิ์ของสี

2.8.2 เครื่องมือที่ใช้วัดสี

อุปกรณ์นี้เรียกว่า สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (spectrophotometer) ซึ่งสามารถวัดค่าสีของวัตถุในรูปแบบตัวเลขได้ โดยทำการวัดปริมาณการสะท้อนแสงของวัตถุและเปรียบเทียบกับมาตรฐานอ้างอิงที่แสดงเป็นกราฟการสะท้อนแสง (reflectance curve) วัตถุแต่ละสีจะมีกราฟการสะท้อนแสงที่แตกต่างกัน และเมื่อวัตถุสะท้อนแสงของสีนั้น ๆ ออกมา จะมีค่าความยาวคลื่นที่แตกต่างกัน เช่น สีน้ำเงินมีช่วงความยาวคลื่น 430-460 นาโนเมตร สีเขียวอยู่ในช่วง 500-580 นาโนเมตร และสีแดงมีช่วงความยาวคลื่น 620-780 นาโนเมตร

ภาพที่ 2.8 ระบบการวัดค่าสีแบบ CIE L*, a*, b* [15]

2.8.2.1 ระบบ CIE L*, a*, b* [15] เป็นระบบการวัดสีที่อ้างอิงจากโมเดลเชิงพื้นที่ของวงจรสี (color space) โดยสามารถกำหนดพิกัดของสีในระบบสามมิติได้ดังนี้

L* แทนค่าความสว่าง (lightness) ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 100 (ภาพที่ 2.8)

a* ค่าบวก (+) แสดงแนวโน้มไปทางสีแดง

a* ค่าลบ (-) แสดงแนวโน้มไปทางสีเขียว

b* ค่าบวก (+) แสดงแนวโน้มไปทางสีเหลือง

b* ค่าลบ (-) แสดงแนวโน้มไปทางสีน้ำเงิน

ในการวัดค่าความแตกต่างของสีเชิงตัวเลข ระบบ CIE L*, a*, b* สามารถกำหนดค่าพิกัดของสีในพื้นที่สี (color space) โดยหากสีหนึ่งมีค่าพิกัดเป็น L_1*, a_1*, b_1* และสีที่มีการเปลี่ยนเฉดสีไปมีค่าพิกัดเป็น L_2*, a_2*, b_2* ความแตกต่างของสีระหว่างสองจุดนี้สามารถคำนวณได้จากระยะห่างในพื้นที่สี (color space) ตามสมการที่กำหนด ดังสมการที่ 2.1

$$\Delta E = \sqrt{(L^*_1 - L^*_2)^2 + (a^*_1 - a^*_2)^2 + (b^*_1 - b^*_2)^2} \quad \text{..... (สมการ 2.1)}$$

โดย ΔE คือ ค่าความแตกต่างของสี

สามารถกล่าวได้ว่าการมองเห็นสีของมนุษย์และการวัดสีด้วยเครื่องมือต้องอาศัยปัจจัยหลัก 3 ประการ ได้แก่ แหล่งกำเนิดแสง วัตถุที่มีสี และกระบวนการอ่านค่าสี อย่างไรก็ตาม ในการมองเห็นสีของมนุษย์ แต่ละบุคคลอาจรับรู้สีแตกต่างกันไป ขณะที่เครื่องวัดสีสามารถให้ค่าการวัดที่เป็นมาตรฐานสากลในทางอุตสาหกรรม อีกทั้งยังสามารถตรวจจับความแตกต่างของเฉดสีที่แตกต่างกันเพียงเล็กน้อยได้ ทำให้สามารถกำหนดค่าความแตกต่างของสีได้อย่างแม่นยำในกระบวนการอุตสาหกรรม

2.8.2.2 ค่าความเข้มของสี (K/S) [15] ของวัสดุสามารถวัดได้จากค่าการสะท้อนแสง (reflectance, R) โดยมีความสัมพันธ์ดังนี้

หากวัสดุสะท้อนแสงทั้งหมด ค่า R = 1

หากวัสดุดูดกลืนแสงทั้งหมด ค่า R = 0

ความเข้มของสีสามารถแสดงในรูปของค่า K/S ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่าง K ที่แสดงถึงค่าการดูดกลืนแสง (absorption coefficient) และ S แสดงค่าการกระเจิงแสง (scattering coefficient) สามารถคำนวณได้ตามสมการที่กำหนด ดังสมการที่ 2.2

$$K/S = [(1-R)^2]/2R \quad \text{.....(สมการ2.2)}$$

ค่า K/S ของวัสดุมีความแปรผันตามความยาวคลื่นของแสงที่ถูกดูดกลืน โดยทั่วไป การวัดค่าดังกล่าวจะกระทำที่ lambda max (λmax) ซึ่งเป็นค่าความยาวคลื่นที่วัสดุสามารถดูดกลืนแสงได้สูงสุดสำหรับแต่ละสี

ค่า λmax ของแม่สีหลักที่ใช้ในการวิเคราะห์สี ได้แก่

1) สีเหลือง (Yellow) $\longrightarrow$ λmax ที่ประมาณ 420 นาโนเมตร

2) สีแดง (Red) ⟶ λmax ที่ประมาณ 520 นาโนเมตร

3) สีน้ำเงิน (Blue) ⟶ λmax ที่ประมาณ 620 นาโนเมตร

เนื่องจากค่า K/S ถูกวัดที่ความยาวคลื่นเฉพาะของแม่สีหลัก วิธีการดังกล่าวจึงถูกนำมาใช้เป็นพื้นฐานในการวิเคราะห์และทำนายองค์ประกอบของสีในเชิงปริมาณผ่านกระบวนการ tristimulus color matching ซึ่งเป็นหลักการที่ใช้ในระบบการผสมสีแบบวิทยาศาสตร์ โดยหากทราบค่า K/S ของแม่สีที่ใช้ ณ ความเข้มข้นที่กำหนด ก็สามารถคำนวณสัดส่วนของแต่ละสีเพื่อให้ได้สีเป้าหมาย (target color) ที่ต้องการได้อย่างแม่นยำ

2.9 การทดสอบความคงทนของสี

2.9.1 การทดสอบความคงทนของสีต่อการซักล้าง (colorfastness to washing) มาตรฐาน AATCC 61-2013 [16]

2.9.1.1 หลักการทดสอบความคงทนของสีต่อการซักล้างดำเนินการภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด โดยใช้ผงซักฟอก สารฟอกขาว และกระบวนการขัดถู เพื่อจำลองผลกระทบที่เกิดจากการซักล้างในสภาวะปกติเป็นจำนวน 5 รอบ โดยมีองค์ประกอบหลัก ได้แก่ อัตราส่วนของน้ำต่อเนื้อผ้า (liquor ratio) และลูกเหล็กกลมที่ใช้ในการทดสอบ

2.9.1.2 สภาวะการทดสอบ การทดสอบความคงทนของสีต่อการซักล้างดำเนินการตามมาตรฐาน AATCC 61-2013 โดยใช้อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส จำนวนลูกเหล็ก 10 ลูกระยะเวลาการทดสอบ 45 นาที

2.9.1.3 เตรียมชิ้นงานตัดขนาด 5 × 10 เซนติเมตร ผ้า multifiber No.10 ตัดขนาด 5 × 5 เซนติเมตร เย็บริมผ้าทั้ง 4 ด้านของชิ้นงานและผ้า multifiber No.10 ก่อนนำมาประกบกันเพื่อเตรียมสำหรับการทดสอบ

2.9.1.4 การเตรียมสารซักฟอก ผงซักฟอกที่ใช้เป็น AATCC Reference Detergent WOB ตามปริมาณที่กำหนดในมาตรฐาน AATCC 61-2013

2.9.1.5 การประเมินผลหลังจากการซักล้าง ชิ้นงานทดสอบถูกทำให้แห้งและประเมินโดยใช้ gray scale สำหรับการประเมินค่าการเปลี่ยนแปลงของสี ประเมินค่าการติดเปื้อนของสีบนผ้า multifiber หรือผ้าขาว โดยใช้ gray scale สำหรับการประเมินค่าการเปลี่ยนแปลงของสี

2.9.2 การทดสอบความคงทนของสีต่อน้ำ (colorfastness to water) มาตรฐาน AATCC TEST METHOD 107-2002 [16]

2.9.2.1 หลักการทดสอบความคงทนของสีต่อน้ำดำเนินการโดย นำชิ้นงานเย็บติดกับผ้า multifiber และแช่ในน้ำ ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด จากนั้นนำชิ้นงานที่แช่น้ำไปประกบระหว่าง plastic plate และทดสอบภายใต้สภาวะที่ควบคุมทั้ง ความดัน อุณหภูมิ และระยะเวลา ตามมาตรฐานที่กำหนด

2.9.2.2 การประเมินผลหลังจากการทดสอบ ชิ้นงานจะถูกนำไปประเมินโดยใช้ gray scale เพื่อดูค่าการเปลี่ยนแปลงของสี และ การติดเปื้อนของสีบนผ้า multifiber

2.9.3 การทดสอบความคงทนของสีต่อเหงื่อ (colorfastness to perspiration) มาตรฐาน AATCC TEST METHOD 15-2002 [16]

2.9.3.1 หลักการทดสอบ การทดสอบความคงทนของสีต่อเหงื่อดำเนินการโดย นำชิ้นงานทดสอบเย็บติดกับผ้าชนิดอื่น แล้วแช่ในสารละลายเหงื่อเทียม ภายใต้สภาวะที่กำหนด จากนั้นนำไปอยู่ภายใต้แรงกดดัน อุณหภูมิ และระยะเวลาที่กำหนด หลังจากการทดสอบชิ้นงานจะถูกทำให้แห้งอย่างช้า ๆ และปรับสภาวะให้เหมาะสมก่อนการประเมินผล

2.9.3.2 การประเมินผลหลังจากการทดสอบ ชิ้นงานจะถูกนำไปประเมินโดยใช้ gray scale เพื่อเทียบค่าการเปลี่ยนแปลงของสี และ การติดเปื้อนของสีบนผ้า multifiber

2.9.3.3 สภาวะการทดสอบความคงทนของสีต่อเหงื่อ ทดสอบสภาวะที่เป็นกรด ที่อุณหภูมิ 38$\pm$1 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาทดสอบ 6 ชั่วโมง

2.9.4 การทดสอบความคงทนของสีต่อการขัดถู (colorfastness to crocking) มาตรฐาน AATCC TEST METHOD 8-2007 [16]

2.9.4.1 หลักการทดสอบความคงทนของสีต่อการขัดถู นำชิ้นทดสอบมาขัดถูกับผ้าขาวแห้งและผ้าขาวเปียก (dry rubbing cloth and wet rubbing cloth) รูปแบบของตัวแกนกลางสำหรับนำผ้าขาวมาสวมใส่ (rubbing finger) จะมี 2 แบบ (สำหรับมาตรฐาน ISO 105-X12) ได้แก่ แบบผิวหน้าที่เป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าสำหรับใช้ในการขัดถูผ้าที่มีขน (pile fabric) และแบบทรงกระบอกที่ผิวหน้าเป็นรูปทรงกลมสำหรับการขัดถูวัสดุสิ่งทอทั่วๆไปที่มีสีหรือผ้าพิมพ์ที่มีลายพิมพ์ขนาดใหญ่ เมื่อเสร็จจะถูกนำไปประเมินค่าการติดเปื้อนสีด้วยเกรย์สเกล

2.9.4.2 สภาวะการทดสอบความคงทนของสีต่อการขัดถูจะทดสอบทั้ง 2 สภาวะ คือ ใช้ผ้าขาวแห้งถูกับชิ้นทดสอบ และใช้ผ้าขาวเปียกที่มีความชื้น (%pick up) ให้ได้ร้อยละ 95-100 ขัดถูกับชิ้นงานทดสอบ

2.9.5 การทดสอบความคงทนของสีต่อแสงแดดเทียม (colour fastness to artificial light: xenon arc fading lamp test) มาตรฐาน ISO 105-B02: 1994 [16]

2.9.5.1 หลักการทดสอบ การทดสอบความคงทนของสีต่อแสงเป็นการประเมินความทนทานของสีย้อมเมื่อสัมผัสกับแสงแดดเทียม โดยทำการ นำตัวอย่างทดสอบมาอาบแสง พร้อมกับผ้ามาตรฐานขนสัตว์สีน้ำเงิน ซึ่งเป็นผ้าที่ผ่านการย้อมด้วยสีที่มีระดับความคงทนต่อแสง ระดับ 1 ถึง 8

2.9.5.2 ขั้นตอนการทดสอบ ตัวอย่างทดสอบและผ้ามาตรฐานขนสัตว์สีน้ำเงินจะถูกอาบแสงภายใต้ สภาวะที่กำหนด เพื่อเปรียบเทียบการซีดจางของสี หลังจากการทดสอบ จะนำ ตัวอย่างทดสอบมาเปรียบเทียบกับผ้ามาตรฐาน โดยพิจารณาจากระดับความซีดจางของสีตามมาตรฐาน ISO กำหนดระดับความคงทนของสีต่อแสงไว้ 8 ระดับ ซึ่งแสดงถึงระดับความเสถียรของสีเมื่อต้องสัมผัสกับแสงแดด โดยมีรายละเอียดดังนี้

ระดับ 1 ต่ำมาก (very poor) ระดับ 5 ดี (good)
ระดับ 2 ต่ำ (poor) ระดับ 6 ดีมาก (very good)
ระดับ 3 พอใช้ (moderate) ระดับ 7 ดีเยี่ยม (excellent)
ระดับ 4 ดีพอใช้ (fairly good) ระดับ 8 ดีเลิศ (outstanding)

2.9.5.3 สภาวะการทดสอบความคงทนของสีต่อแสงแดดเทียม

สำหรับ การทดสอบในภูมิภาคยุโรป จะใช้ ผ้ามาตรฐานขนสัตว์สีน้ำเงิน ระดับ 1 ถึง 8 เป็นตัวเปรียบเทียบความคงทนของสีภายใต้สภาวะที่กำหนด

1) สภาวะปกติ (normal condition) กำหนดให้ความชื้นที่ผิวของตัวอย่าง (effective humidity) มีค่าปานกลางความคงทนของสีต่อแสงบนผ้าตรวจสอบความชื้น (humidity test control fabric) อยู่ในระดับ 5 และอุณหภูมิสูงสุดของ black standard เป็น 50 องศาเซลเซียส

2) สภาวะที่มีความแตกต่างจากสภาวะปกติมากๆ (extreme Condition) สำหรับการทดสอบชิ้นงานที่มีความไวในการดูดความชื้นในระดับที่แตกต่างกันให้ใช้สภาวะทดสอบดังนี้

2.1) ความชื้นที่ผิวของตัวอย่างต่ำ (low effective humidity)

- ความคงทนของสีต่อแสงของผ้าควบคุมความชื้นอยู่ในระดับ 6 ถึง 7
- อุณหภูมิสูงสุดของ black standard เป็น 60 องศาเซลเซียส

2.2) ความชื้นที่ผิวของตัวอย่างสูง (high effective humidity)

- ความคงทนของสีต่อแสงของผ้าควบคุมความชื้นอยู่ในระดับ 3
- อุณหภูมิสูงสุดของ black standard เป็น 45 องศาเซลเซียส

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

โมโตอิ มินะกาวะ [17] ศึกษาการย้อมไหมด้วยขมิ้นชัน พบว่าสีที่ได้เป็นสีเหลืองน้ำตาล น้ำตาลแกมแดงและสีดำ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับค่า pH ของการใช้สารช่วยติด โดยที่ความสามารถในการย้อมสีจะเพิ่มขึ้นเมื่อใช้อุณหภูมิ 80-90 องศาเซลเซียส และเมื่อใช้เวลาในการย้อม 60 นาที ขึ้นไป ความสามารถในการย้อมจึงจะเริ่มคงที่

นฤมล ศราธพันธุ์ [18] ศึกษาการย้อมไหมด้วยขมิ้นชันโดยใช้สารมอร์แดนท์ 4 ชนิด คือ สารส้มกรดน้ำส้ม จุนสี และเหล็ก โดยใช้ความเข้มข้นร้อยละ 2, 4, 6 และ 8 ของน้ำหนักไหม ใช้เวลาในการย้อม 30 นาที ที่อุณหภูมิ 80-85 องศาเซลเซียส พบว่า ใช้สนิมเหล็กจะได้สีเหลืองอมน้ำตาล จุนสีได้สีเหลืองอมเขียว ส่วนกรดน้ำส้ม และสารส้มได้สีเหลืองทอง ความคงทนต่อการซักพบว่า เมื่อใช้สนิมเหล็กร้อยละ 6 จุนสีร้อยละ 2 และสารส้มร้อยละ 8 ของน้ำหนักไหมเป็นสารช่วยติดมีความคงทนของสีต่อการซักสูงที่สุด การใช้จุนสีทุกระดับความเข้มข้นคงทนต่อแสงดีที่สุด

Nishida and Kobayashi [19] ทำการศึกษาคุณสมบัติความคงทนของสีธรรมชาติจากพืช หลังจากย้อมทับด้วยสารมอร์แดนท์ชนิดต่างๆ โดยใช้ผ้าไหมและผ้าฝ้ายที่ผ่านการย้อมด้วยน้ำสีจากต้นยูคอน (ukon) และต้นคาริยาสุ (kariyasu) จากนั้นจึงย้อมทับด้วยสารมอร์แดนท์ 2 ชนิด ได้แก่ เกลือของอลูมิเนียมและเกลือของเหล็ก ผลการทดลองพบว่าผ้าไหมและผ้าฝ้ายที่ย้อมด้วยต้นคาริยาสุและย้อมทับด้วยเกลือของเหล็ก มีความคงทนของสีต่อแสงสูงกว่าผ้าไหมและผ้าฝ้ายที่ย้อมด้วยต้นยูคอนและย้อมทับด้วยเกลือของเหล็ก นอกจากนี้ ผ้าไหมและผ้าฝ้ายที่ผ่านการย้อมทับด้วยเกลือของเหล็กมีความคงทนของสีต่อแสงและการซักสูงกว่าผ้าไหมและผ้าฝ้ายที่ย้อมทับด้วยเกลือของอลูมิเนียม

ดรุณี สมมุติ [20] ทำการศึกษาการย้อมสีธรรมชาติจากเปลือกประดู่บนผ้าไหมอีรี่เพื่อการป้องกันรังสียูวี พบว่าที่ อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที pH 3 อัตราส่วนวัสดุต่อน้ำย้อมที่ 1:60 มีสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการย้อม และใช้สารช่วยติดสีร่วมกับสนิมเหล็กที่มีความเข้มข้นร้อยละ 50 (เมื่อเทียบกับน้ำหนักผ้า) หลังจากการย้อมพบว่า สีเข้มขึ้นความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้ การป้องกันรังสียูวีอยู่ในระดับดีเยี่ยม อย่างไรก็ตาม การซักล้างมีความคงทนอยู่ในระดับต่ำ ส่วนความคงทนต่อเหงื่อ น้ำ และแสงอยู่ในระดับปานกลาง ขณะที่การขัดถูและการติดเปื้อนสีอยู่ในระดับปานกลางถึงดี

พัชราภรณ์ พิมพ์จันทร์ [21] ศึกษาการเพิ่มการติดสีและความคงทนของสีย้อมธรรมชาติบนเส้นใยจากกก โดยศึกษาการย้อมเส้นกกด้วยสารสกัดจากพืชสองชนิด ได้แก่ ขมิ้นและฝาง พร้อมทั้งใช้โพแทสเซียมอะลูมิเนียมซัลเฟตและการหมักโคลนจากธรรมชาติเป็นตัวช่วยยึดติดสี สารสกัดจากขมิ้นให้สีเหลือง ขณะที่ฝางให้สีแดง การวิเคราะห์เฉดสีของเส้นกกหลังย้อมด้วยเครื่อง Chroma meter Konica Minolta CR-400 พบว่า เส้นกกที่ผ่านการย้อมด้วยขมิ้นและฝางให้เฉดสีเหลืองและแดงตามลำดับ และเมื่อนำมาผ่านกระบวนการย้อมร่วมกับโพแทสเซียมอะลูมิเนียมซัลเฟตและการหมักโคลน สีที่ได้มีความ

เข้มมากขึ้น โดยค่าความสว่าง (L*) ลดลง และค่าสีแดง (a*) หรือสีเหลือง (b*) สูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับการย้อมด้วยขมิ้นหรือฝางเพียงอย่างเดียว (โดยมีค่า L*, a* และ b* เท่ากับ 60.29, 5.42 และ 36.07 สำหรับขมิ้น และ 65.04, 6.01 และ 18.41 สำหรับฝาง) สรุปได้ว่า การใช้โพแทสเซียมอะลูมิเนียมซัลเฟตและโคลนช่วยเพิ่มความเข้มและการยึดเกาะของสีย้อมธรรมชาติบนเส้นกกได้

อรนุช นาคชาติและคณะ [22] ศึกษาการพัฒนาการย้อมสีไหมด้วยเปลือกต้น เมล็ดและเปลือกหุ้มเมล็ดมะขามตามภูมิปัญญาท้องถิ่นกลุ่มชาติพันธุ์ไทย-เขมร ในจังหวัดสุรินทร์ ผลการวิจัยพบว่า 1) ได้ค้นพบภูมิปัญญาท้องถิ่นที่เคยย้อมไหมด้วยเปลือกต้นมะขามและเมล็ดมะขามจำนวน 4 ท่าน ซึ่งปัจจุบันแต่ละท่านยังคงย้อมไหมด้วยเปลือกต้นมะขามและเมล็ดมะขาม 2) ได้พัฒนาสูตรการสกัดน้ำย้อมจากเปลือกต้นมะขาม โดยใช้อัตราส่วนของเปลือกต้นมะขามเปรี้ยวสดจำนวน 2 กิโลกรัมต่อน้ำ 6 ลิตร ต้มสกัดน้ำย้อมเป็นเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที สกัดน้ำย้อมจากเมล็ดมะขามโดยใช้อัตราส่วนของเมล็ดมะขามเปรี้ยวจำนวน 1 กิโลกรัมต่อน้ำสะอาด 3 ลิตรแช่เป็นเวลา 1 คืน จากนั้นเติมน้ำสะอาดลงไปอีก 4 ลิตร นำไปต้มที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที สกัดน้ำย้อมจากเปลือกหุ้มเมล็ดมะขามโดยใช้อัตราส่วนของเมล็ดมะขามเปรี้ยวจำนวน 1 กิโลกรัม ไปคั่วที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที หรือจนกระทั่งเปลือกเมล็ดมะขามมีสีน้ำตาลเข้มหรือดำและมีกลิ่นหอม กะเทาะเอาเฉพาะส่วนเปลือกหุ้มเมล็ดด้านนอก นำไปต้มในน้ำสะอาด 7 ลิตร เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที น้ำย้อมในแต่ละสูตรจะถูกนำมาย้อมไหมโดยใช้สารช่วยติดสี ได้แก่ ใบมะขาม ใบชงโค สารส้มและหมักด้วยโคลน ทำการทดสอบคุณภาพความคงทนของสี พบว่าไหมทุกกลุ่มที่ย้อมโดยใส่สารส้มเป็นสารช่วยติดสีให้คุณภาพความคงทนของสีดีที่สุด ไหมที่ย้อมด้วยเปลือกต้นมะขามจะให้เส้นไหมสีน้ำตาลทองถึงน้ำตาลอ่อน ย้อมด้วยเมล็ดมะขามจะให้สีน้ำตาลทองถึงน้ำตาลเข้ม และย้อมด้วยเปลือกหุ้มเมล็ดมะขามจะให้สีน้ำตาลแดงถึงน้ำตาลเข้ม หากหมักด้วยโคลนจะให้เส้นไหมสีน้ำตาลเทาถึงเทาดำ นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อนำไหมที่ย้อมแล้วไปแช่น้ำด่างในขั้นตอนสุดท้าย จะทำให้ไหมมีสีที่เข้มและมีความมันวาวมากขึ้น

