

การศึกษาความเป็นกรดของน้ำย้อมจากดอกอัญชันและชนิดของสารช่วยติดสีเพื่อการย้อมสีเส้นกก

A STUDY ON THE ACIDITY OF BUTTERFLY PEA FLOWER DYE AND TYPES OF MORDANTS FOR DYEING REED THREADS

ลลิตา ฉายาวัดณ์¹⁾, นันทวัน หัตถมามา^{2)*}, พันธิพิทย์ เลิศบุรุษ³⁾ และ มนสิณี ดาปเงิน⁴⁾

¹⁾⁻⁴⁾ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี

Lalida Chayawat¹⁾, Nanthawan Hadthamard^{2)*}, Pantip Lerdbuross³⁾, Manasinee Dapngoen⁴⁾

¹⁾⁻⁴⁾ Faculty of Science and Technology, Kanchanaburi Rajabhat University

*Corresponding author e-mail: nanthawan.aor04@kru.ac.th

บทคัดย่อ

การย้อมสีเส้นกก (*Cyperus involucratus*) มักเลือกใช้สารสีสังเคราะห์เพื่อสร้างสีเส้นที่สวยงามและคงทน ให้ผลิตภัณฑ์ แต่สีย้อมสังเคราะห์อันตรายต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม งานวิจัยนี้จึงต้องการศึกษาสีน้ำย้อมจากดอกอัญชัน (*Clitoria ternatea* L.) ที่มีค่าความเป็นกรดต่างแตกต่างกัน ร่วมกับการศึกษาคุณภาพสีเส้นกกเมื่อใช้สารละลายสารส้มและสารละลายแทนนินเป็นสารช่วยติดสี สำหรับการย้อมสีเส้นกกด้วยการจุ่มลงในน้ำย้อม ผลการวิจัยพบว่า น้ำย้อมจากดอกอัญชันที่ไม่ปรับค่าความเป็นกรด ปรับด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก และปรับด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ มีสีน้ำเงิน สีม่วง และสีเขียวแกมน้ำเงิน ด้วยค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 4.50, 2.44 และ 7.62 ตามลำดับ เมื่อนำมาย้อมสีในสภาวะที่แตกต่างกัน 3 สภาวะ ได้แก่ ไม่เติมสารช่วยติดสี การใช้สารส้มเป็นสารช่วยติดสี และการใช้สารส้มร่วมกับแทนนินเป็นสารช่วยติดสี พบว่า การใช้สารส้มร่วมกับแทนนินเป็นสารช่วยติดสี เป็นสภาวะการย้อมที่ติดสีสม่ำเสมอและให้เฉดสีเข้มที่สุด หากใช้ร่วมกับน้ำย้อมที่ปรับค่าความเป็นกรดต่างด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก จะได้เส้นกกที่มีสีแดงอมน้ำตาล หากใช้ร่วมกับน้ำย้อมที่ปรับค่าความเป็นกรดต่างด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จะได้เส้นกกสีเขียวอ่อน การใช้สารละลายสารส้มเป็นสารช่วยติดสีเพียงอย่างเดียว จะติดสีสม่ำเสมอเฉพาะเมื่อใช้ร่วมกับน้ำย้อมที่ปรับค่าความเป็นกรดต่างด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกจะได้เส้นกกสีน้ำตาลแดง อย่างไรก็ตาม ค่าความสว่าง (L^*) ของสีเส้นกกเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 2 เดือน เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 28 ± 2 องศาเซลเซียส แสดงถึงการซีดจางของสีเส้นกก โดยเฉพาะเส้นกรรหีส A-b-nT มีค่าความสว่างเพิ่มขึ้นจาก 29.87 เป็น 34.90 และเส้นกรรหีส A-b มีค่าความสว่างเพิ่มขึ้นจาก 30.33 เป็น 33.47 ได้รับความพึงพอใจต่อความชัดเจนของสีอยู่ในระดับน้อย ด้วยคะแนน 2.29 คะแนน แสดงให้เห็นว่า การย้อมสีเส้นกกด้วยน้ำย้อมที่ปรับค่าด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกหรือสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จะได้เส้นกก 2 เฉดสี คือ สีแดงอมน้ำตาลหรือสีเขียวอ่อน และควรใช้สารช่วยติดสีร่วมกันทั้งสารส้มและแทนนิน เพื่อความสม่ำเสมอของสี ทั้งนี้ควรหาแนวทางการปรับปรุงคุณภาพสีให้สามารถเก็บรักษาได้นานยิ่งขึ้น

คำสำคัญ: เส้นกก ดอกอัญชัน การย้อม ความเป็นกรด สารช่วยติดสี

ABSTRACT

Synthetic dyes are often used to color sedge (*Cyperus involucratus*) to create attractive and durable products. However, synthetic dyes could be harmful to health and the environment. This research aimed to study 1) dye solutions extracted from butterfly pea flowers (*Clitoria ternatea* L.) at different pH levels and 2) color quality of reed threads using alum and tannin solution as mordants. The dyeing of reed threads was carried out by immersion in the dye solutions. The results showed that butterfly pea dye solutions without pH adjustment, adjusted with hydrochloric acid solution, and adjusted with sodium hydroxide solution produced blue, purple, and bluish-green colors, with pH values of 4.50, 2.44, and 7.62, respectively. When applied under 3 different dyeing conditions; without mordant, alum as a mordant, and alum combined with tannin as mordants, it was found that the combined use of alum and tannin provided the most uniform dyeing and the darkest shades. Dye solutions were adjusted with hydrochloric acid, the reed threads exhibited a reddish-brown color, whereas the dye solutions were adjusted with sodium hydroxide produced light green sedge strands. The use of alum solution alone as a mordant resulted in uniform coloration only when combined with dye solutions were adjusted with hydrochloric acid, yielding reddish-brown sedge strands. However, the lightness value (L^*) of the dyed sedge strands increased throughout a storage period of 2 months at $28\pm 2^\circ\text{C}$, indicating color fading over time. Specifically, the lightness value of the A-b-nT increased from 29.87 to 34.90, and the lightness value of the A-b increased from 30.33 to 33.47, which satisfaction with color clarity was low, with a score of 2.29. The study showed that dyeing reed fibers with a dye adjusted using hydrochloric acid or sodium hydroxide solution yielded 2 shades of color: reddish-brown or light green. It was recommended to use alum combined with tannin as mordants for color consistency. Further research is needed to improve the color quality and extend its shelf life.

Keywords: Reed thread, Butterfly pea, Dyeing, Acidity, Mordant

บทนำ

กก (*Cyperus involucratus*) เป็นพืชน้ำชนิดหนึ่งที่นิยมนำลำต้นมาทำเป็นเส้นเพื่อทำผลิตภัณฑ์จักสาน สีสรรษาคติของเส้นกกที่ถูกผึ่งแห้งแล้วจะมีสีน้ำตาลอ่อน ดังนั้นเพื่อเพิ่มสีสันให้ผลิตภัณฑ์สวยงามยิ่งขึ้น จึงนิยมนำเส้นกกไปย้อมสีก่อนนำมาจักสาน ซึ่งการย้อมสีเส้นกกมักเลือกย้อมด้วยสีสังเคราะห์ เนื่องจากย้อมง่าย สีสดทนทาน มีสีหลากหลายเฉด และมีราคาถูก แต่สีสังเคราะห์มักพบการปนเปื้อนของโลหะหนักในปริมาณสูง เช่น ตะกั่ว ปรอท สารหนู สังกะสี และโครเมียม โดยเฉพาะสารกลุ่มอะโรมาติกเอมีน (Aromatic Amines; PAAs) ที่เป็นสารก่อมะเร็ง และพบมากในอุตสาหกรรมการผลิตสีย้อม ผู้ใช้งานมีโอกาสได้รับสาร PAAs จากการสัมผัส ด้วยเหตุนี้กระทรวงสาธารณสุขจึงประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 435 พ.ศ. 2565 กำหนดค่าขีดจำกัดของการตรวจวัด (Limit of

