Engng.J.CMU.(2018) 25 (2), 113-123

วารสารวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Engineering Journal
Chiang Mai University

การต้านรังสียูวีและการยับยั้งแบคทีเรียของผ้าไหมย้อมใบหูกวาง

UV Protection and Antibacterial activity of Silk Fabrics Dyed with Sea Almond (*Terminalia catappa*) Leaves

มาหามะสูไฮมี มะแซ[1] สายใจ วัฒนเสน[2] และภาณุมาศ ชูพูล[3]

Mahamasuhaimi Masae[1], Saijai Wattanasen[2] and Parnumart Choopool[3]

[1]สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

[2]โปรแกรมวิชาชีววิทยาและชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

[3]ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

[1]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Srivijaya, Songkhla, 90000, Thailand
[2]Department of Biology and Applied Biology, Faculty of Science,
Songkhla Rajabhat University, Songkhla, 90000, Thailand
[3]Department of Mining and Materials Engineering, Faculty of Engineering,
Prince of Songkla University, Hatyai, 90110, Thailand
[1]E-mail: susumeme1983@yahoo.com, Telephone Number:089-6540828

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของการศึกษาในครั้งนี้เพื่อย้อมผ้าไหมด้วยใบหูกวางซึ่งเป็นสีย้อมตามธรรมชาติโดยใช้สารช่วยติดคือเหล็กคลอไรด์ ($FeCl_3$) ทำการทดสอบความคงทนของสีต่อการซัก เหงื่อและน้ำ ตามมาตรฐานการทดสอบสิ่งทอ (AATCC) และได้ทำการศึกษาการต้านรังสียูวีของผ้าไหมด้วยการคำนวณค่าการต้านรังสียูวี (Ultraviolet Protection Factor, UPF) องค์ประกอบทางเคมีที่มีอยู่ในสีย้อมธรรมชาติได้วิเคราะห์คุณลักษณะด้วยเทคนิคอินฟราเรด (FT-IR Spectroscopy) การยับยั้งแบคทีเรียของผ้าไหมที่ย้อมทดสอบด้วยเชื้อ Staphylococcus aureus และ Escherichia coli ผลการย้อมใบหูกวางผสมด้วยเหล็กคลอไรด์ทำให้ยับยั้งแบคทีเรียได้ร้อยละ 98 และ 99 ตามลำดับ ลักษณะของสีผ้าที่ย้อมด้วยใบหูกวางมีสีน้ำตาลในขณะเดียวกันที่ใช้สารช่วยติดที่เป็นเหล็กคลอไรด์จะมีสีดำ ผลการทดลองความคงทนของสีย้อมผ้าไหมพบว่ามีความคงทนของสีต่อการซัก เหงื่อและน้ำในระดับปานกลางถึงดีมาก การต้านรังสียูวีอยู่ในระดับค่าการต้านรังสียูวีในระดับสูงสุด สารที่สกัดได้จากใบหูกวางมีสารที่อยู่ในกลุ่มพอลิฟีนอลิก (Polyphenolic) และแทนนิน (Tannin) ซึ่งใบหูกวางก็เป็นอีกตัวเลือกหนึ่งที่สามารถใช้ในการย้อมผ้าไหมและในการผลิตสีย้อมผ้าอีกด้วย

ABSTRACT

The objective of this study was dyeing of silk fabrics using sea almond (*Terminalia catappa*) leaves as a natural dye with ferric chloride ($FeCl_3$) as mordant. The color fastness to washing, perspiration and water of the dyed samples was determined according to AATCC test methods. In this study the UV-protection properties were investigated on silk fabrics. Transmittance measurements were used to calculate the ultraviolet protection factor (UPF). The chemical functional groups of the dyes that were characterized by using fourier transform infrared spectroscopy (FTIR). Antibacterial activity of this dyed silk was confirmed by exposing the fabric to *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli*. The fabric dyed with sea almond (*Terminalia catappa*) leaves extract mordanted with $FeCl_3$ reduced the number of viable organisms by 98% and 99% respectively. Silk fabric dyed

Received 22 September 2016
Accepted 25 November 2016

with sea almond leaves had a shade of brown, while those mordanted with ferric chloride of black color shade. Our results revealed that color fastness to washing, perspiration and water was fair to very good level. The UV protection characteristics were also excellent protection. These extracts gave polyphenolic and tannin. Therefore, it was suggested that sea almond leaves dye has the potential in producing functional dyes that could be imparted into the silk dyeing natural colourant system.

1. บทนำ

ผ้าไหมเป็นผ้าที่มีลวดลายสวยงามและมีเอกลักษณ์ต่างไปจากผ้าชนิดอื่น ๆ กล่าวคือ มีการทอยกดอกด้วยไหมหรือดิ้นเงิน ดิ้นทอง นอกจากตัวผ้าไหมเองแล้ว ลวดลายและสีสันยังเป็นปัจจัยที่ช่วยสร้างความสวยงามให้มากยิ่งขึ้น การอนุรักษ์ลวดลายโบราณและนำมาประยุกต์ใช้จึงเป็นสิ่งที่น่าจะได้รับการส่งเสริมพัฒนาเป็นอย่างยิ่ง ดังนั้น การเก็บรวบรวมองค์ความรู้เกี่ยวกับการผลิตผ้าไหมที่ย้อมสีธรรมชาติเพื่อการถ่ายทอดสู่คนรุ่นต่อไปจึงเป็นเรื่องที่ดีและควรให้การสนับสนุน กระบวนการย้อมผ้าได้ใช้สีย้อมที่หลากหลาย สีธรรมชาติมีความเป็นไปได้ไม่จำกัด เพราะองค์ความรู้อยู่ที่ชาวบ้านจะทดลอง ซึ่งสีที่ได้จากธรรมชาติไม่ว่าจะเป็นใบไม้ต่างฤดูให้ผลแตกต่างเป็นเรื่องที่มีความท้าทาย หลักการเดียวแต่สามารถนำวัสดุหลายอย่างมาใช้ให้เกิดสีหลากหลาย เป็นความรู้ที่ไม่ตายตัว ซึ่งมีการใช้สีย้อมจากไม้โกงกางย้อมผ้าไหม [1] การใช้ดอกไม้นานาชนิดของประเทศอิตาลีในการย้อมผ้าฝ้ายและลินิน [2] การใช้ชาดำย้อมสีผ้าขนสัตว์ [3] ในกระบวนการย้อมผ้านั้นเพื่อให้มีประสิทธิภาพความคงทนของสีได้มีการเติมสารช่วยติดต่าง ๆ หรือสารละลายโลหะ ได้แก่ คอปเปอร์ซัลเฟต ($CuSO_4$) เฟอรัสซัลเฟต ($FeSO_4$) ซิงค์ซัลเฟต ($ZnSO_4$) โซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) และแมกนีเซียมซัลเฟต ($MgSO_4$) มาย้อมสีผ้าขนสัตว์แล้วทำการทดสอบสีและความคงทนของสี และประสิทธิภาพของโลหะเหล่านี้พบว่า การใช้เหล็กซัลเฟต ($FeSO_4$) สามารถทำให้สีติดคงทนต่อผ้าขนสัตว์ได้ดีกว่าสารช่วยติดอื่นๆ [3] และสารช่วยติดในกลุ่มเหล็ก (Fe) มีผลต่อการต้านรังสียูวีได้ดีอีกด้วย [4] อีกทั้งยังมีนักวิจัยศึกษาการย้อมผ้าฝ้ายและลินินทดสอบองค์ประกอบทางเคมีในพืชด้วยกระบวนการวิเคราะห์กลุ่มของสารประกอบอินทรีย์ (High Performance Liquid Chromatography, HPLC) และทดสอบการป้องกันรังสียูวี ซึ่งผ้าที่ทำการย้อมจากพืชดังกล่าวสามารถป้องกันรังสียูวี (Ultra Violet Protection Factor, UPF) ได้ในระดับ 10-15 ซึ่งอยู่ในระดับการต้านรังสีที่ค่อนข้างต่ำ [2] ซึ่งในปัจจุบันปัญหาโลกร้อนเป็นสิ่งที่ทุกคนตระหนัก โลกของเราร้อนกว่าที่เคยเป็นมาเมื่อเทียบกับในอดีต