สิริสิน ชุมรุมและคณะ [3] งานวิจัยนี้ศึกษาความเข้มของเฉดสีและความคงทนของสีย้อมจากเมล็ดมะขามต่อการซักและการขัดถู โดยเปรียบเทียบผลก่อนและหลังการใช้สารมอร์แดนท์หลังย้อม พร้อมวัดค่าสีด้วยเครื่อง McBeth Spectrophotometer, COLOR-EYE 7000 และทดสอบตามมาตรฐาน ISO 105-C06: 2010 เพื่อดูความคงทนของสี โดยวิเคราะห์การติดเปื้อนของสีบนผ้า multifiber และตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของสีบนชิ้นทดสอบด้วย gray scale ผลการศึกษาพบว่า สีที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการใช้สารช่วยติดสีมีความคงทนต่อการซักต่ำ อย่างไรก็ตาม เมื่อใช้สารช่วยติดสี 2-3 ชนิด พบว่า จุนสีช่วยให้สีย้อมจากเมล็ดมะขามมีความเสถียรสูงกว่าสารชนิดอื่น ส่งผลให้เฉดสีไม่เปลี่ยนแปลง และความคงทนต่อการซีดจางหลังการซักอยู่ในระดับปานกลาง

บทที่ 3
วิธีดำเนินการ

การวิจัยเรื่อง สมบัติการย้อมสีและความคงทนของสีบนผ้าไหมย้อมด้วยเปลือกของฝักมะขาม มีวัตถุประสงค์เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการย้อมผ้าไหม โดยใช้สารสกัดจากเปลือกของฝักมะขาม ซึ่งมุ่งเน้นความเข้มข้นของสีย้อมที่ได้จากเปลือกของฝักมะขามต่อประสิทธิภาพในการย้อมสีผ้าไหม ตลอดจนการวิเคราะห์ความเข้มข้นของสารมอร์แดนท์ที่ใช้ในกระบวนการ เพื่อให้ได้สีที่มีคุณภาพสูงและสามารถยึดเกาะเส้นใยได้อย่างมีประสิทธิภาพ การวิจัยได้ดำเนินการทดสอบสมบัติความคงทนของสีย้อมบนผ้าไหมภายใต้สภาวะต่าง ๆ เพื่อประเมินความสามารถของสีย้อมจากเปลือกของฝักมะขามต่อการใช้งานจริง ซึ่งมีวิธีการดำเนินการดังนี้

3.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 ผ้าไหมสีขาว โครงสร้างผ้าทอลายขัด น้ำหนักผ้า 65 กรัมต่อตารางเมตร และมีความหนาของผ้า 0.15 มิลลิเมตร

3.1.2 เปลือกของฝักมะขามหวานจากจังหวัดเพชรบูรณ์

3.1.3 เครื่อง pH meter

3.1.4 ตู้อบ

3.1.5 เครื่องย้อมสีชนิดให้ความร้อนแบบอินฟาเรด (Starlet DL-6000 (Starlet-3); South Korea)

3.1.6 เครื่องชั่งสาร 4 ตำแหน่ง (Mettler Toledo))

3.1.7 เครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ (รุ่น HALO DB-20 UV-Vis Double Beam Spectrophometer)

3.1.8 เครื่องทดสอบความคงทนของสีต่อแสง (ligth fastness tester)

3.1.9 เครื่องทดสอบการขัดถู (Crockmaster:Jame H. Heal & Co., Ltd./ Halifex England)

3.1.10 เครื่องทดสอบความคงทนของสีต่อการซัก (Gyrowash)

3.1.11 เครื่องทดสอบความคงทนของสีต่อเหงื่อ (Perspiration Tester; Jame H. Heal & Co., Ltd. England)

3.1.12 เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Hunter Lab Color Quest XE, USA)) สำหรับวัดค่าของสี (L*, a*,b*) และค่าความเข้มสี (K/S)

3.1.13 ตู้เทียบสี

3.2 สารเคมี

3.2.1 สารส้ม (potassium aluminum sulfate or alum; $AlK(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$) บริษัทสตาร์ เทค เคมีคอล อินดัสเทรียล จำกัด

3.2.2 สนิมเหล็ก (ferrous sulfate; $FeSO_4 \cdot 7H_2O$) บริษัทสตาร์ เทค เคมีคอล อินดัสเทรียล จำกัด

3.2.3 จุนสี (copper sulfate; $CuSO_4.5H_2O$) บริษัท เอส.พี.เอส.แล็บ จำกัด

3.2.4 สแตนนัส คลอไรด์ (stannous chloride; $SnCl_2 \cdot 5H_2O$) บริษัท เอส.พี.เอส.แล็บ จำกัด

3.2.5 กรดอะซิติก (acetic acid; CH_3COOH) บริษัท สตาร์ เทค เคมีคอล อินดัสเทรียล จำกัด

3.2.6 โซเดียมคาร์บอเนต (sodium carbonate; Na_2CO_3) บริษัท สตาร์ เทค เคมีคอล อินดัสเทรียล จำกัด

3.2.7 สบู่เทียม (soaping agent) บริษัท สตาร์ เทค เคมีคอล อินดัสเทรียล จำกัด

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 การสกัดน้ำสีจากเปลือกของฝักมะขาม

ขั้นตอนการสกัดน้ำสีเปลือกของฝักมะขามมีดังนี้

3.3.1.1 แกะเปลือกของฝักมะขามจากฝักมะขาม

3.3.1.2 นำเปลือกของฝักมะขามมาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำปกติ นำมาตากให้แห้ง และทำการย่อยเปลือกของฝักมะขามให้มีชิ้นเล็ก

3.3.1.3 ชั่งเปลือกของฝักมะขามและตวงน้ำกลั่นเพื่อใช้ในการสกัดสีย้อม โดยใช้อัตราส่วนเปลือกของฝักมะขามต่อน้ำ เท่ากับ 1:10 (เปลือกของฝักมะขาม 1 กิโลกรัมต่อน้ำ 10 ลิตร)

3.3.1.4 ต้มสกัดสีจากเปลือกของฝักมะขามให้เดือดเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

3.3.1.5 กรองเอาเศษเปลือกของฝักมะขามโดยใช้ผ้าสกรีนเบอร์ T-150 จากนั้นนำมากรองอีกครั้งโดยใช้กระดาษกรองเบอร์ 4

3.3.2 การหาค่าการดูดกลืนคลื่นแสง (absorbance) ของสีย้อมที่สกัดได้จากเปลือกของฝักมะขาม

ขั้นตอนการหาค่าการดูดกลืนแสงของสีย้อมมีดังนี้

3.3.2.1 นำน้ำสีที่สกัดจากเปลือกของฝักมะขามและผ่านการกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 4 มาอบแห้งเพื่อทำเป็นผงโดยใช้ อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสในการอบ จนกว่าสีจะแห้งแล้วนำไปใส่โถดูดความชื้น (desiccator)

3.3.2.2 บดตะกอนสีให้เป็นผงโดยใช้โกร่งบดสาร

3.3.2.3 ทำการเตรียมสีย้อมจากสีผงเข้มข้น 0.5 กรัมต่อลิตร

3.3.2.4 นำสีย้อมที่ความเข้มข้น 0.5 กรัมต่อลิตร มาวัดค่าการดูดกลืนคลื่นแสงเพื่อที่จะหาค่าความยาวคลื่นแสงสูงสุด โดยใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

3.3.2.5 ทำการบันทึกค่าความยาวคลื่นแสงสูงสุดที่สีย้อมถูกดูดกลืนในหน่วยนาโนเมตร

3.3.3 การหาค่าความเข้มข้นของสีย้อม

ขั้นตอนหาค่าความเข้มข้นของสีย้อมมีดังนี้

3.3.3.1 นำผงสีมาทำการชั่งและละลายน้ำกลั่นให้ได้ค่าความเข้มข้นทั้งหมด 6 ความเข้มข้นดังนี้ 0.1, 0.12, 0.14, 0.16, 0.18 และ 0.2 กรัมต่อลิตร

3.3.3.2 นำสารละลายทั้ง 6 ความเข้มข้นมาวัดค่าการดูดกลืนคลื่นแสงที่ช่วงความยาวคลื่นแสงสูงสุด โดยดูผลจากการทดลองที่ 3.3.2

3.3.3.3 นำน้ำสีที่สกัดจากเปลือกของฝักมะขามที่ไม่ทราบค่าความเข้มข้นมาวัดค่าการดูดกลืนคลื่นแสงเช่นเดียวกัน โดยทำการเจือจาง 200 เท่า (น้ำสี 0.5 มิลลิลิตรต่อน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร)

3.3.3.4 นำค่าการดูดกลืนคลื่นแสงมาเทียบกับกราฟความเข้มข้นมาตรฐานหรือคำนวณจากสมการเชิงเส้นทั่วไปของกราฟความเข้มข้นมาตรฐาน คือ $Y = aX + b$

โดยที่

a คือค่าคงตัวที่แสดงความชันหรือเกรเดียนท์ของเส้นตรง

b แสดงจุดที่เส้นตรงนี้ตัดแกน Y

X เป็นค่าความเข้มข้นของสีย้อม (กรัมต่อลิตร)

Y แสดงถึงค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) ของสีย้อม

3.3.4 การเตรียมผ้าไหม

3.3.4.1 ทำความสะอาดผ้าไหมโดยต้มในน้ำสบู่เข้มข้น 2 กรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เวลา 20 นาที แล้วล้างด้วยน้ำสะอาดและนำไปอบให้แห้ง

3.3.4.2 ตัดผ้าไหมให้มีขนาด 15x10 เซนติเมตร และชั่งน้ำหนักให้ได้ประมาณ 1 กรัม

3.3.5 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการย้อมสี

3.3.5.1 การศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการย้อมสีผ้าไหมด้วยเปลือกของฝักมะขาม

ขั้นตอนการศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการย้อมสีมีดังนี้

1) เตรียมสีย้อมความเข้มข้น 50% o.w.f.

2) นำผ้าย้อมสีที่อุณหภูมิแตกต่างกันดังนี้ 30, 40, 50 ,60, 70, 80,และ 90 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาในการย้อมคงที่ ที่เวลา 60 นาที (รายละเอียดดังตารางที่ 3.1) อัตราส่วนวัสดุต่อน้ำย้อมเป็น 1:100 ย้อมด้วยเครื่องย้อมสีชนิดให้ความร้อนแบบอินฟาเรด

3) นำผ้าไหมที่ผ่านการย้อมสีมาทำการซักล้างเพื่อกำจัดสีส่วนเกินด้วยน้ำสบู่เทียม 2 กรัมต่อลิตรที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาทีแล้วทำการซักล้างด้วยน้ำสะอาดนำไปตากแห้ง

4) นำผ้าที่ผ่านการย้อมสีไปวัดค่าของสี (L*, a*, b*) และความเข้มสี (K/S) ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

5) ทำการบันทึกผลการทดลอง

ตารางที่ 3.1 สภาวะการทดลองเพื่อศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการย้อมสีผ้าไหมด้วยเปลือกของฝักมะขาม

ความเข้มข้นของสีย้อม (% o.w.f.)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาที)
50	30	60
50	40	60
50	50	60
50	60	60
50	70	60
50	80	60
50	90	60

3.3.5.2 การศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการย้อมสีผ้าไหมด้วยเปลือกของฝักมะขาม

ขั้นตอนเพื่อทำการศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการย้อมสีมีดังนี้

1) เตรียมสีย้อมที่ความเข้มข้น 50% o.w.f. โดยไม่ใช้สารมอร์แดนท์

2) นำผ้าย้อมสีที่เวลาแตกต่างกันดังนี้ 10, 20, 30, 40, 50 และ 60 นาที โดยใช้อุณหภูมิในการย้อม 90 องศาเซลเซียส และใช้อัตราส่วนวัสดุต่อน้ำย้อมเป็น 1:100 และย้อมด้วยเครื่องย้อมสีชนิดให้ความร้อนแบบอินฟาเรด

3) ซักล้างผ้าไหมเพื่อขจัดสีส่วนเกิน โดยใช้น้ำสบู่เทียมเข้มข้น 2 กรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นล้างด้วยน้ำสะอาดและนำไปตากจนแห้ง

4) นำผ้าที่ผ่านการย้อมสีไปวัดค่าของสี (L*, a*, b*) และความเข้มสี (K/S) ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

5) ทำการบันทึกผลการทดลอง

ตารางที่ 3.2 สภาวะการทดลองเพื่อศึกษาเวลาที่เหมาะสมสำหรับการย้อมสีผ้าไหมด้วยเปลือกของฝักมะขาม

ความเข้มข้นของสีย้อม (% o.w.f.)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาที)
50	90	10
50	90	20
50	90	30
50	90	40
50	90	50
50	90	60

3.3.5.3 การศึกษาค่า pH ที่เหมาะสมในการย้อมสีผ้าไหมด้วยเปลือกของฝักมะขาม

ขั้นตอนการศึกษาค่า pH ที่เหมาะสมในการย้อมสีมีดังนี้

1) เตรียมสีย้อมที่ความเข้มข้น 50% o.w.f. โดยไม่ใช้สารมอร์แดนท์

2) ปรับสภาวะน้ำย้อมให้มีค่า pH แตกต่างกันดังนี้ 3, 5, 7, 9, 11 และไม่ปรับ pH (น้ำย้อมจากการสกัด) (รายละเอียดดังตารางที่ 3.3) โดยใช้กรดอะซิติกในการปรับค่า pH เพื่อให้มีค่า pH ลดลงและใช้โซเดียมคาร์บอเนตเพื่อปรับค่า pH ให้มีค่าเพิ่มขึ้น

3) นำผ้าไหมมาย้อมสีที่โดยใช้อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที และใช้อัตราส่วนวัสดุต่อน้ำย้อมเป็น 1:100 โดยใช้เครื่องย้อมสีชนิดให้ความร้อนแบบอินฟาเรด

4) ซักล้างผ้าไหมเพื่อขจัดสีส่วนเกิน โดยใช้น้ำสบู่เทียมเข้มข้น 2 กรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นล้างด้วยน้ำสะอาดและนำไปตากจนแห้ง

5) นำผ้าที่ผ่านการย้อมสีไปวัดค่าของสี (L*, a*, b*) และความเข้มสี (K/S) ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

6) ทำการบันทึกผลการทดลอง

ตารางที่ 3.3 สภาวะการทดลองเพื่อศึกษาค่า pH ที่เหมาะสมในการย้อมสีผ้าไหมด้วยเปลือกของฝักมะขาม

ความเข้มข้นของสีย้อม (% o.w.f.)	pH	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาที)
50	3	90	60
50	5	90	60
50	7	90	60
50	9	90	60
50	11	90	60
50	ไม่ปรับpH	90	60

3.3.5.4 การศึกษาอัตราส่วนวัสดุต่อน้ำย้อม (liquor ratio, L:R) ที่เหมาะสมในการย้อมสีผ้าไหมด้วยเปลือกของฝักมะขาม

ขั้นตอนการศึกษาอัตราส่วนวัสดุต่อน้ำย้อม ที่เหมาะสมในการย้อมสีมีดังนี้

1) เตรียมน้ำย้อมที่อัตราส่วนน้ำย้อมต่างกัน ดังนี้ 1:20, 1:40, 1:60, 1:80 และ 1:100 (รายละเอียดดังตารางที่ 3.4)

2) นำผ้าไหมมาย้อมสีโดยใช้อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เวลาที่ 60 นาที ค่า pH 7 และอัตราส่วนวัสดุต่อน้ำย้อม (L:R) ดังรายละเอียดดังตารางที่ 3.4 แล้วย้อมด้วยเครื่องย้อมสีชนิดให้ความร้อนแบบอินฟาเรด

3) ซักล้างผ้าไหมเพื่อขจัดสีส่วนเกิน โดยใช้น้ำสบู่เทียมเข้มข้น 2 กรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นล้างด้วยน้ำสะอาดและนำไปตากจนแห้ง

4) นำผ้าที่ผ่านการย้อมสีไปวัดค่าของสี (L*, a*, b*) และความเข้มสี (K/S) ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

5) ทำการบันทึกผลการทดลอง

ตารางที่ 3.4 สภาวะการทดลองเพื่อศึกษาอัตราส่วนวัสดุต่อสีย้อม (L:R) ที่เหมาะสมสำหรับการย้อมสีผ้าไหมด้วยเปลือกของฝักมะขาม

ความเข้มข้นของสีย้อม (% o.w.f.)	ค่า pH	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาที)	อัตราส่วนวัสดุต่อสีย้อม
50	7	90	60	1:20
50	7	90	60	1:40
50	7	90	60	1:60
50	7	90	60	1:80
50	7	90	60	1:100

3.3.5.5 การศึกษาความเข้มข้นของสีย้อม (% o.w.f.) ต่อการย้อมสีผ้าไหมด้วยเปลือกของฝักมะขาม

ขั้นตอนการศึกษาความเข้มข้นของสีย้อม (% o.w.f.) ต่อการย้อมสีมีดังนี้

1) เตรียมน้ำย้อมที่ความเข้มข้นต่างกัน ดังนี้ 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70 และ 80% o.w.f. โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 3.5

2) นำผ้ามาย้อมสีโดยใช้อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที pH 7 ค่าอัตราส่วนวัสดุต่อน้ำย้อม เท่ากับ 1:100 โดยใช้เครื่องย้อมสีชนิดให้ความร้อนแบบอินฟาเรด

3) ซักล้างผ้าไหมเพื่อขจัดสีส่วนเกิน โดยใช้น้ำสบู่เทียมเข้มข้น 2 กรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นล้างด้วยน้ำสะอาดและนำไปตากจนแห้ง

4) นำผ้าที่ผ่านการย้อมสีไปวัดค่าของสี (L*, a*, b*) และความเข้มสี (K/S) ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

5) ทำการบันทึกผลการทดลอง

ตารางที่ 3.5 สภาวะการทดลองเพื่อศึกษาหาค่าความเข้มข้นที่เหมาะสมสำหรับการย้อมสีผ้าไหมด้วยเปลือกของฝักมะขาม

ความเข้มข้นของสีย้อม (% o.w.f.)	ค่า pH	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาที)	อัตราส่วนวัสดุต่อน้ำย้อม (L:R)
10	7	90	60	1:100
20	7	90	60	1:100
30	7	90	60	1:100
40	7	90	60	1:100
50	7	90	60	1:100
60	7	90	60	1:100
70	7	90	60	1:100
80	7	90	60	1:100

3.3.6 การศึกษาผลของการทำมอร์แดนท์โดยใช้ความเข้มข้นของสีย้อมที่แตกต่างกัน

ขั้นตอนการศึกษาผลของการทำมอร์แดนท์โดยใช้ความเข้มข้นของสีย้อมที่แตกต่างกัน และใช้ความเข้มข้นของสารมอร์แดนท์คงที่ มีดังนี้

3.3.6.1 เตรียมสีย้อมที่ความเข้มข้นต่างกันดังนี้ 5, 10, 30 และ 50% o.w.f. (รายละเอียดดังตารางที่ 3.6-3.8)

3.3.6.2 เตรียมสารมอร์แดนท์ ได้แก่ สารส้ม จุนสี สนิมเหล็ก และสแตนนัสคลอไรด์ โดยใช้ความเข้มข้น 50% o.w.f. (รายละเอียดดังตารางที่ 3.6-3.8)

3.3.6.3 ทำการมอร์แดนท์ของการย้อมสี 3 แบบ ดังนี้

1) การทำมอร์แดนท์ก่อนการย้อมสี (pre-mordanting) โดยนำผ้าไปแช่ลงในสารมอร์แดนท์เข้มข้น 50% o.w.f. ที่ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที จากนั้นนำผ้าไปย้อมสี ณ อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที (รายละเอียดดังตารางที่ 3.6)

2) การทำมอร์แดนท์ระหว่างการย้อมสี (meta-mordanting or simultaneous mordanting) โดยใส่สารมอร์แดนท์ลงในสีย้อม จากนั้นใส่ผ้าไหมลงในสารละลายแล้วนำไปย้อมสี ณ อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที (รายละเอียดดังตารางที่ 3.7)

3) การทำมอร์แดนท์หลังการย้อมสี (post-mordanting) ทำการย้อมสีบนผ้าไหม ณ อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที จากนั้น นำผ้าที่ผ่านการย้อมสีมาแช่ลงสารละลายมอร์แดนท์ ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็น เวลา 20 นาที (รายละเอียดดังตารางที่ 3.8)

4) ทำการย้อมสี โดยใช้อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที และ pH 7 และใช้อัตราส่วนวัสดุต่อน้ำย้อมเป็น 1:100

5) ซักล้างผ้าไหมเพื่อขจัดสีส่วนเกิน โดยใช้น้ำสบู่เทียมเข้มข้น 2 กรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นล้างด้วยน้ำสะอาดและนำไปตากจนแห้ง

6) นำผ้าที่ผ่านการย้อมสีไปวัดค่าของสี (L*, a*, b*) และความเข้มสี (K/S) ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

7) ทำการบันทึกผลการทดลอง

ตารางที่ 3.6 สภาวะการศึกษาการทำมอร์แดนท์ก่อนการย้อมสี (pre- mordanting) โดยใช้ความเข้มข้นของสีย้อมจากเปลือกของฝักมะขามที่แตกต่างกัน

ความเข้มข้นของสีย้อม (% o.w.f.)	ความเข้มข้นของสารมอร์แดนท์ (% o.w.f.)			
	สารส้ม	จุนสี	สนิมเหล็ก	สแตนนัสคลอไรด์
5	-	-	-	-
5	50	-	-	-
5	-	50	-	-
5	-	-	50	-
5	-	-	-	50
10	-	-	-	-
10	50	-	-	-
10	-	50	-	-
10	-	-	50	-
10	-	-	-	50
30	-	-	-	-
30	50	-	-	-
30	-	50	-	-
30	-	-	50	-
30	-	-	-	50
50	-	-	-	-
50	50	-	-	-
50	-	50	-	-
50	-	-	50	-
50	-	-	-	50

ตารางที่ 3.7 สภาวะการศึกษาการทำมอร์แดนท์ระหว่างการย้อมสี (meta-mordanting) โดยใช้ความเข้มข้นของสีย้อมจากเปลือกของฝักมะขามที่แตกต่างกัน

ความเข้มข้นของสีย้อม (% o.w.f.)	ความเข้มข้นของสารมอร์แดนท์ (% o.w.f.)			
	สารส้ม	จุนสี	สนิมเหล็ก	สแตนนัสคลอไรด์
5	-	-	-	-
5	50	-	-	-
5	-	50	-	-
5	-	-	50	-
5	-	-	-	50
10	-	-	-	-
10	50	-	-	-
10	-	50	-	-
10	-	-	50	-
10	-	-	-	50
30	-	-	-	-
30	50	-	-	-
30	-	50	-	-
30	-	-	50	-
30	-	-	-	50
50	-	-	-	-
50	50	-	-	-
50	-	50	-	-
50	-	-	50	-
50	-	-	-	50

ตารางที่ 3.8 สภาวะการศึกษาการทำมอร์แดนท์หลังการย้อมสี (post-mordanting) โดยใช้ความเข้มข้นของสีย้อมจากเปลือกของฝักมะขามที่แตกต่างกัน

ความเข้มข้นของสีย้อม (% o.w.f.)	ความเข้มข้นของสารมอร์แดนท์ (% o.w.f.)			
	สารส้ม	จุนสี	สนิมเหล็ก	สแตนนัสคลอไรด์
5	-	-	-	-
5	50	-	-	-
5	-	50	-	-
5	-	-	50	-
5	-	-	-	50
10	-	-	-	-
10	50	-	-	-
10	-	50	-	-
10	-	-	50	-
10	-	-	-	50
30	-	-	-	-
30	50	-	-	-
30	-	50	-	-
30	-	-	50	-
30	-	-	-	50
50	-	-	-	-
50	50	-	-	-
50	-	50	-	-
50	-	-	50	-
50	-	-	-	50

3.3.7 การศึกษาผลของการใช้ความเข้มข้นของสารมอร์แดนท์ที่แตกต่างกัน

ขั้นตอนการศึกษาผลของการใช้ความเข้มข้นของสารมอร์แดนท์ที่แตกต่างกัน และใช้ความเข้มข้นของสีย้อมคงที่ มีรายละเอียดดังนี้

3.3.7.1 เตรียมสีย้อมที่ความเข้มข้น 50% o.w.f.