Detector; LOD) ของสาร PAAs ในภาชนะบรรจุที่มีการใช้สีว่า ต้องมีสาร PAAs ไม่เกิน 0.002 มิลลิกรัมต่อกรัม (นิรมล จิตต์สมหมาย และ จิตนภา วรนิติกุล, 2565) ความเสี่ยงที่ร่างกายจะได้รับโลหะหนักเริ่มขึ้นตั้งแต่ขั้นตอนการเตรียมสีย้อมและขณะย้อมสี ซึ่งผู้ย้อมต้องสัมผัสกับน้ำย้อมโดยตรง หากใช้งานเสร็จแล้วและปล่อยทิ้งสู่สิ่งแวดล้อมโดยตรง จะเป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมโดยรอบได้ (Ardila-Leal et al., 2021) การเลือกใช้สีย้อมจากธรรมชาติจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่จะสร้างความปลอดภัยต่อผู้ย้อมและสิ่งแวดล้อม เนื่องจากสีย้อมจากธรรมชาติเป็นสารทางชีวภาพที่สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ

การย้อมสีเส้นกกเพื่อจักสานเป็นผลิตภัณฑ์ต้องใช้วัตถุดิบสำคัญ 2 ชนิด คือ สีย้อม และสารช่วยติดสี การใช้สีย้อมจากธรรมชาติเป็นผลจากการแสดงสีของรงควัตถุธรรมชาติ (Biological pigment) แต่ละชนิด เช่น คลอโรฟิลล์ ให้สีเขียว แคโรทีนอยด์ให้เหลือง-ส้ม และแอนโทไซยานินให้สีน้ำเงิน สีม่วง หรือสีแดง ขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรดต่าง รงควัตถุเหล่านี้พบได้ในพืชและสัตว์ด้วยชนิดและปริมาณที่แตกต่างกัน เมื่อนำไปใช้ร่วมกับสารช่วยติดสีบางชนิด จะสร้างเฉดสีใหม่ได้ เช่น การใช้สารส้ม จุนสี และสนิมเหล็ก ทำให้น้ำย้อมใบยางพาราเข้มขึ้น (ปรีชา มูลสิน และ คณะ, 2564, 35-40) หากพิจารณาลักษณะพิเศษของการเปลี่ยนสีได้ตามค่าความเป็นกรดต่างของแอนโทไซยานิน อาจเป็นโอกาสอันดีที่จะนำมาพัฒนาน้ำย้อมสี ซึ่งแอนโทไซยานิน (Anthocyanin) ที่อยู่ในกลุ่มฟลาโวนอยด์ เป็นรงควัตถุที่ละลายน้ำได้ดี เปลี่ยนสีได้ตั้งแต่สีแดง สีม่วง จนถึงสีน้ำเงิน ตามโครงสร้างโมเลกุลที่เปลี่ยนแปลงตามค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ของสารละลาย จากงานวิจัยของ ลลิตา ฉายาวัดน์ และคณะ (2568) รายงานว่าผลสดของมะม่วงหาวมะนาวโห่สุกที่มีแอนโทไซยานินสูง เมื่อนำมาทำน้ำย้อม จะได้น้ำย้อมสีแดงส้มที่มีค่าความเป็นกรดประมาณ 3.39 สำหรับดอกอัญชัน (*Clitoria ternatea*) เป็นพืชไม้เลื้อยที่พบเห็นทั่วไป มีสารเทอร์นาติน (Ternatin) ซึ่งเป็นสารชนิดพิเศษในกลุ่มแอนโทไซยานิน ให้น้ำเงินสดและมีความคงตัวสูง (Gamage et al., 2021) หากพัฒนาเป็นน้ำย้อมสีเส้นกกที่มีค่าความเป็นกรดต่างที่หลากหลาย อาจเกิดเฉดสีใหม่ได้อีก

เส้นกกมีผิวขรุขระ ในกระบวนการย้อมสีจึงต้องคัดเลือกสารช่วยติดสี (Mordant) ที่ช่วยให้สีของน้ำย้อมยึดเกาะกับวัสดุที่ต้องการย้อมได้ดียิ่งขึ้น ซึ่งอาจใช้ก่อนหรือหลังย้อมก็ได้ ทั้งนี้สารส้ม (Alum) และแทนนิน (Tannin) เป็นสารช่วยติดสีที่หาซื้อง่ายและราคาถูก จากการศึกษาวิธีการย้อมกกของ Sangkhaha et al. (2024) พบว่า ต้นกกที่ย้อมด้วยน้ำย้อมจากขมิ้น เปลือกสะเดา และใบสะเดา โดยใช้สารส้มเป็นสารช่วยติดสี จะได้ต้นกกที่มีสีเหลือง สีแดง และสีน้ำตาล ตามสีของน้ำย้อม แต่สีจะเข้มขึ้นกว่าการไม่ใช้สารช่วยติดสี เนื่องจากเกลืออะลูมิเนียมในโมเลกุลของสารส้มจะแตกตัวและไปจับกับโมเลกุลของสีน้ำย้อม ทำให้โมเลกุลเม็ดสีใหญ่ขึ้นและยึดติดกับต้นกกได้ดี สำหรับแทนนินหรือสารฟาด พบทั่วไปในส่วนของพืชที่มีรสขมและฝาด เช่น ลูกหมาก เปลือกประดู่ และเปลือกมังคุด เป็นต้น หน้าที่ของแทนนินเป็นได้ทั้งสารช่วยติดสีและน้ำย้อม การทำหน้าที่เป็นสารช่วยติดสีของแทนนิน จะเริ่มต้นจากแทนนินเข้าจับกับเส้นใยเซลลูโลสของวัสดุที่ต้องการย้อมก่อนเพื่อปรับสภาพพื้นผิว จากนั้นจะเกิดสารประกอบเชิงซ้อนขึ้นหลังจากเติมสารช่วยติดสี ทำให้น้ำย้อมเกาะติดแน่น มีผลโดยตรงต่อความคงทนของการติดสี (กรมวิทยาศาสตร์บริการ, ม.ป.ป.) จากงานวิจัยของ วิชชุดา ยั่งยืน และคณะ (2565, 209-228) รายงานว่าการใช้สารช่วยติดสีหลังการย้อมสีเส้นไหม ทำให้น้ำย้อมทนต่อการซักล้างได้ดีขึ้น ทั้งนี้ระดับความคงทนของสีขึ้นอยู่กับปริมาณของแทนนินในใบฝรั่ง ใบมันสำปะหลัง และใบยาสูบ ที่ทำหน้าที่เป็นสารช่วยติดสี โดยการทำปฏิกิริยากันระหว่างแทนนินกับน้ำย้อม และในหลายครั้งอาจทำให้เกิดเฉดสีใหม่หรือทำให้สีเข้มขึ้นได้ ขึ้นอยู่กับน้ำย้อม และสารช่วยติดสี

คณะผู้วิจัยจึงมีความเห็นว่าการศึกษาสภาวะการย้อมสีเส้นกก ด้วยการเลือกใช้วัตถุดิบในการย้อมที่คำนึงถึงความปลอดภัยของผู้ย้อมและความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ควบคู่กับการสร้างความหลากหลายของเฉดสีย้อม จะช่วยสร้างความเป็นเอกลักษณ์ให้กับผลิตภัณฑ์ ผลักดันให้ผลิตภัณฑ์เข้าสู่ตลาดกลุ่มผลิตภัณฑ์รักษ์โลกได้

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาสีของน้ำย้อมจากดอกอัญชันและผลของการย้อมสีเส้นกกเมื่อนำน้ำย้อมที่มีค่าความเป็นกรดต่างแตกต่างกัน
2. เพื่อศึกษาคุณภาพสีและความคงทนของสีเส้นกกเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 28 - 30 องศาเซลเซียส นาน 2 เดือน