เนื่องจากการดำรงชีวิตของมนุษย์และการใช้ทรัพยากรต่าง ๆ ซึ่งแสงแดดก็เป็นอีกปัญหาหนึ่งของผิวหนังที่เกิดจากแสง เช่น มะเร็งผิวหนัง ผิวหนังโดนแดดเผา เป็นต้น เนื่องจากภูมิคุ้มกันถูกแสงยูวีทำลาย สเปกตรัมและความยาวคลื่นของแสงยูวีอยู่ในช่วง 200-400 นาโนเมตร แบ่งออกได้ดังนี้ คือ UV-A เป็นแสงที่มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 320-400 nm UV-B เป็นแสงที่มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 280-320 nm และ UV-C เป็นแสงที่มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 200-280 nm แสง UV-C ได้ถูกดูดกลืนอย่างสมบูรณ์โดยโอโซนในชั้นบรรยากาศเป็นรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีความยาวคลื่นสั้นที่สุด และไม่สามารถทะลุผ่านชั้นโอโซนในบรรยากาศลงมาสู่ผิวโลกได้ ทำให้ไม่มีผลต่อการทำอันตรายต่อมนุษย์ สำหรับแสงอาทิตย์ในช่วงความยาวคลื่นของแสง UV-B เป็นสาเหตุให้เกิดการเกรียมแดด เป็นฝ้า และแห้งกร้านซึ่งอาจทำให้เกิดมะเร็งผิวหนังได้ สำหรับ UV-A สามารถลอดผ่านกระจก และเมฆเข้าถึงชั้นผิวโดยจะกระตุ้นให้เกิดการสร้างเมลานินทำให้ผิวคล้ำแดดแต่ไม่มีอาการแสบและเป็นสาเหตุให้เกิดรอยเหี่ยวย่น นักวิจัยหลายท่านได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการต้านรังสียูวีในผ้าซึ่งได้แก่ องค์ประกอบของผ้า โครงสร้างของผ้า การบิดของเส้นใย ความหนา น้ำหนัก การเปียก ความชื้น การคลายตัว สารเคมีและสารเติมรวมทั้งสีของผ้า [5] หากวัสดุสิ่งทอนอกจากเสื้อผ้าสวมใส่แล้ว ยังรวมถึงเครื่องใช้อื่น เช่น หมวก รองเท้า และร่มกันแดด เป็นต้น สามารถป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลตนั้น

ได้จะส่งผลดีต่อสุขภาพร่างกายของมวลมนุษย์ได้ ซึ่งแนวโน้มในอนาคตภาวะโลกร้อนจะทวีความรุนแรงขึ้น การหาวัสดุสิ่งทอที่สามารถต้านรังสียูวีเป็นสิ่งที่จำเป็นต่อการประยุกต์ใช้ในปัจจุบันและอนาคต อีกทั้งยังมีการย้อมผ้าด้วยพืชต่างๆ และได้ศึกษาการต้านรังสียูวีได้ถึงร้อยละ 20-35 เนื่องจากในพืชเหล่านั้นประกอบด้วยสารประกอบในกลุ่มฟีนอลิก (Phenolic Compounds) [2] สำหรับงานวิจัยที่ใช้ใบหูกวางยับยั้งเชื้อแบคทีเรียแบคทีเรียเนื่องจากในองค์ประกอบทางเคมีในใบหูกวางประกอบด้วยเทอร์พินอยด์ (Terpenoids) ซาโฟนิน (Saponins) แทนนิน (Tannins) พอลิฟีนอล (Polyphenols) ฟลาโวนอยด์ (Flavonoids) อัลคาลอยด์(Alkaloids) [6] แทนนินที่พบในใบหูกวางจะเป็นชนิด เทอร์ฟลาวินเอ (Terflavin A) เทอร์ฟลาวินบี (Terflavin B) เทอร์แกลลากิน (Tergallagin) กรดชิบูลากิก (Chebulagic) แกรนิน (Graniin) พูนิซาลิน (Punicalin) พูนิซาลากิน (Punicalagin) เทอร์ซาเทน (Tercatain) และอื่นๆ [7] อีกทั้งยังมีการศึกษาการสกัดใบหูกวางด้วยเมทานอล (Methanolic extract) ซึ่งมีประสิทธิภาพการยับยั้งแบคทีเรียสูงกว่าจากการศึกษาเปรียบเทียบกับการสกัดด้วยสารละลายอื่น ๆ คือ การสกัดจากเอทานอล คาร์บอนไดออกไซด์ คลอโรฟอร์ม สารละลายน้ำเย็น จากการศึกษาการสกัดใบหูกวางด้วยเอทานอลนำไปประยุกต์ใช้บรรเทาอาการปวดและแก้อักเสบ อีกทั้งยังมีสรรพคุณต้านมะเร็ง สำหรับการสกัดใบหูกวางด้วยคาร์บอนไดออกไซด์จะนำไปใช้ทางด้านการยับยั้งมะเร็งเช่นกัน ซึ่งเมื่อสกัดใบหูกวางจากคลอโรฟอร์มจะใช้สรรพคุณไปประยุกต์ใช้ทางด้านการรักษาโรคตับและมีสรรพคุณต้านอนุมูลอิสระได้ การสกัดใบหูกวางจากสารละลายเย็นจะสามารถไปประยุกต์ใช้ในการรักษาเบาหวาน [8] ต้นหูกวางเป็นพืชในท้องถิ่นที่มีมากในทั่วทุกภาคของประเทศไทยที่น่าจะนำส่วนใบมาประยุกต์ใช้ทางด้านการย้อมผ้าเพื่อให้มีความสามารถในการต้านรังสียูวีได้ อีกทั้งที่ตั้งของประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตร้อนใกล้เส้นศูนย์สูตร ทำให้ภูมิอากาศของประเทศมีลักษณะเป็นแบบร้อนชื้น ประชากรไทยจึงเหมาะสมที่จะสวมใส่เสื้อผ้าที่มีการต้านรังสียูวี เพื่อป้องกันแสงแดดที่จะก่อให้สุขภาพเสียและก่อโรคทางผิวหนังได้ เช่น มะเร็งผิวหนัง ฝ้าและกระ เป็นต้น จึงเป็นสิ่งที่ควรตระหนักในการนำพืชธรรมชาติมาย้อมผ้าซึ่งเป็นมิตรต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อมด้วย เนื่องจากในพืชมีสารอินทรีย์บางชนิดที่สามารถต้านรังสียูวีได้ จากงานวิจัยที่ได้กล่าวมาข้างต้น