3.3.7.2 เตรียมสารมอร์แดนท์ ได้แก่ สารส้ม จุนสี สนิมเหล็ก และสแตนนัสคลอไรด์ โดยใช้ความเข้มข้นที่ต่างกันดังนี้ 25, 50, 75 และ 100% o.w.f. (รายละเอียดดังตารางที่ 3.9-3.11)

3.3.7.3 ทำการมอร์แดนท์ของการย้อมสี 3 แบบ ดังนี้

1) การทำมอร์แดนท์ก่อนการย้อมสี (pre-mordanting) โดยนำผ้าไปแช่ลงในสารมอร์แดนท์ที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที จากนั้นนำผ้าไปย้อมสี ณ อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที (รายละเอียดดังตารางที่ 3.9)

2) การทำมอร์แดนท์ระหว่างการย้อมสี (meta-mordanting or simultaneous mordanting) โดยใส่สารมอร์แดนท์ที่มีความเข้มข้นที่แตกต่างกันลงในสีย้อม จากนั้นใส่ผ้าไหมลงในสารละลายแล้วนำไปย้อมสี ณ อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที (รายละเอียดดังตารางที่ 3.10)

3) การทำมอร์แดนท์หลังการย้อมสี (post-mordanting) ทำการย้อมสีบนผ้าไหม ณ อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที จากนั้น นำผ้าที่ผ่านการย้อมสีมาแช่ลงสารละลายมอร์แดนท์ที่มีความเข้มข้นที่แตกต่างกัน ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็น เวลา 20 นาที (รายละเอียดดังตารางที่ 3.11)

4) ย้อมสีตามสภาวะที่กำหนดดังตารางที่ 3.9-3.11 โดยใช้อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที ค่า pH 7 และใช้อัตราส่วนวัสดุต่อน้ำย้อมเป็น 1:100

5) ซักล้างผ้าไหมเพื่อขจัดสีส่วนเกิน โดยใช้น้ำสบู่เทียมเข้มข้น 2 กรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นล้างด้วยน้ำสะอาดและนำไปตากจนแห้ง

6) นำผ้าที่ผ่านการย้อมสีไปวัดค่าของสี (L*, a*, b*) และความเข้มสี (K/S) ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

7) ทำการบันทึกผลการทดลอง

ตารางที่ 3.9 สภาวะการศึกษาการทำมอร์แดนท์ก่อนการย้อมสี (pre-mordanting) โดยใช้ความเข้มข้นของสารละลายมอร์แดนท์ที่แตกต่างกัน

ความเข้มข้นของสีย้อม (% o.w.f.)	ความเข้มข้นของสารมอร์แดนท์ (% o.w.f.)			
	สารส้ม	จุนสี	สนิมเหล็ก	สแตนนัสคลอไรด์
50	25	-	-	-
	-	25	-	-
	-	-	25	-
	-	-	-	25
50	50	-	-	-
		50	-	-
	-	-	50	-
	-	-	-	50
50	75	-	-	-
	-	75	-	-
	-	-	75	-
	-	-	-	75
50	100	-	-	-
	-	100	-	-
	-	-	100	-
	-	-	-	100

ตารางที่ 3.10 สภาวะการศึกษาการทำมอร์แดนท์พร้อมกับการย้อมสี (meta-mordanting) โดยใช้ความเข้มข้นของสารละลายมอร์แดนท์ที่แตกต่างกัน

ความเข้มข้นของสีย้อม (% o.w.f.)	ความเข้มข้นของสารมอร์แดนท์ (% o.w.f.)			
	สารส้ม	จุนสี	สนิมเหล็ก	สแตนนัสคลอไรด์
50	25	-	-	-
	-	25	-	-
	-	-	25	-
	-	-	-	25
50	50	-	-	-
		50	-	-
	-	-	50	-
	-	-	-	50
50	75	-	-	-
	-	75	-	-
	-	-	75	-
	-	-	-	75
50	100	-	-	-
	-	100	-	-
	-	-	100	-
	-	-	-	100

ตารางที่ 3.11 สภาวะการศึกษาการทำมอร์แดนท์หลังการย้อมสี (post-mordanting) โดยใช้ความเข้มข้นของสารละลายมอร์แดนท์ที่แตกต่างกัน

ความเข้มข้นของสีย้อม (% o.w.f.)	ความเข้มข้นของสารมอร์แดนท์ (% o.w.f.)			
	สารส้ม	จุนสี	สนิมเหล็ก	สแตนนัสคลอไรด์
50	25	-	-	-
	-	25	-	-
	-	-	25	-
	-	-	-	25
50	50	-	-	-
		50	-	-
	-	-	50	-
	-	-	-	50
50	75	-	-	-
	-	75	-	-
	-	-	75	-
	-	-	-	75
50	100	-	-	-
	-	100	-	-
	-	-	100	-
	-	-	-	100

3.3.8 การศึกษาสมบัติความคงทนของสีจากผ้าไหมที่ย้อมด้วยเปลือกของฝักมะขาม

ขั้นตอนทดสอบความคงทนของสีจะนำชิ้นงานที่ย้อมด้วยความเข้มข้นสี 50% o.w.f. และใช้สารมอร์แดนท์ที่ความเข้มข้น 50% o.w.f. ทั้ง 3 สภาวะ (pre-mordant, meta- mordant และ post-mordant) โดยทำการทดสอบความคงทนสีดังนี้

3.3.8.1 ทดสอบความคงทนของสีต่อการซักล้าง (colorfastness to washing) มาตรฐาน AATCC 61-2013 ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เวลา 45 นาที [16]

3.3.8.2 ทดสอบความคงทนของสีต่อน้ำ (colorfastness to water) มาตรฐาน AATCC 107-2013 [16]

3.3.8.3 ทดสอบความคงทนของสีต่อเหงื่อ (colorfastness to perspiration) มาตรฐาน AATCC 15-2013 [16]

3.3.8.4 ทดสอบความคงทนของสีต่อการขัดถู (colorfastness to crocking) มาตรฐาน AATCC 82016 [16]

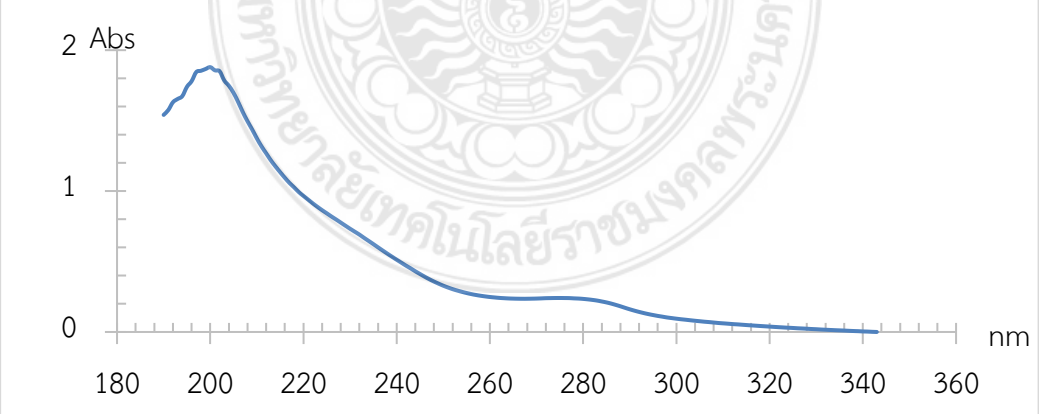
3.3.8.5 ทดสอบความคงทนของสีต่อแสงแดดเทียม (colour fastness to artificial light) มาตรฐาน ISO 105-B02: 1994 [16]

บทที่ 4
ผลการทดลองและการวิเคราะห์

การวิจัยเรื่อง สมบัติการย้อมสีและความคงทนของสีบนผ้าไหมย้อมด้วยเปลือกของฝักมะขาม มีวัตถุประสงค์เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการย้อมผ้าไหม โดยใช้สารสกัดจากเปลือกของฝักมะขาม ซึ่งมุ่งเน้นความเข้มข้นของสีย้อมที่ได้จากเปลือกของฝักมะขามต่อประสิทธิภาพในการย้อมสีผ้าไหม ตลอดจนการวิเคราะห์ความเข้มข้นของสารมอร์แดนท์ที่ใช้ในกระบวนการ เพื่อให้ได้สีที่มีคุณภาพสูงและสามารถยึดเกาะเส้นใยได้อย่างมีประสิทธิภาพ การวิจัยได้ดำเนินการทดสอบสมบัติความคงทนของสีย้อมบนผ้าไหมภายใต้สภาวะต่าง ๆ เพื่อประเมินความสามารถของสีย้อมจากเปลือกของฝักมะขามต่อการใช้งานจริง ได้ผลการศึกษาดังนี้

4.1 ผลการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของสีย้อมเชิงปริมาณของสารละลายสีย้อมที่ได้จากเปลือกของฝักมะขาม

การวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายสีย้อมที่สกัดจากเปลือกของฝักมะขามในการศึกษานี้ ใช้เครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ (spectrophotometer) เพื่อตรวจสอบค่าการดูดกลืนแสง โดยพิจารณาตำแหน่งของความยาวคลื่นที่มีการดูดกลืนแสงสูงสุด (maximum absorption wavelength) ซึ่งปรากฏเป็นจุดสูงสุดบนกราฟ จากนั้นบันทึกค่าความยาวคลื่นในหน่วยนาโนเมตร ทั้งนี้ผลการวิเคราะห์พบว่าสารละลายสีย้อมที่สกัดจากเปลือกของฝักมะขามมีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ช่วงความยาวคลื่น 275 นาโนเมตร ดังแสดงในภาพที่ 4.1

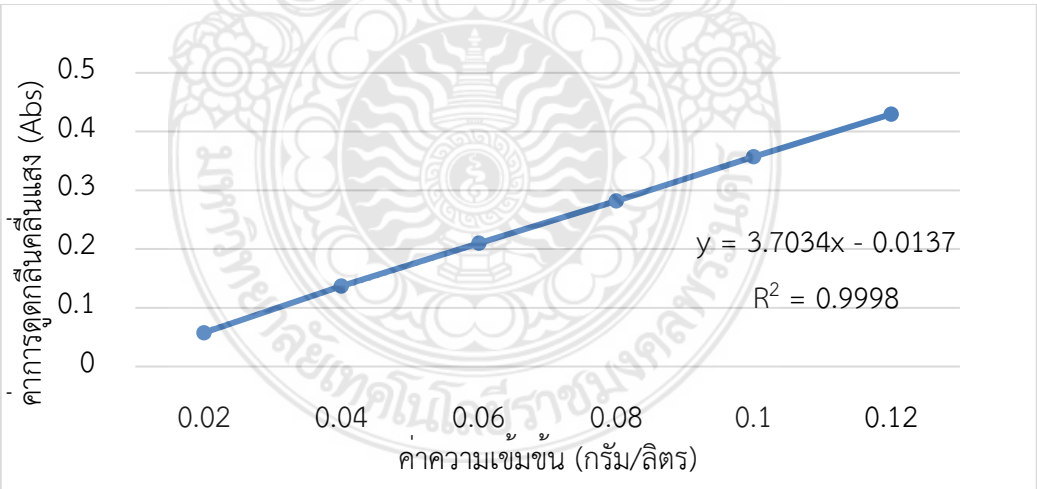


ภาพที่ 4.1 กราฟแสดงค่าการดูดกลืนแสงของสีย้อมที่ได้จากเปลือกของฝักมะขาม

ค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) ที่สกัดจากเปลือกของฝักมะขามในแต่ละระดับความเข้มข้นทั้ง 6 ค่า แสดงไว้ในตารางที่ 4.1 จากข้อมูลดังกล่าว ได้นำมาสร้างกราฟโดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel โดยกำหนดให้แกน X แสดงค่าความเข้มข้นของสารละลายสีย้อม และแกน Y แสดงค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) ซึ่งสามารถดูผลลัพธ์ได้ในภาพที่ 4.2

ตารางที่ 4.1 ค่าการดูดกลืนคลื่นแสง (absorbance) ของสีย้อมจากเปลือกของฝักมะขาม ที่ความยาวคลื่นแสง 275 นาโนเมตร

ลำดับที่	ความเข้มข้นของสีย้อม (กรัมต่อลิตร)	ค่าการดูดกลืนคลื่นแสง (absorbance) ณ ความยาวคลื่นแสง 275 นาโนเมตร
1	0.02	0.0576
2	0.04	0.1369
3	0.06	0.2101
4	0.08	0.2819
5	0.1	0.3571
6	0.12	0.4296



ภาพที่ 4.2 กราฟมาตรฐานของสีย้อมที่สกัดได้จากเปลือกของฝักมะขาม ณ ความยาวคลื่นแสง 275 นาโนเมตร

จากกราฟในภาพที่ 4.2 เมื่อสร้างกราฟมาตรฐานเสร็จจะได้สมการเชิงเส้นที่เป็นเส้นตรง สมการที่ 4.1 ดังนี้

$$Y = 3.7034X - 0.0137$$

---สมการที่ 4.1

โดยที่

Y คือ ค่าการดูดกลืนคลื่นแสง (absorbance) ของสีย้อม

m คือ ค่าคงตัวที่แสดงความชันหรือเกรเดียนต์ของเส้นตรง และมีค่า = 3.7034

X คือ ค่าความเข้มข้นของสีย้อม (กรัม/ลิตร)

b คือ แสดงจุดที่เส้นตรงนี้ตัดแกน Y และมีค่า 0.0137

และจากสมการที่ 4.1 ดังกล่าวสามารถที่จะจัดรูปแบบใหม่เพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณในครั้งต่อไปดังนี้

$Y = 3.70347X - 0.0137$ ----------> $Y + 0.0137 = 0.0741X$

$Y + 0.0137 = 3.7034X$ ----------> $3.7034X = Y + 0.0137$

$3.7034X = Y + 0.0137$ ----------> $X = [(Y + 0.0137)/ 3.7034]$

$X = [(Y + 0.0137)/ 3.7034]$

ความเข้มข้นของสารละลายสี (X) (กรัม/ลิตร) = [(ค่าการดูดกลืนแสง (Y) (absorbance) + 0.0137)/ 3.7034

ดังนั้นจะได้สมการที่สามารถนำไปใช้หาค่าความเข้มข้นของสีย้อมที่สกัดได้จากเปลือกของฝักมะขามได้

จะเห็นได้ว่าจากสมการที่ได้มานั้น สามารถที่นำไปใช้งานได้ทันที สำหรับการทดลองนี้ได้ทำการสกัดสีจากเปลือกของฝักมะขามและนำสีย้อมจากเปลือกของฝักมะขามที่ผ่านการสกัดและการกรอง (สกัดและกรองไว้ใช้ในงานย้อมครั้งถัดไป) ให้สะอาดมา 0.5 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดปริมาตร 25 มิลลิลิตร (จะทำให้สารละลายสีย้อมเจือจางลง 50 เท่า (คำนวณมาจาก 25/0.5 = 50 (หรือ ขนาดขวดปริมาตร/จำนวนสีย้อมที่ดูดใส่ขวด) จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) ที่ความยาวคลื่น 275 นาโนเมตร ซึ่งในที่นี้มีค่าเท่ากับ 0.3821

นำค่าการดูดกลืนแสง (0.3821) ไปคำนวณหาค่าความเข้มข้นของสีย้อม (X) โดยแทนค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) ลงในตำแหน่ง Y ดังสมการ

X = [(0.3821+0.0137)/3.7034] = 0.1068 กรัม/ลิตร

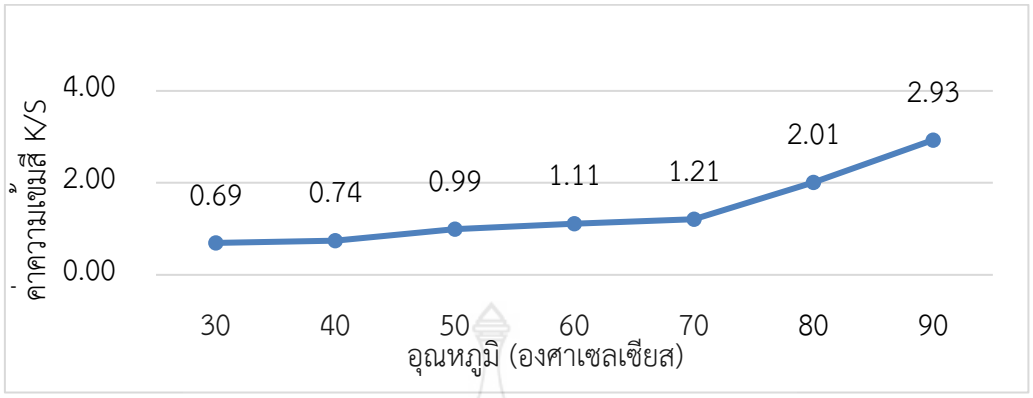
จากภาพที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่า เมื่อนำค่าการดูดกลืนแสงมาคำนวณย้อนกลับโดยใช้สมการเชิงเส้นของกราฟมาตรฐาน พบว่าสารละลายสีย้อมมีค่าความเข้มข้น 0.1068 กรัมต่อลิตร และเนื่องจากในการทดลองได้มีการเจือจางสารละลายสีย้อม 50 เท่า (0.1068 × 50 = 5.3) ดังนั้น น้ำสีย้อมที่สกัดจากเปลือกของฝักมะขามจึงมีค่าความเข้มข้น 5.34 กรัมต่อลิตร หรือคิดเป็นร้อยละ 0.53 โดยค่าความเข้มข้นของสีย้อมที่ได้จากการสกัดนี้ จะถูกนำไปใช้ในการคำนวณหาค่าร้อยละของน้ำหนักต่อเส้นใย (% o.w.f.) สำหรับแต่ละระดับความเข้มข้นของสีย้อม

4.2 ผลการศึกษาสภาวะอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการย้อมสีผ้าไหมด้วยเปลือกของฝักมะขาม

จากการศึกษาสภาวะอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการย้อมสีผ้าไหมด้วยสารสกัดจากเปลือกของฝักมะขาม ได้ดำเนินการโดยกำหนดช่วงอุณหภูมิของการย้อมที่ 30, 40, 50, 60, 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส ภายใต้เงื่อนไขของ ตัวแปรคงที่ ได้แก่ ระยะเวลาการย้อม 60 นาที และอัตราส่วนระหว่างวัสดุกับสารละลายสีย้อม 1:100 ผลการศึกษาสภาวะอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการย้อมสีผ้าไหมด้วยสารสกัดจากเปลือกของฝักมะขาม แสดงไว้ใน ตารางที่ 4.2 และภาพที่ 4.3

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ค่าของสี (L*, a*, b*) ของการย้อมสีผ้าไหมด้วยเปลือกของฝักมะขามที่อุณหภูมิ 30, 40, 50, 60, 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที และอัตราส่วนวัสดุต่อสีย้อม 1:100

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาที)	ค่าของสี			ตัวอย่างผ้า
		L*	a*	b*	
30	60	82.18	3.09	11.20	
40	60	81.85	2.97	12.08	
50	60	76.38	4.90	10.07	
60	60	75.88	8.21	14.75	
70	60	75.19	8.77	15.43	
80	60	69.44	11.97	18.83	
90	60	63.12	15.11	22.67	



ภาพที่ 4.3 ค่าความเข้มสีบนผ้าไหมที่ย้อมสีด้วยเปลือกของฝักมะขาม ณ อุณหภูมิที่ต่างกัน

จากตารางที่ 4.2 พบว่าผ้าไหมที่ย้อมด้วยสีย้อมจากเปลือกของฝักมะขามให้เฉดสีเหลืองอ่อนถึงเฉดสีเหลืองอ่อนออกแดง เมื่อใช้อุณหภูมิการย้อมที่ 30 – 50 องศาเซลเซียส ในขณะที่ใช้อุณหภูมิ 60 – 90 องศาเซลเซียส ได้เฉดสีน้ำตาลอ่อนถึงเฉดสีน้ำตาลออกแดง จากภาพที่ 4.3 พบว่าเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการย้อมเพิ่มขึ้น ค่าความเข้มของสี (K/S) เพิ่มขึ้น จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการดูดซึมของสีย้อมในเส้นใยไหมที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากสารละลายสีย้อมมีค่าความคงตัวทางความร้อน (thermal stability) ที่ดีเยี่ยม รวมทั้งเส้นไหมมีการพองตัวที่อุณหภูมิสูงจึงทำให้สีย้อมสามารถแพร่กระจายเข้าสู่เส้นใยได้ดี [23, 24, 25] ดังนั้นจากผลการทดลองสังเกตได้ว่าอุณหภูมิมีผลต่อค่าความเข้มของสีโดยเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการย้อมส่งผลต่อระดับความเข้มของสีที่แตกต่างกัน จากตารางที่ 4.2 พบว่า เมื่อใช้อุณหภูมิการย้อมต่ำสุด (30 องศาเซลเซียส) ค่า L* หรือค่าความสว่างของสี (lightness) มีค่าต่ำ ซึ่งหมายความว่าผ้ามีความสว่างมากขึ้น ในขณะที่เมื่อใช้อุณหภูมิการย้อมสูงสุด (90 องศาเซลเซียส) ค่า L* มีค่าสูงสุด ทำให้ผ้ามีสีที่ดูทึมลง ค่า L* เป็นตัวบ่งชี้ระดับความสว่าง-มืด โดยที่ L* = 100 หมายถึงสว่างที่สุด และ L* = 0 หมายถึงมืดที่สุด นอกจากนี้ยังพบว่าค่า L* มีความสัมพันธ์แบบผกผันกับค่าความเข้มของสี (K/S) กล่าวคือ หากค่า L* สูง ค่าความเข้มสี (K/S) จะต่ำ และในทางกลับกัน หากค่า L* ต่ำ ค่าความเข้มสี (K/S) จะสูง สำหรับค่า a* ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้เฉดสีแดงและสีเขียว พบว่าผลการทดลองให้ค่า a* เป็นบวก (+a*) แสดงว่าผ้าไหมที่ย้อมด้วยสีจากเปลือกฝักมะขามมีแนวโน้มไปทางเฉดสีแดง ส่วนค่า b* ซึ่งแสดงเฉดสีเหลืองและสีน้ำเงิน พบว่าค่า b* เป็นบวก (+b*) แสดงว่าสีที่ย้อมได้มีเฉดสีเหลือง อุณหภูมิที่ให้ค่าความเข้มสีสูงสุดในการย้อมคือ 90 องศาเซลเซียส โดยมีค่าความเข้มสี (K/S) เท่ากับ 2.93