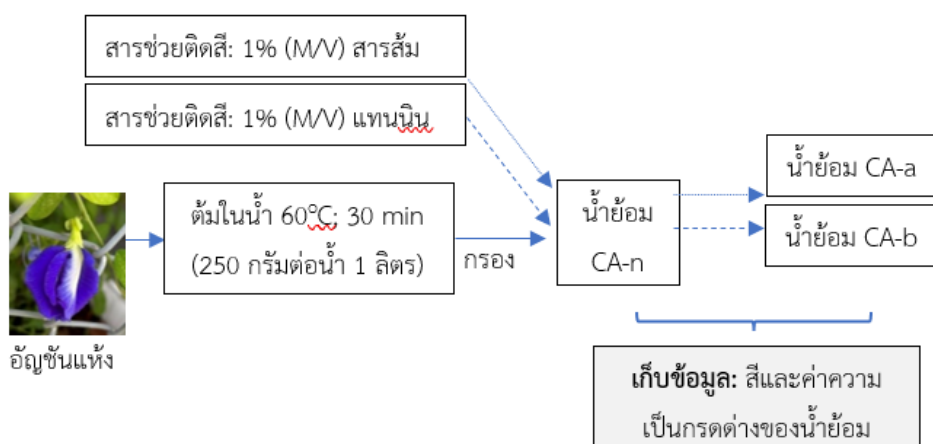
ขอบเขตของการวิจัย

เป็นการศึกษาสภาวะการย้อมสีแบบจุ่มในน้ำย้อมสำหรับเส้นกกที่มีขนาด (ความหนา x ความกว้าง x ความยาว) ประมาณ $0.2 \times 0.5 \times 5$ เซนติเมตร เมื่อน้ำย้อมจากดอกอัญชันมีค่าความเป็นกรดต่างแตกต่างกัน ด้วยการเลือกใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริกหรือสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นสารละลายที่ใช้ในการปรับค่าความเป็นกรดต่าง ร่วมกับการศึกษาผลของการใช้สารละลายแทนนินเพิ่มประสิทธิภาพให้กับสารละลายสารส้อมเพื่อทำหน้าที่เป็นสารช่วยติดสี โดยการศึกษาคุณภาพการย้อมสีและความคงทนของสีที่ติดบนเส้นกกเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 28 - 30 องศาเซลเซียส นาน 2 เดือน

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยระดับห้องปฏิบัติการ วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ มีรายละเอียดในการดำเนินงานดังนี้

1. การศึกษาสีของน้ำย้อมจากดอกอัญชันที่มีค่าความเป็นกรดต่างแตกต่างกัน



ภาพที่ 1 การเตรียมน้ำย้อม CA-n, CA-a และ CA-b จากดอกอัญชันแห้ง

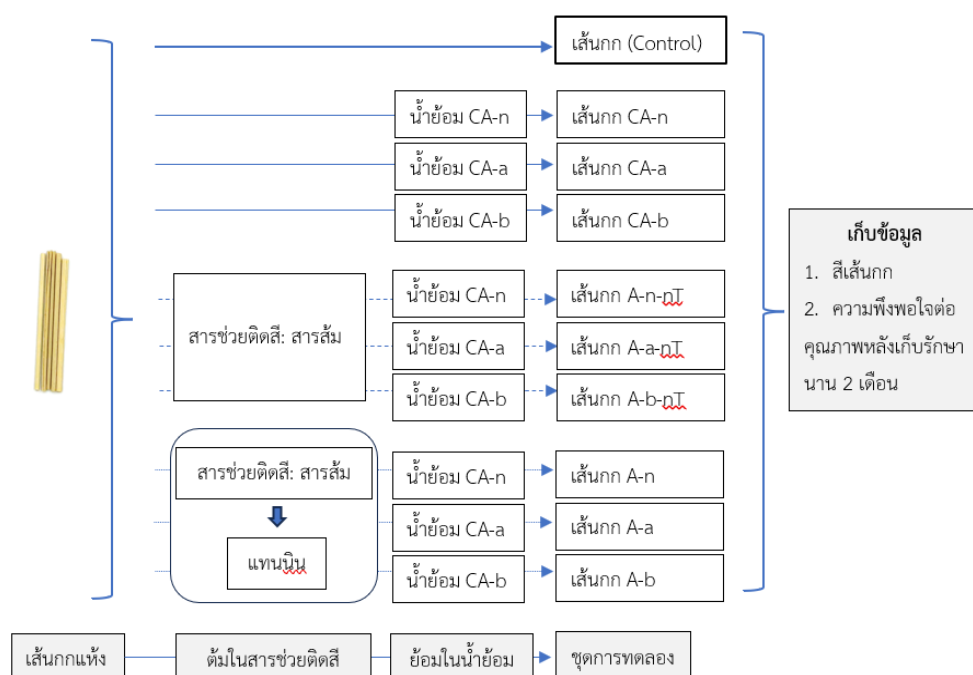
จากภาพที่ 1 การเตรียมสารช่วยติดสี ทั้งสารละลายสารส้ม ($KAl(SO_4)_2$) (CAS No. 10043-67-1; บริษัท เคมีภัณฑ์) และสารละลายแทนนิน (CAS 1401-55-4; LD Carlson company) ใช้วิธีการเตรียมแบบเดียวกันและด้วยความเข้มข้นเท่ากันคือ ร้อยละ 1 โดยมวลต่อปริมาตร เริ่มต้นจากการชั่งน้ำหนักสารส้มหรือแทนนิน 10 กรัม ละลายในน้ำกลั่นปริมาตร 200 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรสุดท้ายด้วยน้ำกลั่นให้มีปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร ทั้งนี้ การให้ความร้อนอุณหภูมิ 70 - 80 องศาเซลเซียส จะช่วยให้การละลายดีขึ้น

การเตรียมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ สำหรับเป็นสารละลายที่เติมลงใน น้ำย้อมจากดอกอัญชันจะใช้ความเข้มข้นที่เท่ากัน โดยแต่ละชนิดจะใช้ความเข้มข้นเท่ากัน คือ ร้อยละ 1 โดยมวลต่อ ปริมาตร

การเตรียมน้ำย้อมจากดอกอัญชัน เริ่มต้นจากคัดเลือกดอกอัญชันที่บานเต็มที่ สีม่วงเข้ม และไม่มีร่องรอยของ โรคและแมลง นำมาล้างในที่ร่มจนแห้ง จากนั้นชั่งน้ำหนัก 250 กรัม และนำไปต้มในน้ำอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ปริมาตร 1 ลิตร นาน 30 นาที ใช้ผ้าขาวบางกรองเอากากทิ้ง เก็บไว้เฉพาะสีน้ำคั้นดอกอัญชัน และเติมโซเดียม คลอไรด์ 2 กรัม ลงในน้ำคั้น คนให้ละลายเข้ากัน จะได้น้ำย้อมสีจากดอกอัญชันสำหรับใช้ในชุดการทดลอง CA-n หากเพิ่มเติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ความเข้มข้นร้อยละ 1 ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ลงในน้ำย้อม CA-n ปริมาตร 300 มิลลิลิตร จะใช้ในการย้อมสีเส้นกกชุดการทดลอง CA-a แต่หากเพิ่มเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้นร้อยละ 1 ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ละลายในน้ำย้อม CA-n ปริมาตร 300 มิลลิลิตร จะใช้ในการ ย้อมสีเส้นกกชุดการทดลอง CA-b

2. กระบวนการย้อมสี

การศึกษาสภาวะการย้อมสีเส้นกก แต่ละชุดการทดลองทำ 3 ซ้ำ อธิบายตามปัจจัยที่ต้องการศึกษา ดังนี้



ภาพที่ 2 กระบวนการย้อมสีด้วยสภาวะการย้อมที่แตกต่างกัน

จากภาพที่ 2 แบ่งออกเป็น 3 สภาวะ ดังนี้

1) เส้นกกที่ไม่ผ่านกระบวนการย้อมสี (Control) เริ่มต้นด้วยการนำเส้นกกแห้งมาต้มในน้ำอุณหภูมิประมาณ 60 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง จากนั้นนำมาผึ่งในที่ร่มจนแห้ง และตัดเป็นเส้นขนาด (กว้าง x ยาว) 0.5×5 เซนติเมตร สำหรับจัดเป็นชุดควบคุม (Control) และนำไปย้อมสีตามรายละเอียดในแต่ละชุดการทดลอง