กลไกการยับยั้งแบคทีเรียของใบหูกวางนั้นเนื่องจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ (Enzymatic browning reaction) คือ ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (Browning reaction) ชนิดหนึ่งซึ่งมักพบในใบหูกวาง โดยมีองค์ประกอบที่สำคัญ คือ สารตั้งต้น (substrate) คือ สารประกอบฟีนอล (phenolic compounds) [9-10] อีกทั้งยังมีการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของต้นหูกวางประกอบด้วย ลำต้น ราก ผล และใบ ซึ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) มีสรรพคุณรักษาความดันโลหิตต่ำ (Hypotensive) ต่อต้านการสะสมของไขมันในเส้นเลือด (Antiatherogenic) ลดการอักเสบ (Anti-inflammatory) ต้านมะเร็ง (Anti-carcinogenic) มีสารต้านการเบี่ยงเบนพันธุกรรม (Anti-mutagenic and) ภาวะกระเพาะและลำไส้อักเสบอาเจียนหรือท้องร่วงรุนแรง (Gastro-productive) โดยเฉพาะในใบหูกวางประกอบด้วย ฟลาโวนอยด์ (Flavonoids) และไกลโคไซด์ (Glycosides) [11] ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะกล่าวถึงผ้าไหมย้อมด้วยใบหูกวางซึ่งเป็นสีย้อมจากธรรมชาติที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและศึกษาความคงทนของสีการต้านรังสียูวีและการยับยั้งแบคทีเรีย

1.1 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาความคงทนของสีใบหูกวางย้อมผ้าไหมและผ้าไหมย้อมใบหูกวางผสมเหล็กคลอไรด์
2. เพื่อศึกษาการต้านรังสียูวีของผ้าไหมย้อมด้วยใบหูกวางและผ้าไหมย้อมใบหูกวางผสมเหล็กคลอไรด์
3. เพื่อศึกษาการยับยั้งแบคทีเรียของผ้าไหมย้อมด้วยใบหูกวางและผ้าไหมย้อมใบหูกวางผสมเหล็กคลอไรด์

2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 อุปกรณ์ เครื่องมือ และสารเคมี

- ผ้าไหมจากตำบลพุมเรียง อำเภอไชยา จังหวัดสุราษฎร์ธานี
- เหล็กคลอไรด์ (Iron (III) Chloride Hexahydrate, $FeCl_3.6H_2O$)
- ใบหูกวางร่วงลักษณะสีเหลืองเก็บในช่วงเดือนเมษายน 2559 ในพื้นที่ริมหาดสมิหลา จังหวัดสงขลา
- เครื่องกวนสารแบบให้ความร้อน (Hot plate stirrer)
- การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันทางเคมีด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) รุ่น Vertex70, Bruker ด้วยเทคนิค KBr Pellet
- การทดสอบการต้านรังสียูวีและความยาวคลื่น รุ่น Genesys 10S UV-vis Spectrophotometer
- เครื่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) (FEI Quanta 400)

2.2 วิธีการวิจัย

สำหรับการย้อมผ้าไหมในครั้งนี้ ขั้นตอนแรกสกัดน้ำใบหูกวางจากการต้มใบหูกวางผสมกับน้ำอัตราส่วน 1:40 โดยน้ำหนักที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 60 นาที นำผ้าไหมไปล้างน้ำสะอาดแล้วนำไปผึ่งให้แห้ง หลังจากนั้นนำผ้าไหมย้อมด้วยใบหูกวางในอัตราส่วนผ้าไหม:น้ำใบหูกวางสกัด:สารช่วยติด:น้ำ เท่ากับ 0.50:1.00:0.04:40.00 โดยน้ำหนัก ซึ่งในการวิจัยนี้ได้ใช้สารช่วยติด คือ เหล็กคลอไรด์ ($FeCl_3 \cdot 6H_2O$) โดยทำการย้อมผ้าไหมพร้อมสารช่วยติด (Meta-mordanting) และนำสารละลายที่สกัดได้วิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันทางเคมีและความยาวคลื่นของแสงที่สีย้อมดูดซับเทคนิค FTIR และเครื่อง UV-vis Spectrometer ตามลำดับ หลังจากนั้นทำการทดสอบความคงทนของสีต่อการซัก เหงื่อ และน้ำ ตามมาตรฐานทดสอบสิ่งทอ คือ AATCC Test Method 61-2010, AATCC TM 15:2009 และ AATCC Test Method 107-2009 ตามลำดับ ซึ่งระดับความคงทนสีแสดงดังตารางที่ 1 ที่ได้จากมาตรฐานเพื่อมาอ้างอิงในการวิจัยในครั้งนี้

ตารางที่ 1 ระดับค่าความคงทนของสี

สีเปลี่ยนจากเดิม		สีตกติด	
ระดับ	หมายถึง	ระดับ	หมายถึง
5	ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของสี	5	ไม่มีการตกติดของสี
4	สีเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย	4	สีตกติดเล็กน้อย
3	สีเปลี่ยนแปลงพอสังเกตได้	3	สีตกติดพอสังเกตได้
2	สีเปลี่ยนแปลงค่อนข้างมาก	2	สีตกติดค่อนข้างมาก
1	สีเปลี่ยนแปลงมาก	1	สีตกติดมาก

การทดสอบการต้านรังสียูวี (UPF) ของผ้าไหมด้วยเครื่อง UV-vis Spectrophotometer ตามมาตรฐาน (AATCC Test Method 183-2004) และคำนวณได้ดังสมการที่ (1)

$$UPF = \frac{\sum_{280}^{400} E_\lambda S_\lambda \Delta_\lambda}{\sum_{280}^{400} E_\lambda S_\lambda T_\lambda \Delta_\lambda} \qquad (1)$$