จากผลการทดลองทั้งหมด พบว่าการยึดติดของสีย้อมจากสารสกัดเปลือกของฝักมะขามกับเส้นไหม อาจเกิดจากการสร้าง พันธะไฮโดรเจน (hydrogen bond) หรือ พันธะไอออนิก (ionic bond) ระหว่างโครงสร้างทางเคมีของเส้นไหม ซึ่งประกอบด้วย หมู่ฟังก์ชันอะมิโน (amino group) และหมู่

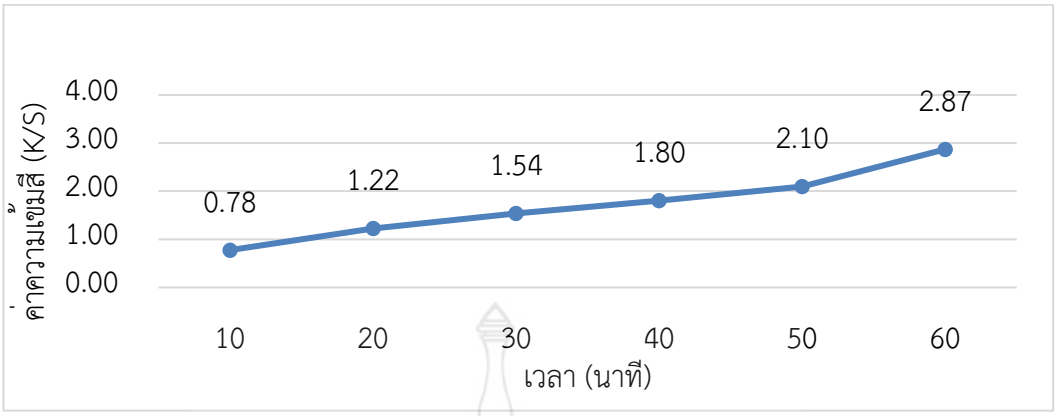
คาร์บอกซิลิก (carboxylic group) กับโครงสร้างของสารให้สีหลักที่พบในเปลือกฝักมะขาม ได้แก่ ลิวโคแอนโธไซยานิดิน (leucoanthocyanidin) และแอนโธไซยานิน (anthocyanin) ปฏิสัมพันธ์ทางเคมีดังกล่าวส่งผลให้เกิดสีที่มองเห็นเป็นสีน้ำตาลแดงบนเส้นไหม ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้สีย้อมจากเปลือกฝักมะขามสามารถยึดติดกับเส้นใยไหมได้โดยไม่จำเป็นต้องใช้ สารโลหะมอร์แดนท์ ในกระบวนการย้อมสี [5]

4.3 ผลการศึกษาสภาวะเวลาที่เหมาะสมสำหรับการย้อมสีผ้าไหมด้วยเปลือกของฝักมะขาม

จากการศึกษาสภาวะเวลาที่เหมาะสมสำหรับการย้อมสีผ้าไหมด้วยเปลือกของฝักมะขาม โดยศึกษาเวลาของการย้อมที่ 10, 20, 30, 40, 50 และ 60 นาที โดยกำหนดตัวแปรคงที่ได้แก่ อุณหภูมิที่ใช้ในการย้อม 90 องศาเซลเซียส และอัตราส่วนวัดุต่อสีย้อม 1:100 ผลของการศึกษาสภาวะเวลาที่เหมาะสมสำหรับการย้อมสีผ้าไหมด้วยเปลือกของฝักมะขาม ปรากฏข้อมูลดังตารางที่ 4.3 และภาพที่ 4.4

ตารางที่ 4.3 ค่าของสี (L*, a*, b*) ของการย้อมสีผ้าไหมด้วยเปลือกของฝักมะขาม ที่เวลา 10, 20, 30, 40, 50 และ 60 นาที อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส และอัตราส่วนวัสดุต่อสีย้อม 1:100

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ค่าของสี			ตัวอย่างผ้า
		L*	a*	b*	
10	90	80.61	4.33	13.2	
20	90	75.36	8.49	15.82	
30	90	71.91	10.64	17.65	
40	90	69.84	11.6	18.76	
50	90	67.44	12.84	20.31	



ภาพที่ 4.4 ค่าความเข้มสีบนผ้าไหมที่ย้อมสีด้วยเปลือกของฝักมะขาม ณ เวลาต่างกัน

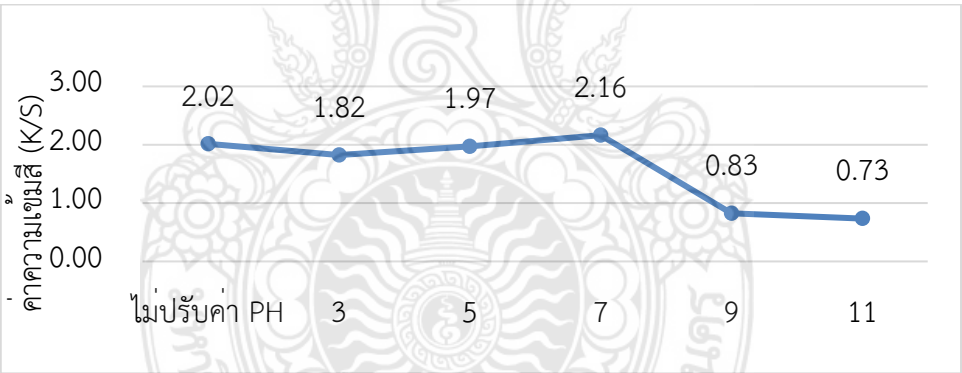
จากภาพที่ 4.4 พบว่าเมื่อระยะเวลาที่ใช้ในการย้อมเพิ่มขึ้น ค่าความเข้มของสี (K/S) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามลำดับ โดยจากตารางที่ 4.3 สามารถสังเกตได้ว่า ในช่วงเวลาการย้อมที่ 10 นาที ผ้าไหมมีเฉดสี เหลืองอ่อน เนื่องจากเส้นใยไหมยังไม่ถึงจุดอิ่มตัวของการดูดซึมสีย้อม เมื่อเพิ่มระยะเวลาการย้อม สีของผ้าไหมจะค่อย ๆ เปลี่ยนจาก เฉดเหลืองอ่อนเป็นสีน้ำตาลอ่อน ทั้งนี้ ที่ระยะเวลา 60 นาที ผ้าไหมที่ย้อมด้วยสารสกัดจากเปลือกของฝักมะขามมีค่าความเข้มสีสูงสุด โดยปรากฏเป็น เฉดสีน้ำตาลออกแดง ซึ่งสอดคล้องกับค่า a* และ b* ที่มีค่าเป็นบวก จากตารางที่ 4.2 ยังพบว่า ค่าความมืด-สว่าง (L)* มีความสัมพันธ์เชิงผกผันกับระยะเวลาในการย้อม กล่าวคือ ในกรณีที่ระยะเวลาการย้อมสั้น ค่า L* มีค่าสูง ซึ่งหมายความว่าสีที่ได้มีความสว่าง (เฉดเหลืองอ่อน) ในขณะที่เมื่อระยะเวลาการย้อมเพิ่มขึ้น ค่า L* มีค่าลดลง ซึ่งแสดงถึงสีที่มีความเข้มมากขึ้น (เฉดสีน้ำตาลออกแดง)

4.4 ผลการศึกษาสภาวะค่า pH ที่เหมาะสมสำหรับการย้อมสีผ้าไหมด้วยเปลือกของฝักมะขาม

การศึกษาสภาวะค่า pH ที่เหมาะสมสำหรับการย้อมสีผ้าไหมด้วยสารสกัดจากเปลือกของฝักมะขาม ได้ดำเนินการทดลองภายใต้ค่า pH ที่แตกต่างกัน ได้แก่ 3, 5, 7, 9, 11 และในสภาวะที่ไม่มีการปรับค่า pH โดยมีการกำหนดตัวแปรคงที่ ได้แก่ อุณหภูมิการย้อมที่ 90 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการย้อม 60 นาที และอัตราส่วนของวัสดุต่อสีย้อมที่ 1:100 ผลการศึกษาสภาวะค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมสำหรับการย้อมสีผ้าไหมด้วยสารสกัดจากเปลือกของฝักมะขาม แสดงในตารางที่ 4.4 และภาพที่ 4.5

ตารางที่ 4.4 ค่าของสี (L*, a*, b*) ของการย้อมสีผ้าไหมด้วยเปลือกของฝักมะขาม ที่มีค่า pH แตกต่างกัน ณ อุณหภูมิการย้อมสี 90 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที และอัตราส่วนวัดุต่อสีย้อม 1:100

pH	ค่าของสี			ตัวออย่างผ้า
	L*	a*	b*	
7	65.35	13.30	19.86	
3	69.93	11.44	18.80	
5	66.88	14.92	19.46	
7	64.37	14.08	21.26	
9	81.07	5.63	2.40	
11	82.18	5.58	-0.90	



ภาพที่ 4.5 ค่าความเข้มสีบนผ้าไหมที่ย้อมสีด้วยเปลือกของฝักมะขาม ณ ค่า pH ที่ต่างกัน

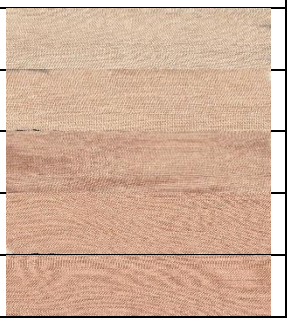
จากตารางที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่าผ้าไหมที่ย้อมสีจากสาระละลายสีย้อมจากเปลือกของฝักมะขามโดยไม่ปรับค่า pH ของน้ำย้อม และปรับค่า pH น้ำย้อมสภาวะกรดถึงกลาง ที่ pH 3-7 จะได้เฉดสีน้ำตาลออกแดง อย่างไรก็ตามเมื่อปรับค่า pH น้ำย้อมเป็นสภาวะด่างที่ pH 9-11 จะเกิดการติดสีได้น้อยหรือแทบไม่ติดสีเลย ทั้งนี้เนื่องจากในสภาวะการย้อมสีที่น้ำย้อมสีมีสภาพความเป็นด่าง (alkaline) เกิดปฏิกิริยาระหว่างไฮดรอกซิลไอออน (hydroxyl ion; OH^-) จะทำหน้าที่เปลี่ยนแอมโมเนียมไอออน (NH^{3+}) ไปเป็นหมู่อะมิโน (NH_2) โครงสร้างทางเคมีของเส้นไหมจะเปลี่ยนเป็นคาร์บอกซิเลท ไอออน

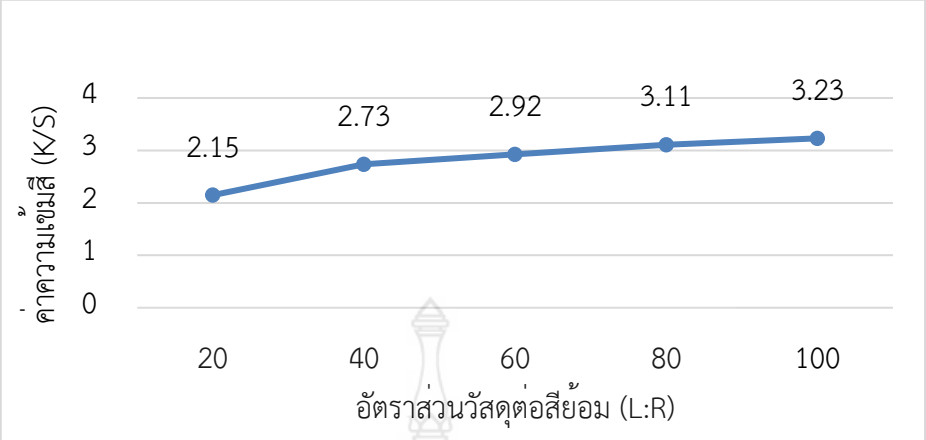
(Carboxylate ion; COO^-) ส่งผลให้สีติดในเส้นไหมได้น้อย [28] นอกจากนี้ยังอาจจะเกิดแรงผลักกันเนื่องจากประจุไฟฟ้า (electrostatic repulsion) ระหว่างสีย้อมและเส้นใยไหม จึงส่งผลให้การดูดซึมสีลดลงและทำให้สีที่ปรากฏไม่เข้มหรือสีติดได้น้อย [28] จากภาพที่ 4.5 พบว่าค่า pH ที่ใช้ในการย้อมมีผลต่อค่าความเข้มของสี กล่าวคือ การย้อมสีที่สภาวะความเป็นกรด ถึงสภาวะความเป็นกลาง (pH 3-7) ค่าความเข้มของสีบนผ้าไหมจะมีค่าสูงกว่าการย้อมสีในสภาวะที่เป็นด่าง (pH 9-11) ซึ่ง สภาวะค่า pH ที่มีค่าเหมาะสมสำหรับการย้อมสีผ้าไหมด้วยเปลือกของฝักมะขามคือ pH 7 โดยจะทำให้ผ้าไหมมีความเข้มของสีสูงสุด

4.5 ผลการศึกษาอัตราส่วนวัสดุต่อสารละลายสีย้อม (L:R) ที่เหมาะสมสำหรับการสีย้อมผ้าไหมด้วยเปลือกของฝักมะขาม

จากการศึกษาสภาวะอัตราส่วนวัสดุต่อสารละลายสีย้อมที่เหมาะสมสำหรับการย้อมสีผ้าไหมด้วยเปลือกของฝักมะขาม โดยศึกษาอัตราส่วนวัสดุต่อสารละลายสีย้อม (L:R) 1:20, 1:40, 1:60, 1:80 และ 1:100 โดยกำหนดตัวแปรคงที่ได้แก่ สภาวะค่าความเป็นกรด-ด่าง pH 7 อุณหภูมิที่ใช้ในการย้อม 90 องศาเซลเซียส และเวลา 60 นาที ผลการศึกษาสภาวะอัตราส่วนวัสดุต่อสารละลายสีย้อมที่เหมาะสมสำหรับการย้อมสีผ้าไหมด้วยเปลือกของฝักมะขาม ปรากฏข้อมูลดังตารางที่ 4.5 และภาพที่ 4.6

ตารางที่ 4.5 ค่าของสี (L*, a*, b*) ของการย้อมสีผ้าไหมด้วยเปลือกของฝักมะขาม ที่อัตราส่วนวัสดุต่อสารละลายสีย้อม (L:R) ที่แตกต่างกัน ณ อุณหภูมิการย้อมสี 90 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที และ pH 7

อัตราส่วน (L:R)	ค่าของสี			ตัวอย่างผ้า
	L*	a*	b*	
20	70.58	11.00	16.33	
40	65.96	13.98	18.66	
60	63.75	16.87	19.55	
80	61.70	14.88	17.62	
100	61.84	18.04	19.71	



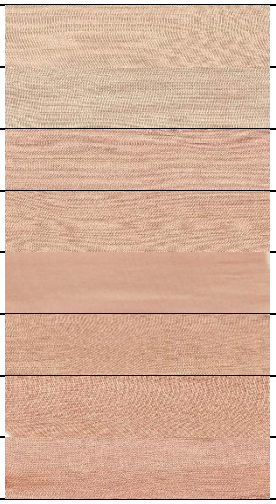
ภาพที่ 4.6 ค่าความเข้มสีบนผ้าไหมที่ย้อมสีด้วยเปลือกของฝักมะขาม ณ อัตราส่วน (L:R) ที่ต่างกัน

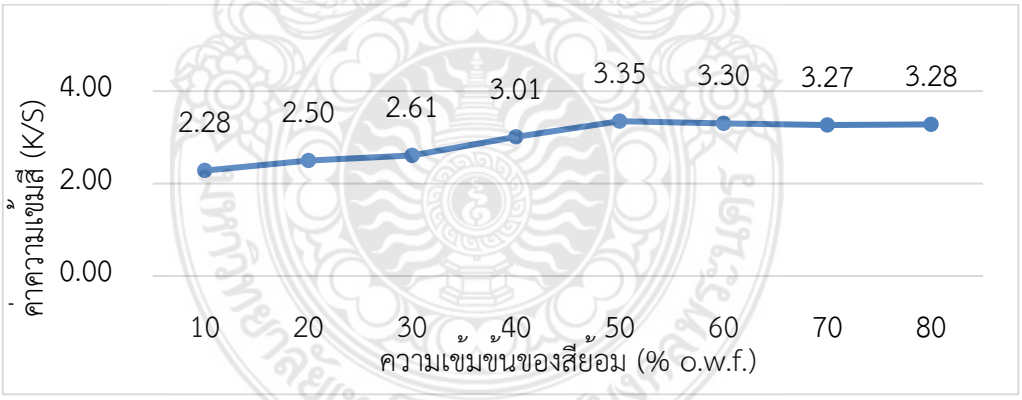
จากตารางที่ 4.5 พบว่าผ้าไหมโดยใช้อัตราส่วนระหว่างผ้าไหมและสารละลายสีย้อมจากเปลือกของฝักมะขาม (L:R) ในอัตราส่วนที่แตกต่างกันยังคงให้เฉดสีน้ำตาลออกแดง อย่างไรก็ตามเมื่อใช้อัตราส่วนวัสดุต่อสารละลายสีย้อมในสัดส่วนที่น้อย เช่น 1:20 ถึง 1:60 สีที่ปรากฏบนผ้าไหมจะไม่ค่อยสม่ำเสมอ ซึ่งค่าความเข้มสี (K/S) ที่ถูกวัดออกมาจะมีค่าน้อยเนื่องจากผ้ามีรอยด่าง และเมื่อใช้อัตราส่วนวัสดุต่อสารละลายสีย้อมในสัดส่วนที่มากขึ้น เช่น 1:80 ถึง 1:100 ปรากฏบนผ้าไหมมีความสม่ำเสมอ ซึ่งค่าความเข้มสี (K/S) ที่ถูกวัดออกมาจะมีค่ามากและใกล้เคียงกัน โดยพิจารณาได้จากภาพที่ 4.6

4.6 ผลการศึกษาอิทธิพลความเข้มข้นของสีย้อม (% o.w.f.) ต่อการย้อมสีผ้าไหมด้วยเปลือกของฝักมะขาม

จากการศึกษาสภาวะความเข้มข้นสีย้อมต่อการย้อมสีผ้าไหมด้วยเปลือกของฝักมะขาม โดยศึกษาความเข้มข้นสารละลายสีย้อมที่ 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70 และ 80 % o.w.f. โดยกำหนดตัวแปรคงที่ได้แก่ อัตราส่วนวัสดุต่อสีย้อม 1:100 สภาวะค่าความเป็นกรด-ด่าง pH7 อุณหภูมิที่ใช้ในการย้อม 90 องศาเซลเซียส และเวลา 60 นาที ผลการศึกษาอิทธิพลความเข้มข้นของสีย้อม (% o.w.f.) ต่อการย้อมสีผ้าไหมด้วยเปลือกของฝักมะขามปรากฏข้อมูลดังตารางที่ 4.6 และภาพที่ 4.7

ตารางที่ 4.6 ค่าของสี (L*, a*, b*) บนผ้าไหมที่ย้อมด้วยสีจากเปลือกของฝักมะขามโดยใช้ความเข้มข้นสีย้อมที่แตกต่างกัน ณ อุณหภูมิการย้อมสี 90 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที อัตราส่วนวัสดุต่อสารละลายสีย้อม 1:100 pH 7

ความเข้มข้นของสีย้อม (% o.w.f.)	ค่าของสี			ตัวอย่างผ้า
	L*	a*	b*	
10	69.51	13.31	18.79	
20	65.86	16.53	17.08	
30	65.74	15.96	20.04	
40	64.59	9.67	17.20	
50	61.21	16.92	19.02	
60	61.80	17.73	20.52	
70	61.98	17.56	19.32	
80	61.82	17.56	17.48	



ภาพที่ 4.7 ค่าความเข้มสีบนผ้าไหมที่ย้อมสีด้วยเปลือกของฝักมะขาม ณ ความเข้มข้นของสีย้อมที่ต่างกัน

จากข้อมูลในตารางที่ 4.6 พบว่าผ้าไหมที่ผ่านการย้อมด้วยสีย้อมจากเปลือกฝักมะขามที่มีความเข้มข้นตั้งแต่ 10–80% o.w.f. ยังคงให้เฉดสีน้ำตาลออกแดง โดยที่ความเข้มข้นต่ำจะให้เฉดสีน้ำตาลออกแดงอ่อน แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นจนถึงระดับสูงสุด จะได้เฉดสีน้ำตาลออกแดงเข้ม

นอกจากนี้ จากภาพที่ 4.7 พบว่าค่าความเข้มของสี (K/S) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระดับความเข้มข้นของสีย้อม และจะเข้าสู่ค่าคงที่เมื่อความเข้มข้นของสารละลายอยู่ในช่วง 70-80% o.w.f. ข้อมูลจากตารางที่ 4.6 และภาพที่ 4.7 ยืนยันได้ว่าการเพิ่มความเข้มข้นของสีย้อมจากเปลือกฝักมะขามส่งผลให้ค่าความเข้มของสี (K/S) ในเส้นใยไหมเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจเกิดจากกระบวนการดูดซับหรือการไล่ระดับเฉดสีบนเส้นใยไหม [25] การเพิ่มความเข้มข้นของสีย้อมจากเปลือกฝักมะขามช่วยให้สีย้อมสามารถถ่ายโอนเข้าสู่เส้นใยไหมได้มากขึ้น ส่งผลให้สีที่ได้มีความเข้มมากขึ้น [25]

4.7 ผลการศึกษาการทำมอร์แดนท์ โดยใช้ความเข้มข้นของสีย้อมที่แตกต่างกันสำหรับการย้อมสีผ้าไหมด้วยเปลือกของฝักมะขาม

การทดลองนี้ใช้ความเข้มข้นของสีย้อมจากเปลือกของฝักมะขามเป็น 5, 10, 30 และ 50% o.w.f. โดยกำหนดตัวแปรคงที่ได้แก่ ความเข้มข้นของสารมอร์แดนท์ 50% o.w.f. อัตราส่วนวัสดุต่อสีย้อม 1:100 สภาวะค่า pH 7 อุณหภูมิที่ใช้ในการย้อม 90 องศาเซลเซียส และเวลา 60 นาที ผลการทดลองที่ได้มีดังนี้