2) การย้อมสีในน้ำย้อมที่ศึกษาสภาวะการปรับค่าความเป็นกรดต่าง: ต้มเส้นกกน้ำหนัก 3 กรัมต่อชั่วโมงในน้ำย้อม ทั้งแบบที่ไม่มีการเติมสารละลายใด ๆ (CA-n) น้ำย้อมที่เติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (CA-a) หรือน้ำย้อมที่เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (CA-b) ควบคุมอุณหภูมิในน้ำย้อมให้ได้ประมาณ 80 - 100 องศาเซลเซียส ต้มนาน 1 ชั่วโมง แล้วนำมาผึ่งในที่ร่มจนแห้งสนิท

3) การย้อมสีในน้ำย้อมที่ศึกษาสภาวะการใช้สารช่วยติดสี ร่วมกับการปรับค่าความเป็นกรดต่างของน้ำย้อม: ในกระบวนการย้อมสีเส้นกกที่มีการใช้สารช่วยติดสี จะนำเส้นกกไปต้มในสารละลายช่วยติดสีนาน 1 ชั่วโมง ควบคุมอุณหภูมิขณะต้มให้ได้ประมาณ 80 - 100 องศาเซลเซียส จากนั้นนำเส้นกกขึ้นมาผึ่งให้สะเด็ดน้ำนาน 15 นาที แล้วนำเข้าสู่กระบวนการต้มในน้ำย้อมอุณหภูมิประมาณ 80 - 100 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง จากนั้นนำมาผึ่งในที่ร่มจนแห้งสนิท

(3.1) กรณีใช้สารละลายสารส้มเป็นสารช่วยติดสี จะใช้ในชุดการทดลอง A-n-nT (ไม่ปรับค่าความเป็นกรดต่างของน้ำย้อม) ชุดการทดลอง A-a-nT (ปรับค่าความเป็นกรดต่างของน้ำย้อมด้วยสารละลายไฮโดรคลอริก) และชุดการทดลอง A-b-nT (ปรับค่าความเป็นกรดต่างของน้ำย้อมด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์)

(3.2) กรณีใช้สารละลายสารส้มร่วมกับสารละลายแทนนินเป็นสารช่วยติดสี จะเพิ่มขั้นตอนการใช้สารละลายแทนนิน โดยนำเส้นกกที่ผ่านการต้มในสารละลายสารส้มแล้ว 1 ชั่วโมง เมื่อนำมาผึ่งให้สะเด็ดน้ำแล้ว จะนำมาต้มในสารละลายแทนนินอีก 1 ชั่วโมง ผึ่งให้สะเด็ดน้ำอีกครั้ง ก่อนนำไปย้อมในน้ำย้อมสี ซึ่งกระบวนการต้มแต่ละขั้นตอน จะควบคุมอุณหภูมิขณะต้มให้ได้ประมาณ 80 - 100 องศาเซลเซียส ใช้ในชุดการทดลอง A-n (ไม่ปรับค่าความเป็นกรดต่างของน้ำย้อม) ชุดการทดลอง A-a (ปรับค่าความเป็นกรดต่างของน้ำย้อมด้วยสารละลายไฮโดรคลอริก) และชุดการทดลอง A-b (ปรับค่าความเป็นกรดต่างของน้ำย้อมด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์)

3. การเก็บรวบรวมข้อมูล

แต่ละชุดการทดลอง จะเก็บข้อมูลทั้งหมด 3 ซ้ำ รายละเอียดดังนี้

1) สีของดอกอัญชัน โดยใช้เครื่องวัดสี (CR10, Konica Minolta) วัดสีบริเวณที่มีสีม่วงเข้ม และรายงานผลเป็นค่าเฉลี่ย ด้วยค่า L^* , a^* และค่า b^*

2) สีของน้ำย้อมด้วยการสังเกต

3) ค่าความเป็นกรดต่างของน้ำย้อมจากดอกอัญชัน ที่ผ่านการเติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริก หรือสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยใช้เครื่องวัดค่ากรดต่าง (F20 FiveEasy™, Mettler Toledo)

4) คุณภาพของการย้อมสีเส้นกก โดยใช้วิธีการสังเกตสี ความสม่ำเสมอของสีระหว่างการเก็บรักษา เพื่อคัดเลือกสภาวะการย้อมสีที่ดีที่สุดสำหรับเป็นตัวแทนประเมินคุณภาพสีโดยอาสาสมัคร หลังจำลองการเก็บรักษาในขั้นตอนถัดไป

นำเส้นกกที่ย้อมสีแล้วทุกชุดการทดลองไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 28 - 30 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ประมาณร้อยละ 65 - 68 เป็นเวลา 2 เดือน แล้วนำมาเก็บข้อมูลตามรายละเอียดดังนี้

1) สีของเส้นกก โดยใช้เครื่องวัดสี (CR10, Konica Minolta) วัดสีของเส้นกกบริเวณส่วนกลาง และรายงานผลด้วยค่า L^* , a^* และค่า b^* ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 2 เดือน (60 วัน) ด้วยการสุ่มตรวจสอบเส้นกกทุก ๆ 15 วัน

2) ความพึงพอใจต่อคุณภาพการย้อมสีหลังการเก็บรักษานาน 2 เดือน ด้วยการออกแบบสอบถามความพึงพอใจที่มีต่อสีเส้นกกหลังการย้อม แบบ 5 ระดับคะแนน (Likert's scale) ซึ่งได้รับค่าดัชนีความสอดคล้องของคำถามกับวัตถุประสงค์งานวิจัยจากผู้เชี่ยวชาญด้านสิ่งทอ เคมี และหัตถกรรม จำนวน 3 ท่าน ด้วยคะแนน 0.83 คะแนน ก่อนนำไปใช้เก็บข้อมูลจากอาสาสมัครจำนวน 40 คน ระดับคะแนนเฉลี่ยที่ได้จะนำไปแปลเป็นข้อมูลเชิงคุณภาพ ดังนี้

1.00 - 1.81	หมายถึง	น้อยที่สุด
1.81 - 2.60	หมายถึง	น้อย
2.61 - 3.40	หมายถึง	ปานกลาง
3.41 - 4.20	หมายถึง	มาก
4.21 - 5.00	หมายถึง	มากที่สุด

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลเป็นค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และความแปรปรวนของข้อมูล โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับการเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติระหว่างชุดการทดลองที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 จะใช้ Duncan's New Multiple's Range Test (DMRT)

ผลการวิจัย

1. การศึกษาสีน้ำย้อมจากดอกอัญชัน

เมื่อวัดค่าสีดอกอัญชัน และรายงานตามระบบมาตรฐานสากล (CIE Lab) พบว่า ดอกอัญชันมีค่าความสว่าง (L^*) เท่ากับ 27.37 ส่วนค่า a^* ที่แสดงให้เห็นถึงการอยู่ในแกนสีเขียว (-) ถึงสีแดง (+) และค่า b^* แสดงให้เห็นถึงการอยู่ในแกนสีน้ำเงิน (-) ถึงสีเหลือง (+) เมื่อวัดค่าสีแล้วพบว่า ดอกอัญชันมีค่า a^* และ b^* เท่ากับ 14.47 และ 5.57 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าดอกอัญชันมีสีน้ำเงินเข้ม (ตารางที่ 1) สอดคล้องกับภาพที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าสีของดอกอัญชัน

วัตถุสี	ค่าเฉลี่ยของสี		
	L^*	a^*	b^*
ดอกอัญชันสด	27.37 ± 4.82	14.47 ± 7.68	5.57 ± 1.31

เมื่อนำดอกอัญชันสดมาคั้นเป็นน้ำย้อม แล้วสังเกตสีและวัดค่าความเป็นกรดต่างของน้ำย้อม (ตารางที่ 2) พบว่า น้ำย้อมจากสีของดอกอัญชันมีสีน้ำเงิน มีค่าความเป็นกรดต่างเริ่มต้นเท่ากับ 4.50 เมื่อปรับค่าความเป็นกรดต่างด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก จะได้น้ำย้อมสีม่วงที่มีค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 2.44 หากปรับค่าความเป็นกรดต่างด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ด้วยปริมาณที่เท่ากัน จะได้น้ำย้อมสีเขียวแกมน้ำเงินที่มีค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 7.62