เมื่อ E_λ ค่าความเข้มรังสีที่มีผลกระทบต่อผิวหนังมนุษย์

S_λ ความเข้มแสงเชิงสเปกตรัมของรังสีดวงอาทิตย์

T_λ ค่าการส่องผ่านของแสงผ่านชิ้นตัวอย่างที่สามารถวิเคราะห์ได้

Δ_λ ความยาวคลื่นที่ใช้ทดสอบ, nm

สำหรับค่า UPF จะเป็นตัวกำหนดความสามารถในการป้องกันแสงแดดของวัสดุสิ่งทอ โดยบอกเป็นอัตราส่วนของปริมาณรังสีอัลตราไวโอเลตที่สัมผัสผิวเมื่อมีผ้าทดสอบป้องกันอยู่ต่อปริมาณรังสีที่สัมผัสผิวเมื่อไม่มีผ้าทดสอบ (ปริมาณรังสีได้จากการคำนวณ) ซึ่งการกำหนดค่าความสามารถในการป้องกันรังสีเป็น UPF ดังตารางที่ 2 สำหรับผลการทดสอบการต้านรังสียูวีได้ใช้ตัวอย่างทั้งหมด 5 ตัวอย่าง ส่วนการทดสอบการยับยั้งแบคทีเรียได้ทดสอบกับแบคทีเรีย 2 ชนิด คือ (Staphylococcus aureus, S.aureus) และ (Escherichaia coli, E.coli) โดยเริ่มต้นจากนำเชื้อแบคทีเรีย (ได้การอนุเคราะห์จากภาควิชาจุลชีววิทยา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์) ใส่ในหลอดทดลองที่มีอาหารเหลว (Tryticase soy broth) ปริมาตร 4 มิลลิลิตร แล้วนำไปบ่มที่ 37°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นเติมเชื้อแบคทีเรียปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงใน 0.85% NaCl (9 มิลลิลิตร) ในน้ำกลั่น โดยใช้วิธี Serial dilution method แล้วนำ 0.1 มิลลิลิตร ไปหยดบนอาหารแข็งสำหรับเชื้อ E.coli ซึ่งเป็นแบคทีเรียแกรมลบใช้อาหาร Macconkey agar ส่วนเชื้อ S.aureus เป็นแบคทีเรียแกรมบวกใช้อาหาร Nutrient agar โดยใช้เทคนิค Spread plate แล้วเจือจางจำนวนเชื้อให้อยู่ในช่วง 30–300 โคโลนี หลังจากที่รู้ความเข้มข้นของเชื้อตั้งต้นแล้ว ก็นำเชื้อที่ได้ไปเตรียมให้มีความเข้มข้นเชื้อประมาณ 10^3 โคโลนีต่อมิลลิลิตร แล้วนำไปทดสอบตามมาตรฐานทดสอบการยับยั้งแบคทีเรียของสิ่งทอ คือ AATCC Test Method 100-2004 การคำนวณอัตราการลดลงของแบคทีเรีย (% Disinfection) โดยใช้สมการที่ (2)

$$\% \text{ Disinfection} = \frac{N}{N_0} x100\% \qquad (2)$$

เมื่อ N_0 จำนวนเชื้อเริ่มต้น 10^3 โคโลนีต่อมิลลิลิตร

N จำนวนเชื้อ ณ เวลาทดสอบ โคโลนีต่อมิลลิลิตร

ตารางที่ 2 ระดับค่า UPF ในการป้องกันรังสียูวี [2]

ช่วงค่า UPF	**ระดับการป้องกันรังสียูวี**	**เปอร์เซนต์การส่องผ่านของรังสีอัลตราไวโอเลตบี**
<15	มีความสามารถในการป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลตได้น้อย (ปริมาณรังสีที่ป้องกันได้อยู่ต่ำกว่า 93.3%)	>6.7
15-24	มีความสามารถในการป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลตได้ดี (ปริมาณรังสีที่ป้องกันได้อยู่ในช่วง 93.3-95.9%)	6.7-4.2
25-39	มีความสามารถในการป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลตได้ดีมาก (ปริมาณรังสีที่ป้องกันได้อยู่ในช่วง 96.0-97.4%)	4.1-2.6
40-50, 50+	มีความสามารถในการป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลตได้สูงสุด	≤2.5

3. ผลการวิจัย

3.1 ผลการวิจัยลักษณะทางกายภาพและความคงทนของสี

ลักษณะสีผ้าที่ได้จากการมองด้วยตาเปล่าจะเห็นได้ว่าผ้าไหมที่ย้อมด้วยใบหูกวางมีลักษณะสีน้ำตาลและผ้าไหมที่ย้อมด้วยใบหูกวางผสมด้วยเหล็กคลอไรด์จะมีสีน้ำตาลเข้มออกสีดำ เส้นใยไหมและกลุ่มอะมิโนที่มีในใบหูกวางทำให้เส้นใยและสีย้อมมีการยึดจับกันที่แข็งแรง ส่งผลต่อการจับตัวกันของเส้นใยและสีย้อม (รูปที่ 1)

ผลการทดสอบความคงทนของสีต่อการซักสีเปลี่ยนจากเดิมในระดับ 3.5 คือ สีเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย จนเกือบสีเปลี่ยนแปลงพอสังเกตได้ สำหรับความคงทนของสีในการตกติดผ้าขาวอยู่ในระดับช่วง 3.5-4.5 การทดสอบ

ความคงทนของสีต่อเหงื่อเปลี่ยนจากเดิมในระดับ 4.0 คือ สีเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย สำหรับความคงทนของสีในการตกติดผ้าขาวอยู่ในระดับ 4.5 การทดสอบความคงทนของสีต่อน้ำเปลี่ยนจากเดิมในระดับ 4.5 คือสีเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยจนเกือบไม่มีการเปลี่ยนแปลงสำหรับความคงทนของสีในการตกติดผ้าขาวอยู่ในช่วง 4.0-4.5 ซึ่งผ้าไหมย้อมใบหูกวางและใบหูกวางผสมเหล็กคลอไรด์ความคงทนสีมีค่าในระดับเดียวกัน (ตารางที่ 3) ซึ่งค่าที่ได้ในตารางที่ 3 นี้เป็นผลจากการวิจัยเป็นการทดสอบความคงทนของสีต่อการซัก เหงื่อ และน้ำ ซึ่งได้นำผ้าไหมที่ทำการวิจัยไปซักทดสอบรวมกับผ้าชนิดอื่นๆ และดูการตกติดของสีต่อผ้าชนิดอื่น ๆ ว่ามีความคงทนในระดับใด (ตารางที่ 3) ทำนองเดียวกับการทดสอบความคงทนของสีต่อเหงื่อและน้ำเปรียบเทียบกับมาตรฐานระดับค่าความคงทนสีจากสถาบันการทดสอบสิ่งทอแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งจากผลการทดสอบความคงทนสีต่อการซักนำผ้าไหมที่ย้อมด้วยใบหูกวางและใบหูกวางผสมเหล็กคลอไรด์ตกติดผ้าฝ้ายได้ค่าในระดับ 3.5 สามารถอธิบายได้ว่าผ้าย้อมสีมีสีตกติดพอสังเกตได้เล็กน้อยมาก แต่ความคงทนสีต่อการซักเหงื่อ และน้ำ ค่าที่ได้อยู่ในช่วง 4.0-4.5 ซึ่งหมายความว่าสีที่ได้จากการย้อมผ้าไหมนั้นตกติดผ้าชนิดอื่น (ตารางที่ 3) สีตกติดเล็กน้อยมาก