4.7.1 ผลการศึกษาการทำมอร์แดนท์ก่อนการย้อม (pre-mordanting) โดยใช้ความเข้มข้นของสีย้อมที่แตกต่างกันสำหรับการย้อมสีผ้าไหมด้วยเปลือกของฝักมะขาม

ผลการศึกษาการทำมอร์แดนท์ก่อนการย้อมสี โดยใช้ความเข้มข้นของสีย้อมที่แตกต่างกันสำหรับการย้อมสีผ้าไหมด้วยเปลือกของฝักมะขาม ปรากฏข้อมูลดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ค่าของสีและค่าความเข้มสีบนผ้าไหมที่ย้อมด้วยสารละลายสีย้อมจากเปลือกของฝักขามที่ความเข้มข้นสีย้อมแตกต่างกัน และใช้ความเข้มข้นของสารมอร์แดนท์ 50 % o.w.f. ในการทำมอร์แดนท์ก่อนการย้อมสี (pre-mordanting)

สารมอร์แดนท์	ความเข้มข้นของสีย้อม (% o.w.f.)	การทำมอร์แดนท์ก่อนการย้อมสี (pre-mordanting)				
		ค่าความเข้มสี (K/S)	ค่าของสี			ตัวอย่างผ้า
			L*	a*	b*	
ไม่ใส่สารมอร์แดนท์	5	1.74	71.16	10.21	16.19	
	10	1.95	72.53	8.74	14.11	
	30	2.73	65.46	14.68	18.79	
	50	3.52	61.59	16.96	21.37	
สารส้ม $AlK(SO_4)_2.12H_2O$	5	2.49	80.02	7.32	7.87	
	10	3.34	73.92	7.03	10.05	
	30	3.93	65.82	12.5	17.19	
	50	4.48	60.61	14.61	17.86	
จุนสี $CuSO_4.5H_2O$	5	3.23	58.37	0.85	13.45	
	10	3.65	53.22	3.57	15.75	
	30	4.32	47.50	7.95	19.14	
	50	4.56	57.1	11.93	17.67	
สนิมเหล็ก $FeSO_4.7H_2O$	5	5.70	52.73	5.04	18.90	
	10	6.12	48.33	3.70	12.78	
	30	6.62	41.20	3.34	8.35	
	50	8.01	37.33	4.07	6.26	
สแตนนัสคลอไรด์ $SnCl_2.5H_2O$	5	1.94	72.02	7.32	7.87	
	10	2.19	68.58	9.60	8.70	
	30	2.42	64.71	10.18	8.44	
	50	2.95	58.15	11.30	10.36	

จากตารางที่ 4.7 พบว่าเมื่อความเข้มข้นของสีย้อมที่สกัดจากเปลือกฝักมะขามเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าความเข้มสี (K/S) บนผ้าไหมเพิ่มขึ้นตามลำดับ โดยค่าความเข้มสีของผ้าไหมที่ผ่านกระบวนการมอร์แดนท์ก่อนการย้อม สามารถเรียงลำดับจากค่าความเข้มสีสูงสุดไปต่ำสุดได้ดังนี้ สนิมเหล็ก > จุนสี > สารส้ม > ไม่ใช้สารมอร์แดนท์ > สแตนนัสคลอไรด์ จากผลการทดลอง พบว่าในกรณีที่ ไม่ใช้สารมอร์แดนท์ ผ้าไหมจะมีเฉดสีน้ำตาลอ่อนจนถึงสีน้ำตาลออกแดง หากใช้ สารส้มและ สแตนนัสคลอไรด์ ผ้าไหมจะมีเฉดสีครีมออกเหลืองจนถึงสีน้ำตาลแดง ขณะที่ จุนสีทำให้ผ้าไหมมีเฉดสีครีมออกเขียวจนถึงสีน้ำตาลออกแดง อย่างไรก็ตาม การใช้ สนิมเหล็กเป็นสารมอร์แดนท์ ส่งผลให้ผ้าไหมมีเฉดสีน้ำตาลออกเทาจนถึงน้ำตาลออกดำ ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับค่าความเข้มข้นของสีย้อมที่ใช้

4.7.2 ผลการศึกษาการทำมอร์แดนท์พร้อมกับการย้อม (meta-mordanting) โดยใช้ความเข้มข้นของสีย้อมที่แตกต่างกันสำหรับการย้อมสีผ้าไหมด้วยเปลือกของฝักมะขาม

ผลการศึกษาการทำมอร์แดนท์พร้อมกับการย้อมสีแสดงผลตามตารางที่ 4.8 โดยพบว่าผ้าไหมที่ผ่านกระบวนการย้อมด้วยวิธีนี้ยังคงให้เฉดสีคล้ายกับเทคนิคการทำมอร์แดนท์ก่อนการย้อมสี อย่างไรก็ตาม ความเข้มของเฉดสีมีแนวโน้มลดลง ซึ่งอาจเกิดจากการที่สารมอร์แดนท์ทำปฏิกิริยาหรือจับกับสารให้สีก่อนที่สีจะจับกับเส้นใยไหม ส่งผลให้เฉดสีของผ้าไหมที่ได้มีความอ่อนลง เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการทำมอร์แดนท์ก่อนและหลังย้อมสี จากตารางที่ 4.8 ค่าความเข้มของสีบนผ้าไหม (K/S) เพิ่มขึ้นตามระดับความเข้มข้นของสีย้อมที่สกัดจากเปลือกของฝักมะขาม สามารถเรียงลำดับจากมากไปน้อยได้ดังนี้ จุนสี > ไม่ใช้สารมอร์แดนท์ > สนิมเหล็ก > สารส้ม > สแตนนัสคลอไรด์

4.7.3 ผลการศึกษาการทำมอร์แดนท์หลังการย้อมสี (post mordanting) โดยใช้ความเข้มข้นของสีย้อมที่แตกต่างกันสำหรับการย้อมสีผ้าไหมด้วยเปลือกของฝักมะขาม

จากข้อมูลในตารางที่ 4.9 พบว่า ผ้าไหมที่ผ่านการย้อมด้วยเทคนิคนี้ยังคงให้เฉดสีคล้ายกับเทคนิคการทำมอร์แดนท์ก่อนการย้อมสี และพร้อมกับการย้อมสี อย่างไรก็ตาม ค่าความเข้มของเฉดสี (K/S) ของผ้าไหมที่ผ่านการทำมอร์แดนท์หลังการย้อมสีมีค่าความเข้มสูงกว่าวิธีอื่น ๆ ซึ่งอาจเกิดจากการที่ในระหว่างกระบวนการย้อมสี ไม่มีการเติมสารมอร์แดนท์ ส่งผลให้เส้นใยไหมสามารถดูดซับโมเลกุลของสีย้อมได้อย่างเต็มที่ โดยไม่มีการรบกวนจากสารมอร์แดนท์ จึงทำให้สีของผ้าไหมที่ได้มีความเข้มมากกว่าการทำมอร์แดนท์ด้วยเทคนิคอื่น ๆ โดยสามารถเรียงลำดับค่าความเข้มสีจากมากไปน้อยได้ดังนี้ ไม่ใช้สารมอร์แดนท์ > จุนสี > สนิมเหล็ก > สารส้ม > สแตนนัสคลอไรด์

ตารางที่ 4.8 ค่าของสีและค่าความเข้มสีบนผ้าไหมที่ย้อมด้วยสารละลายสีย้อมจากเปลือกของฝักมะขามที่ความเข้มข้นสีย้อมที่แตกต่างกัน และใช้ความเข้มข้นของสารมอร์แดนท์ 50% o.w.f. ในการทำมอร์แดนท์พร้อมการย้อมสี (meta-mordanting)

สารมอร์แดนท์	ความเข้มข้นของสีย้อม (% o.w.f.)	การทำมอร์แดนท์พร้อมการย้อมสี (meta-mordanting)				
		ค่าความเข้มสี (K/S)	ค่าของสี			ตัวอย่างผ้า
			L*	a*	b*	
ไม่ใส่สารมอร์แดนท์	5	1.74	71.16	10.21	16.19	
	10	1.95	72.53	8.74	14.11	
	30	2.73	65.46	14.68	18.79	
	50	3.52	61.59	16.96	21.37	
สารส้ม $AlK(SO_4)_2.12H_2O$	5	1.38	78.88	3.84	4.37	
	10	1.46	73.71	5.34	7.73	
	30	1.68	69.46	11.22	13.74	
	50	1.8	66.58	14.12	16.40	
จุนสี $CuSO_4.5H_2O$	5	2.12	75.53	0.26	13.65	
	10	2.18	73.89	2.26	14.72	
	30	3.98	61.14	9.42	19.10	
	50	4.13	57.1	11.93	17.67	
สนิมเหล็ก $FeSO_4.7H_2O$	5	1.54	67.09	2.58	6.78	
	10	1.65	64.60	3.31	4.20	
	30	1.73	61.32	4.19	1.66	
	50	1.83	59.23	5.04	2.55	
สแตนนัสคลอไรด์ $SnCl_2.5H_2O$	5	0.90	83.21	3.93	0.92	
	10	1.06	81.50	9.40	8.78	
	30	1.14	79.47	7.85	9.05	
	50	1.22	78.71	10.18	8.44	

ตารางที่ 4.9 ค่าของสีและค่าความเข้มสีบนผ้าไหมที่ย้อมด้วยสีย้อมจากเปลือกของฝักมะขามที่ความเข้มข้นสีย้อมที่แตกต่างกัน และใช้ความเข้มข้นของสารมอร์แดนท์ 50% o.w.f. ในการทำมอร์แดนท์หลังการย้อมสี (post-mordanting)

สารมอร์แดนท์	ความเข้มข้นของสีย้อม (% o.w.f.)	การทำมอร์แดนท์หลังการย้อมสี (post-mordanting)				
		ค่าความเข้มสี (K/S)	ค่าของสี			ตัวอย่างผ้า
			L*	a*	b*	
ไม่ใส่สารมอร์แดนท์	5	1.74	71.16	10.21	16.19	
	10	1.95	72.53	8.74	14.11	
	30	2.73	65.46	14.68	18.79	
	50	3.52	61.59	16.96	21.37	
สารส้ม $AlK(SO_4)_2.12H_2O$	5	1.88	73.19	7.82	14.19	
	10	1.92	72.19	12.38	19.09	
	30	1.95	71.16	14.48	19.71	
	50	1.99	69.81	8.95	16.28	
จุนสี $CuSO_4.5H_2O$	5	2.39	63.60	6.71	16.11	
	10	2.83	58.32	8.17	18.74	
	30	3.01	56.06	12.76	20.58	
	50	3.23	55.76	13.99	20.95	
สนิมเหล็ก $FeSO_4.7H_2O$	5	2.15	56.22	2.10	10.41	
	10	2.83	54.03	1.79	9.87	
	30	3.17	52.42	1.16	4.67	
	50	3.29	51.19	1.43	4.85	
สแตนนัสคลอไรด์ $SnCl_2.5H_2O$	5	1.49	74.99	7.3	14.28	
	10	1.56	72.25	8.46	17.15	
	30	1.68	69.51	13.27	20.28	
	50	1.75	67.73	16.00	22.24	

จากผลการทดลองเกี่ยวกับการทำมอร์แดนท์ในทั้ง 3 วิธี พบว่าเมื่อใช้สีย้อมจากเปลือกของฝักมะขามที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน ค่าความเข้มสีของผ้าไหมสามารถจัดเรียงลำดับจากสูงสุดไปต่ำสุดได้ดังนี้ การทำมอร์แดนท์หลังการย้อมสี (post-mordanting) > การทำมอร์แดนท์ก่อนการย้อมสี (pre-mordanting) > การทำมอร์แดนท์พร้อมการย้อมสี (meta-mordanting) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าลำดับของกระบวนการมอร์แดนท์ส่งผลโดยตรงต่อระดับความเข้มของสีที่ย้อมติดบนผ้าไหม

การเพิ่มความเข้มข้นของสีย้อมจากเปลือกของฝักมะขามจะช่วยเพิ่มค่าความเข้มของสี (K/S) ในเส้นไหมที่ผ่านการย้อมสี และสามารถเกิดจากการไล่ระดับความเข้มข้นของสีย้อมหรือไล่ระดับเฉดสีบนเส้นใยไหมโดยการดูดซับ [25] การเพิ่มความเข้มข้นของสีย้อมจากเปลือกของฝักมะขามส่งผลให้มีการถ่ายโอนสีย้อมไปยังเส้นใยไหมมากขึ้นและทำให้สีที่ได้มีความเข้มมากยิ่งขึ้น [25] ในทุกการย้อมสีสารมอร์แดนท์ประเภทสนิมเหล็กจะให้ค่าความเข้มสีสูงที่สุดทั้งนี้เนื่องจากสนิมเหล็กมีแนวโน้มที่จะเกิดเป็นสารเชิงซ้อนโคออร์ดิเนชัน (coordination complex) ที่มีความแข็งแรงและสามารถเกิดเป็นสารคีเลต (chelate) ได้อย่างง่ายกับตัวสีย้อม [29] เนื่องจากสนิมเหล็กมีโคออดิเนชั่น (coordination number) เท่ากับ 6 และยังมีส่วนโคออดิเนชั่นส่วนที่เหลืออยู่ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยากับเส้นใยไหมได้ โดยในส่วนของเส้นใยไหมจะหมู่ฟังก์ชั่น (functional groups) ซึ่งได้แก่ หมู่อะมิโน (amino group; NH_2) และหมู่กรดคาร์บอกซิลิค (carboxylic acid group; COO^-) ที่สามารถเข้าทำปฏิกิริยากับส่วนโคออดิเนชั่นส่วนที่เหลืออยู่ ดังนั้นสนิมเหล็กจึงสามารถก่อตัวเป็นสารไตรภาคเชิงซ้อน (ternary complex) โดยที่ด้านหนึ่งจับกับเส้นใย และอีกด้านหนึ่งจับกับสีย้อม [29, 30] ในทางตรงกันข้ามสารส้ม และสแตนนัสคลอไรด์ จะเกิดการฟอร์มตัวเป็นสารเชิงซ้อนโคออร์ดิเนชันกับตัวสีย้อมที่ไม่แข็งแรงมากนัก ดังนั้นจึงทำให้สีเกิดการยึดติดกับเส้นใยในระดับปานกลาง และยิ่งไปกว่านั้นยังพบว่าสารส้มและสแตนนัสคลอไรด์ จะเกิดการจับกับตัวสีย้อมก่อนและตัวสีย้อมจะไม่สามารถเข้าไปติดเส้นใยได้ [30, 31] จึงส่งผลให้สีติดเส้นใยได้น้อย

4.8 ผลการศึกษาการทำมอร์แดนท์โดยใช้ความเข้มข้นของสารละลายมอร์แดนท์ที่แตกต่างกันสำหรับการย้อมสีผ้าไหมด้วยเปลือกของฝักมะขาม

การทดลองนี้ใช้ความเข้มข้นของสารละลายมอร์แดนท์ 25, 50, 75 และ100% o.w.f. โดยกำหนดตัวแปรคงที่ได้แก่ ความเข้มข้นของสีย้อมจากเปลือกของฝักมะขาม 50% o.w.f.อัตราส่วนวัสดุต่อสีย้อม 1:100 ค่าความเป็นกรด-ด่าง pH 7 อุณหภูมิที่ใช้ในการย้อม 90 องศาเซลเซียส และเวลา 60 นาที ผลการทดลองที่ได้มีดังนี้

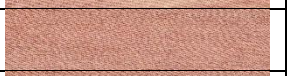
4.8.1 ผลการศึกษาการทำมอร์แดนท์ก่อนการย้อมสี (pre-mordanting) โดยใช้ความเข้มข้นของสารละลายมอร์แดนท์ที่แตกต่างกันสำหรับการย้อมสีผ้าไหมด้วยเปลือกของฝักมะขาม

ผลการศึกษาการทำมอร์แดนท์ก่อนการย้อมสีแสดงผลตามตารางที่ 4.10 จากข้อมูลพบว่า ผ้าไหมที่ผ่านการย้อมสีโดยไม่มีการใช้สารมอร์แดนท์ หรือใช้สารมอร์แดนท์ประเภทสารส้มและสแตนนัสคลอไรด์ ให้เฉดสีน้ำตาลออกชมพู ขณะที่การใช้สารมอร์แดนท์ประเภทจุนสีทำให้ได้เฉดสีน้ำตาลเข้ม และหากใช้สารมอร์แดนท์ประเภทสนิมเหล็ก สีของผ้าไหมจะมีเฉดน้ำตาลเข้มออกเทาดำ จากผลการทดลองยังพบว่าค่าความเข้มข้นของสารละลายมอร์แดนท์มีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่าความเข้มของสีบนผ้าไหม (K/S) กล่าวคือ เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารมอร์แดนท์ ค่าความเข้มสีบนผ้าไหมก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย โดยสามารถจัดเรียงลำดับค่าความเข้มสีของผ้าไหมที่ผ่านการทำมอร์แดนท์ก่อนการย้อมสีจากมากไปน้อยได้ดังนี้ จุนสี > สนิมเหล็ก > สารส้ม > สแตนนัสคลอไรด์

4.8.2 ผลการศึกษาการทำมอร์แดนท์พร้อมกับการย้อมสี (meta-mordanting) โดยใช้สารละลายมอร์แดนท์ที่มีความเข้มข้นแตกต่างกันสำหรับการย้อมสีผ้าไหมด้วยเปลือกของฝักมะขาม แสดงข้อมูลในตารางที่ 4.11 จากผลการทดลองพบว่า ผ้าไหมที่ผ่านการย้อมสีโดยไม่มีการใช้สารมอร์แดนท์ หรือใช้สารมอร์แดนท์ประเภทสารส้มและจุนสี ให้เฉดสีน้ำตาลออกแดง ในขณะที่การใช้สารมอร์แดนท์ประเภทสแตนนัสคลอไรด์ส่งผลให้เกิดเฉดสีครีมออกเหลืองถึงน้ำตาลอ่อน ทั้งนี้ การใช้สารมอร์แดนท์ประเภทสนิมเหล็กส่งผลให้ผ้าไหมมีเฉดสีน้ำตาลเทาดำ

นอกจากนี้ ยังพบว่าค่าความเข้มข้นของสารละลายมอร์แดนท์มีความสัมพันธ์แบบผกผันกับค่าความเข้มของสีบนผ้าไหม (K/S) กล่าวคือ เมื่อความเข้มข้นของสารมอร์แดนท์เพิ่มขึ้น ค่าความเข้มของสีบนเส้นใยไหมจะลดลง เนื่องจากสารมอร์แดนท์ทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของสีย้อมในสารละลายก่อนที่สีย้อมจะสามารถจับกับเส้นใยไหมโดยตรง ส่งผลให้ปริมาณสีย้อมที่สามารถยึดติดกับเส้นใยลดลง และทำให้สีที่เกิดขึ้นมีความเข้มน้อยลงตามลำดับ โดยค่าความเข้มของสีบนผ้าไหมที่ผ่านการย้อมสีด้วยกระบวนการทำมอร์แดนท์พร้อมกับการย้อมสี สามารถเรียงลำดับจากมากไปน้อยได้ดังนี้ จุนสี > สนิมเหล็ก > สารส้ม > สแตนนัสคลอไรด์

ตารางที่ 4.10 ค่าของสีและค่าความเข้มสีบนผ้าไหมที่ย้อมด้วยสีย้อมจากเปลือกของฝักมะขามที่ความเข้มข้น 50% o.w.f. และใช้ความเข้มข้นของสารมอร์แดนท์ที่แตกต่างกัน โดยการทำมอร์แดนท์ก่อนการย้อมสี (pre-mordant)

สารมอร์แดนท์	ความเข้มข้นของสารมอร์แดนท์ (% o.w.f.)	การทำมอร์แดนท์ก่อนการย้อมสี (pre-mordanting)				
		ค่าความเข้มสี (K/S)	ค่าของสี			ตัวอย่างผ้า
			L*	a*	b*	
ไม่ใช้สารมอร์แดนท์	-	3.52	61.59	16.96	21.37	
สารส้ม $AlK(SO_4)_2.12H_2O$	25	3.20	55.38	18.87	16.75	
	50	4.60	50.26	18.70	19.30	
	75	4.97	49.84	18.41	18.46	
	100	5.04	52.10	18.62	19.10	
จุนสี $CuSO_4.5H_2O$	25	11.35	40.41	14.34	15.79	
	50	11.52	41.15	14.34	16.60	
	75	14.60	39.06	14.67	18.32	
	100	15.16	38.99	14.64	17.69	
สนิมเหล็ก $FeSO_4.7H_2O$	25	7.03	39.17	9.60	6.13	
	50	8.68	35.64	8.16	5.46	
	75	9.61	34.88	8.72	5.69	
	100	11.32	34.88	7.99	6.19	
สแตนนัสคลอไรด์ $SnCl_2.5H_2O$	25	2.15	67.32	15.23	14.02	
	50	3.02	58.37	18.26	18.05	
	75	3.28	59.26	18.03	19.22	
	100	3.99	56.01	18.21	18.05	

ตารางที่ 4.11 ค่าของสีและค่าความเข้มสีผ้าไหมที่ย้อมด้วยสีย้อมจากเปลือกของฝักมะขามที่ความเข้มข้นสีย้อม 50% o.w.f. และใช้ความเข้มข้นของสารมอร์แดนท์ที่ต่างกัน โดยการทำมอร์แดนท์พร้อมการย้อมสี (meta-mordanting)

สารมอร์แดนท์	ความเข้มข้นของสารมอร์แดนท์ (%o.w.f.)	การทำมอร์แดนท์พร้อมการย้อมสี (meta-mordanting)				
		ค่าความเข้มสี (K/S)	ค่าของสี			ตัวอย่างผ้า
			L*	a*	b*	
ไม่ใช้สารมอร์แดนท์	-	3.52	61.59	16.96	21.37	
สารส้ม $AlK(SO_4)_2.12H_2O$	25	2.10	64.99	13.16	13.61	
	50	1.79	67.9	12.94	13.30	
	75	1.86	69.37	13.29	14.21	
	100	1.40	73.71	10.93	11.16	
จุนสี $CuSO_4.5H_2O$	25	4.25	57.12	11.78	16.44	
	50	4.06	58.63	11.63	17.02	
	75	3.53	58.8	10.31	14.62	
	100	3.49	58.44	13.03	15.11	
สนิมเหล็ก $FeSO_4.7H_2O$	25	2.14	57.56	5.76	2.18	
	50	1.84	62.13	8.07	6.38	
	75	1.55	62.82	4.50	-0.09	
	100	0.99	67.48	3.26	-0.57	
สแตนนัสคลอไรด์ $SnCl_2.5H_2O$	25	1.42	73.46	11.77	10.91	
	50	1.20	78.56	8.21	5.67	
	75	0.87	81.20	7.22	5.67	
	100	0.75	83.75	5.49	3.50	