ตารางที่ 2 สีและค่าความเป็นกรดต่างของน้ำย้อมจากดอกอัญชัน

ชนิดของสารละลายปรับความเป็นกรดต่าง	สีของน้ำย้อม	ค่าความเป็นกรดต่างของน้ำย้อม
-	สีน้ำเงิน	4.50 ± 0.09
1% HCl	สีม่วง	2.44 ± 0.07
1% NaOH	สีเขียวแกมน้ำเงิน	7.62 ± 0.04

2. ผลการศึกษาสภาวะการย้อมสีเส้นกกด้วยน้ำย้อมจากดอกอัญชัน

จากภาพที่ 3 แสดงลักษณะปรากฏของเส้นกกหลังจากย้อมสี พบว่า เส้นกกที่ถูกย้อมด้วยน้ำย้อมที่เติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่มีค่าความเป็นกรดสูงที่สุดคือ 2.44 มีเฉดสีน้ำตาลถึงสีแดงอมน้ำตาล (รหัส CA-a, A-a-nT และ A-a) เส้นกกที่ถูกย้อมด้วยน้ำย้อมในชุดควบคุมที่มีค่าความเป็นกรดค่อนข้างเป็นกลางคือ 7.62 มีเฉดสีเขียว (รหัส CA-n และรหัส A-n) ยกเว้นชุดการทดลองที่ไม่มีการเติมสารละลายแทนนิน (รหัส A-n-nT) ที่มีสีน้ำตาลอมเขียว และสุดท้ายคือ เส้นกกที่ถูกย้อมด้วยน้ำย้อมที่เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีค่าความเป็นกรดน้อยที่สุดคือ 7.62 เส้นกกมีเฉดสีเขียวด้วยความเข้มที่แตกต่างกัน (รหัส CA-b และรหัส A-b) ยกเว้นเส้นกกที่ถูกย้อมด้วยน้ำย้อมที่ไม่มีสารละลายแทนนิน (รหัส A-b-nT) จะได้เส้นกกที่มีสีน้ำตาลปนเขียวคล้ายกับรหัส A-n-nT แต่สีอ่อนกว่า

เมื่อพิจารณาความสม่ำเสมอของการติดสีพบว่า การย้อมสีเส้นกกที่เติมสารช่วยติดสี ช่วยให้สีเส้นกกมีความสม่ำเสมอมากกว่าเส้นกกที่ไม่ใช้สารช่วยติดสี หากเรียงลำดับการติดสีที่สม่ำเสมอแล้วพบว่า เส้นกกที่ใช้สารละลายสารส้มร่วมกับสารละลายแทนนินในการย้อมเป็นสภาวะที่ทำให้สีติดได้ดีที่สุด โดยเฉพาะสภาวะที่เติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกลงในน้ำย้อม (A-a) รองลงมาคือ เส้นกกที่เติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกลงในน้ำย้อมและใช้สารละลายสารส้มเป็นสารช่วยติดสีเพียงชนิดเดียว (A-a-nT) (ภาพที่ 3) หากเรียงลำดับแล้วพบว่า รหัส A-b ติดสีดีที่สุด รองลงมาคือรหัส A-a, A-n, A-n-nT, A--nT, A-b-nT, CA-b, CA-n และ CA-a ตามลำดับ



ภาพที่ 3 สีของเส้นกกที่ผ่านการย้อมสีด้วยน้ำย้อมดอกอัญชัน

3. ผลการศึกษาคุณภาพการติดสีเมื่อเก็บรักษานาน 2 เดือน

3.1 การเปลี่ยนแปลงสีของเส้นกก

เมื่อเก็บรักษาเส้นกกทุกชุดการทดลองไว้ที่อุณหภูมิ 28 - 30 องศาเซลเซียส ครบ 2 เดือน พบว่า ทุกชุดการทดลอง มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่า L^* เพิ่มขึ้น แสดงถึงการซีดของสีเส้นกก

การเปลี่ยนแปลงของค่าสีเส้นกก ตั้งแต่หลังย้อมสีและต่อเนื่องจนถึง 60 วัน ซึ่งเส้นกกก่อนย้อมสีมีค่า L^* , a^* และ b^* เท่ากับ 57.47, 8.40 และ 29.17 ตามลำดับ เมื่อย้อมสีแล้ว เส้นกกทั้ง 9 ชุดการทดลอง มีค่า L^* เริ่มต้นตั้งแต่ 22.30 - 34.45 ค่า a^* ตั้งแต่ 2.70 - 26.87 และค่า b^* ตั้งแต่ 5.25 - 14.90 ซึ่งจะเห็นได้จากค่า a^* ว่า เส้นกกที่ย้อมสีแล้วมีเฉดสีเขียว - แดง หลากหลายเฉด สำหรับรายละเอียดการเปลี่ยนแปลงสีของแต่ละชุดการทดลอง แสดงไว้ในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าสีของเส้นกกที่ถูกย้อมด้วยสภาวะที่แตกต่างกัน และเก็บรักษาที่ 28 - 30 องศาเซลเซียส นาน 2 เดือน

ตัวอย่าง	วันเริ่มต้น	15 วัน	30 วัน	45 วัน	60 วัน
ค่า L^*					
Control	57.47 ± 2.25				
CA-n	25.10 ^a ± 1.56	27.40 ^b ± 2.25	27.30 ^b ± 1.56	28.75 ^b ± 2.33	27.65 ^b ± 0.78
CA-a	29.75 ^a ± 0.07	28.25 ^a ± 1.06	31.85 ^{ab} ± 2.62	32.50 ^b ± 0.71	30.20 ^a ± 1.27
CA-b	34.45 ^b ± 2.05	31.75 ^a ± 0.92	33.75 ^b ± 1.77	36.50 ^c ± 0.99	33.30 ^b ± 1.13
A-n-nT	28.40 ± 3.10	27.53 ± 1.95	26.00 ± 3.57	27.63 ± 2.52	25.07 ± 2.35
A-a-nT	30.57 ^a ± 1.00	31.33 ^a ± 0.49	32.97 ^a ± 2.16	34.17 ^b ± 1.25	31.53 ^a ± 2.78
A-b-nT	29.87 ^a ± 0.76	32.40 ^b ± 1.82	34.43 ^c ± 1.21	34.87 ^c ± 2.10	34.90 ^c ± 3.41
A-n	22.30 ^a ± 2.00	23.93 ^a ± 2.65	25.33 ^b ± 0.64	22.93 ^a ± 3.27	25.83 ^b ± 2.34
A-a	27.00 ^a ± 3.82	26.43 ^a ± 1.96	30.07 ^b ± 2.72	27.57 ^a ± 1.79	28.47 ^{ab} ± 1.90
A-b	30.33 ^a ± 0.90	29.47 ^a ± 1.17	30.33 ^a ± 1.59	30.87 ^a ± 1.93	33.47 ^{ab} ± 2.07
ค่า a^*					
Control	8.40 ± 1.87				
CA-n	6.35 ^a ± 0.21	8.05 ^b ± 0.21	9.05 ^{bc} ± 2.76	7.45 ^b ± 0.78	5.95 ^a ± 0.35
CA-a	18.55 ^b ± 0.49	20.25 ^c ± 0.07	18.90 ^b ± 0.71	16.05 ^a ± 1.77	17.75 ^b ± 0.35
CA-b	2.70 ^a ± 0.28	3.05 ^b ± 0.07	2.90 ^b ± 0.14	3.40 ^b ± 0.42	3.95 ^b ± 1.20
A-n-nT	21.07 ^{bc} ± 3.46	21.27 ^c ± 2.25	15.73 ^a ± 1.64	19.90 ^b ± 2.61	17.50 ^{ab} ± 3.70
A-a-nT	26.87 ^b ± 1.67	26.00 ^a ± 1.15	26.77 ^{ab} ± 0.59	25.03 ^a ± 1.86	24.37 ^a ± 0.31
A-b-nT	17.50 ^a ± 2.98	19.83 ^b ± 2.30	14.80 ^a ± 3.32	17.90 ^a ± 0.75	16.83 ^a ± 3.50
A-n	7.10 ^a ± 1.67	9.17 ^b ± 1.63	9.13 ^b ± 1.27	8.37 ^a ± 1.48	9.33 ^b ± 0.85
A-a	22.87 ^c ± 1.24	22.40 ^c ± 0.10	17.57 ^a ± 2.78	20.97 ^b ± 3.27	20.10 ^b ± 1.18
A-b	4.00 ^a ± 0.53	3.97 ^a ± 1.17	3.87 ^a ± 0.38	4.00 ^a ± 0.30	5.13 ^b ± 1.05