รูปที่ 1 ลักษณะสีผ้าไหมย้อมด้วยใบหูกวาง

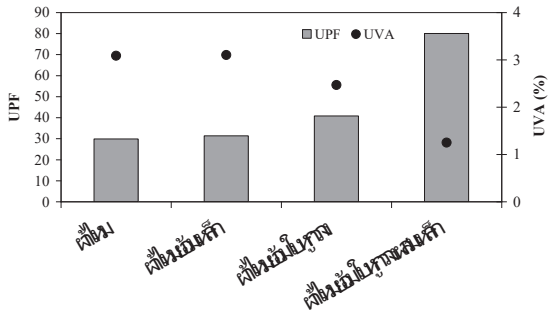
ตารางที่ 3 ความคงทนของสีต่อการซัก ต่อเหงื่อและต่อน้ำ

ผลการทดลอง	ความคงทนของสี					
	ต่อการซัก		ต่อเหงื่อ		ต่อน้ำ	
การย้อมผ้าไหม	ใบหูกวาง	ใบหูกวางผสมเหล็ก	ใบหูกวาง	ใบหูกวางผสมเหล็ก	ใบหูกวาง	ใบหูกวางผสมเหล็ก
สีเปลี่ยนจากเดิม (ระดับ)	3.5	3.5	4.0	4.0	4.5	4.5
สีตกติดผ้าขาว (ระดับ)						
ผ้าอะซีเตต (Acetate)	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5
ผ้าฝ้าย (Cotton)	3.5	3.5	4.5	4.5	4.0	4.0
ผ้าไนลอน (Nylon)	4.5	4.5	4.5	4.5	4.0	4.0
ผ้าไหม (Silk)	4.5	4.5	4.5	4.5	4.0	4.0
ผ้าสังเคราะห์ (Viscose Rayon)	4.0	4.0	4.5	4.5	4.5	4.5
ผ้าขนสัตว์ (Wool)	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5

การเปลี่ยนแปลงของสีที่เกิดขึ้นนั้นอาจจะเกิดขึ้นจาก (1) การแตกตัวของโมเลกุลในสีย้อมกลุ่มไฮดรอกซิลภายใต้สภาวะการทดสอบในสารละลายที่เป็นด่างที่ใช้ผงซักฟอกในการทดสอบ [12] (2) การสลายตัวของสารประกอบในสีย้อม [13]

3.2 การต้านรังสียูวี

จากผลการทดลองวัดค่าการต้านรังสียูวี (Ultra Violet Protection Factor, UPF) พบว่าผ้าไหม ผ้าไหมย้อมเหล็กคลอไรด์ ผ้าไหมย้อมใบหูกวาง และผ้าไหมย้อมด้วยใบหูกวางผสมเหล็กคลอไรด์ มีค่าการต้านรังสียูวี คือ 29, 31, 40 และ 80 ตามลำดับ (รูปที่ 2) ซึ่งค่าที่ได้จากการทดสอบของผ้าไหมย้อมใบหูกวางมีค่าในระดับช่วง 40-50 เป็นค่าที่แสดงความสามารถในการป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลตได้สูงสุด สำหรับค่าของยูวีเอ (UVA) นั้น ตามมาตรฐานยุโรป (The European Standard for Sun Protective Clothing)



รูปที่ 2 ผลการต้านรังสียูวี

ถ้าค่าที่ได้ต่ำกว่า 5% เป็นผ้าที่สามารถต้านรังสียูวีได้ดีและสอดคล้องกับมาตรฐานสิ่งทอของสาธารณรัฐประชาชนจีน (The Chinese National Standard GB/T18830-2002) [2] สำหรับสีย้อมที่มีความสามารถในการต้านรังสียูวีได้นั้นเนื่องจากในใบหูกวางมีส่วนผสมของกรดกอลลิกซึ่งเป็นส่วนประกอบของแทนนิน (Tannin) และเป็นองค์ประกอบหลักของกลุ่มฟินอลิก (Phenolic) ฟลาโวนอยด์ (Flavonoid) และสารต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งสารประกอบกลุ่มพอลิฟีนอลและสารแทนนินในเส้นใย ทำหน้าที่ดูดกลืนแสงช่วงรังสีอัตราไวโอเลตรังสีชนิดนี้มีคลื่นสั้นและพลังงานสูง เป็นตัวกระตุ้นให้สารเหล่านี้ดูดกลืนและเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน โดยอาศัยหลักการทำงาน คือ จับกับเรดิเคิลหรือออกซิเจน และกระจายรังสีที่มีความยาวคลื่นยาวกว่าออกมาแทน [2, 4] ซึ่งเป็นสารที่มีอยู่ในใบหูกวางที่ใช้ในการย้อมผ้าไหม