4.8.3 ผลการศึกษาการทำมอร์แดนท์หลังการย้อมสี (post-mordanting) โดยใช้สารละลายมอร์แดนท์ที่มีความเข้มข้นแตกต่างกันสำหรับการย้อมสีผ้าไหมด้วยเปลือกของฝักมะขาม แสดงข้อมูลในตารางที่ 4.12 จากผลการทดลองพบว่า ผ้าไหมที่ผ่านการย้อมสีโดยไม่มีการใช้สารมอร์แดนท์ หรือใช้สารมอร์แดนท์ประเภทสารส้ม จุนสี และสแตนนัสคลอไรด์ ให้เฉดสีน้ำตาลออกแดง ในขณะที่การใช้สารมอร์แดนท์ประเภทสนิมเหล็กส่งผลให้เกิดเฉดสีน้ำตาลเข้มออกเทาดำ

นอกจากนี้ ยังพบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารมอร์แดนท์ ค่าความเข้มของสีบนผ้าไหมจะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย สามารถเรียงลำดับจากมากไปน้อยได้ดังนี้ จุนสี > สนิมเหล็ก > สารส้ม > สแตนนัสคลอไรด์

จากผลการทดลองเกี่ยวกับการทำมอร์แดนท์ทั้ง 3 สภาวะ เมื่อใช้ความเข้มข้นของสารละลายมอร์แดนท์ที่แตกต่างกัน พบว่าค่าความเข้มของสีจากกระบวนการทำมอร์แดนท์สามารถเรียงลำดับจากมากไปน้อยได้ดังนี้ การทำมอร์แดนท์ก่อนการย้อมสี (pre-mordanting) > การทำมอร์แดนท์หลังการย้อมสี (post-mordanting) > การทำมอร์แดนท์พร้อมกับการย้อมสี (meta-mordanting)

ตารางที่ 4.12 ค่าของสีและค่าความเข้มสีผ้าไหมที่ย้อมด้วยสีย้อมจากเปลือกของฝักมะขามที่ความเข้มข้นสีย้อม 50% o.w.f. และใช้ความเข้มข้นของสารมอร์แดนท์ที่ต่างกัน โดยการทำมอร์แดนท์หลังการย้อมสี (post-mordanting)

สารมอร์แดนท์	ความเข้มข้นของสารมอร์แดนท์ (% o.w.f.)	การทำมอร์แดนท์หลังการย้อมสี (post-mordanting)				
		ค่าความเข้มสี (K/S)	ค่าของสี			ตัวอย่างผ้า
			L*	a*	b*	
ไม่ใช้สารมอร์แดนท์	-	3.52	61.59	16.96	21.37	
สารส้ม $AlK(SO_4)_2.12H_2O$	25	1.84	67.73	12.73	12.09	
	50	1.92	67.42	13.26	11.38	
	75	2.15	63.79	13.59	13.74	
	100	2.39	65.3	13.73	14.44	
จุนสี $CuSO_4.5H_2O$	25	2.96	58.15	12.87	13.63	
	50	3.18	58.08	12.59	17.18	
	75	3.42	58.70	11.62	17.52	
	100	4.03	55.76	12.89	16.37	
สนิมเหล็ก $FeSO_4.7H_2O$	25	2.83	50.87	4.74	2.38	
	50	3.26	51.32	3.14	3.78	
	75	3.29	51.19	2.55	3.41	
	100	3.43	50.04	2.77	3.86	
สแตนนัสคลอไรด์ $SnCl_2.5H_2O$	25	1.65	70.65	13.54	11.62	
	50	1.70	68.94	13.77	11.43	
	75	1.72	68.39	13.41	10.68	
	100	1.77	68.10	14.32	12.53	

4.9 ผลการทดสอบสมบัติความคงทนของสี

การศึกษาความคงทนของสีของผ้าไหมที่ย้อมด้วยสีย้อมจากเปลือกของฝักมะขาม ดำเนินการโดยใช้ผ้าไหมที่ผ่านกระบวนการย้อมด้วยความเข้มข้นของสีย้อม 50% o.w.f. และสารมอร์แดนท์ที่ความเข้มข้น 50% o.w.f. ภายใต้อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที ที่ pH 7 และอัตราส่วนวัสดุต่อสีย้อม 1:100 โดยศึกษาความคงทนของสีผ่านเทคนิคการทำมอร์แดนท์ 3 วิธี ได้แก่ การทำมอร์แดนท์ก่อนการย้อมสี (pre-mordanting), การทำมอร์แดนท์พร้อมการย้อมสี (meta-mordanting), และการทำมอร์แดนท์หลังการย้อมสี (post-mordanting) มาใช้ในการทดสอบความคงทนของสี โดยทดสอบความคงทนของสีต่อการซักล้าง (colorfastness to washing) มาตรฐาน AATCC 61-2013 ทดสอบความคงทนของสีต่อน้ำ (colorfastness to water) มาตรฐาน AATCC 107-2013 ทดสอบความคงทนของสีต่อเหงื่อเทียม (สภาวะกรด) (colorfastness to perspiration) มาตรฐาน AATCC 15-2013 ทดสอบความคงทนของสีต่อการขัดถู (colorfastness to crocking) มาตรฐาน AATCC 8-2016 และทดสอบความคงทนของสีต่อแสงแดดเทียม (colour fastness to artificial light: xenon arc fading lamp test) มาตรฐาน ISO 105-B02: 1994 ผลการศึกษามีดังนี้

4.9.1 ผลการทดสอบความคงทนของสีต่อการซักล้าง (colorfastness to washing) มาตรฐาน AATCC 61-2013 [31]

ผลการทดสอบความคงทนของสีต่อการซักล้างที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เวลา 45 นาที ของสีของผ้าไหมที่ย้อมด้วยสีย้อมจากเปลือกของฝักมะขาม มีรายละเอียดผลการทดสอบปรากฏดังตารางที่ 4.13

จากตารางที่ 4.13 พบว่าผ้าไหมที่ผ่านการย้อมสีด้วยสารสกัดจากเปลือกของฝักมะขาม ทั้งในกรณีที่ไม่ได้ทำมอร์แดนท์ และกรณีที่ผ่านกระบวนการมอร์แดนท์ก่อนการย้อม พร้อมการย้อม และหลังการย้อม มีค่าความคงทนของสีต่อการซักในระดับปานกลางถึงดี (3-4) สำหรับความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงของสี และอยู่ในระดับดีถึงดีมาก (4-5 ถึง 5) สำหรับความคงทนต่อการติดเปื้อนของสี ซึ่งบ่งชี้ว่าสีที่หลุดออกระหว่างการซักไม่ได้ทำให้เกิดการติดเปื้อนบนผ้าขาวทั้ง 6 ชนิดของเส้นใย นอกจากนี้ข้อมูลจากตารางยังแสดงให้เห็นว่าผ้าไหมที่ผ่านการย้อมสีด้วยเปลือกของฝักมะขาม ไม่ว่าจะผ่านกระบวนการมอร์แดนท์แบบใด ล้วนมีคุณสมบัติที่เหมาะสมสำหรับนำไปใช้ในงานย้อมสี

ตารางที่ 4.13 ผลการทดสอบความคงทนของสีต่อการซักล้าง (colorfastness to washing) มาตรฐาน AATCC 61-2013

การทำมอร์แดนท์	ค่าการเปลี่ยนแปลงของสี (color change)	ค่าการติดเปื้อนสี (color staining)					
		แอซิเทต	ฝ้าย	ไนลอน	ไหม	เรยอน	ขนสัตว์
ไม่ใส่สารมอร์แดนท์	3	5	5	5	5	5	5
ก่อนการย้อมสี							
สารส้ม	4	5	5	5	5	5	5
จุนสี	4	5	5	5	5	5	5
สนิมเหล็ก	3-4	5	5	5	5	5	5
สแตนนัสคลอไรด์	4	5	5	5	5	5	5
พร้อมการย้อมสี							
สารส้ม	4	5	5	5	5	5	5
จุนสี	4	5	5	5	5	5	5
สนิมเหล็ก	3	5	5	5	4-5	5	5
สแตนนัสคลอไรด์	3	5	5	5	5	5	5
หลังการย้อมสี							
สารส้ม	3	5	5	5	5	5	5
จุนสี	3	5	5	5	5	5	5
สนิมเหล็ก	3	5	5	5	5	5	5
สแตนนัสคลอไรด์	4	5	5	5	5	5	5

หมายเหตุ ระดับ 1 แย่ที่สุด / ระดับ 5 ดีที่สุด

4.9.2 ผลการทดสอบความคงทนของสีต่อน้ำ (colorfastness to water) มาตรฐาน AATCC 107-2013 [32]

ผลการทดสอบความคงทนของสีต่อน้ำที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เวลา 18 ชั่วโมง ของผ้าไหมที่ย้อมด้วยสีย้อมจากเปลือกของฝักมะขาม มีรายละเอียด ปรากฏดังตารางที่ 4.14

จากตารางที่ 4.14 พบว่าผ้าไหมที่ย้อมสีด้วยเปลือกของฝักมะขาม ที่ไม่ผ่านการมอร์แดนท์เมื่อนำมาทดสอบความคงทนต่อน้ำสีบนผ้าจะมีความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงของสีอยู่ที่ระดับปานกลางถึงดี (3-4) การย้อมสีผ้าไหมและทำมอร์แดนท์ก่อนการย้อมสีพบว่าเมื่อใช้สนิมเหล็กและสารส้มผ้าไหมจะมีความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงสีอยู่ในระดับปานกลางถึงดี (3-4) แต่ถ้าใช้สนิมเหล็กและสแตนนัสคลอไรด์จะให้ค่าความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงของสีอยู่ในระดับดีถึงดีมาก (4 ถึง 4-5)

ในส่วนการย้อมสีผ้าไหมและทำมอร์แดนท์พร้อมกับการย้อมสีพบว่าเมื่อใช้สารส้ม ผ้าไหมจะมีความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงสีอยู่ในระดับปานกลาง (3) แต่ถ้าใช้ จุนสี สนิมเหล็ก และสแตนนัสคลอไรด์จะให้ค่าความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงของสีอยู่ในระดับดีถึงดีมาก (4 ถึง 4-5)

สำหรับการย้อมสีผ้าไหมและทำมอร์แดนท์หลังการย้อมสีพบว่าเมื่อใช้เมื่อใช้สแตนนัสคลอไรด์ผ้าไหมจะมีความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงสีอยู่ในระดับปานกลาง (3) แต่ถ้าใช้ สารส้ม จุนสี และสนิมเหล็กจะให้ค่าความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงของสีอยู่ในระดับดีถึงดีมาก (4 ถึง 4-5)

4.9.3 ผลการทดสอบความคงทนของสีต่อเหงื่อเทียม (สภาวะกรด) (colorfastness to perspiration) มาตรฐาน AATCC 15-2013 [33]

ผลการทดสอบความคงทนของสีต่อเหงื่อเทียมที่สภาวะความเป็นกรด pH 4.5 ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เวลา 6 ชั่วโมง ของผ้าไหมที่ย้อมด้วยสีย้อมจากเปลือกของฝักมะขาม มีรายละเอียดผลการทดสอบปรากฏดังตารางที่ 4.15

จากตารางที่ 4.15 พบว่าผลการทดสอบความคงทนของสีต่อเหงื่อเทียมของผ้าไหมที่ย้อมสีด้วยเปลือกของฝักมะขาม ที่ไม่ผ่านการมอร์แดนท์มีค่าความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงของสีอยู่ที่ระดับปานกลาง(3) การย้อมสีผ้าไหมและทำมอร์แดนท์ก่อนการย้อมสีพบว่าเมื่อใช้สารส้มและจุนสี ผ้าไหมจะมีความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงสีอยู่ในระดับปานกลางถึงดี (3-4) แต่ถ้าใช้สนิมเหล็กและสแตนนัสคลอไรด์จะให้ค่าความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงของสีอยู่ในระดับดีถึงดีมาก (4 ถึง 4-5)

ในส่วนการย้อมสีผ้าไหมและทำมอร์แดนท์พร้อมกับการย้อมสีพบว่าเมื่อใช้สารส้ม ผ้าไหมจะมีความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงสีอยู่ในระดับปานกลาง (3) แต่ถ้าใช้จุนสี สนิมเหล็ก และสแตนนัสคลอไรด์จะให้ค่าความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงของสีอยู่ในระดับดีถึงดีมาก (4 ถึง 4-5)

สำหรับการย้อมสีผ้าไหมและทำมอร์แดนท์หลังการย้อมสีพบว่าเมื่อใช้เมื่อใช้สแตนนัสคลอไรด์ผ้าไหมจะมีความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงสีอยู่ในระดับปานกลาง (3) แต่ถ้าใช้ สารส้ม จุนสี และสนิมเหล็กจะให้ค่าความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงของสีอยู่ในระดับดีถึงดีมาก (4 ถึง 4-5)

ตารางที่ 4.14 ผลการทดสอบความคงทนของสีต่อน้ำ (colorfastness to water) มาตรฐาน AATCC 107-2013

การทำมอร์แดนท์	ค่าการเปลี่ยนแปลงของสี (color change)	ค่าการติดเปื้อนสี (color staining)					
		แอซิเทต	ฝ้าย	ไนลอน	ไหม	เรยอน	ขนสัตว์
ไม่ใส่สารมอร์แดนท์	3-4	5	5	5	5	5	5
ก่อนการย้อมสี							
สารส้ม	3-4	5	5	5	5	5	5
จุนสี	3-4	5	5	5	5	5	5
สนิมเหล็ก	4-5	5	5	5	5	5	5
สแตนนัสคลอไรด์	4	5	5	5	5	5	5
พร้อมการย้อมสี							
สารส้ม	3	5	5	5	5	5	5
จุนสี	4	5	5	5	5	5	5
สนิมเหล็ก	4	5	5	5	5	5	5
สแตนนัสคลอไรด์	4-5	5	5	5	5	5	5
หลังการย้อมสี							
สารส้ม	4-5	5	5	5	5	5	5
จุนสี	4	5	5	5	5	5	5
สนิมเหล็ก	4	5	5	5	5	5	5
สแตนนัสคลอไรด์	3	5	5	5	5	5	5

หมายเหตุ ระดับ 1 แย่ที่สุด / ระดับ 5 ดีที่สุด

ตารางที่ 4.15 ผลการทดสอบความคงทนของสีต่อเหงื่อเทียม (สภาวะกรด pH 4.5) (colorfastness to perspiration) มาตรฐาน AATCC 15-2013

การทำมอร์แดนท์	ค่าการเปลี่ยนแปลงของสี (color change)	ค่าการติดเปื้อนสี (color staining)					
		แอซิเทต	ฝ้าย	ไนลอน	ไหม	เรยอน	ขนสัตว์
ไม่ใส่สารมอร์แดนท์	3	5	5	5	5	5	5
ก่อนการย้อมสี							
สารส้ม	3-4	5	5	5	5	5	5
จุนสี	3-4	5	5	5	5	5	5
สนิมเหล็ก	4-5	5	5	5	5	5	5
สแตนนัสคลอไรด์	4	5	5	5	5	5	5
พร้อมการย้อมสี							
สารส้ม	3	5	5	5	5	5	5
จุนสี	4	5	5	5	5	5	5
สนิมเหล็ก	4	5	5	5	5	5	5
สแตนนัสคลอไรด์	4-5	5	5	5	5	5	5
หลังการย้อมสี							
สารส้ม	4-5	5	5	5	5	5	5
จุนสี	4	5	5	5	5	5	5
สนิมเหล็ก	4	5	5	5	5	5	5
สแตนนัสคลอไรด์	3	5	5	5	5	5	5

หมายเหตุ ระดับ 1 แย่ที่สุด / ระดับ 5 ดีที่สุด

4.9.4 ผลทดสอบความคงทนของสีต่อการขัดถู (colorfastness to crocking) มาตรฐาน AATCC 8-2016 [34]

ผลการทดสอบความคงทนของสีต่อการขัดถูของผ้าไหมที่ย้อมด้วยสีย้อมจากเปลือกของฝักมะขาม มีรายละเอียด ผลการทดสอบปรากฏดังตารางที่ 4.16

จากตารางที่ 4.16 พบว่าผลการทดสอบความคงทนของสีต่อการขัดถูของผ้าไหมที่ย้อมสีด้วยเปลือกของฝักมะขาม ที่ไม่ผ่านการมอร์แดนท์มีค่าความคงทนต่อการติดเปื้อนสีอยู่ที่ระดับดีถึงดีมาก (4 ถึง 4-5) การย้อมสีผ้าไหมและทำมอร์แดนท์ก่อนการย้อมสีพบว่าเมื่อใช้สารส้ม จุนสี สนิมเหล็กและสแตนนัสคลอไรด์ ผ้าไหมจะมีความคงทนต่อต่อการติดเปื้อนสีอยู่ในระดับปานกลางถึงดี (3-4)

ในส่วนการย้อมสีผ้าไหมและทำมอร์แดนท์พร้อมกับการย้อมสีพบว่าเมื่อใช้สารส้ม ผ้าไหมจะมีความคงทนต่อการติดเปื้อนสีอยู่ในระดับปานกลางถึงดี (3-4) แต่ถ้าใช้จุนสี สนิมเหล็ก และสแตนนัสคลอไรด์ จะให้ค่าความคงทนต่อการติดเปื้อนสีอยู่ในระดับต่ำถึงพอใช้ (1-2 ถึง 2-3)

สำหรับการย้อมสีผ้าไหมและทำมอร์แดนท์หลังการย้อมสีพบว่าเมื่อใช้สารส้ม และสนิมเหล็กผ้าไหมจะมีความคงทนต่อการติดเปื้อนสีอยู่ในระดับปานกลางถึงดี (3-4) แต่ถ้าใช้ จุนสี และสแตนนัสคลอไรด์ จะให้ค่าความคงทนต่อการติดเปื้อนสีอยู่ในระดับพอใช้ถึงปานกลาง (2-3)

4.9.5 ผลการทดสอบความคงทนของสีต่อแสงแดดเทียม (colour fastness to artificial light: xenon arc fading lamp test) มาตรฐาน ISO 105-B02:1994 [35]

ผลการทดสอบความคงทนของสีต่อแสงแดดเทียมของผ้าไหมที่ย้อมด้วยสีย้อมจากเปลือกของฝักมะขาม มีรายละเอียด ผลการทดสอบปรากฏดังตารางที่ 4.16

จากตารางที่ 4.16 พบว่าผลการทดสอบความคงทนของสีต่อแสงแดดเทียมของผ้าไหมที่ย้อมสีด้วยเปลือกของฝักมะขาม ที่ไม่ผ่านการมอร์แดนท์มีค่าความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงของสีอยู่ที่ระดับต่ำสุด (1) การย้อมสีผ้าไหมและทำมอร์แดนท์ก่อนการย้อมสีพบว่าเมื่อใช้สารส้มและจุนสี ผ้าไหมจะมีความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงสีอยู่ในระดับต่ำ (2) แต่ถ้าใช้สนิมเหล็กและสแตนนัสคลอไรด์จะให้ค่าความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงของสีอยู่ในระดับพอใช้ (3)

ในส่วนการย้อมสีผ้าไหมและทำมอร์แดนท์พร้อมกับการย้อมสีพบว่าเมื่อใช้สารส้ม ผ้าไหมจะมีความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงสีอยู่ในระดับต่ำ (2) แต่ถ้าใช้จุนสี สนิมเหล็ก และสแตนนัสคลอไรด์จะให้ค่าความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงของสีอยู่ในระดับพอใช้ (3)

สำหรับการย้อมสีผ้าไหมและทำมอร์แดนท์หลังการย้อมสีพบว่าเมื่อใช้เมื่อใช้สแตนนัสคลอไรด์ผ้าไหมจะมีความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงสีอยู่ในระดับต่ำ (2) แต่ถ้าใช้ สารส้ม จุนสี และสนิมเหล็กจะให้ค่าความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงของสีอยู่ในระดับพอใช้ (3)

ตารางที่ 4.16 ผลการทดสอบความคงทนของสีต่อการขัดถู มาตรฐาน AATCC 8-2016 และความคงทนของสีต่อแสงแดดเทียม มาตรฐาน ISO 105-B02:1994

การทำมอร์แดนท์	ความคงทนของสีต่อการขัดถู *		ความคงทนของสีต่อแสง ** (colour change)
	ค่าการติดเปื้อนสี (color staining)		
	สภาวะแห้ง	สภาวะเปียก	
ไม่ใส่สารมอร์แดนท์	4-5	4	1
ก่อนการย้อมสี			
สารส้ม	4	3	2
จุนสี	4	3-4	3
สนิมเหล็ก	4-5	3-4	3
สแตนนัสคลอไรด์	4	3-4	2
พร้อมการย้อมสี			
สารส้ม	4-5	3-4	2
จุนสี	3-4	2	3
สนิมเหล็ก	2-3	1-2	3
สแตนนัสคลอไรด์	3-4	2-3	3
หลังการย้อมสี			
สารส้ม	3-4	3-4	3
จุนสี	3-4	2-3	3
สนิมเหล็ก	3-4	3	3
สแตนนัสคลอไรด์	3	2-3	2

หมายเหตุ * ระดับ 1 แย่ที่สุด /ระดับ 5 ดีที่สุด

** ระดับ 1 แย่ที่สุด /ระดับ 8 ดีที่สุด

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

ในการศึกษาสมบัติการย้อมสีและความคงทนของสีบนผ้าไหมย้อมด้วยเปลือกของฝักมะขาม เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการย้อม โดยการวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อกระบวนการย้อมสีและสมบัติของผ้าไหม ได้แก่ อุณหภูมิ เวลา ค่า pH ค่าความเข้มข้นของสีย้อม ค่าความเข้มข้นของสารมอร์แดนท์ และการทดสอบความคงทนของสี พบว่าอุณหภูมิการย้อมที่เหมาะสมที่สุดคือ 90 องศาเซลเซียส ซึ่งช่วยเพิ่มการพองตัวของเส้นใยไหมและเสถียรภาพทางความร้อนของสีย้อม ทำให้การแพร่กระจายของสีย้อมเข้าสู่เส้นใยอย่างมีประสิทธิภาพ ส่งผลให้ผ้าไหมที่ย้อมในอุณหภูมินี้ให้เฉดสีน้ำตาลแดงเข้ม และมีค่าความเข้มสี (K/S) สูงสุด ขณะที่การย้อมที่อุณหภูมิต่ำกว่า เช่น 30-50 องศาเซลเซียส ให้เฉดสีที่อ่อนกว่าและค่าความเข้มสีต่ำกว่า เวลาที่ใช้ในการย้อมมีผลต่อค่าความเข้มสีและเฉดสีของผ้าไหมอย่างชัดเจน โดยเมื่อเพิ่มระยะเวลาการย้อมจาก 10 นาทีเป็น 60 นาที พบว่าค่าความเข้มสี (K/S) เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยที่เวลา 60 นาที สีที่ได้จะเป็นสีน้ำตาลแดงเข้มที่สุด นอกจากนี้ ค่าเฉดสี (a* และ b*) ซึ่งแสดงถึงสีแดงและสีเหลืองเพิ่มขึ้นตามระยะเวลา ส่วนค่าความมืด-สว่าง (L*) ลดลง แสดงถึงสีที่มีความเข้มมากขึ้น ค่า pH ของสารละลายสีย้อมส่งผลต่อการย้อมสีผ้าไหมอย่างมีนัยสำคัญ โดยค่า pH ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการย้อมคือ pH 7 ซึ่งอยู่ในสภาวะความเป็นกลาง สีย้อมสามารถติดเส้นใยได้ดีและให้สีที่เข้มที่สุด ในขณะที่ค่า pH ที่เป็นกรด (pH 3-6) ให้เฉดสีน้ำตาลแดงเข้มใกล้เคียงกัน แต่เมื่อค่า pH อยู่ในช่วงด่าง (pH 9-11) พบว่าสีที่ได้จางลงหรือแทบไม่ติดสีเลย เนื่องจากโครงสร้างเคมีของเส้นใยไหมและสีย้อมเปลี่ยนไปในสภาวะด่าง จึงทำให้เกิดปฏิกิริยาระหว่าง ไฮดรอกซิลไอออน (hydroxyl ion; OH^-) จะทำหน้าที่เปลี่ยนแอมโมเนียมไอออน ($NH^{3+)}$ ไปเป็นหมู่อะมิโน (NH_2) โครงสร้างทางเคมีของเส้นไหมจะเปลี่ยนเป็นคาร์บอกซิเลทไอออน (carboxylate ion; COO^-) ทำให้การยึดติดระหว่างสีและเส้นใยลดลง นอกจากนี้ค่าความเข้มข้นของสีย้อมมีผลโดยตรงต่อค่าความเข้มสี (K/S) โดยเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายตั้งแต่ 10 ถึง 80% o.w.f. ค่าความเข้มสีเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน โดยความเข้มข้น 70-80% o.w.f. ให้ค่าความเข้มสีที่คงที่และอิ่มตัวที่สุด การเพิ่มค่าความเข้มข้นช่วยให้โมเลกุลของสีย้อมเข้าสู่เส้นใยได้มากขึ้น ส่งผลให้สีที่ย้อมมีความชัดเจนและเข้มขึ้น สำหรับความเข้มข้นของสารมอร์แดนท์ที่ใช้ในการย้อมสีพบว่ามีผลต่อค่าความเข้มสีและความคงทนของสี โดยการทำมอร์แดนท์ก่อนการย้อมสี (pre-mordanting) ให้ผลการติดสีที่ดีที่สุด และสารมอร์แดนท์ประเภท "สนิมเหล็ก" ให้ค่าความเข้มสีสูงสุด เนื่องจากสามารถสร้างพันธะเชิงซ้อนที่แข็งแรงกับโมเลกุลสีย้อมและเส้นใยไหม ในขณะที่สารมอร์แดนท์ประเภท "จุนสี" และ "สารส้ม" ให้สีที่มีความคงทนในระดับปานกลาง ผลการทดสอบสมบัติ