ตารางที่ 3 ค่าสีของเส้นกกที่ถูกย้อมด้วยสภาวะที่แตกต่างกัน และเก็บรักษาที่ 28 - 30 องศาเซลเซียส นาน 2 เดือน (ต่อ)

ตัวอย่าง	วันเริ่มต้น	15 วัน	30 วัน	45 วัน	60 วัน
ค่า b*					
Control	29.17 ± 1.27				
CA-n	5.25 ^a ± 1.48	6.10 ^a ± 0.57	6.70 ^a ± 2.26	7.65 ^b ± 0.49	6.80 ^a ± 1.56
CA-a	11.10 ± 2.40	9.65 ± 1.49	11.25 ± 1.20	10.80 ± 1.57	10.95 ± 0.92
CA-b	10.30 ^a ± 1.70	10.35 ^a ± 1.77	11.40 ^a ± 3.24	12.70 ^b ± 0.28	11.75 ^a ± 0.35
A-n-nT	12.73 ± 3.06	11.40 ± 2.17	10.33 ± 2.50	12.80 ± 3.14	11.47 ± 3.47
A-a-nT	14.90 ± 0.95	14.83 ± 0.46	15.87 ± 1.37	15.20 ± 2.04	15.67 ± 2.42
A-b-nT	14.60 ^a ± 3.05	16.73 ^{ab} ± 2.15	14.53 ^a ± 2.96	19.47 ^c ± 2.02	20.10 ^c ± 3.30
A-n	6.33 ^a ± 1.37	7.13 ^a ± 2.56	6.37 ^a ± 1.97	6.53 ^a ± 1.80	9.43 ^b ± 2.72
A-a	10.83 ^b ± 2.22	9.83 ^a ± 1.33	10.33 ^b ± 2.87	10.43 ^b ± 0.81	12.27 ^{bc} ± 1.36
A-b	14.23 ^{bc} ± 0.70	12.80 ^b ± 1.23	10.67 ^a ± 1.53	13.30 ^b ± 2.33	16.17 ^d ± 1.72

หมายเหตุ ตัวอักษรแนวนอนในชุดการทดลองเดียวกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95

รหัส A-b-nT (ปรับค่าด้วยสารละลายต่าง ใช้สารส้มเป็นสารช่วยติดสี) มีการเปลี่ยนแปลงเร็วที่สุด จากวันแรก เส้นกกมีค่า L* เท่ากับ 29.87 และในวันสุดท้ายมีค่า L* เท่ากับ 34.90 เพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 16.84 รองลงมาคือ รหัส A-n (ไม่ปรับความเป็นกรดต่าง ใช้สารส้มและแทนนินเป็นสารช่วยติดสี) รหัส A-b (ปรับค่าด้วยสารละลายต่าง ใช้สารส้มและแทนนินเป็นสารช่วยติดสี) รหัส CA-n (ไม่ปรับความเป็นกรดต่าง ไม่ใช้สารช่วยติดสี) รหัส A-a (ปรับค่าด้วยสารละลายกรด ใช้สารส้มและแทนนินเป็นสารช่วยติดสี) รหัส A-a-nT (ปรับค่าด้วยสารละลายกรด ใช้สารส้มเป็นสารช่วยติดสี) และรหัส CA-a (ปรับค่าด้วยสารละลายกรด ไม่ใช้สารช่วยติดสี) มีการเพิ่มขึ้นของค่า L* นับจากวันแรกของการเก็บรักษา คิดเป็นร้อยละ 15.83, 10.35, 10.16, 5.44, 3.14 และ 1.51 ตามลำดับ

จากการตรวจสอบค่าสีด้วยค่า a* จากค่าลบ (-a*) ไปค่าบวก (+a*) แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงจากสีเขียวเป็นสีแดงตามองศาสีในระบบ CIE lab พบว่า เส้นกกที่ถูกย้อมสีด้วยน้ำย้อมจากดอกอัญชันมีค่า a* แตกต่างกัน แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มแรกอยู่ในเขตสีเขียว มีค่า a* เท่ากับ 2.70 - 7.10 ได้แก่ รหัส CA-b, A-b, CA-n และ A-n ตามลำดับ และอีกกลุ่มอยู่ในเขตสีน้ำตาลถึงสีแดงอมเขียว มีค่า a* เท่ากับ 17.50 - 26.87 ได้แก่ รหัส A-b-nT, CA-a, A-n-nT, A-a และ A-a-nT ตามลำดับ เมื่อเก็บรักษาครบ 2 เดือน พบว่า ค่า a* ของทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย แต่ยังคงอยู่ในเขตสีเขียว และเขตสีน้ำตาลถึงสีแดงอมเขียวเช่นเดิม คือ กลุ่มแรกที่อยู่ในเขตสีเขียว รหัส CA-b, A-b, CA-n และ A-n มีค่า a* เท่ากับ 3.95, 5.13, 5.95 และ 9.33 ตามลำดับ และกลุ่มที่ 2 รหัส A-b-nT, CA-a, A-n-nT, A-a และ A-a-nT มีค่า a* เท่ากับ 16.83, 17.75, 17.50, 20.10 และ 24.37 ตามลำดับ

ค่า b* แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงสีจากเขตสีน้ำเงิน (-b*) ไปเขตสีเหลือง (+b*) ในวันแรกของการย้อมสี เส้นกกมีสีอยู่ในเขตสีน้ำเงิน ด้วยค่า b* ตั้งแต่ 5.25 - 14.90 เมื่อเก็บรักษานาน 2 เดือน เส้นกกส่วนใหญ่มีค่า b* เพิ่มขึ้น มีค่า b* ตั้งแต่ 6.80 - 20.10 ทั้งนี้ เส้นกรรหัส CA-a, A-n-nT และ A-a-nT มีค่า b* คงที่ในทางสถิติ ส่วนเส้นกรรหัส A-n, A-b-nT, CA-n, CA-b, A-b และ A-a มีค่า b* เพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดยจากเดิมมีค่า 6.33, 14.60, 5.25, 10.30,

14.23 และ 10.83 ตามลำดับ เพิ่มขึ้นเป็น 9.43, 20.10, 6.80, 11.75, 16.17 และ 12.27 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาประกอบกับค่า L^* แสดงถึงสีเส้นกนกมีความเข้มของสีน้ำเงินลดลง

3.2 ความพึงพอใจของอาสาสมัครที่มีต่อคุณภาพสีของเส้นกนก

เมื่อนำเส้นกรรหัท A-a ตัวแทนรหัสในเฉดสีแดงอมน้ำตาล และ A-b ตัวแทนรหัสในเฉดสีเขียว ที่ผ่านการคัดเลือกจากการติดสีสม่ำเสมอที่สุด (ภาพที่ 3) เพื่อนำมาทดสอบความพึงพอใจของอาสาสมัคร ได้ผลดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ความพึงพอใจของอาสาสมัครที่มีต่อเส้นกนกที่ผ่านการคัดเลือก

ประเด็น	ความพึงพอใจ			
	A-a		A-b	
	คะแนน	ความหมาย	คะแนน	ความหมาย
รูปทรงปกติ	4.82 ± 0.27	มากที่สุด	4.75 ± 0.32	มากที่สุด
ความสวยงามของสี	4.18 ± 0.33	มาก	3.09 ± 0.42	ปานกลาง
ความชัดเจนของสี	4.60 ± 0.39	มากที่สุด	2.29 ± 0.15	น้อย
ความสม่ำเสมอของสี	3.27 ± 0.20	ปานกลาง	2.64 ± 0.42	ปานกลาง
ค่าเฉลี่ย	3.22 ± 0.30	ปานกลาง	3.19 ± 0.33	ปานกลาง