3.3 ผลการยับยั้งแบคทีเรีย

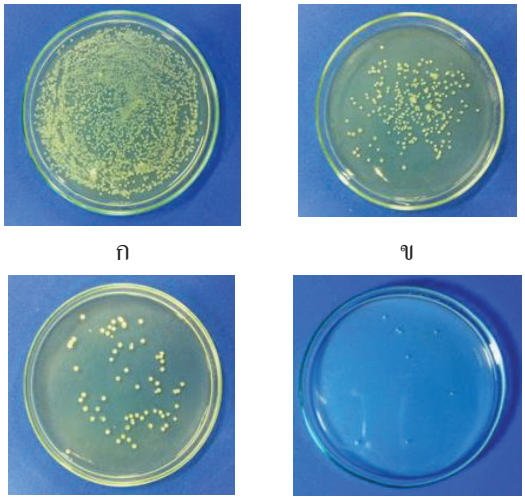
จากการนำผ้าไหมที่ย้อมด้วยใบหูกวางมาทดสอบการยับยั้งแบคทีเรียตามมาตรฐานทดสอบสิ่งทอซึ่งใช้เวลาทดสอบ 24 ชั่วโมง (AATCC Test Method 100-2004) ประสิทธิภาพการยับยั้งแบคทีเรียแสดงตารางที่ 4 และผลการกระจายตัวของแบคทีเรียที่ใช้ทดสอบแสดงดังรูปที่ 3 แบคทีเรียที่นำมาทดสอบตามมาตรฐานสิ่งทอ คือ S.aureus และ E.coli ซึ่งแบคทีเรียทั้ง 2 ชนิด เป็นแบคทีเรียแกรมบวกและแกรมลบ ตามลำดับ และสามารถพบเจอได้ตามผิวหนังของมนุษย์ ซึ่ง S.aureus เป็นแบคทีเรียที่มีผนังเซลล์หนากว่า E.coli พบว่าการเปลี่ยนแปลงของเชื้อแบคทีเรียสังเกตได้อย่างชัดเจน ซึ่งผ้าย้อมใบหูกวางสามารถยับยั้งแบคทีเรีย S.aureus และ E.coli ได้เพียง 52 และ 56 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ผ้าไหมย้อมใบหูกวางผสมเหล็กคลอไรด์ยับยั้งแบคทีเรีย S.aureus และ E.coli ได้ถึง 98 และ 99 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4 การยับยั้งแบคทีเรีย S.aureus และ E.coli ของผ้าไหมย้อมใบหูกวาง

ตัวอย่างผ้า	อัตราการลดลงของแบคทีเรีย (%)	
	S.aureus	*E.coli*
ผ้าไหมย้อมใบหูกวาง	52	56
ผ้าไหมย้อมใบหูกวางผสมเหล็กคลอไรด์	98	99

เมื่อทำการศึกษาโครงสร้างเซลล์เชื้อแบคทีเรียที่ทดสอบกับผ้าด้วยเครื่อง SEM ทำให้เห็นรูปร่างและโครงสร้างเซลล์ดังรูปที่ 4 นักวิจัยได้นำเชื้อที่ผ่านการทดสอบที่ 12 ชั่วโมง จากรูปพบว่า เมื่อแบคทีเรีย

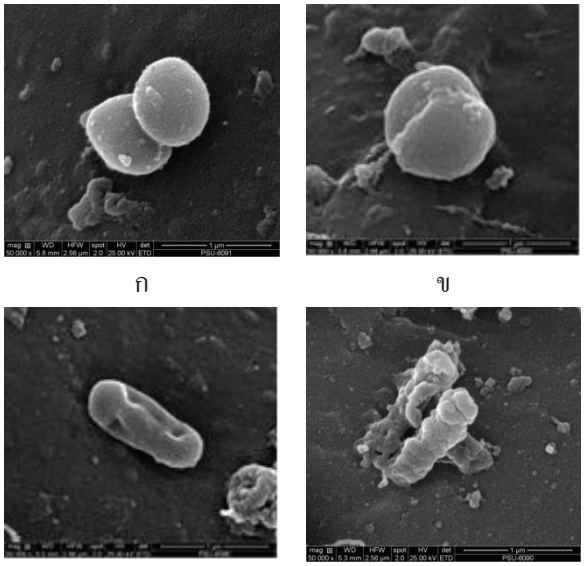
S.aureus ที่ทดสอบด้วยผ้าไหมย้อมใบหูกวาง (รูปที่ 3ก) ยังคงเห็นเชื้ออยู่กันเป็นโคโลนีกระจายอย่างสม่ำเสมอ และเมื่อทดสอบด้วยผ้าไหมย้อมใบหูกวางผสมเหล็กคลอไรด์ สามารถมองเห็นถึงผนังของเซลล์มีลักษณะบุบและยุบ (รูปที่ 3ข) สำหรับเชื้อ E.coli ที่ทดสอบด้วยผ้าไหมย้อมใบหูกวางมีลักษณะเซลล์ที่ยุบอย่างเห็นได้ชัด (รูปที่ 3ค) และเมื่อนำผ้าไหมที่ย้อมด้วยใบหูกวางผสมเหล็กคลอไรด์ เซลล์ของเชื้อ E.coli ผนังเซลล์เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงโดยผนังเซลล์เริ่มถูกทำลาย (รูปที่ 3ง) แสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของสารแทนนิน กรดกอลลิกที่มีอยู่ในใบหูกวางรวมทั้งอิทธิพลของสารประกอบของเหล็กที่เป็นสารช่วยติดในเส้นใยผ้าไหม ทำให้สามารถยับยั้งแบคทีเรียได้



ก ข

ค ง

รูปที่ 3 แสดงผลการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย E.coli (ก) เริ่มต้น (ข) ทดสอบด้วยผ้าไหมย้อมใบหูกวาง (ค) และ (ง) การยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย S.aureus ของผ้าไหมย้อมใบหูกวางและผ้าไหมย้อมใบหูกวางผสมเหล็กคลอไรด์ตามลำดับ



ก ข

ค ง

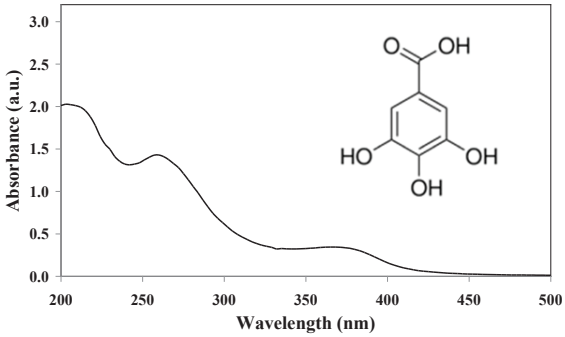
รูปที่ 4 ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 50,000 เท่าของเชื้อ S.aureus หลังทดสอบด้วยผ้าไหมย้อมด้วยใบหูกวาง (ก) ผ้าไหมย้อมใบหูกวางผสมเหล็กคลอไรด์ (ข) และ E.coli หลังทดสอบด้วยผ้าไหมย้อมด้วยใบหูกวาง (ค) และ (ง) ผ้าไหมย้อมใบหูกวางผสมเหล็กคลอไรด์