ความคงทนของสีในด้านต่าง ๆ ได้แก่ ความคงทนต่อการซักล้าง น้ำ เหงื่อ การขัดถู และแสงแดด พบว่าสีที่ย้อมด้วยสารสกัดจากเปลือกฝักมะขามมีค่าความคงทนในระดับปานกลางถึงดี โดยเฉพาะเมื่อนำเทคนิคการทำมอร์แดนท์หลังการย้อมสี (post-mordanting) มาใช้ ส่งผลให้สีที่ติดบนผ้ามีความคงทนต่อการซีดจางและการติดเปื้อนในระดับสูงสุด

จากผลการทดลองทั้งหมด สามารถสรุปได้ว่าสีย้อมจากเปลือกฝักมะขามมีศักยภาพสูงในการพัฒนาเป็นแหล่งสีย้อมธรรมชาติที่มีคุณภาพ เหมาะสำหรับการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมการย้อมผ้าไหม ทั้งนี้ ควรมีการวิจัยเพิ่มเติมในด้านการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและการเพิ่มคุณสมบัติพิเศษของสี เช่น การต้านรังสียูวีหรือการต้านจุลชีพ เพื่อเพิ่มมูลค่าและความยั่งยืนในเชิงพาณิชย์

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรศึกษาและพัฒนากระบวนการย้อมที่ลดการใช้น้ำและพลังงาน เช่น การนำระบบการย้อมแบบวงจรมาปรับใช้ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

5.2.2 ควรทำการทดลองย้อมสีในระดับอุตสาหกรรมเพื่อศึกษาความสม่ำเสมอของสี และปรับปรุงกระบวนการให้เหมาะสมกับการผลิตในปริมาณมาก

5.2.3 ควรวิจัยเกี่ยวกับการเสริมคุณสมบัติของสีย้อม เช่น การเพิ่มคุณสมบัติต้านรังสียูวีหรือสารต้านจุลชีพ เพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์

5.2.4 ควรส่งเสริมการใช้เปลือกฝักมะขามจากแหล่งท้องถิ่นในการย้อมสี เพื่อสร้างความยั่งยืนและเพิ่มรายได้ให้กับชุมชนในพื้นที่

ผลการทดลองนี้ยืนยันได้ว่าสีย้อมจากเปลือกฝักมะขามมีศักยภาพสูงในการนำมาใช้เป็นสีธรรมชาติสำหรับผ้าไหม และสามารถพัฒนาไปสู่การใช้งานในระดับอุตสาหกรรมได้ในอนาคต

บรรณานุกรม

[1] สีธรรมชาติกับมนุษย์. (2566 กรกฎาคม 12). [เว็บบล็อก]. สืบค้นจาก https://kmipc6.blogspot.com/2011/05/.

[2] การย้อมและการทอผ้าไหม. (2566, กรกฎาคม 12). [เว็บบล็อก].สืบค้นจาก http:// www.technologychaoban.com

[3] สิริสิน ชุมรุม, จันทร์ทิพย์ ซื่อสัตย์ และ พรทิพย์ แซ่เบ๊ (2552). ผลิตภัณฑ์จากการย้อมสีและการพิมพ์จากเม็ดมะขาม. [เว็บบล็อก]. สืบค้นจาก https://www3.rdi.ku.ac.th/exhibition/52/03-foods/sirisin/food_00.html.

[4] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรที่ 12 นครสวรรค์. (2567, กรกฎาคม 20). กลุ่มวิสาหกิจชุมชนแปรรูปมะขามบ้านซับชมภู. [เว็บบล็อก]. สืบค้นจาก https://oae.go.th

[5] Rao, Y. S., & Mathew, K. M. (2012). Main uses of tamarind products. In K. V. Peter (Ed.). **Handbook of herbs and spices**, (2nd ed., Vol. 2, pp. 520–521). Cambridge: Woodhead Publishing.

[6] ไหม (วัสดุ). (2566, กรกฎาคม 12). [เว็บบล็อก].สืบค้นจาก https://th.wikipedia.org/wiki/ไหม (วัสดุ)

[7] อภิชาติ สนธิสมบัติ. (2545). **กระบวนการทางเคมีสิ่งทอ.** ปทุมธานี: สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล.

[8] ศูนย์หม่อนไหมเฉลิมพระเกียรติฯอุบลราชธานี. (2566, กรกฎาคม 18). ประโยชน์ของไหม. [เว็บบล็อก]. สืบค้นจาก https://qsds.go.th

[9] Green, D. (1972). **Fabric printing and dyeing**, Norwich: Fletcher & Son Ltd,..

[10] Foreday, G. (2003). **Natural Dyes**, London: The British Museum Press London.

[11] วรณ์ ดอนชัย. (2548). **ความรู้เรื่องสีย้อมธรรมชาติ**. เชียงใหม่: สถาบันวิจัยและพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเชียงใหม่มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

[12] Tyrone, V. (1994). Textile Processing and Properties, Netherlands: Elsevier.

[13] อัจฉราพร ไศละสูต. (2517). **คู่มือการย้อมสี**. กรุงเทพฯ: อักษรบัณฑิต.

[14] เทียนศักดิ์ เมฆพรรณโอภาส. (2534).เคมีของสีธรรมชาติและการย้อม. **วารสารวิทยาศาสตร์**,**16**, 155-161.

[15] การวัดค่าของสี (L*, a*, b*). (2566 กรกฎาคม 18). [เว็บบล็อก]. สืบค้นจาก http://home.science.swu.ac.th/ Portals/173/ KM/KM2555/color.pdf

[16] รัตนพล มงคลรัตนาสิทธิ์. (2549). **วิธีการทดสอบความคงทนของสีบนวัสดุสิ่งทอตามมาตรฐาน**.. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[17] โมโตอิ มินะกาวะ, เออีอีชิ คาวาอิ และเข็มชัย เหมะจันทร์. (2530).**วิทยาการไหมเล่ม 1**. , กรุงเทพมหานคร: กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม.

[18] นฤมล ศราธพันธุ์. (2533). **การใช้สารช่วยติดในการย้อมไหมด้วยใบตะขบฝรั่ง.**(วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต,มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์).

[19] Tsatsaroni, E. G., & Eleftheriadis, I. C.(1994). The colour and fastness of natural saffron. **Journal of the Society of Dyers and Colourists**. 110: 313-315, 1994.

[20] ดรุณี สมมุติ. (2564). การย้อมสีธรรมชาติจากเปลือกประดู่บนผ้าไหมอีรี่สำหรับการป้องกันรังสียูวี. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต,มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี).

[21] พัชราภรณ์ พิมพ์จันทร์. (2538).การเพิ่มการติดสีและความคงทนของสีย้อมธรรมชาติสำหรับเส้นใยจากกก.**วารสารวิทยาศาสตร์ คชสาส์น, 37**(2), 61-72.

[22] อรนุช นาศชาติ และณัฐสุรางค์ ปุคคละนันทน์ . (2560). **การพัฒนาต่อยอดองค์ความรู้ในการผลิตผ้าไหมย้อมสีด้วยเมล็ดมะขาม เพื่อเพิ่มมูลค่าเชิงพาณิชย์: กรณีศึกษาผ้าขาวม้า บ้านทัพกระบือ ตำบลสำโรง อำเภอเมือง จังหวัดสุรินทร์**. (รายงานการวิจัย). สุรินทร: มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์.

[23] Sasivatchutikool, P., & Nakpathom, M. (2019). Application of natural dye extracted from Cassia Fistula ripe pods for dyeing of silk fabric. **Fibers and Polymers**, 20, 1841-1849.

[24] Rosyida, A. (2018). Use of Tectonagrandis leaf extract in colouring silk cloth material based on pH and mordant variations. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, 333 (1), 1-6.

[25] Bukhari, M. N., Rather, L. J., Shabbir, M., Singh, U., Khan, M. A., & Mohammad, F. (2019). Dyeing of wool with anthraquinone based natural colorants from Cassia fistula fruit. **Journal of Natural Fibers**.16 (1): 855-865.

[26] Punrattanasin, N., Nakpathom, M., Somboon, B., Narumol, N., Rungruangkitkrai, N., & Mongkholrattanasit, R. (2013). Silk fabric dyeing with natural dye from mangrove bark (Rhizophora apiculata Blume) extract. **Industrial Crops and Products**, 49, 122-129.

[27] Mongkholrattanasit, R., Saiwan, C., Rungruangkitkrai, N., Punrattanasin, N., Sriharuksa, K., Klaichoi, C., & Nakpathom, M. (2015). Ecological dyeing of silk fabric with lac dye by using padding techniques. **The Journal of the Textile Institute**, 106(10), 1106-1114.

[28] Broadbent A. D. (2001). **Basic principles of textile coloration**. West Yorkshire: Society of Dyers and Colourists.

[29] Gies, P.H., Roy, C.R., & Holmes, G., (2000), Ultraviolet radiation protection by clothing: comparison of In vivo and In vitro measurements, **Radiation protection Dosimetry**, 91(1-3), 247-250.

[30] Bhattacharya, S. D., & Shah, A. K. (2000). Metal ion effect on dyeing of wool fabric with catechu. **Coloration Technology**, 116(1), 10-12.

[31] Collier, B. J., & Epps, H. H. (1999). **Textile testing and analysis.** Prentice-Hall Inc.

[32] The International Organization for Standardization. (2013). *International Standard ISO 105-E01:* **Textiles - Tests for colour fastness - Part E01: Colour fastness to water** (pp. 1–5). International Organization for Standardization.

[33] The International Organization for Standardization. (2013). **International Standard ISO 105-E04: Textiles - Tests for colour fastness - Part E04: Colour fastness to perspiration** (pp. 1–4). International Organization for Standardization.

[34] American Association of Textile Chemists and Colorists. (2017). **Technical manual: Volume 92.** American Association of Textile Chemists and Colorists.

[35] The International Organization for Standardization. (2014). **International Standard ISO 105-B02: Textiles—Tests for colour fastness—Part B02: Colour fastness to artificial light: Xenon arc fading lamp test** (pp. 1–36). International Organization for Standardization.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

เอกสาร การตีพิมพ์ในวารสารระดับชาติหรือนานาชาติ

The 4 National Conference on Natural Resources and Health Science; NACON-NARAHS
Well Ness
หนังสือประมวลบทความ
ในการประชุมวิชาการระดับชาติ
PROCEEDINGS
ครั้งที่ 4 ประจำปี 2568
ด้านทรัพยากรธรรมชาติและสุขภาพ
“นวัตกรรมเพื่อการเกษตรและสุขภาพยั่งยืนในยุคดิจิทัล”
14 Feb 2025
14 ก.พ. 2568

ฝ่ายวิชาการและวิจัย
คณะทรัพยากรธรรมชาติ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
เลขที่ 205 ม.10 ต.แร่ อ.พังโคน จ.สกลนคร

โทรศัพท์ 042771450, 042771460
https://www.facebook.com/fnrsakon
https://natres.skc.rmuti.ac.th/?page_id=2880

สารบัญ

1. กลุ่มเกษตรศาสตร์/พืชศาสตร์/ประมง/ส่งเสริมการเกษตร (ต่อ)

		หน้า
1AG-006PT	ศึกษาความต้องการบริโภคไข่เชื้อตายและไข่ตายโคมของไข่ไก่ในอำเภอเมือง จังหวัดนครพนม อนุรักษ์ ฉายบุญครอง ทิตญา แต่งตั้งลำ กานดา ล้อแก้วมณี และสุชุมาภรณ์ ศรีเผด็จ*	319-327
1AG-007PT	ผลของสารมอร์แดนท์ต่อการย้อมสีผ้าไหมด้วยเปลือกฝักมะขาม จิราเมธ สุภารัตน์* รัตนพล มงคลรัตนาสิทธิ์ และสมชาย อุดร	328-335
1AG-008PT	ผลของขี้แดดนาเกลือและปุ๋ยเคมีต่อคุณภาพด้านกายภาพของกล้วยหอมทอง บุญชาติ คติวัฒน์ นันท์นภัส สุวรรณสินธุ์ กิตติมา ลีละพงศ์วัฒนา และทรงศักดิ์ ธรรมจำรัส*	336-342
1AG-009PT	รูปแบบการจัดการปลูกแตงโมกรณีศึกษากลุ่มวิสาหกิจชุมชนปลูกแตงโมอำเภอศรีสงคราม จังหวัดนครพนม จีรกฤต บุพศิริ, ทรงพล บัวชุม, และ สุชุมาภรณ์ ศรีเผด็จ*	343-352
1AG-010PT	การศึกษาชีววิทยาและสภาพแวดล้อม: การสำรวจเบื้องต้นของฟองน้ำน้ำจืดภายในพื้นที่จังหวัดสกลนคร มีนกร เครือศรี, กิตติชัย นามโคตร, Chanthet Chek, กนกกาญจน์ วรวุฒิ, บารมี พ่วงพิศ, นิศาชล ฤาแก้วมา และสมพิศ ตามสั่ง*	353-361
1AG-011PT	การเปรียบเทียบคุณภาพซากและคุณภาพเนื้อของไก่เนื้อ Ross 308 และไก่ดำภูพาน จุฑารัตน์ คำมุงคุณ* ภราดล พิมพ์บุษผา เจนจิรา แสนพงษ์ ธนศักดิ์ วงศ์สาย และ พิลาสลักษณ์ ปานประเสริฐ[1]*	362-368
1AG-012PT	การศึกษาเทคนิคในการวิเคราะห์จำนวนเม็ดเลือดขาว และองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมในโคที่เป็นโรคเต้านมอักเสบ และโคปกติ อรอนงค์ พวงชมภู วิภาดา เงินดี แพรวมณี จรรยา นัทชา โคตรพัฒน์ เจนจิรา ทวีโคตร และนิคม ศรีกะชา*	369-378
1AG-013PT	การประเมินสมดุลคาร์บอนในพื้นที่ปลูกอ้อยโรงงานในสถานีวิจัยลพบุรี กรณีศึกษาการจัดการเศษวัสดุหลังการเก็บเกี่ยว กัณศิญานนท์ บุราณรมย์* พัชริยา เวลุดัง และภัทรา เฟ่งธรรมกิรติ	379-387

ภาคโปสเตอร์
กลุ่มที่ 1

เกษตรศาสตร์

ผลของสารมอร์แดนท์ต่อการย้อมสีผ้าไหมด้วยเปลือกฝักมะขาม

Effect of Mordanting Agents on Dyeing Silk Fabric with Tamarind Husk

จิราเมธ สุภารัตน์[1*] รัตนพล มงคลรัตนาสิทธิ์ [1] และสมชาย อุดร[2]

Jiramet Suparat[1*], Rattanaphol Mongkholrattanasit[1] and Somchai Udon[2]

[1] สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งทอ เครื่องนุ่งห่มและแฟชั่น คณะอุตสาหกรรมสิ่งทอและออกแบบแฟชั่น มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

[1] Division of Textile, Clothing and Fashion Technology, Faculty of Industrial Textiles and Fashion Design, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon

[2]สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งทอ คณะอุตสาหกรรมสิ่งทอ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

[3]Division of Textile Technology, Faculty of Textile industry, Rajamangala University of Technology Krungthep

*Corresponding author: jiramet-su@rmutp.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของสารมอร์แดนท์ที่ใช้ในกระบวนการย้อมสีผ้าไหมด้วยสารละลายสีย้อมจากเปลือกฝักมะขามด้วยการทำมอร์แดนท์หลังการย้อม สารมอร์แดนท์ที่ใช้ ได้แก่ สารส้ม จุนสี สนิมเหล็ก และสแตนนัสคลอไรด์ งานวิจัยนี้ยังได้ศึกษาอิทธิพลความเข้มข้นของสารมอร์แดนท์ต่อความเข้มของสีบนผ้าไหมรวมถึงความคงทนของสีต่อการซักล้าง เหงื่อ ขัดถูและแสงแดด ผลการศึกษาพบว่าเมื่อไม่ใช้สารมอร์แดนท์และใช้สารมอร์แดนท์ประเภทสารส้ม จุนสี และสแตนนัสคลอไรด์ ผ้าไหมมีเฉดสีน้ำตาลอมแดง ในขณะที่ใช้สารมอร์แดนท์สนิมเหล็กผ้าไหมมีเฉดสีน้ำตาลอมดำ จากผลการทดลองยังพบว่าค่าความเข้มข้นของสารมอร์แดนท์ที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความเข้มของสี (K/S) เพิ่มขึ้น ค่าความคงทนของสีต่อการซักล้าง และเหงื่ออยู่ในระดับปานกลางถึงดีเยี่ยม ค่าความคงทนของสีต่อการขัดถูอยู่ในระดับพอใช้ถึงปานกลาง ผลการทดสอบค่าความคงทนของสีต่อแสงแดดอยู่ในระดับต่ำถึงพอใช้ การย้อมด้วยสีธรรมชาติจากเปลือกฝักมะขามจึงเป็นแนวทางที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและสามารถพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ในเชิงพาณิชย์ได้ในอนาคต

คำสำคัญ: ความคงทนของสี, เปลือกฝักมะขาม, ผ้าไหม, มอร์แดนท์, สีธรรมชาติ

Abstract

This research aimed to investigate the effects of mordants in the silk dyeing process using dye solutions extracted from tamarind husks through post-mordanting. The mordants used in this study included potassium aluminum sulfate (alum), copper sulfate, ferrous sulfate, and stannous chloride. The research also examined the influence of mordant concentration on the color strength of silk fabrics as well as the colorfastness to washing, perspiration, crocking, and light. The results revealed that when without or mordant with alum, copper sulfate, or stannous chloride were used, the silk exhibited reddish-brown shades. In contrast, using ferrous sulfate produced dark brown shades. The study also found that increasing the concentration of mordants led to higher color strength (K/S values). The colorfastness to washing and perspiration ranged from moderate to excellent, while the fastness to crocking was rated from fair to moderate. However, the colorfastness to light was rated from low to fair. Dyeing silk with natural dye from tamarind pod husks presents an eco-friendly approach and holds potential for development into commercial products in the future.