จากตารางที่ 4 เส้นกนกในชุดการทดลอง A-a ได้รับคะแนนเฉลี่ย 3.22 คะแนน ได้รับความพึงพอใจระดับปานกลาง มากกว่าเส้นกนกในชุดการทดลอง A-b ที่ได้รับคะแนนเฉลี่ย 3.19 คะแนน ซึ่งได้รับความพึงพอใจระดับปานกลางเช่นกัน เมื่อพิจารณารายประเด็นพบว่า เส้นกนกในชุดการทดลอง A-a ได้คะแนนความพึงพอใจ 2 ประเด็นอยู่ในระดับมากที่สุด คือ การมีรูปทรงเส้นกนกปกติ และความชัดเจนของสี ด้วยคะแนนเท่ากับ 4.82 และ 4.60 คะแนน ตามลำดับ รองลงมาคือประเด็นความสวยงามของสี ได้รับความพึงพอใจในระดับมาก ด้วยคะแนน 4.18 คะแนน ส่วนประเด็นความสม่ำเสมอของสีได้รับความพึงพอใจระดับปานกลาง ด้วยคะแนน 3.27 คะแนน สำหรับเส้นกรรหัท A-b ได้รับความพึงพอใจจากอาสาสมัครในระดับมากที่สุดเพียงประเด็นเดียวคือ รูปทรงปกติ ด้วยคะแนน 4.75 คะแนน รองลงมาได้รับความพึงพอใจระดับปานกลางในประเด็นความสวยงามและความสม่ำเสมอของสี ด้วยคะแนน 3.09 และ 2.64 คะแนน และสุดท้ายคือประเด็นความชัดเจนของสี ที่ได้รับความพึงพอใจน้อย ด้วยคะแนน 2.29 คะแนน แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 4

สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

น้ำย้อมสีธรรมชาติจากดอกอัญชันมีสีน้ำเงินเข้ม เป็นกรดอ่อนที่มีค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 4.50 เมื่อปรับค่าความเป็นกรดด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกหรือสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ในอัตราส่วนระหว่างสารละลายกรดหรือด่างต่อน้ำย้อม เท่ากับ 1:60 ทำให้ค่าความเป็นกรดและสีน้ำย้อมเปลี่ยนแปลงจากเดิมจากตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่าการเติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกทำให้ค่าความเป็นกรดของน้ำย้อมเพิ่มขึ้นจาก 4.50 เป็น 2.44 สีน้ำย้อมจะเปลี่ยนเป็นสีม่วง หากเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จะทำให้ค่าความเป็นกรดลดลง มีค่าเท่ากับ 7.62 และได้สีน้ำย้อมใหม่คือ สีเขียวแกมน้ำเงิน

ก่อนการย้อมสีเส้นกกต้องเตรียมพื้นผิววัสดุด้วยการนำเส้นกกมาต้มเพื่อกำจัดควิทินออก จะช่วยให้การติดสีสม่ำเสมอและชัดเจนยิ่งขึ้น เมื่อศึกษาร่วมกับการใช้สารช่วยติดสีและความเป็นกรดต่างของน้ำย้อม จากภาพที่ 3 แสดงให้เห็นว่าเส้นกกที่ต้มในสารช่วยติดสีก่อนการย้อม สีจะติดดีกว่าการย้อมที่ไม่ใช้สารช่วยติดสี โดยเฉพาะการใช้สารละลายสารส้มร่วมกับสารละลายแทนนินจะติดสีสม่ำเสมอที่สุด (รหัส A-n, A-a และ A-b) รองลงมาคือการใช้สารละลายสารส้มชนิดเดียว (รหัส A-n-nT, A-a-nT และ A-b-nT) และการไม่ใช้สารช่วยติดสีในการย้อม (รหัส CA-n, CA-a และ CA-b) เป็นสภาวะที่การติดสีสม่ำเสมอที่สุด โดยเฉพาะเมื่อน้ำย้อมถูกเติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกหรืออยู่ในสภาวะที่ความเป็นกรดสูง เชดสีจะยิ่งเข้มขึ้นและสม่ำเสมอมากกว่า ส่วนหนึ่งเป็นผลมาจากไอออนอะลูมิเนียมของสารละลายสารส้มแตกตัวได้ดีในสภาวะที่เป็นกรด ด้วยเหตุนี้เส้นกรรหัส CA-a, A-a-nT และ A-a ที่ถูกย้อมด้วยน้ำย้อมที่มีความเป็นกรดสูง สีของเส้นกกจะเข้มกว่าการย้อมสีในสภาวะเดียวกัน แต่น้ำย้อมมีความเป็นกรดอ่อนกว่า (ภาพที่ 3) ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกับการใช้สารละลายสารส้มร่วมกับสารละลายแทนนินในการช่วยติดสี เพียงแต่หลักการช่วยติดสีของทั้ง 2 วิธีนี้แตกต่างกัน การช่วยติดสีของสารละลายสารส้มเกิดจากไอออนของอะลูมิเนียมที่แตกตัวออกมา เข้าไปสร้างพันธะโคออร์ดิเนตโคเวเลนต์กับโมเลกุลของน้ำย้อม เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ขึ้นและไม่ละลายน้ำ จึงเกาะติดกับพื้นผิวของเส้นกกได้ดียิ่งขึ้น (ปรีชา มูลสิน และคณะ, 2564, 35-40) ในขณะที่การเพิ่มขึ้นตอนการนำเส้นกกไปต้มในสารละลายแทนนินหลังจากต้มในสารละลายสารส้ม ไอออนของอะลูมิเนียมของสารส้มจะเข้าทำปฏิกิริยากับสารละลายแทนนินเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่ทำงานร่วมกัน โดยโมเลกุลด้านหนึ่งของแทนนินจะเข้าจับกับเซลล์ของเส้นกก และอีกด้านหนึ่งที่มีธาตุอะลูมิเนียมจะเข้าไปสร้างพันธะกับโมเลกุลของน้ำย้อม การติดสีจึงดีกว่าการใช้สารละลายสารส้มเพียงชนิดเดียว (กรมวิทยาศาสตร์บริการ, ม.ป.ป.)

สำหรับการเกิดเชดสีของเส้นกก เกิดจาก 2 ปัจจัยคือ ค่าความเป็นกรดต่างของน้ำย้อม และสารช่วยติดสี จากตารางที่ 2 ในสภาวะที่น้ำย้อมจากดอกอัญชันมีความเป็นกรดสูง ($\text{pH} = 2.44$) น้ำย้อมจะมีสีม่วง เมื่อย้อมสีจะได้เส้นกกสีน้ำตาลแดง (รหัส CA-a) เมื่อน้ำย้อมมีค่าความเป็นกรดลดลง ($\text{pH} = 4.50 - 7.62$) เส้นกกที่ถูกย้อมจะแสดงเชดสีเขียว (รหัส CA-n และ CA-b) แตกต่างจากการย้อมสีที่มีการใช้สารช่วยติดสี ซึ่งการใช้สารละลายสารส้มเป็นสารช่วยติดสีชนิดเดียว จะได้เส้นกกเชดสีน้ำตาลแดงที่มีความเข้มสีแตกต่างกัน เป็นผลมาจากสารละลายสารส้มเป็นสารที่ไม่มีสี จึงไม่รบกวนสีของน้ำย้อม แต่จะทำให้สีสว่างขึ้น ด้วยเหตุนี้เส้นกรรหัส A-n-nT, A-a-nT และ A-b-nT จึงมีค่า L^* เท่ากับ 28.40 - 30.57 มากกว่าเส้นกกที่ย้อมด้วยน้ำย้อมสภาวะเดียวกัน ในทางกลับกัน เมื่อนำสารละลายแทนนินมาเป็นสารช่วยติดสีร่วมกับสารละลายสารส้ม จะเกิดเชดสีใหม่ 2 เชดสี ตามค่าความเป็นกรดต่างของน้ำย้อมคือเมื่อน้ำย้อมมีความเป็นกรดแก่ ($\text{pH} = 2.44$) เส้นกรรหัส A-a มีสีแดงอมน้ำตาล เป็นสภาวะที่มีสารสีแดงของ flavylum cation ปริมาณมาก สอดคล้องกับงานวิจัยของ ลลิตา ฉายาวัดน์ และคณะ (2568) ที่เติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกหรือสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ด้วยปริมาณที่เท่ากับงานวิจัยนี้ลงในน้ำย้อมของผลสุกมะม่วงหาวมะนาวโห่ จะได้น้ำย้อมที่มีค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 2.61 - 4.10 ซึ่งเป็นกรดแก่และเสถียร โครงสร้างโมเลกุลของแอนโทไซยานินจึงอยู่ในรูปของ flavylum cation ที่ให้สีแดงและมีความเสถียรสูง (รัตน ม่วงรัตน์ และคณะ, 2557, 368-380) เมื่อย้อมสีเส้นกกด้วยผลสุกมะม่วงหาวมะนาวโห่ในสภาวะเดียวกัน จึงได้เชดสีแดงเพียงเชดเดียว อย่างไรก็ตาม จากภาพที่ 3 พบว่า เส้นกรรหัส A-n ที่ใช้น้ำย้อมจากดอกอัญชันที่มีค่าความเป็นกรดเท่ากับ 4.50 จะได้เส้นกกโทนสีเขียวอมแดง แสดงให้เห็นว่า flavylum cation ในน้ำย้อมของดอกอัญชันมีความเสถียรน้อยกว่าน้ำย้อมของ