โดยทั่วไปในสีย้อมจากธรรมชาติจะมีปริมาณอนุมูลอิสระ (Reactive Oxygen Species, ROS) เช่น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide) ออร์แกนิกเปอร์ออกไซด์ (Organic peroxide) และซุปเปอร์ออกไซด์ (Superoxide) สารเหล่านี้สามารถไปยับยั้งการเจริญเติบโตและทำลายแบคทีเรียได้ นอกจาก ROS แล้วในสีย้อมยังมีกลุ่มไฮดรอกซิลเรดิเคิล (Hydroxyl radical, OH) จึงมีฤทธิ์รุนแรงต่อเซลล์ของแบคทีเรีย โดยจะออกซิไดซ์เยื่อหุ้มเซลล์ของแบคทีเรีย ทำให้เกิดการเสียสภาพของโปรตีนในเซลล์และมีผลต่อไขมันในเยื่อหุ้มเซลล์ โดยทำให้เกิดภาวะลิพิดเปอร์ออกซิเดชัน (Lipid peroxidation) คือ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเมื่ออนุมูลอิสระทำปฏิกิริยากับกรดไขมันไม่อิ่มตัวในผนังเซลล์ เกิดขึ้นในผนังเซลล์ของแบคทีเรีย ทำให้เยื่อหุ้มเซลล์เกิดภาวะการยอมให้สารซึมผ่านได้สูงขึ้น (Permeability) ซึ่งส่งผลต่อระบบความสามารถในการยอมให้สารซึมผ่านเข้าออกจากเยื่อหุ้มเซลล์เสีย จึงเกิดการทำลายเยื่อหุ้มเซลล์และ

โครงสร้างโมเลกุล โปรตีนภายในเซลล์ กลไกการยับยั้งแบคทีเรียของสารช่วยติดที่เติมลงไปในสีย้อมเนื่องจากไอออนของโลหะ (Metal ions) เมื่อสัมผัสกับผนังเซลล์ของแบคทีเรียจะสามารถแพร่กระจายประจุไปเกาะตามผนังเซลล์และแทรก เข้าไปภายในเซลล์ของแบคทีเรียทำให้เกิดภาวะการรวมตัวของ DNA (Condensation) ภายในเซลล์ ทำให้ประจุของโลหะ เข้าไปจับกับเอนไซม์โปรติเนส (Proteinase) ที่ทำหน้าที่ เกี่ยวกับระบบเมตาบอลิซึมของเซลล์ ซึ่งจะจับกับหมู่ซัลฟีดริล (-SH) ที่มีอะตอมของซัลเฟอร์ (S) เป็นองค์ประกอบ ซึ่งมีประจุเป็นลบ (S^{2-}) และทำให้เกิดกระบวนการทำงานของเอนไซม์หยุดการทำงาน เซลล์แบคทีเรียหยุดการเจริญเติบโตและเสื่อมสภาพตายในที่สุด [14-15]

3.4 ผลการวิเคราะห์สีย้อมด้วยเครื่อง UV-vis

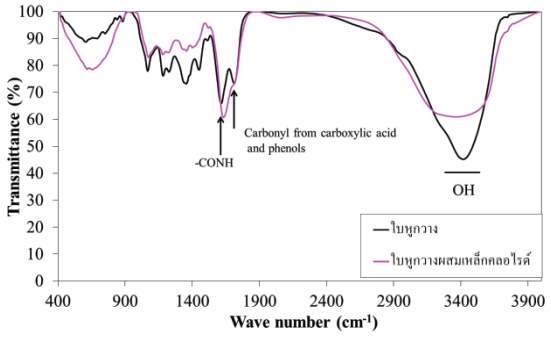
ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง UV-vis แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) และค่าความยาวคลื่น (Wavelength) จะเห็นได้ว่าค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายย้อมผ้าไหมที่เป็นใบหูกวางและใบหูกวางผสมกับเหล็กคลอไรด์จะมีสเปกตรัมที่ความยาวคลื่น 272 นาโนเมตร (รูปที่ 5) ซึ่งค่าการดูดกลืนแสงในช่วง 250-350 นาโนเมตร จะเป็นช่วงที่แสดงถึงสารละลายสีน้ำตาลที่เป็นสารในกลุ่มพอลิฟีนอล (Polyphenol) ที่มีอยู่ในใบหูกวางทำปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ (Enzymatic browning reaction) จากผลการทดลองพบว่าค่าการดูดกลืน (Absorbance) อีกทั้งยังในใบหูกวางที่อุดมไปด้วยสารแทนนิน (Tannin) เทอร์พินอยด์ (Terpenoids) ซาโฟนิน (Saponins) พอลิฟีนอล (Polyphenols) ฟลาโวนอยด์ (Flavonoids) อัลคาลอยด์ (Alkaloids) [6] อีกด้วย จากผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าองค์ประกอบมีอยู่ในใบหูกวางสามารถป้องกันรังสียูวีได้ ซึ่งสอดคล้องกับความยาวคลื่นที่ได้จากการวิจัยในครั้งนี้



รูปที่ 5 การดูดกลืนสเปกตราของสารละลายใบหูกวางและสูตรโครงสร้างของกรดกอลลิก (ภาพแทรก)

3.5 ผลการวิเคราะห์สีย้อมด้วยเครื่อง FTIR

จากผลการวิจัยพบว่าสีย้อมผ้าไหมที่ได้จากใบหูกวางและใบหูกวางผสมเหล็กคลอไรด์ (รูปที่ 6) เส้นสเปกตราการสั่นที่ความยาว 579 cm^{-1} แสดงถึงองค์ประกอบของกลุ่มไฮโดรคาร์บอนโซ่ปิด (C-C) ที่ความยาว 699 cm^{-1} แสดงถึงองค์ประกอบของกลุ่มเอมีน (N-H) ที่ความยาว 1049 และ 1389 cm^{-1} แสดงถึงองค์ประกอบของกลุ่มอะลิฟาติกเอมีนหรืออีเทอร์ (C-N, aliphatic amines or ether linkages) และกลุ่มของเอมีนโซ่ปิดหรือตำแหน่งของเมทิล (C-N, aromatic amines or germinal methyls) ตามลำดับ ในขณะที่ 1441 cm^{-1} เกิดจากการยืดของหมู่ C-O และ O-H ในกรดคาร์บอกซิลิก ที่ความยาว 1617 cm^{-1} แสดงถึงองค์ประกอบของ –CONH ซึ่ง 1718 cm^{-1} แสดงการสั่นแบบยืดของพันธะในกรดคาร์บอกซิลิกและฟีนอล (Carbonyl stretch vibrations from carboxylic acid and phenols) สำหรับความยาวคลื่นที่ 2925 cm^{-1} แสดงการสั่นของไฮโดรคาร์บอน (C-H) ในช่วงความยาวคลื่นที่ 3200-3600 cm^{-1} แสดงถึงองค์ประกอบของไฮดรอกซิล (O-H)



รูปที่ 6 ผลการวิเคราะห์ด้วย FTIR ของสีย้อมผ้าไหม

การเติมเหล็กคลอไรด์ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสีย้อมที่เกิดขึ้นจากการแตกตัวของโมเลกุลในสีย้อมกลุ่มไฮดรอกซิล อีกทั้งยังการเติมเหล็กคลอไรด์แสดงให้เห็นถึงผลของกลุ่มไฮดรอกซิลมีความหนาแน่นน้อยกว่าสีย้อมที่ได้จากใบหูกวางอย่างเดียว ผลที่ได้จาการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FTIR ข้างต้นได้สอดคล้องกับงานวิจัยซึ่งเป็นการศึกษาการสกัดของใบหูกวาง จากผลการวิจัยแสดงให้เห็นถึงสารแทนนินและสารจำพวกพอลิฟีนอลที่พบมากในใบหูกวางที่มีผลต่อการต้านรังสียูวีและการยับยั้งแบคทีเรียได้ดีนั่นเอง [16-18]