Keywords: Colorfastness, Tamarind Husk, Silk fabric, Mordant, Natural dye

1. บทนำ

สีธรรมชาติ เป็นสีที่สกัดได้จากวัตถุดิบจากแหล่งธรรมชาติ โดยบางส่วนได้จากต้นไม้ เช่น ราก แก่น เปลือกต้น ผล ดอก สัตว์ และแร่ธาตุต่างๆ การย้อมสีด้วยสีธรรมชาติมีกระบวนการที่ค่อนข้างยุ่งยาก นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติด้านความคงทนต่อแสงไม่ดีนัก จึงมีการใช้สีสังเคราะห์เข้ามาแทนที่ แต่ความนิยมในการใช้ผลิตภัณฑ์ย้อมสีธรรมชาติกลับเพิ่มมากขึ้นด้วยเหตุผลที่สำคัญคือ ทำให้ผู้สวมใส่ไม่เกิดอาการแพ้และของเสียที่เกิดขึ้นไม่ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม (ศูนย์ส่งเสริมอุตสาหกรรมภาคที่ 6, 2554) การย้อมผ้าไหมมีทั้งย้อมด้วยวัสดุจากธรรมชาติและย้อมด้วยสีเคมี ซึ่งมีข้อเด่นและข้อด้อยที่แตกต่างกันไป การย้อมไหมด้วยวัสดุธรรมชาติ มีข้อจำกัดในเรื่องความคงทน ความสม่ำเสมอของสี และหาวัสดุจากธรรมชาติเหล่านี้ได้ยาก (จิรวรรณ โรจนพรทิพย์, 2561)

มะขามซึ่งเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญระดับชาติ โดยเฉพาะมะขามหวานเป็นสินค้าจีไอ (Geographical indications) ของประเทศไทย (สิริสิน ชุมรุม และคณะ, 2552) มะขามหวานในประเทศไทยมีปลูกมากในจังหวัดเพชรบูรณ์ซึ่งเป็นแหล่งผลิตมะขามหวานอันดับ 1 ของประเทศ ในการเก็บเกี่ยวผลผลิตมะขามหวานจะมีส่วนที่เหลือทิ้งซึ่งก็คือเปลือกฝักมะขามในปริมาณมาก โดยข้อมูลจากสำนักงานเกษตรจังหวัดเพชรบูรณ์ระบุว่าในปี 2566/67 จังหวัดนี้มีพื้นที่ปลูกมะขามหวานถึง 90,017 ไร่ เกษตรกรผู้ปลูก 10,041 ราย และผลผลิตรวมประมาณ 30,582.72 ตัน (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรที่ 12 นครสวรรค์, 2567) ซึ่งในฝักมะขาม 1 กิโลกรัมจะมีเนื้อมะขาม 0.55 กิโลกรัม เมล็ดมะขาม 0.33 กิโลกรัม และเปลือกฝักมะขาม 0.12 กิโลกรัม

ดังนั้นจากข้อมูลเกี่ยวกับเปลือกฝักมะขาม ผู้วิจัยจึงมีความสนใจในการนำเปลือกฝักมะขามมาใช้ย้อม ผ้าไหม รวมทั้งศึกษาผลของการทำมอร์แดนท์เนื่องจากการทำมอร์แดนท์มีความสำคัญต่อสีของผ้าที่ย้อมด้วยสีธรรมชาติ เพราะสีธรรมชาติเป็นสีที่สามารถละลายได้ในน้ำ และมีคุณสมบัติพิเศษที่สามารถติดเส้นใยได้ด้วยตัวเอง (substantivity) จึงทำให้สีธรรมชาติเป็นสีที่ย้อมติดง่าย หลุดง่าย และมีความคงทนของสีต่ำ สารมอร์แดนท์จึงเป็นตัวช่วยให้สีย้อมเกาะติดบนเส้นใยได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อความคงทนของสีย้อมจำเป็นต้องใช้สารมอร์แดนท์ในกระบวนการย้อม (Green D., 1972) โดยทำการมอร์แดนท์หลังการย้อมสี โดยใช้ สารส้ม จุนสี สนิมเหล็ก และสแตนนัสคลอไรด์ เป็น สารมอร์แดนท์ นอกจากนี้ยังได้มีการทดสอบความคงทนของสีเพื่อดูคุณภาพการย้อมสีผ้าไหม การนำเอาเปลือกฝักมะขามซึ่งเป็นวัสดุจากธรรมชาติ ที่เหลือทิ้งและมีอยู่เป็นจำนวนมากในท้องถิ่นมาใช้ให้เกิดประโยชน์ในเชิงพาณิชย์ และเพิ่มมูลค่าของผ้าไหมย้อมสีธรรมชาติเป็นการช่วยอนุรักษ์ภูมิปัญญาท้องถิ่น ตลอดจนการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม และยังเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับเปลือกฝักมะขาม

2 อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมี ได้แก่ ผ้าไหมสีขาวที่มีโครงสร้างลายขัด มีน้ำหนัก 65 กรัมต่อเมตร^2 เปลือกฝักมะขามหวาน จากจังหวัดเพชรบูรณ์ เครื่องย้อมสีชนิดให้ความร้อนแบบอินฟาเรด (Starlet DL-6000 (Starlet-3); South Korea) เครื่องยูวี-วิสสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ หรือเครื่องวัดการดูดกลืนแสง (UV–visible spectrophotometer (Halo DB-20, UV-Vis Double Beam Spectropho-tometer, Australia)) เครื่องวัดค่าความเข้มของสีและวัดค่าของสี บนวัสดุสิ่งทอ (Spectrophotometer (Hunter Lab Color Quest XE, USA)) สารมอร์แดนท์ได้แก่ สารส้ม (Alum or Aluminum potassium sulfate ($AlK(SO_4)_2{\cdot}12H_2O$)) สนิมเหล็ก (Ferrous sulfate ($FeSO_4{\cdot}7H_2O$)) สแตนนัสคลอไรด์ (Stannous chloride ($SnCl_2{\cdot}5H_2O$)) จุนสี (Copper sulfate ($CuSO_4.5H_2O$)) จากบริษัท สตาร์ เทค เคมีคอล อินดัสเทรียล จำกัด สบู่เทียมชนิดไม่มีประจุ (Nonionic soaping agent) จากบริษัท สตาร์ เทค เคมีคอล อินดัสเทรียล จำกัด

2.2 การสกัดสีย้อมจากเปลือกฝักมะขาม นำเปลือกมะขามที่ถูกแกะออกจากฝักและล้างให้สะอาดและตากให้แห้งมาผสมกับน้ำกลั่นในสัดส่วนเปลือกมะขามหวานต่อน้ำเท่ากับ 1:10 นำไปต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 1 ชั่วโมง กรองเอาเศษเปลือกมะขามออก นำสารละลายน้ำสีที่ได้มาทำการกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 4 สารละลายสีย้อมที่ผ่านการกรองถูกแบ่งออกเป็นสองส่วน: (ก) ส่วนหนึ่งถูกนำไปทำให้แห้งโดยการอบและนำไปบดเป็นผงให้ละเอียด และ (ข) ส่วนที่สองใช้สำหรับทำการย้อมสี นำสีผงส่วนที่ 1 มาชั่งและนำไปละลายด้วยน้ำกลั่น จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนคลื่นแสง (absorbance) เพื่อหาค่าความยาวคลื่นแสงสูงสุด โดยนำสีผงที่ผ่านการชั่งและละลายน้ำซึ่งทราบค่าความเข้มข้นมาทำการเจือจางให้ได้ความเข้มข้นที่แตกต่างกัน 6 ความเข้มข้นดังนี้ 0.1, 0.12, 0.14, 0.16, 0.18 และ 0.2 กรัมต่อลิตร และนำสารละลายสีย้อมทั้ง 6 ความเข้มข้นไปวัดค่าการดูดกลืนคลื่นแสงโดยพบความยาวคลื่นแสงสูงสุดที่ (275 นาโนเมตร) และนำมาสร้างกราฟมาตรฐาน โดยนำค่าการดูดกลืนคลื่นแสงและค่าความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมทั้ง 6 ค่า มาสร้างกราฟโดยให้แกน X เป็นค่าความเข้มข้น แกน Y เป็นค่าการดูดกลืนคลื่นแสง (Absorbance) หาค่าสมการเส้นตรง จากกราฟมาตรฐาน จากนั้นนำสารละลายสีย้อมส่วนที่ 2 หรือ (ข) มาวัดค่าการดูดกลืนคลื่นแสง และนำไปคำนวณหาค่าความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมจากสมการเส้นตรงซึ่งสารละลายสีย้อมนี้มีค่า 5.3 กรัมต่อลิตร (0.53 %)

2.3 การเตรียมผ้าไหม เริ่มต้นด้วยการนำผ้าไหมมาทำความสะอาดโดยการต้มในน้ำสบู่ที่มีความเข้มข้น 2 กรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที และนำไปล้างด้วยน้ำสะอาดเพื่อขจัดคราบสบู่และสิ่งสกปรกที่หลงเหลือ จากนั้นนำไปอบให้แห้ง และตัดให้มีขนาดมาตรฐาน 15x10 เซนติเมตร น้ำหนัก 1 กรัม

2.4 การย้อมสีและการทำมอร์แดนท์หลังจากการย้อมสี ทำการย้อมสีผ้าไหมด้วยสารละลายสีย้อมจากเปลือกฝักมะขามที่สกัดได้โดยใช้ความเข้มข้น 50 % o.w.f. โดยกำหนดให้ อัตราส่วนของผ้าไหมต่อสารละลายสีย้อม 1:100 ค่าความเป็นกรด-ด่าง pH 7 ทำการย้อมที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที จากนั้นนำมาทำการมอร์แดนท์หลังย้อมด้วยสารละลายมอร์แดนท์ทั้ง 4 ชนิด ซึ่งได้แก่ สารส้ม จุนสี สนิมเหล็ก และสแตนนัสคลอไรด์ ที่ความเข้มข้น 25, 50, 75 และ 100% o.w.f. โดยกำหนดอัตราส่วนผ้าไหมต่อสารละลายมอร์แดนท์เป็น 1:100 ทำการมอร์แดนท์ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที หลังจากนั้นผ้าจะถูกล้างทำความสะอาดด้วยน้ำสบู่เทียมความเข้มข้ม 2 กรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที นำผ้ามาตากแห้ง แล้วนำผ้ามาประเมินค่าความเข้มสี (K/S) และค่าของสี (L*, a*, b*) (ภาควิชาคหกรรมศาสตร์, 2557)

2.5 การทดสอบความคงทนของสีบนผ้าไหมที่ย้อมด้วยเปลือกฝักมะขาม โดยทดสอบความคงทนของสีบนผ้าไหมที่ผ่านการย้อมสีและทำมอร์แดนท์ที่ความเข้มข้น 50 % o.w.f. โดยทำการทดสอบความคงทนของสีต่อการซักล้าง (Colorfastness to washing) ตามมาตรฐาน AATCC 61-2013 ความคงทนของสีต่อเหงื่อ (Colorfastness to perspiration) ตามมาตรฐาน AATCC 15-2013 ความคงทนของสีต่อการขัดถู (Colorfastness to crocking) มาตรฐาน AATCC 8-2016 และความคงทนของสีต่อแสงแดดเทียม ตามมาตรฐาน ISO 105-B02: 1994 (Colour fastness to light) (รัตนพล มงคลรัตนาสิทธิ์, 2549)

3. ผลการวิจัย

3.1 ผลการศึกษาการย้อมสีผ้าไหมด้วยเปลือกฝักมะขามโดยใช้ความเข้มข้นของสารละลายสีย้อม 50% o.w.f. และใช้ความเข้มข้นของสารมอร์แดนท์ที่แตกต่างกัน รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าของสีและค่าความเข้มสีของผ้าไหมที่ย้อมด้วยสารละลายสีย้อมจากเปลือกฝักมะขามที่ความเข้มข้นสีย้อม 50% o.w.f. **และใช้ความเข้มข้นของสารมอร์แดนท์ที่แตกต่างกัน**

Mordanting agents	Mordant concentration (% o.w.f.)	Color strength (K/S)	Color value			Color obtained
			L*	a*	b*	
Without mordant	-	3.52	61.59	16.96	21.37	
Alum	25	1.84	67.73	12.73	12.09	
	50	1.92	67.42	13.26	11.38	
	75	2.15	63.79	13.59	13.74	
	100	2.39	65.3	13.73	14.44	
Copper sulfate	25	2.96	58.15	12.87	13.63	
	50	3.18	58.08	12.59	17.18	
	75	3.42	58.7	11.62	17.52	
	100	4.03	55.76	12.89	16.37	
Ferrous sulfate	25	2.83	50.87	4.74	2.38	
	50	3.26	51.32	3.14	3.78	
	75	3.29	51.19	2.55	3.41	
	100	3.43	50.04	2.77	3.86	
Stannous chloride	25	1.65	70.65	13.54	11.62	
	50	1.7	68.94	13.77	11.43	
	75	1.72	68.39	13.41	10.68	
	100	1.77	68.1	14.32	12.53	

3.2 **ผลการทดสอบความคงทนของสีของผ้าไหมที่ย้อมด้วยสารละลายสีย้อมจากเปลือกฝักมะขาม ที่ความเข้มข้น 50 % o.w.f. ย้อมด้วยอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที** pH 7 **อัตราส่วนวัสดุต่อน้ำย้อมที่ 1:**100 **และทำมอร์แดนท์หลังการย้อมโดยใช้สารมอร์แดนท์ความเข้มข้นที่ 50 % o.w.f. โดยการแช่เป็นเวลา** 20 **นาที แล้วนำมาทดสอบความคงทนของสีต่อการซักล้าง ทดสอบความคงทนของสีต่อเหงื่อเทียม (สภาวะกรด) ทดสอบความคงทนของสีต่อการขัดถู การทดสอบความคงทนของสีต่อแสงแดดเทียม และได้ผลการศึกษาดังต่อไปนี้**

3.2.1 **ผลการทดสอบค่าความคงทนของสีต่อการซักล้าง และผลการทดสอบความคงทนของสีต่อเหงื่อเทียม (สภาวะกรด) แสดงดังตารางที่ 2**

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบความคงทนของสีต่อการซักล้าง และความคงทนของสีต่อเหงื่อเทียม

Mordanting agents	Colorfastness to washing							Colorfastness to perspiration						
	Colour Change	Color staining						Colour Change	Color staining					
		Acetate	Cotton	Nylon	Silk	Rayon	Wool		Acetate	Cotton	Nylon	Silk	Rayon	Wool
Without	3	5	5	5	5	5	5	3	3	5	5	5	5	5
Alum	3	5	5	5	5	5	5	4-5	4-5	5	5	5	5	5
Copper sulfate	3	5	5	5	5	5	5	4	4	5	5	5	5	5
Ferrous sulfate	3	5	5	5	5	5	5	4	4	5	5	5	5	5
Stannous chloride	4	5	5	5	5	5	5	3	3	5	5	5	5	5

หมายเหตุ ระดับ 1 แย่ที่สุด / ระดับ 5 ดีที่สุด

3.2.2 **ผลการทดสอบความคงทนของสีต่อการขัดถู และความคงทนของสีต่อแสงแดดเทียม แสดงดังตารางที่ 3**

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบความคงทนของสีต่อการขัดถู และผลการทดสอบความคงทนของสีต่อแสงแดดเทียม

Mordanting agents	Colorfastness to crocking* (Color staining)		Colour fastness to light** (Colour change)
	Dry	Wet	
Without	4-5	4	1
Alum	3-4	3-4	3
Copper sulfate	3-4	2-3	3
Ferrous sulfate	3-4	3	3
Stannous chloride	3	2-3	2

หมายเหตุ * ระดับ 1 แย่ที่สุด /ระดับ 5 ดีที่สุด ** ระดับ 1 แย่ที่สุด /ระดับ 8 ดีที่สุด

4. วิจารณ์ผลการวิจัย

จากตารางที่ 1 พบว่าผ้าไหมที่ย้อมด้วยเปลือกฝักมะขามที่ไม่ใช้สารมอร์แดนท์ และใช้สารมอร์แดนท์ประเภทสารส้ม จุนสี และสแตนนัสคลอไรด์ มีเฉดสีน้ำตาลอมแดง ในขณะที่ใช้สารมอร์แดนท์ประเภทสนิมเหล็กผ้าไหมมีเฉดสีน้ำตาลอมดำ ทั้งนี้เนื่องจากสารแทนนินที่อยู่ในเปลือกมะขามทำปฏิกิยากับสนิมเหล็กจึงส่งผลให้ผ้าไหมปรากฏสีดำ (Mongkholrattanasit et al., 2014) จากผลการวิจัยยังพบว่าเมื่อใช้ความเข้มข้นของสารมอร์แดนท์เพิ่มขึ้น ค่าความเข้มของสี (K/S) บนผ้าไหมก็เพิ่มขึ้นตามลำดับ โดยค่าความเข้มของสีสูงสุดปรากฏที่ความเข้มข้นของสารมอร์แดนท์ 100% o.w.f. ค่า L* ซึ่งแสดงถึงความสว่างและความมืดของสีซึ่งมีแนวโน้มลดลงเมื่อค่าความเข้มของสีเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ ค่า a* และ b* ที่ได้จากการทดลองมีค่าเป็นบวก ซึ่งบ่งชี้ว่า สีที่ได้มีโทนสีแดงและเหลืองตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบค่าความเข้มสีเมื่อใช้สารมอร์แดนท์แต่ละชนิด พบว่า ผ้าไหมที่ทำมอร์แดนท์ด้วยจุนสีให้ค่าความเข้มสีสูงที่สุด รองลงมาคือผ้าที่ทำมอร์แดนท์ด้วยสนิมเหล็ก สารส้ม และสแตนนัสคลอไรด์ ตามลำดับ

จากตารางที่ 2 พบว่าผ้าไหมที่ย้อมด้วยสารละลายสีย้อมจากเปลือกฝักมะขามและผ่านกระบวนการทำมอร์แดนท์หลังการย้อมที่ความเข้มข้น 50 % o.w.f. มีความคงทนของสีต่อการซักล้างในระดับดีเมื่อใช้สารมอร์แดนท์ประเภทสแตนนัสคลอไรด์ อย่างไรก็ตามผ้าไหมที่ย้อมสีโดยไม่ใช้สารมอร์แดนท์ และใช้สารมอร์แดนท์ชนิดสารส้ม สนิมเหล็กและจุนสี มีค่าความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงของสี (Color change) อยู่ในระดับปานกลางถึงดี (3 - 4) นอกจากนี้ ยังพบว่าค่าความคงทนต่อการติดเปื้อนสี (Color staining) บนผ้าขาวอยู่ในระดับดีถึงดีมาก (4-5 - 5) ซึ่งบ่งชี้ว่าสีที่หลุดออกระหว่างการซักล้างมีน้อยและไม่ส่งผลกระทบต่อผ้าขาว ในส่วนผลการทดสอบความคงทนของสีต่อเหงื่อเทียมในสภาวะกรด ผ้าที่ผ่านการทำมอร์แดนท์หลังการย้อมด้วยสารมอร์แดนท์ประเภท สารส้ม จุนสี และสนิมเหล็ก มีผลการทดสอบความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงสี อยู่ในระดับดีถึงดีมาก (4-5) ซึ่งหมายถึงสีบนผ้าจะไม่ซีดจางหรือเปลี่ยนแปลงอย่างมากเมื่อสัมผัสกับเหงื่อในสภาวะกรด ในขณะที่ผ้าไหมที่ผ่านการย้อมสีโดยไม่ทำมอร์แดนท์และทำมอร์แดนท์ด้วยสแตนนัสคลอไรด์มีค่าความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงของสีอยู่ใน ระดับปานกลาง (3) ในส่วนค่าความคงทนต่อการติดเปื้อนสีบนผ้าขาวมีค่าอยู่ในระดับดีมาก

จากตารางที่ 3 พบว่า ค่าความคงทนของสีต่อการขัดถูของผ้าไหมที่ย้อมสีด้วยเปลือกฝักมะขามโดยไม่ใช้สารมอร์แดนท์มีค่าความคงทนต่อการติดเปื้อนสีอยู่ในระดับดีถึงดีมาก ทั้งสภาวะเปียกและแห้ง อย่างไรก็ตามเมื่อผ้าไหมที่ผ่านการย้อมสีและทำมอร์แดนท์ด้วย สารส้ม สนิมเหล็ก จุนสี และสแตนนัสคลอไรด์ มีค่าความคงทนต่อการติดเปื้อนสีอยู่ในระดับพอใช้ถึงปานกลาง (2-3 ถึง 3-4) ในส่วนผลการทดสอบความคงทนของสีต่อแสงแดดเทียมของผ้าไหมที่ย้อมด้วยสารละลายสีย้อมจากเปลือกฝักมะขามและไม่ทำมอร์แดนท์ หรือทำมอร์แดนท์ด้วยสแตนนัสคลอไรด์ มีค่าความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงของสีอยู่ในระดับต่ำ (1-2) ในขณะที่ การทำมอร์แดนท์ด้วยสารมอร์แดนท์ประเภทสารส้ม จุนสี และสนิมเหล็ก มีค่าความคงทนของสีต่อแสงอยู่ในระดับพอใช้ (3)

5. สรุปผลการวิจัย

การวิจัยศึกษาผลของการทำมอร์แดนท์หลังการย้อมสีในกระบวนการย้อมผ้าไหมด้วยสารละลายสีย้อมจากเปลือกฝักมะขาม พบว่าความเข้มข้นของสารมอร์แดนท์และชนิดของสารมอร์แดนท์ที่ใช้มีผลต่อค่าความเข้มของสี (K/S) กล่าวคือผ้าไหมที่ย้อมสีโดยไม่ใช้สารมอร์แดนท์และใช้สารมอร์แดนท์ชนิดสารส้ม จุนสีและสแตนนัสคลอไรด์ มีเฉดสีน้ำตาลอมแดง และเมื่อใช้มอร์แดนท์ประเภทสนิมเหล็กจะให้เฉดสีน้ำตาลอมดำ นอกจากนี้ยังพบว่าค่าความเข้มข้นของสารมอร์แดนท์ที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความเข้มของสี (K/S) เพิ่มขึ้น ค่าความคงทนของสีต่อการซักล้างและเหงื่อมีค่าอยู่ในระดับปานกลางถึงดี ในขณะที่ค่าความคงทนของสีต่อการขัดถูมีค่าอยู่ในระดับปานกลางเมื่อใช้สารมอร์แดนท์ สำหรับค่าความคงทนของสีต่อแสงมีค่าอยู่ในระดับต่ำถึงพอใช้

การวิจัยแสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการพัฒนาการย้อมผ้าไหมด้วยสีธรรมชาติจากเปลือกฝักมะขามหวานซึ่งเป็นวัสดุที่เหลือทิ้งจากการเกษตร อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มมูลค่าเปลือกฝักมะขาม ซึ่งจะส่งผลต่อสิ่งแวดล้อมที่ดี

เอกสารอ้างอิง

จิรวรรณ โรจนพรทิพย์. (2561). *การย้อมและการทอผ้าไหม.* วันที่สืบค้นข้อมูล 12 กรกฎาคม 2566 จาก https://www.technologychaoban.com/thai-local-wisdom/article_53351

ภาควิชาคหกรรมศาสตร์. (2557) *การวัดค่าของสี (L*, a*, b*).* วันที่สืบค้นข้อมูล 18 กรกฎาคม 2566 จาก http://home.science.swu.ac.th/Portals/173/ KM/KM2555/color.pdf

รัตนพล มงคลรัตนาสิทธิ์. (2549). *วิธีการทดสอบความคงทนของสีบนวัสดุสิ่งทอตามมาตรฐาน.* กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ศูนย์ส่งเสริมอุตสาหกรรมภาคที่6. (2554). *สีธรรมชาติกับมนุษย์.* วันที่สืบค้นข้อมูล 20 กรกฎาคม 2566 จาก https://kmipc6.blogspot.com/2011/05/blog-post_30.html

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรที่ 12 **นครสวรรค์.** (2567) *กลุ่มวิสาหกิจชุมชนแปรรูปมะขามบ้านซับชมภู.* วันที่สืบค้นข้อมูล 12 พฤษภาคม 2567 จาก https://oae.go.th

สิริสิน ชุมรุม, จันทร์ทิพย์ ซื่อสัตย์ และ พรทิพย์ แซ่เบ๊. (2552). นิทรรศการงานวิจัย บนเส้นทางงานวิจัยมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ในงานวันเกษตรแห่งชาติ ประจำปี 2552. *ผลิตภัณฑ์จากการย้อมสีและการพิมพ์จากเมือมะขาม.* ม.ป.ท..

Green, D. (1972). *Fabric printing and dyeing.* Norwich: Fletcher & Son Ltd

Mongkholrattanasit, R., Cholachatpinyo, A., Tubtimthai, N., and Rungruangkitkrai, N. (2014). An evaluation of UV protection imparted by wool fabric dyed with natural dye from eucalyptus leaf, *Chiang Mai Journal of Science.* 41 (5.2): 1208-1219

ฝ่ายวิชาการและวิจัย

คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัย
เทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร

เลขที่ 205 ม.10 ต.แร่ อ.พังโคน จ.สกลนคร

โทรศัพท์ 042771450, 042771460

https://www.facebook.com/fnrsakon https://natres.skc.rmuti.ac.th/?page_id=2880

ประวัติผู้เขียน

ประวัติผู้เขียน	นายจิราเมธ สุภารัตน์
วัน เดือน ปีเกิด	24 มีนาคม 2541
ประวัติการศึกษา	ปริญญาตรี สาขานวัตกรรมและเทคโนโลยีสิ่งทอ คณะอุตสาหกรรมสิ่งทอและออกแบบแฟชั่น มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ประวัติการทำงาน	
พ.ศ.2568	ผู้ช่วยนักวิจัย
พ.ศ.2566-2567	ตำแหน่ง หัวหน้าแผนกฟอกย้อม บริษัทจุลไหมไทย จำกัด
เบอร์โทรศัพท์	098-6610872
อีเมลล์	Jiramet-su@rmutp.ac.th