ผลสุกมะม่วงหาวมะนาวโห่ ด้วยสภาวะดังกล่าว โมเลกุลของ flavylum cation จะถูกไฮเดรชันไปเป็น cabinal base ที่ไม่มีสี สารเทอร์นาตินในกลีบดอกอัญชันที่ให้น้ำเงินจึงแสดงลักษณะสีออกมา ทำให้เส้นกนกเกิดเฉดสีผสมระหว่างสีน้ำเงินของสารเทอร์นาตินและสารสีแดงของ flavylum cation (สินีนานู ภูมิศรี และ ศักดิ์สิทธิ์ จันทรไทย, 2558, 41-51; Gamage et al., 2021) เมื่อน้ำย้อมมีค่าความเป็นกรดลดลง ปริมาณ cabinal base จะยิ่งเพิ่มขึ้น จึงเห็นได้ว่าเส้นกรรหี้น A-b มีค่าความสว่าง (L^*) มากถึง 30.33

จากการจำลองสภาวะการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 28 ± 2 องศาเซลเซียส นาน 2 เดือน พบว่า การย้อมสีในสภาวะที่น้ำย้อมมีความเป็นกรดจะให้สีที่คงทนมากกว่าการย้อมสีในสภาวะที่น้ำย้อมมีความเป็นด่าง อย่างไรก็ตาม แอนโทไซยานินสามารถสลายตัวได้ ซึ่งโครงสร้างของ flavylum จะเปลี่ยนเป็น chalcone ที่ไม่มีสี และจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วหากค่าความเป็นกรดลดลงหรือได้รับอุณหภูมิสูง (Enaru et al., 2021) ด้วยเหตุนี้เมื่อเก็บรักษาเส้นกนกเป็นเวลานาน สีของเส้นกนกจึงซีดและมีค่า L^* เพิ่มขึ้น (ตารางที่ 3) สอดคล้องกับผลการประเมินความพึงพอใจในตารางที่ 4 แสดงให้เห็นว่า เส้นกรรหี้น A-b ได้รับความพึงพอใจต่อความชัดเจนของสีอยู่ในระดับน้อย ด้วยคะแนนเพียง 2.29 คะแนน และความพึงพอใจต่อความสม่ำเสมอของสีอยู่ในระดับปานกลาง ด้วยคะแนน 2.64 คะแนน ในขณะที่เส้นกรรหี้น A-a ที่ย้อมด้วยน้ำย้อมที่มีค่าความเป็นกรดมากกว่าเส้น A-b ได้รับความพึงพอใจต่อความชัดเจนของสีอยู่ในระดับมากที่สุด ด้วยคะแนน 4.60 คะแนน แม้จะได้รับคะแนนความพึงพอใจต่อความสม่ำเสมอของสีอยู่ในระดับปานกลางก็ตาม

ข้อเสนอแนะ

ควรมีการศึกษาคุณภาพการย้อมสีเส้นกนกจากดอกแห้งของดอกอัญชันเพื่อสนับสนุนการสำรวจวัตถุดิบให้มีใช้ตลอดปี และศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของเส้นกนกเมื่อถูกเก็บในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน

เอกสารอ้างอิง

- กรมวิทยาศาสตร์บริการ. (ม.ป.ป.). การย้อมสีเส้นกนกด้วยสีธรรมชาติ. ค้นเมื่อ ธันวาคม 5, 2568 จาก http://lib3.dss.go.th/fulltext/dss_j/2562_68_209_P21-23.pdf.
- นิรมล จิตต์สมหมาย และ จิตนภา วรนิติกุล. (2565). การตรวจวิเคราะห์อะโรมาติกเอมีนปฐมภูมิ (Primary Aromatic Amines, PAAs) ที่ปนเปื้อนจากวัสดุสัมผัสอาหาร (Food Contact Material). ค้นเมื่อ ธันวาคม 5, 2568 จาก https://www.scispec.co.th/app/2024TH/AN24_PAA_LCMSMS.pdf.
- ปรีชา มุลสิน พันธ์ิรา พันธ์าริ และ กนกกรณ์ ศิริทิพย์. (2564). การศึกษาการย้อมสีธรรมชาติจากใบยางพารา โดยใช้สารส้ม จุนสี และสนิมเหล็กเป็นสารช่วยติดสี. วารสารมหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2 (1), 35-40.
- รัตนา ม่วงรัตน์ กรวิภา สกุลไกรพิระ ธัญญรัตน์ บุระคำ และ ลีลาวดี ชมนาน. (2557). ปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดสารแอนโทไซยานินจากข้าวโพดสีม่วง. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 22 (3), 368-380.
- ลลิตา ฉายาวัดน์ นันทวัน หัตถมาศ พันธุ์ทิพย์ เลิศบุษ และ มนสิณี ดาบเงิน. (2568). การพัฒนาวิธีการย้อมสีเส้นกนกด้วยน้ำย้อมจากผลมะม่วงหาวมะนาวโห่. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 27 (1), 69-79.

- วิชชุดา ยิ่งนคร พรทิพย์ รูปถมพงศ์ บุชรา จงรวยทรัพย์ ชุตติพร ณ ลำปาง และ กฤตไชย พลินทรนันท์. (2565). ผลของสารช่วยติดสีธรรมชาติต่อเจดสีและความคงทนของสีของเส้นไหมที่ย้อมสีจากฝาง [รายงานผลการวิจัยหม่อนไหม ประจำปี 2565]. ค้นเมื่อ ธันวาคม 5, 2568 จาก <https://qsds.go.th/newosrd/wpcontent/uploads/sites/115/2024/05/R12.pdf>.
- สินีนาม ภูมิศรี และ ศักดิ์สิทธิ์ จันทร์ไทย. (2558). การหาปริมาณแอนโทไซยานินและผลของโอโซนอะลูมิเนียมต่อเสถียรภาพของน้ำเมา. *วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น*, 15 (1), 41-51.
- Ardila-Leal, L. D., Poutou-Piñales, R. A., Pedroza-Rodriguez, A. M., and Quevedo-Hidalgo, B. E. (2021). A brief history of colour, the environmental impact of synthetic dyes and removal by using laccases. *Molecules*, 26 (13), 3813.
- Enaru, B., Dretcanu, G., Pop, T. D., Stănilă, A., and Diaconeasa, Z. (2021). Anthocyanins: Factors Affecting Their Stability and Degradation. *Antioxidants*, 10 (12), 1967.
- Gamage, G. C. V., Lim, Y. Y., and Choo, W. S. (2021). Anthocyanins from *Clitoria ternatea* flower: Biosynthesis, extraction, stability, antioxidant activity, and applications. *Frontiers in Plant Science*, 12.
- Sangkhaha, C., kruamek, S., Supawan, P., Wattanathum, C., and Sawasdee, A. (2024). Reed Dyeing from Color Plants in Khao Phluang Forest and Neighborhood of Chai Badan Phiphat College, Chai Badan District, Lopburi Province. *Asia Social Issues*, 17 (6), 1-10.