4. สรุปผลการศึกษา

การนำเศษพืช คือ ใบหูกวางร่วงนั้นมาย้อมผ้าไหม สามารถผลิตสีย้อมจากธรรมชาติได้ ซึ่งผ้าไหมย้อมด้วยสีย้อมจากใบหูกวางจะให้สีน้ำตาล ในขณะที่สีย้อมที่มีการผสมเหล็กคลอไรด์ลงไปจะทำให้ย้อมผ้าไหมที่มีสีดำ หลังจากนั้นได้ทดสอบสมบัติต่างๆ ของผ้าไหมย้อมสีจากใบหูกวางและใบหูกวางผสมเหล็กคลอไรด์ พบว่าผ้าไหมย้อมสีทั้ง 2 ชนิด มีความคงทนของสีต่อการซัก เหงื่อและน้ำอยู่ในระดับปานกลางถึงดีมาก ซึ่งเป็นผลมาจากไอออนของเหล็กในเหล็กคลอไรด์ที่มีสมบัติเป็นสารช่วยติดกับเส้นใย ผ้าไหมย้อมสีดังกล่าวยังมีสมบัติในการป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลตได้อยู่ในระดับสูงสุด เนื่องจากใบหูกวางมีสารประกอบกลุ่มพอลิฟีนอลและสารแทนนิน ทำหน้าที่ดูดกลืนแสงช่วงรังสีอัตราไวโอเลต ซึ่งผ้าไหมย้อมสีจากใบหูกวางผสมเหล็กคลอไรด์แสดงสมบัติการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียที่ดีกว่าผ้าไหมย้อมสีจากใบหูกวางเพียงอย่างเดียวและสามารถยับยั้งแบคทีเรียสูงถึง 98-99 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเกิดจากสารแทนนิน กรดกอลลิกที่มีอยู่ในใบหูกวาง รวมทั้งสารประกอบของเหล็กในสีย้อมยับยั้งแบคทีเรียได้

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ฝ่ายวิจัยคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ที่ให้ทุนสนับสนุนการทำวิจัยจากงบประมาณเงินแผ่นดิน (วช.) ประจำปีงบประมาณ 2559

เอกสารอ้างอิง

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

[2] Grifoni, D., Bacci, L., Lonardo, S.D., Pinelli, P., Scardigli, A., Camilli, F., Sabatini, F., Zipoli, G. and Romani, A. UV protective properties of cotton and flax fabrics dyed with multifunctional plant extracts. *Dyes Pigments*, 2014; 105: 89-96.

[3] Moiz, A., Ahmed, A., Kausar, N., Ahmed, K. and Sohail, M. Study the effect of metal ion on wool fabric dyeing with tea as natural dye. *Journal of Saudi Chemical Society*, 2010; 14: 69-76.

[4] Feng, X.X., Zhang, L.L., Chen, J.Y. and Zhang, J.C. New insights into solar UV-protective properties of natural dye. *Journal of Cleaner Production*, 2006; 15: 366-372.

[5] Kan, C.W. A Study on Ultraviolet protection of 100% cotton knitted fabric: Effect of fabric parameters. *The Scientific World Journal*, 2014; 2014: 1-10.

[6] Taganna, J.C., Quanico, J.P., Perono, R.M., Amor, E.C. and Rivera, W.L. Tannin-rich fraction from *Terminalia catappa* inhibits quorum sensing (QS) in *Chromobacterium violaceum* and the QS-controlled biofilm maturation and LasA staphylolytic activity in *Pseudomonas aeruginosa*. *Journal of Ethnopharmacology*, 2011; 134(3): 865-871.
[7] Tanaka, T., Nonaka, G.I. and Nishioka, I. Tannins and related compounds. XLII. Isolation and characterization of four new hydrolyzable tannins, terflavins A and B, tergallagin and tercatain from the leaves of *Terminalia catappa* L. *Chemical & Pharmaceutical Bulletin*, 1986; 34(3):1039-1049.
[8] Anand, A.V., Divya, N. and Kotti, P.P. An updated review of *Terminalia catappa*. *Pharmacognosy reviews*, 2015; 9(18): 93-98.
[9] Lin, Y.L., Kuo, Y.H., Shiao, M.S., Chen, C.C. and Ou, J.C. Flavonoid glycosides from *Terminalia catappa* L. *Journal of the Chinese Chemical Society*, 2000; 47(1): 253-256.
[10] Vermerris, W. and Nicholson, R. Phenolic compound biochemistry. Springer, Dordrecht, Netherlands, 2006.
[11] Augustine A. and Sreeraj G. Medicinal properties of Terminalia arjuna (Roxb.) Wight & Arn.: A review. *Journal of Traditional and Complementary Medicine*, 2016; 7(1); 1-14.
[12] Räisänen, R., Nousiainen, P. and Hynninen, P. Dermorubin and 5-chlorodermorubin natural anthraquinone carboxylic acids as dyes for wool. *Textile Research Journal*, 2002; 72(11): 973-976.
[13] Jothi, D. Extraction of natural dyes from African marigold flower (*Tagetes erecta* L.) for textile coloration. *Autex Research Journal*, 2008; 8(2): 49-53.
[14] Ruipérez, F., Mujika, J.I., Ugalde, J.M., Exley, C. and Lopez, X. Pro-oxidant activity of aluminum: promoting the Fenton reaction by reducing Fe (III) to Fe (II). *Journal of inorganic biochemistry*, 2012; 117: 118-123.
[15] Ghaheh, F.S., Mortazavi, S.M., Alihosseini, F., Fassihi, A., Nateri, A.S. and Abedi, D. Assessment of antibacterial activity of wool fabrics dyed with natural dyes. *Journal of Cleaner Production*, 2014; 72: 139-45.
[16] Ankamwar, B. Biosynthesis of gold nanoparticles (green-gold) using leaf extract of *Terminalia catappa*. *Journal of Chemistry*, 2010; 7(4): 1334-1339.
[17] El-Rafie, H.M. and Hamed, M.A.A. Antioxidant and anti-inflammatory activities of silver nanoparticles biosynthesized from aqueous leaves extracts of four *Terminalia* species. *Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology*, 2014; 5(3): 1-11.
[18] Eddy, N.O., Ekwumemgbo, P.A. and Mamza, P.A. Ethanol extract of *Terminalia catappa* as a green inhibitor for the corrosion of mild steel in H_2SO_4. *Green Chemistry Letters and Reviews*, 2009; 2(4): 223-231.